

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

IQ-ДАТЧИК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПИТОМОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ТА ГУСТИНИ СТРУМУ В ПЛЯМІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ

Вступ

Підвищення ефективності використання плазмово-дугових технологічних апаратів у промисловості ставить завдання про постійне дослідження взаємодії плазми електричної дуги з поверхнею твердої фази [1].

Особливо важливими, з точки зору підвищення ресурсу роботи електродів і ефективності взаємодії з матеріалом, є процеси в приелектродних ділянках електричної дуги, для яких характерні велика густина теплового потоку та електричного струму. Такі інтегральні параметри дугових плям, як і сумарний тепловий потік та загальний струм, є недостатньо коректними для вивчення механізмів теплопередачі й ерозії електродів. Припущення про рівномірне розподілення за Гаусом питомого теплового потоку та густини струму в дугових плямах спрощує фізичну картину явища.

Разом з тим, відмінність експериментальних результатів з визначення питомого теплового потоку та густини струму в плямах електричної дуги, огляд яких приведено в ряді робіт [2, 3], пояснюється складністю досліджуваного явища та відсутністю надійно обґрунтованих методик вимірювання. Суттєва необхідність у таких дослідженнях обумовлена розробкою та освоєнням ряду датчиків, які визначають питомий тепловий потік при різних плазмово-дугових процесах (плазмового різання, зварювання, плазмово-дугового переплаву [1], обробки металів різанням з попереднім плазмовим підігрівом [4], формоутворенням деталей з плазмовим нагріванням [5]).

Мета роботи. Створення та випробування датчика, придатного для багаторазового вимірювання розподілу питомого теплового потоку в плямі потужних електричних дуг.

Матеріали та методика досліджень

IQ-датчик складається з двох жорстко з'єднаних між собою циліндричних водоохолоджуваних секцій, розділених тепло- та електроізоляційною прокладкою зі слою товщиною близько 0,1 мм. Конструкція датчика, схема електричних та калориметричних вимірювань представлена на рис. 1. Поверхня IQ-датчика, яка сприймає тепло, виконана з металу. Напруга в секції підводиться через щітки. Під час вимірювань IQ-датчик приводиться в обертальний рух, а дугова пляма переміщується паралельно вісі обертання, перетинаючи межу розділу секцій. Слід, який залишає дуга на поверхні, являє собою гвинтову лінію. Ступінь зміни температури води в секціях реєструється диференціальними термодатчиками, сигнал з яких поступає на контактні кільця. Для дослідження енергетичного балансу дуги калориметрувались теплові потоки в катод та сопло плазмотрона. При вимірюванні плазмотрон переміщується на задану відстань від поверхні IQ-датчика паралельно вісі обертання з постійною подачею, яка може регулюватись від 0,08 до 2 мм/об.

Знаходження локальних значень густини струму та питомого теплового потоку можливо для вісесиметричних дуг [7]. Для перевірки впливу межі розподілу секцій і обертання датчика на зберігання осьової симетрії опорної плями дуги проводилось фотографування відкритої частини дуги та приелектродної області як в напрямку вектора лінійної швидкості обертання приладу в місці прив'язки дугової плями, так і перпендикулярно до нього. Для досліджених режимів горіння дуги та швидкості обертання IQ-датчика викривлення дугового стовпа не спостерігалось (струм дуги 100–500 А, витрата газу 0,35–3 г/с, діаметр сопла плазмотрона 4–7 мм, довжина дуги 10–40 мм, лінійна швидкість обертання IQ-датчика 0,06–4 м/с).

Дослідження часу переходу дугової плями через лінію розподілу секцій показали, що перехід здійснюється плавно. Це підтверджується плавною зміною струму через кожну секцію та відсутністю викривлення стовпа дуги в напрямку сканування на фотографіях відкритої частини дуги в момент переходу межі розділу секцій.

Теорія та аналіз отриманих результатів

У роботі [6] наведено результати вимірювань локальних параметрів дугової плями секційним електродом, який сканує анодну пляму електричної дуги перпендикулярно її вісі. По мірі сканування визначаються струм, що протікає через секцію та тепловий потік, що приходить на секцію та відводиться водою. Конструктивно секційний електрод складається з двох плоских рівних водоохолоджувальних частин, розділених між собою тепло- та ізоляційною прокладкою. Такий датчик є непридатним для вимірювання теплового потоку від електричної дуги, який перевищує 3–4 кВт/см², через руйнування поверхонь секцій. Вказане руйнування є наслідком того, що теплові потоки до поверхні такого датчика перевищують критичні. При цьому, через зменшення коефіцієнта теплообміну між водою та охолоджувальною поверхнею датчика, температура матеріалу в місці прив'язки опорної плями підвищується. В датчику відомої конструкції швидкість переміщення дуги по поверхні, яка сприймає тепло, складає доли міліметра в секунду, тому важко запобігти оплавленню матеріалу в опорних плямах, незважаючи на інтенсивне охолодження цих поверхонь.

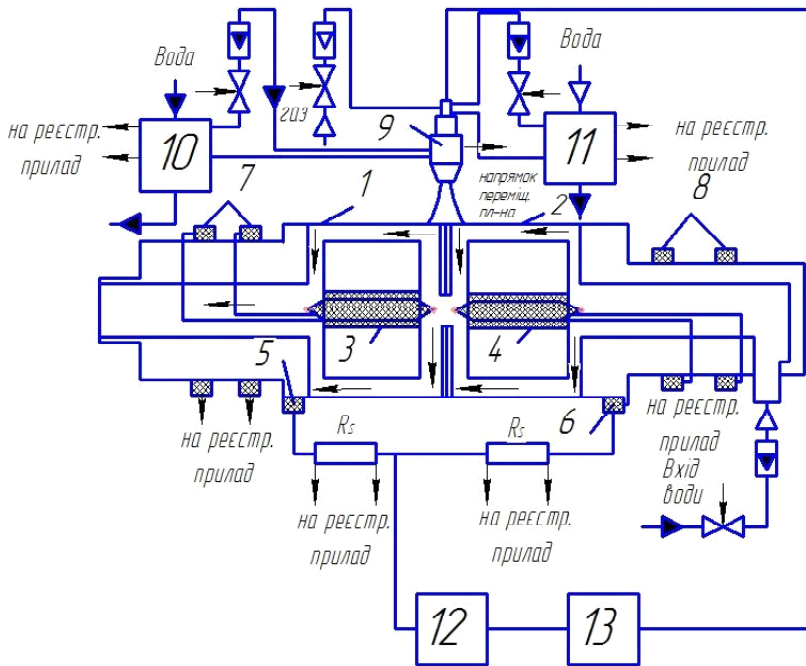


Рис. 1. Конструкція датчика для вимірювання питомого теплового потоку та густини струму в плямі електричної дуги та схема електричних і калориметричних вимірювань:

- 1, 2 – поверхні секцій, що сприймають тепло,
- 3, 4 – диференційні термопари, 5, 6 – мідно-графітові щітки, 7, 8 – контактні кільця, 9 – плазмотрон,
- 10, 11 – вимірювачі підвищення температури води в охолоджених вузлах плазмотрона, 12 – спеціалізоване джерело живлення плазмотрона, 13 – згладжувальний фільтр

Практика використання електродугових нагрівачів газу показала, що можна істотно збільшити тепловідвід у електрод без руйнування його поверхні через опорну пляму, яка швидко рухається. Питомий тепловий потік при русі опорної плями по поверхні датчика може в сотні разів перевищувати критичний тепловий потік. У плоскому секційному електроді відомої конструкції збільшити швидкість переміщення опорної плями (наприклад, відносно межі розділу секцій) є неможливим через його теплову інерційність.

На рис. 2 наведено експериментальні криві зміни теплового потоку та електричного струму в одній з секцій IQ-датчика та знайдений за ним радіальний розподіл питомого теплового потоку та густини струму в анодній плямі електричної дуги.

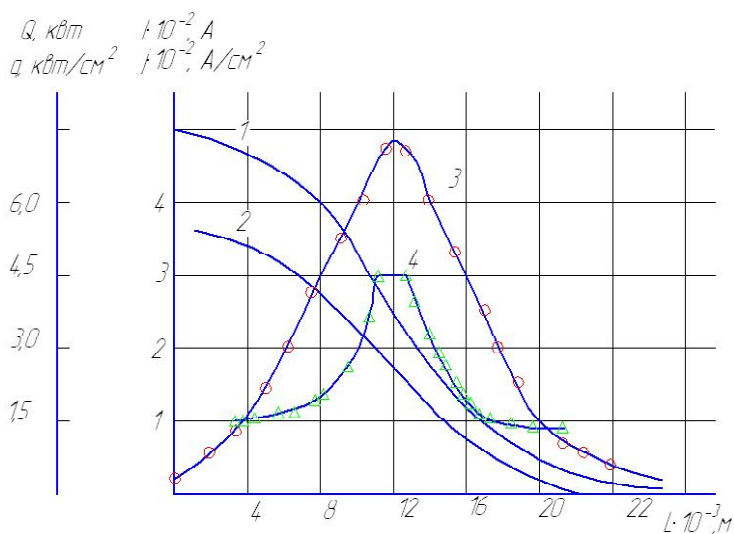


Рис. 2. Типові експериментальні криві теплового потоку (1) та електричного струму (2) в одну з секцій IQ-датчика і радіальне розподілення питомого теплового потоку (3) та густини струму (4) в анодній плямі електричної дуги

Результати, отримані при таких умовах протікання процесу: діаметр вихідного сопла плазмотрона 7 мм, масова витрата аргону 0,6 г/с, діаметр вольфрамового катода 5 мм, відстань зрізу сопла плазмотрона – поверхня IQ-датчика – 9 мм, швидкість переміщення плазмотрона відносно розділу секцій – 0,6 мм/с, струм та напруга – 360 А і 42 В відповідно до рис. 2 видно, що електричний струм та тепловий потік у секцію IQ-датчика збільшуються монотонно і досягають стаціонарних значень. Математична обробка експериментальних кривих зводиться до диференціювання та чисельного розв'язку інтегрального рівняння Абеля. Методика перерахунку експериментальних кривих та аналіз похибки при числовому розв'язку цього рівняння приведено в роботі [8].

Висновки

1. Розроблена конструкція IQ-датчика, який придатний для багаторазових вимірювань розподілу питомого стаціонарного теплового потоку та густини струму в плямі потужних електричних дуг.
2. Експериментально доведено, що електричний струм та тепловий потік у секцію IQ-датчика збільшуються монотонно і досягають стаціонарних значень.
3. З отриманих експериментальних даних видно, що інтегральний тепловий потік через опорну пляму дуги IQ-датчика значно перевищує верхню межу вимірювань теплових потоків датчиками відомих конструкцій.

Список літератури

1. Николаев А. В. Состояние и перспективы развития плазменно-дуговых технологических аппаратов / Николаев А. В. // Физ. и хим. обраб. материалов, 1975. – 5 с.
2. Гаврюшенко Б. С. Исследование электродов плазмотронов / Гаврюшенко Б. С., Пустогаров А. В. // Сб. «Приэлектродные процессы и эрозия электродов плазмотронов». – Новосибирск : Наука, 1977 – 85 с.
3. Жуков М. Ф. Эрозия электродов / Жуков М. Ф., Аньшаков А. С., Дандарон Н. Б. // Сб. «Приэлектродные процессы и эрозия электродов плазмотронов». – Новосибирск : Наука, 1977 – 123 с.
4. Обработка резанием труднообрабатываемых материалов с нагревом / [Строшков А. Н., Теслер Ш. Л., Шабашов С. П., Элинсон Р. С.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 20 с.
5. Плазменная интенсификация процесса резания металлов / [Кравченко С.С., Элькин В.С., Урицкий М.Л. и др.]. // Краткие тезисы докл. 8-й Всесоюз. Научно-производственной конф. по электрофизическим и электрохимическим методам обработки. – Ленинград : НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова. – 1977. – 26 с.
6. Шоек П. А. Исследование баланса энергии на аноде сильноточных дуг, горящих в атмосфере аргона / Шоек П. А. // Сб. «Современные методы теплообмена». – М.-Л. : Энергия, 1986. – 110 с.
7. Гордов А. Н. Основы температурных измерений / Гордов А. Н. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
8. Alvarez R. An Abel inversion method for radially resolved measurements in the axial injection torch / Alvarez R., Rodero A., Quintero M.C. // Spectrochimica Acta, Part B. – 2002. – Vol. 57. – P. 1665–1680.
9. Долматов А. В., Гуляев П. Ю., Бороненко М. П. Диагностика распределения частиц по температурам в технологии плазменного напыления / Долматов А. В., Гуляев П. Ю., Бороненко М. П. // Ползуновский альманах. – 2010. – № 2. – С. 71–73.

Одержано 21.12.2015

© Д-р техн. наук С. П. Поляков, І. І. Фенько, А. В. Йовченко

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

Polyakov S., Fenko I., Yovchenko A. IQ-sensor for measurement of the specific thermal flow and current density in an electric arc spots