

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Т.Р. Гансєв, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ НАГРІВУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ

Досліджено енергетичну ефективність нагрівання деталей при зварюванні в плазмі тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді.

Постановка проблеми

При зварюванні в нормальному тліючому розряді здійснюється прямий нагрів деталей, які одночасно виконують роль катода розряду, в результаті безпосереднього перетворення на їх поверхні електричної енергії, що виділяється в розряді, в теплову в процесі бомбардування їх поверхні прискореними позитивними іонами газу і передачею через тонкий прикатодний шар частини енергії (до 60 %) позитивного стовпа розряду [1; 2].

Сумарна дія на катоді двох джерел теплоти забезпечує нагрів з досить високим ефективним ККД (коефіцієнтом корисної дії), що досягає 0,7...0,85.

Механізм нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом (ТРПК) істотно відрізняється і визначається особливостями існування ефекту порожнистого катода.

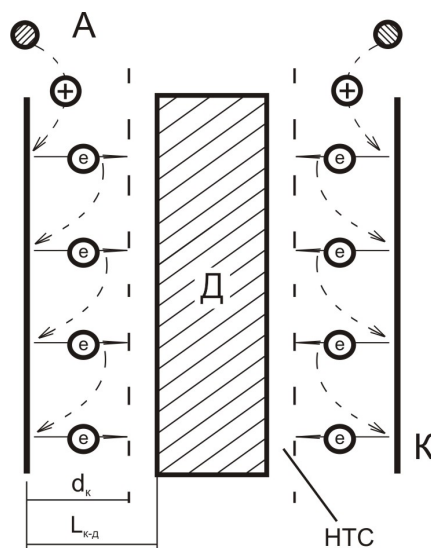
Деталі, що зварюються, розміщують в області негативного тліючого свічення, шари якого частково перекриваються. В результаті перекриття катодних областей протяжність їх зменшується, що призводить до підвищення напруженості електричного поля в зоні темного катодного простору d_k . Зростання напруженості поля на ділянці d_k пов'язане з підвищенням інтенсивності іонізації в темному катодному просторі і, отже, з посиленням потоку іонів, які бомбардують катод і викликають вторинну емісію з нього електронів, які, у свою чергу, бомбардують поверхню деталі. Це призводить до посилення (у порівнянні з нормальним тліючим розрядом) електронної складової струму з порожнистого катода.

У ході розряду іони приходять до катода не самі, а разом з квантами променистої енергії (фотонами), що виділяються в процесі рекомбінації в області тліючого свічення. Віддача всіма частками своєї потенційної і кінетичної енергії катоду підвищує результуючу емісію в порівнянні з емісією, що створюється лише іонами.

Оскільки кількісно врахувати кількість фотонів, що досягають катода, неможливо, то зазвичай прийнято усі електрони, що емітуються катодом, відносити умовно лише до дії іонів.

Стосовно розряду з порожнистим катодом таке припущення є тим більш справедливим, оскільки він існує при порівняно низьких тисках газу, що не перевищують 0,1 кПа, а при зниженні тиску газу фотонна складова на катоді стає малозначимою [3].

Таким чином, можна вважати, що нагрів деталей при зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом здійснюється в результаті бомбардування їх поверхні електронами, що вилітають з поверхні порожнистого катода унаслідок іонно-електронної емісії під дією іонного бомбардування (рис. 1).



А – анод; К – катод; Д – деталь; + – іони робочого газу; e – емітовані з поверхні катоду електрони; НТС – область негативного тліючого свічення; d_к – область темного катодного простору; L_{к-д} – відстань катод-деталь

Рис. 1. Схема нагріву в ТРПК

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження енергетичних характеристик тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах зварювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Величину ефективного ККД нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом визначали експериментально. При цьому корисними вважали теплоту, що акумулюється деталлю за час нагріву, і теплоту, втрачену деталлю за допомогою різних механізмів тепловідводу.

Теплота, що акумулюється деталлю в процесі нагрівання, визначається її геометричними і теплофізичними характеристиками і може бути знайдена із співвідношення:

$$q_d = c\rho v \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність матеріалу деталі, $\frac{дж}{кг \cdot K}$;

ρ – густина матеріалу, $\frac{кг}{м^3}$;

v – об'єм деталі, $м^3$;

ΔT – зміна температури деталі за час нагріву, K ;

$\Delta \tau$ – тривалість нагріву, $с$.

Теплові втрати в системі катод-деталь складаються з тепловіддачі з поверхні деталі за допомогою випромінювання і теплообміну між цією поверхнею та нагрітим газом у проміжку між деталлю і катодом за допомогою конвекції або теплопровідності газу.

Для оцінки ролі цих втрат одночасно з нагрівом деталі здійснювали контроль температури катода і температури газу в області темного катодного простору. Для виміру температури катода до нього конденсаторним зварюванням приварювалася хромель-алюмелева термопара. Така ж термопара встановлювалася посередині проміжку катод-деталь для визначення температури газового середовища.

Термопара закріплювалася в керамічній оболонці і встановлювалася, як показано на (рис. 2) для того, щоб уникнути дії на неї потоку електронів, здатних привести до створення на термопарі заряду і спотворення результатів вимірів.

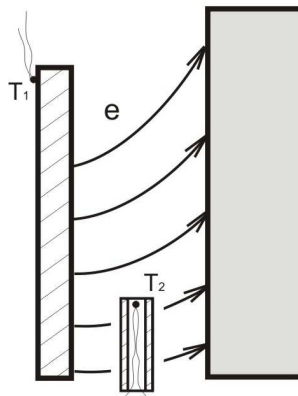


Рис. 2. Схема контролю температурного стану катода T_1 та газового середовища T_2

Результати вимірювань показали, що температури і катода, і газу в процесі нагріву деталі зростають, проте залишаються помітно нижче за температуру деталі. Так, при максимальній температурі деталі (граничний стан) 1073...1123 К температура катода не перевищує 470...520 К, а температура газу в контрольній точці досягає 773...873 К. Очевидно, температура газу в проміжку поступово знижується від температури деталі до температури поверхні порожнистого катода.

Радіаційні втрати випромінюванням з бічної поверхні деталей визначали за законом Стефана-Больцмана:

$$q_u = \varepsilon \sigma_0 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] \cdot S_\sigma, \quad (2)$$

де ε – коефіцієнт чорноти тіла, $\varepsilon \approx 0,8$ [4];

$\sigma_0 = 5,76 \frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$ – постійна Стефана-Больцмана;

T – температура нагріву деталі, К;

T_0 – температура середовища навколо деталі, в цьому випадку це температура поверхні полого катода, складової в процесі нагріву $T_0 \approx 470...520$ К.

S_σ – площа бічної поверхні деталі, $м^2$.

Оскільки в процесі нагріву температура порожнистого катода і середня температура газу в проміжку катод – деталь істотно нижче за температуру самої деталі, можливі втрати теплоти з її поверхні за допомогою теплопровідності газу, визначались як:

$$q_T = \lambda \frac{T - T_0}{L} S_\sigma, \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності газу, $\frac{Вт}{м \cdot K}$;

T і T_0 – відповідно, температури деталі і порожнистого катода, К;

L – протяжність проміжку катод – деталь, м.

Розрахунки, виконані згідно з виразами (2) і (3), свідчать, що унаслідок низької теплопровідності газів (при середній температурі газу $T \approx 773$ К коефіцієнт теплопровідності аргону $\lambda = 0,0038 \frac{Вт}{м \cdot K}$, азоту $\lambda = 0,055 \frac{Вт}{м \cdot K}$ [5]) останні втрати при температурі деталі $T = 973..1073$ К не перевищують 2...4 Вт, що складає менше 10 % від потужності радіаційних втрат.

Величину ефективного ККД нагріву тліючим розрядом з порожнистим катодом визначали за результатами нагріву сталевих і мідних деталей у вигляді стрижнів діаметром 0,008 м і завдовжки 0,04 м, розташованих у вільнопідвішеному стані усередині порожнистого катода з апертурою (діаметром) порожнини 0,02...0,05 м.

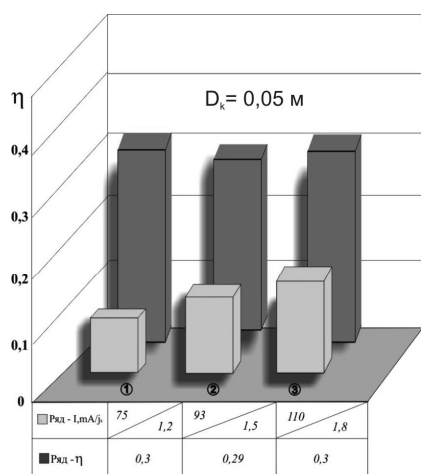
Температурний стан деталей контролювали ХА-термопарою, зачеканеною в одному з торців деталі. Вимір температури проводили через кожних 30 с нагріву до досягнення граничного стану. Останнім вважали таке, при якому температура зростала не більше ніж на 10 К за контрольний проміжок часу.

Струм розряду в експериментах варіювали в межах 35...110 мА, тиск газу (азоту, аргону або залишкового повітряного середовища) встановлювали на рівні 10 Па, 26 Па та 52 Па.

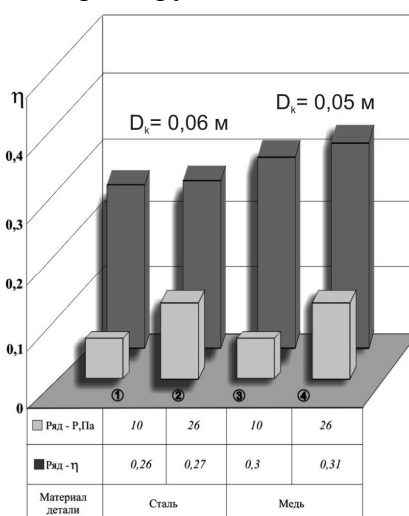
Величину ефективного ККД визначали як відношення:

$$\eta_0 = \frac{q_d + q_T + q_u}{q_p} \quad (4)$$

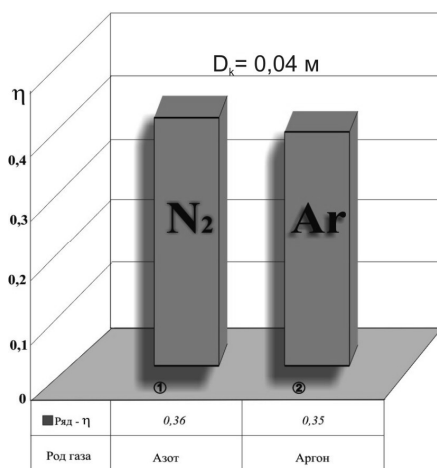
Результати досліджень, приведені на (рис. 3), показують, що серед усіх параметрів режиму (струму I , його густини J (рис. 3, а), тиску газу P (рис. 3, б), роду газу (рис. 3, в), матеріалу деталі (рис. 3, г), діаметра катоду D_k і величини проміжку катод – деталь $L_{к-д}$ (рис. 3, д)) ефективність нагріву найбільш помітно залежить від протяжності проміжку катод – деталь $L_{к-д}$, яка визначається внутрішнім діаметром катодної порожнини. Із збільшенням цього проміжку величина ефективного ККД істотно знижується, причому ця залежність має близький характер як у разі незмінного струму розряду, так і при незмінній густині струму на катоді. Це може бути пов'язано із збільшенням витрат електронів через відкритий торець катодної порожнини у навколишній простір під впливом двох взаємно перпендикулярних електричних полів, які діють у напрямку катод – деталь (E_1 – в області темного катодного простору) та катод – анод (E_2) (рис. 4).



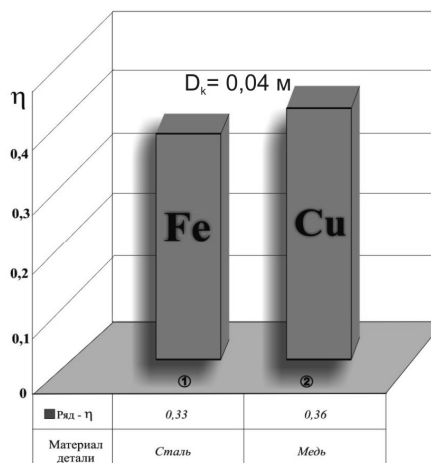
а)



б)



в)



г)

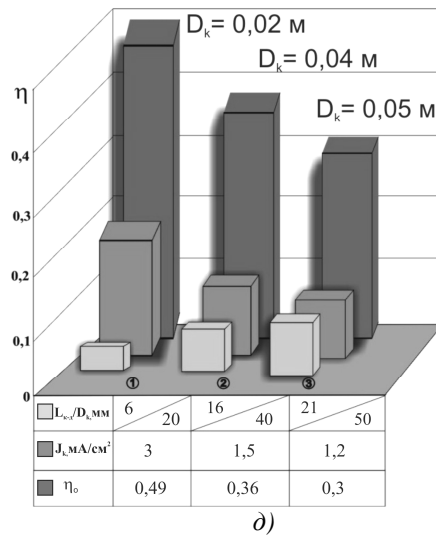
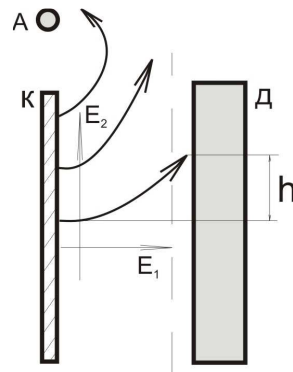


Рис.3. Характер впливу основних параметрів режиму нагріву тліючим розрядом з порожнистим катодом на ефективний ККД розряду



K – катод; A – анод; D – деталь; h – величина зміщення електронів

Рис.4. Траєкторія руху електронів під дією електричних полів E_1 та E_2 , діючих у проміжку катод – деталь та катод – анод відповідно

Величину зсуву траєкторії електронів визначали розрахунковим шляхом відповідно за отриманою в процесі теоретичних досліджень аналітичною залежністю:

$$h = \frac{eU}{2md} \left(\frac{l_{к-д}}{V} \right)^2 = \frac{Ul_{к-д}^2}{4d(U_i - 2\phi)}, \quad (5)$$

де U – напруга на розрядному проміжку; U_i – потенціал іонізації атомів (молекул) газу; m , V , e – маса, швидкість і заряд електрона відповідно; ϕ – робота виходу електронів; d – середня величина проміжку катод-анод.

Результати розрахунків свідчать, що при діаметрі катода 0,02 м та діаметрі деталі 0,008 м (тобто для $L_{к-д} = 0,006$ м), напрузі 1000...1500 В величина зсуву електронів складає $h = 0,025...0,04$ м. Збільшення діаметра катода до 0,05 м при тому ж діаметрі деталі (тобто для $L_{к-д} = 0,021$ м), спричиняє збільшення цієї величини більш ніж на порядок, що в наших дослідях призводило до зменшення величини ефективного ККД з 0,5 до 0,3.

Висновки

1. Встановлено, що величина ефективного ККД нагріву ТРПК залежить, в основному, від протяжності проміжку катод – деталь $l_{к-д}$, що визначається геометричними параметрами системи катод – деталь.

2. Встановлено, що головною причиною зниження ефективності нагріву ТРПК є втрата частини емітованих електронів унаслідок їх відходу через відкриті торці

порожнини катода назовні в результаті викривлення траєкторії їх руху під дією двох взаємно перпендикулярних електричних полів – у темному катодному просторі в проміжку катод – деталь і в проміжку катод – анод.

3. Розрахунковим шляхом визначено, що якщо для $I_{к-д} = 0,006$ м максимальна величина зсуву траєкторії електронів у бік анода не перевищує $0,02...0,04$ м, то для $I_{к-д} = 0,021$ м величина такого зсуву зростає майже на порядок. Це обумовлює необхідність зниження площі можливих каналів відходу електронів з катодної порожнини, в першу чергу, скороченням відстані між емітуючою поверхнею катода і деталлю.

Список використаних джерел

1. Болотов Г. П. Поверхневий нагрів тліючим розрядом при дифузійному зварюванні / Г. П. Болотов // Вісник ЧДТУ. – 2004. – № 21. – С. 111-119.
2. Болотов Г. П. Тлеющий разряд как источник нагрева в процессах сварки и пайки (обзор) / Г. П. Болотов // Автоматическая сварка. – 2001. – № 8. – С.41-44.
3. Елецкий А. В. Газовый разряд / А. В. Елецкий – М.: Знание, 1981. – 64 с.
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
5. Пехович А. И. Расчет теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких – Л.: Энергия, 1968. – 303 с.

УДК 621.791.4

Г.К. Харченко, д-р техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Ю.В. Фальченко, канд. техн. наук

Л.В. Петрушинець, інженер

Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

ДИFUZІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ У ВАКУУМІ ІНТЕРМЕТАЛІДНОГО СПЛАВУ γ -TiAl ІЗ СПЛАВОМ ТИТАНУ VT8

Розроблено технологію дифузійного зварювання у вакуумі інтерметалідного сплаву γ -TiAl із сплавом титану VT8. Показано, що використання формуючих матриць сприяє обмеженню пластичної деформації титану й отриманню бездефектних з'єднань.

Постановка проблеми

З розвитком аерокосмічних технологій і появою нових конструкційних жароміцних сплавів виникає необхідність у їхньому зварюванні як в однорідному сполученні, так і різнорідному. До таких пар можна віднести інтерметалідний сплав γ -TiAl, який має структуру $\gamma + \alpha_2$, і двофазний сплав титану VT8 із структурою $\alpha + \beta$.

Відомо, що оптимальними параметрами для дифузійного зварювання сплавів титану є температура $T_{зв} = 800 \dots 1050$ °С, тиск $P_{зв} = 1 \dots 10$ МПа, час $t_{зв}$ до 30 хв [1].

При зварюванні γ -TiAl оптимальним режимом слід вважати температуру $T_{зв} = 1200$ °С, тиск $P_{зв} = 15 \dots 40$ МПа, час $t_{зв} = 20 \dots 60$ хв [2; 3].

Однак параметри, які визначено як оптимальні при зварюванні сплавів титану, для зварювання інтерметалідних сплавів зі сплавами титану не прийнятні в наслідок значної пластичної деформації титану.

Формування цілей статті

Метою наших досліджень було розробити технологію одержання зварного з'єднання γ -TiAl зі сплавом титану VT8.

Методика експерименту

Зварювання інтерметалідного сплаву γ -TiAl (59,2Ti – 33,3Al – 4,8Nb – 2,7Cr мас. %) із сплавом титану VT8 (88,4Ti – 3,9Al – 7,6Mo – 0,1Si мас. %) проводили у вакуумі $V_{зв} =$