

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМИ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ СТОСОВНО ДО УМОВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО НАГРІВУ

У роботі проведено дослідження властивостей плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, та встановлено можливості її застосування для нагріву під час дифузійного зварювання.

Ключові слова: плазма, тліючий розряд, порожнистий катод, дифузійне зварювання.

В работе проведено исследование свойств плазмы тлеющего разряда, горящего в полой катоде, и установлена возможность ее применения для нагрева при диффузионной сварке.

Ключевые слова: плазма, тлеющий разряд, полый катод, диффузионная сварка.

In the paper focuses on the properties of the plasma glow discharge burning in the hollow cathode, and the potential for its application to heat of diffusion welding.

Key words: plasma, glow discharge, hollow cathode, diffusion welding.

Вступ. Потреби радіоелектроніки, космічної техніки, приладобудування і машинобудування призвели до бурхливого розвитку методів зварювання без розплавлення для виготовлення великої номенклатури виробів, що розрізняються за матеріалами, формою, габаритами, але об'єднаних такими вимогами до технології зварювання, як:

- 1) збереження у зварюваних матеріалів високих експлуатаційних властивостей, які під час зварювання плавленням могли б безповоротно зникнути;
- 2) забезпечення прецизійності зварного з'єднання;
- 3) забезпечення якісного з'єднання між матеріалами різними за складом або за природою.

Дифузійне зварювання є найбільш універсальним методом з погляду повноти задоволення зазначених вимог до технології процесу з'єднання. Б.Є. Патон – називав цей метод "зварюванням майбутнього", бо він уже нині забезпечує з'єднання понад 700 композицій з різних матеріалів [1].

Широке впровадження методу дифузійного з'єднання різноманітних матеріалів пов'язане з необхідністю вирішення деяких технологічних проблем:

- 1) у зоні зварювання тепловий вплив на матеріали протягом тривалого циклу зварювання має бути точно регульованим за потужністю, інтенсивністю і формою розподілу енергії;
- 2) деталі, що зварюються, приводяться в контакт з деяким зусиллям, створюваним притискними пристроями, що збільшує масу, яка піддається нагріванню і викликає підвищення витрат енергії, ускладнює динаміку нагріву;
- 3) механізм утворення дифузійного зварного з'єднання встановлює складні взаємозв'язки між формою виробу, що нагрівається, і зовнішніми технологічними параметрами, які забезпечують протікання процесу.

У дифузійному зварюванні надзвичайно різноманітні форми виробів і поєднання з'єднуваних матеріалів, що зумовило застосування практично всіх існуючих способів нагріву – від пічного до електронно-променевого. При цьому зварні з'єднання в більшості стикові з розвиненою поверхнею контакту, напусткові, охоплюючі з конічною або циліндричною поверхнею контакту. Різноманіття форм і матеріалів виробів роблять задачу оптимального вибору джерела нагріву досить складною. Для її вирішення необхідне знання кількісних характеристик взаємозв'язків параметрів об'єктів, що зварюються, джерел теплоти і теплофізичних особливостей дифузійного зварювання. Останні складаються у наступному:

- 1) нагрів зварних з'єднань (зварного контакту) здійснюється за допомогою теплопровідності від зовнішньої поверхні виробу, що сприймає енергію джерела теплоти;

Виняток становить нагрів струмом, що проходить через деталі та зону їх контакту. Обмеженість його застосування під час дифузійного зварювання обумовлена складністю управління енерговиділенням у контакті при дуже широкому діапазоні зміни площі зварних з'єднань і електропровідності зварюваних матеріалів, обмеженнями за формою, габаритами та матеріалом виробів. Тому, як правило, джерела нагріву, що використовуються в дифузійному зварюванні, є поверхневими і весь виріб або його значна частина нагрівається до температури зварювання. Навіть під час індукційного нагрівання при частоті генератора в десятки і сотні кілогерц глибина проникнення струму в метал становить доли міліметра;

2) нагрівання виробу, що зварюється, неминуче пов'язане з нагріванням пристосувань, що забезпечують його стиснення. Енергія, що поглинається пристосуванням, може значно перевищувати енергію, необхідну для отримання зварного з'єднання, що обумовлює енергетичну надмірність процесу;

3) нагрівання й охолодження в процесі зварювання здійснюються зі швидкостями 0,01 ... 100 К/с. Час ізотермічної витримки під час дифузійного зварювання становить сотні і тисячі секунд. Температурний цикл зварювання подібний режиму термічного оброблення, оскільки температура зварювання не перевищує 0,9 температури плавлення матеріалів, що обмежує інтенсивність енергії, яка вводиться через поверхню виробу;

4) нагрівання виробу, що зварюється, здійснюється в захисному газовому середовищі (нейтральному або активному), незважаючи на те, що поверхні, які з'єднуються, знаходяться у щільному контакті і стискаються питомим тиском близько 10 ... 30 МПа;

5) форми і площі поверхонь, що приймають тепло від джерела, дуже різноманітні.

Залежно від форми і матеріалу виробу ці умови можуть змінюватися в дуже широкому діапазоні. Під час вибору джерела енергії необхідно оцінювати ступінь його універсальності і ступінь його спеціалізації, щоб отримати найбільший техніко-економічний ефект від його застосування. Це можливо при оптимальній відповідності обладнання технологічним і економічним вимогам.

Очевидно, що немає універсального джерела нагріву, придатного для всіх випадків зварювання тиском. Навіть для технологічно найбільш складного варіанта зварювання тиском (тобто дифузійного зварювання) є можливість для вибору оптимальних варіантів нагріву, виходячи з особливостей виробництва виробів, фізико-технологічних характеристик джерел і необхідного діапазону їх зміни.

У роботах М. Ф. Казакова, В. О. Бачина, В. Ф. Квасницького, В. С. Ваніна, С. К. Картавого, І. М. Мухи, А. Ф. Худишева та ін. випробувані стосовно дифузійного зварювання різні джерела нагріву. Досвід лабораторного і промислового застосування дифузійного зварювання свідчить, що з використовуваних на сьогодні джерел енергії (індукційний, радіаційний, електроконтактний та ін.) найбільш повно зазначеним вимогам відповідає нагрів виробів тліючим розрядом, що горить у середовищі активних або інертних газів при тиску нижче атмосферного, що дозволяє в широких межах регулювати інтенсивність нагріву та розподіл теплової енергії в процесі фізико-технічного оброблення матеріалів [2].

Дослідження, виконані у різні часи В. С. Ваніним, В. І. Дятловим, І. М. Мухой, Д. І. Котельниковим, Є. О. Жиловим, О. Л. Сиваковим, А. А. Бабад-Захряпіним, Г. Д. Кузнецовим, Ю. М. Лахтіним, показали високу ефективність і перспективність використання тліючого розряду як джерела нагріву під час дифузійного зварювання, паяння і хіміко-термічного оброблення.

Досвід застосування тліючого розряду в дослідних і промислових умовах свідчить, що нагрівання розподіленою плазмою тліючого розряду середніх тисків (1 ... 10 кПа) розширює можливість зварювання тиском різномірних матеріалів, дозволяє розробляти принципово нові конструкції зварних вузлів.

За допомогою тліючого розряду вирішуються основні проблеми дифузійного з'єднання: стає можливим відмовитися від високого вакууму, що істотно спрощує обладнання та сам процес зварювання, вартість устаткування знижується в 3 ... 4 рази; в 6 ... 7 разів підвищується енергетична ефективність процесу нагріву; висока адаптивність іонного нагріву робить його універсальним, що визначає доцільність його використання не тільки в масовому, але і в серійному та одиничному виробництвах [3]. Тліючий розряд дозволяє не тільки нагрівати вироби, але і проводити тонке поверхнєве оброблення з метою активації поверхонь, що з'єднуються, або модифікації їх властивостей.

Постановка проблеми. Існування ефекту порожнистого катода пов'язано з осциляцією всередині катодної порожнини значної кількості швидких електронів, емітованих з поверхні катода і прискорених в області темного катодного простору. Величина електронного струму розряду визначає інтенсивність нагріву деталей, що зварюються, і залежить від концентрації і рухливості вільних електронів.

Тому для подальшого вивчення особливостей зварювального нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді необхідно провести комплекс досліджень локальних властивостей плазми розряду, що пов'язані з визначенням концентрації саме швидких електронів, які більшою мірою впливатимуть на інтенсивність процесу.

Методи та результати. Як інструмент діагностики плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, використовували електричний зонд.

Методика вимірювань полягає в тому, що у катодну частину розряду вводиться допоміжний електрод, виконаний з тонкого прутка вольфраму діаметром 0,5 мм і покритий керамічною ізоляцією, що має оголену частину довжиною 5 мм. Зондовий струм замикався через анод, тому полярність джерела напруги обрана так, щоб потенціал зонда був нижче потенціалу анода, проміжним між потенціалами анода і катода, щоб не викликати збурень у розрядній плазмі.

Дослідження плазми розряду проводили згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.

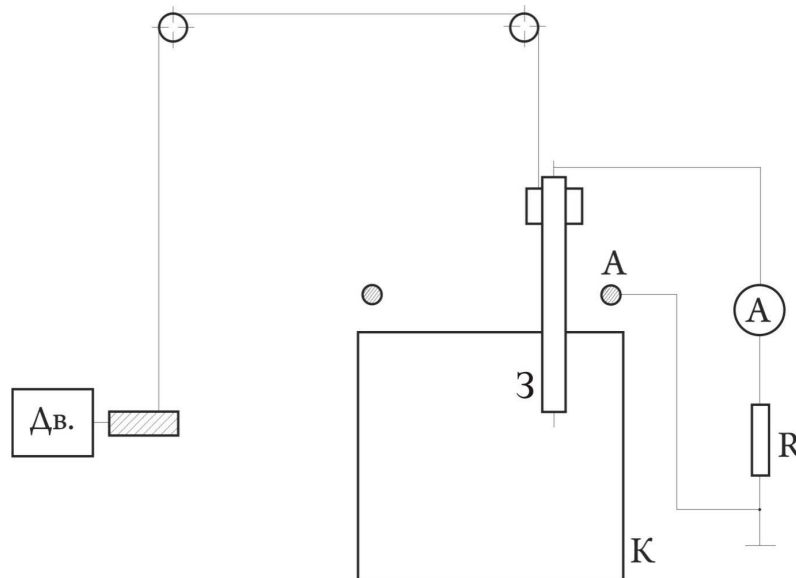


Рис. 1. Схема зондових вимірювань:

Дв – електродвигун; З – електричний зонд; К – катод; А – анод

Експеримент полягав у вимірюванні струмів, що протікають через зонд. За допомогою зондової методики були отримані вольт-амперні характеристики плазми тліючого розряду з порожнистим катодом.

Зондову вольт-амперну характеристику знімали в середовищі залишкових атмосферних газів при тиску 26 Па. Струм розряду підтримувався постійним на рівні 0,05 А.

Зонд приводився в рух реверсивним електродвигуном, розміщеним всередині розрядної камери, за допомогою якого він міг опускатися і підніматися. Живлення електродвигуна здійснювали від джерела НД-24.

Оскільки свою рухливість емітовані з поверхні катода електрони набувають в області темного катодного простору, що характеризується високим падінням напруги, тому для отримання ВАХ плазми в цій області на зонд подавався змінний потенціал від 0 В до -100 В.

Як видно з представлених на рис. 2 кривих, зондові ВАХ тліючого розряду з порожнистим катодом мають помітну схожість з ідеальною зондовою ВАХ, отриманою Ленгмюром у 1923р [4].

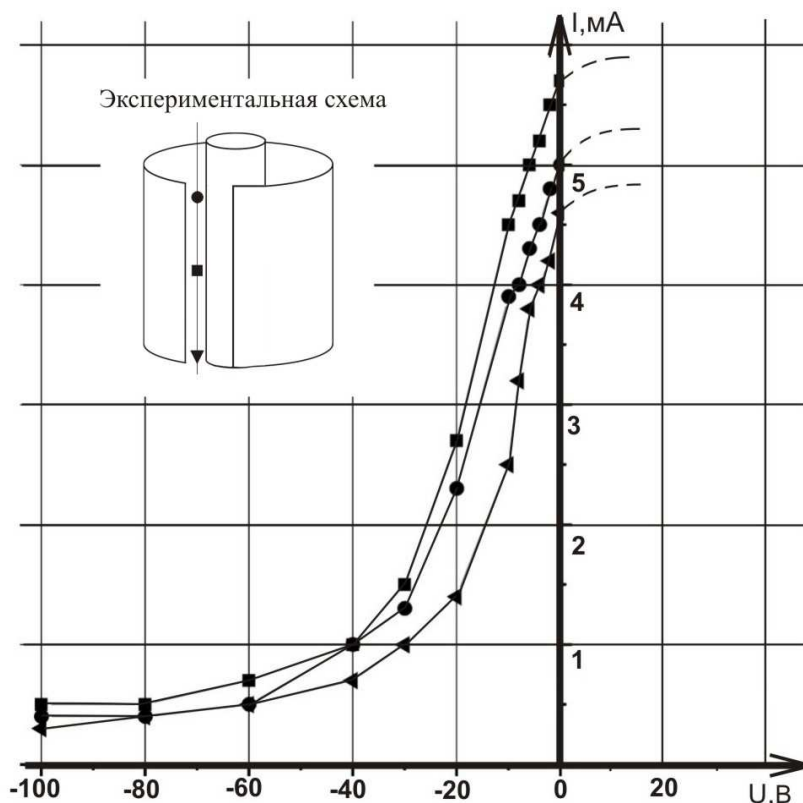


Рис. 2. Зондова вольт-амперна характеристика плазми тліючого розряду з порожнистим катодом

На ВАХ слід виділити ділянку від -40 до 0 В, на якій зонд фіксує стрімке зростання струму. Тут через просторовий заряд проходять не тільки швидкі, але і менш рухливі електрони, енергія яких достатня для подолання різниці потенціалів між плазмою розряду і зондом. Далі зонд насичується всіма доступними електронами.

У зв'язку з цим просторовий розподіл концентрації електронів визначали при потенціалі на зонд -20 В, при якому на поверхню зонда надходять електрони, що мають ще досить високу енергію. Розподіл концентрації швидких електронів усередині катодної порожнини визначали як при осьовому, так і радіальному переміщенні зонда щодо порожнини катода.

Всі дослідження здійснювали на сталевому катоді діаметром 0,04 м у середовищі азоту і залишкової атмосфері при тисках 19 ... 53 Па.

Значення максимального електронного струму фіксували дзеркальним міліамперметром типу М502 класу 0,1. Швидкість руху зонда становила 0,5 см/с. У кожній точці вимірювання проводилися кілька разів, а потім результати усереднювалися. Дослідження проводили в умовах, коли всередині катода перебувала сталева деталь діаметром 0,008 м і без деталі всередині порожнини.

Розподіл концентрації електронів по висоті катода досліджували в умовах, коли всередині катода перебувала сталева деталь діаметром 0,8 мм. Зонд занурювався углиб катода на відстань 0,005 м, 0,01 м, 0,02 м, 0,03 м і 0,04 м, як показано на рис. 3.

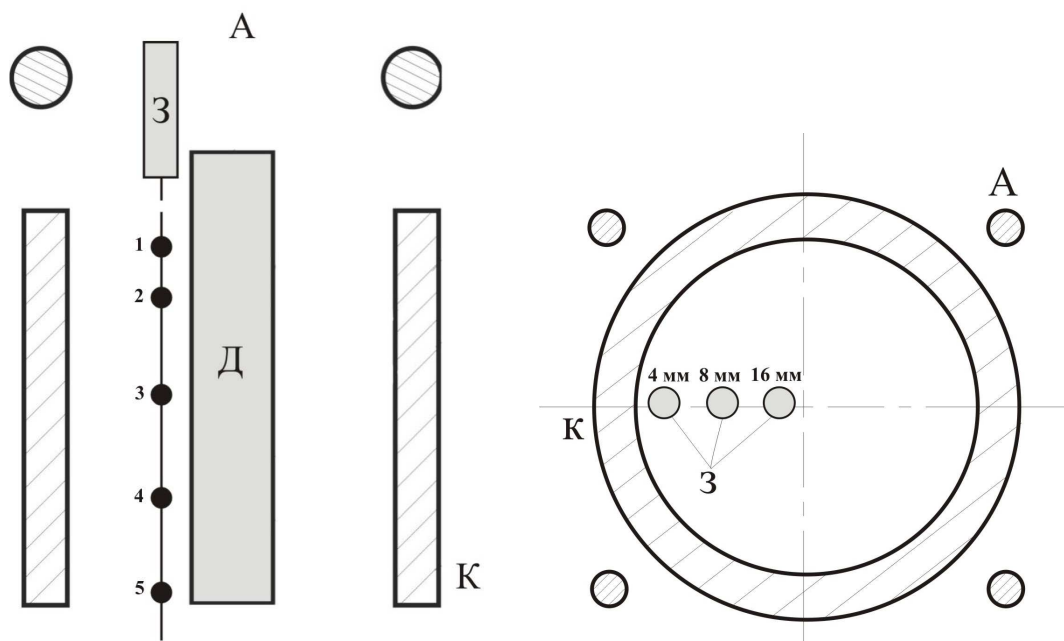


Рис. 3. Схема зондових вимірювань:
 К – катод; Д – деталь; З – зонд

Експериментально отримані залежності, представлені на рис. 4, показують, що концентрація електронів по висоті катодної порожнини змінюється незначно і це обумовлює рівномірність нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді. Найбільша частина електронів припадає на середину деталі, яка відповідає точці 3 на (рис. 3), при подальшому зануренні зонда величина електронного струму незначно знижується. Це пов'язано з тим, що рух емітованих з поверхні катода електронів під дією значної сили електричного поля направлено у бік найближчого до анода відкритого торця катодної порожнини.

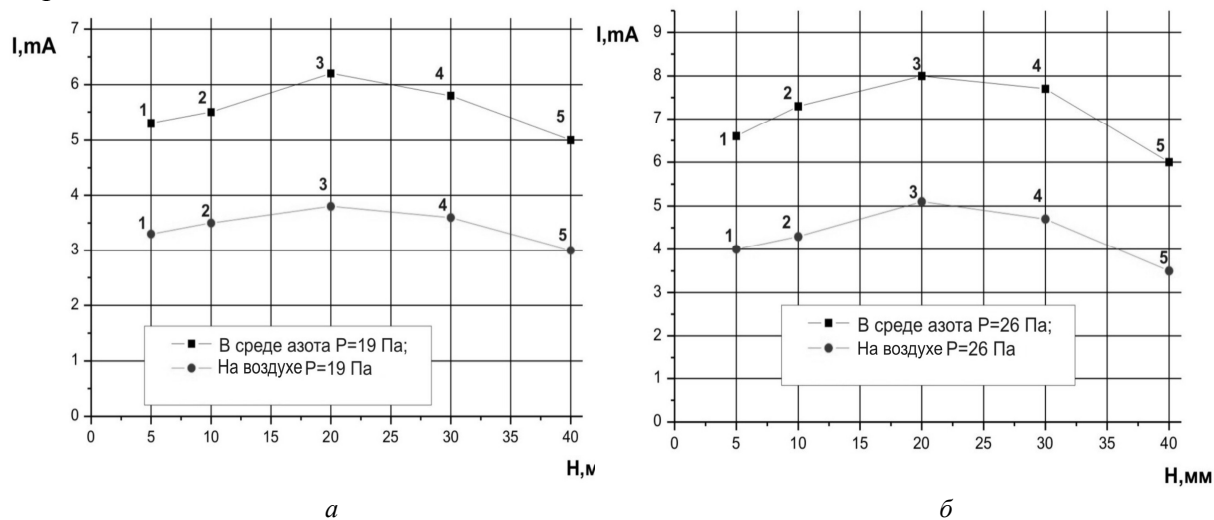
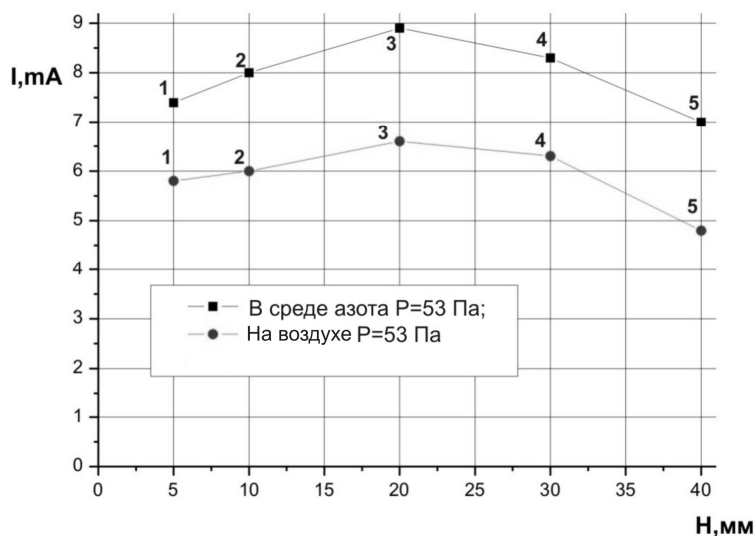


Рис. 4. Результати вимірювання електронного струму I по висоті катодної порожнини H у разі, коли зонд перебував поблизу деталі при тисках газу:
 а) 19 Па; б) 26 Па; в) 53 Па



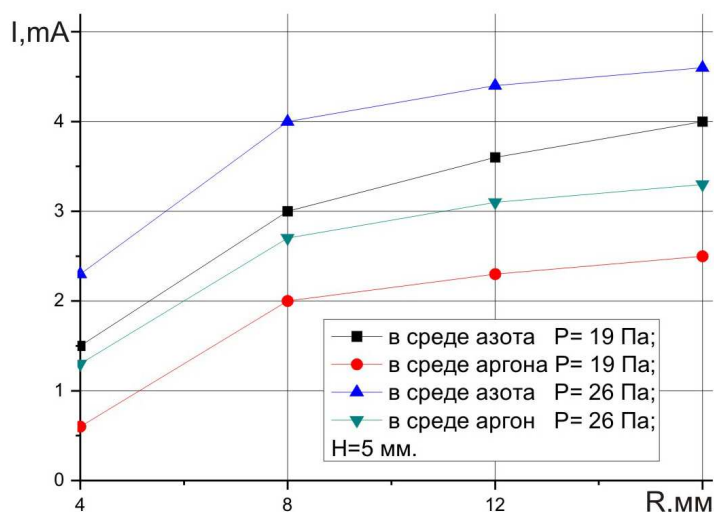
в

Рис. 4. Закінчення (див. також с. 116)

Результати досліджень електронного струму при радіальному переміщенні зонда щодо стінки катода представлені на рис. 5.

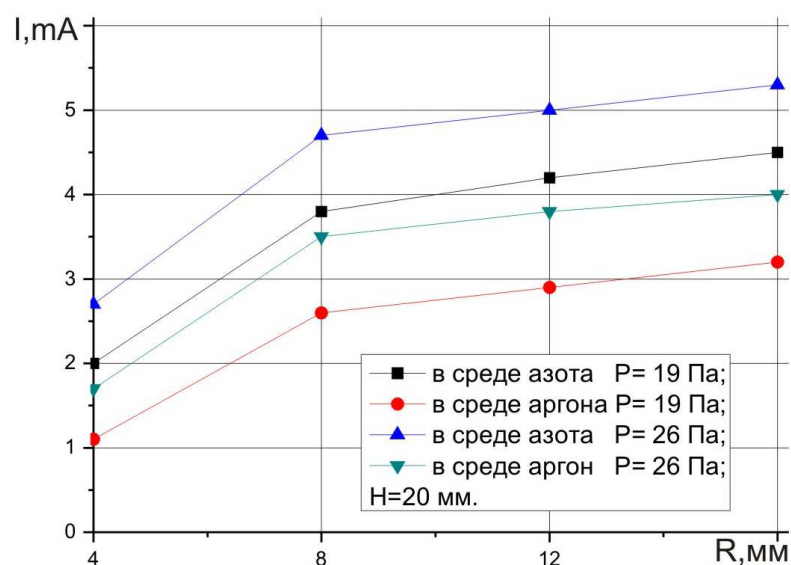
Криві показують, що з видаленням зонда від стінки катода на відстань від 0,004 м до 0,016 м величина електронного струму зростає більше, ніж у 2 рази. Це пов'язано з тим, що електрони, емітовані з поверхні порожнистого катода, внаслідок значного падіння потенціалу в області темного катодного простору з деяким прискоренням рухаються у напрямку до області тліючого світіння, що є якимось електронним стоком, де вони починають втрачати свою енергію на іонізацію газу.

Внаслідок фокусування потоку електронів увігнутою поверхнею порожнистого катода концентрація електронів у поверхні деталі значно перевищує їх концентрацію у поверхні катода. Тому розташовуючи деталь на початку області негативного тліючого світіння, можна здійснювати інтенсивний зварювальний нагрів металевих і неметалевих вузлів.

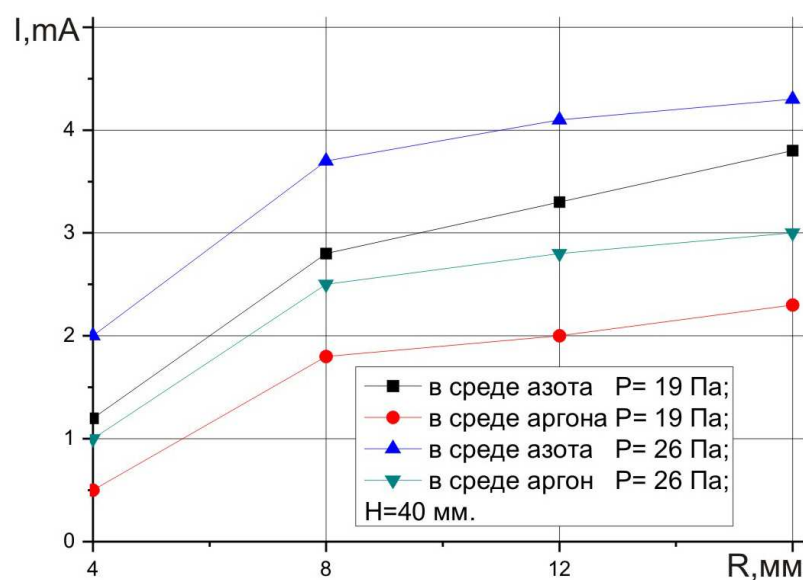


а

Рис. 5. Результати вимірювання електронного струму I при радіальному переміщенні зонда R у разі, коли зонд перебував на відстані:
 а) 0,016 м від стінки катода, б) 0,008 м від стінки катода;
 в) 0,004 м від стінки катода при тисках газу 19 і 26 Па



б



в

Рис. 5. Закінчення (див. також с. 117)

Слід зазначити, що в дослідях з вимірюванням концентрації електронів по висоті катода, коли всередині порожнини перебувала деталь, значення електронного струму були дещо вищі, приблизно в 1,3 ... 1,5 рази, ніж при радіальних вимірах плазми без деталі. Це пов'язано з тим, що деталь, перебуваючи всередині катодної порожнини, приводить до стиснення плазми, що супроводжується зменшенням протяжності катодної частини розряду d_k .

Внаслідок щільного прилягання катодної частини розряду до стінок порожнини збільшується інтенсивність іонізації, що приводить до підвищення емісії з катода, і, отже, до збільшення електронного струму розряду.

Таким чином, можна зробити висновок, що за характером теплового впливу на деталі, що зварюються тліючий розряд з порожнистим катодом є рівномірно розподіленим джерелом енергії.

Висновки. З використанням зондової методики проведені систематичні дослідження плазми ТРПК як у радіальному напрямку, так і по висоті катодної порожнини з визначення концентрації швидких електронів; встановлено, що концентрація електронів при радіальному дослідженні від внутрішньої стінки катода до негативного тліючого світіння зростає в 2 ... 3 рази, у той час як по висоті катода не більше ніж на 20 %, що обумовлює рівномірність і інтенсивність нагріву в ТРПК та дає підставу вважати ТРПК поверхневим рівномірно розподіленим джерелом зварювальної теплоти.

Список використаних джерел

1. Дятлов В. И. Диффузионная сварка в тлеющем разряде / Дятлов В. И. – Л. : ЛДНТП, 1968. – 26 с.
2. Котельников Д. И. Технологические особенности применения тлеющего разряда при сварке / Д. И. Котельников // Технология и организация производства. – 1976. – № 7. – С. 57-59.
3. Бабад-Захряпин А. А. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде / А. А. Бабад-Захряпин, Г. Д. Кузнецов. – М. : Атомиздат, 1975. – 176 с.
4. Козлов О. В. Электрический зонд в плазме / О. В. Козлов. – М. : Атомиздат, 1969. – 144 с.

УДК 621.793.3

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

О.М. Савченко, канд. техн. наук

С.М. Ющенко, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ФЛЮСОВЕ ВИДАЛЕННЯ ОКСИДНИХ ПЛІВОК ПІД ЧАС ПАЯННЯ АЛЮМІНІЮ ТА СПЛАВІВ НА ЙОГО ОСНОВІ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

Розглянуті можливі способи флюсового видалення оксидних плівок під час паяння алюмінію та його сплавів та визначені найбільш оптимальні з них.

Ключові слова: алюміній, оксидна плівка, флюс, припой, фізичний контакт, змочування, розтікання.

Рассмотрены возможные способы флюсового удаления оксидной пленки при пайке алюминия и его сплавов и определены наиболее оптимальные из них.

Ключевые слова: алюминий, оксидная пленка, флюс, припой, физический контакт, смачивание, растекание.

Possible ways of oxide film removal by flux brazing of aluminium and alloys are examined. The most optimal ways are defined.

Key words: aluminium, oxide film, flux, braze, physical contact, wetting, spreading.

Постановка проблеми. Впровадження алюмінію та його сплавів як конструкційних матеріалів у промисловість обумовлене їх перевагами порівняно з іншими конструкційними матеріалами: невелика питома вага, порівняно висока міцність, гарна оброблюваність різанням, висока корозійна стійкість, здатність легко деформуватися. Все це має велике значення у галузях машинобудування, авіа- та суднобудування, будівництва, електроніки та електротехніки.

Широке впровадження алюмінію та його сплавів викликало необхідність удосконалення методів отримання їх нероз'ємних з'єднань. Останнім часом розповсюдження набув процес паяння алюмінію, який має суттєві переваги перед його зварюванням: паяння дозволяє виготовляти складні за конфігурацією вузли та конструкції; отримувати роз'ємні та нероз'ємні з'єднання і з'єднання у малодоступних місцях; застосовувати температури та тиски на порядок менші, ніж під час зварювання; за рахунок рівномірного нагріву та охолодження під час паяння в печах та ваннах зменшувати залишкові напруження та деформації [1].

Відомо, що на поверхні алюмінію завжди є стійка тугоплавка оксидна плівка Al_2O_3 з температурою плавлення 2323 К. Вона характеризується високою питомою вагою ($\rho = 3,97 \text{ г/см}^3$), високою адсорбційною здатністю до парів води та міцним зчепленням з