

УДК 537.52:533.9.082.5:537.872

Веклич А.М., к.ф.-м.н., доц.,
Борецький В.Ф., к.ф.-м.н., асист.,
Лебідь А.В., аспірант,
Бондаренко Я.В., студ.,
Фесенко С.О., аспірант

Дослідження плазми електродугового розряду між композитними Cu–C електродами. Частина I: Визначення температури

Дана робота присвячена дослідженню плазми електродугового розряду в повітрі між композитними Cu–C електродами. Методом оптичної емісійної спектроскопії отримано радіальний розподіл температури плазми дугового розряду силою струму 3.5 А у припущенні локальної термодинамічної рівноваги.

Ключові слова: плазма електродугового розряду, композитні Cu–C електроди, радіальний розподіл температури, енергія іонізації.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т. Глушкова 4г, e-mail: puluu@yandex.ru

Статтю представив д.ф.-м.н. Анісімов І.О.

Вступ

Інтерес до досліджень плазми дугового розряду між плавкими електродами визначається широким колом застосувань такого розряду в сучасних технологіях (зварювання, плазмотронне розпорошення та нанесення матеріалів, тощо). Крім того, окремою задачею для розробників новітніх матеріалів з наперед визначеними властивостями є оптимізація компонентного складу електродів комутуючих пристроїв електротехнічної галузі та енергетики. Саме через цю обставину нагальною є необхідність дослідити взаємозв'язок параметрів самої плазми і складу електродів та їх електроерозійних властивостей. На залізниці для живлення електропотягів використовують мідний провід та ковзаючий контакт. У такій системі для суттєвого підвищення рентабельності цього виду транспорту важливо збільшити ресурс (термін придатності) як мідного проводу, так і, власне, контакту [6]. Однією з основних причин пошкодження контактної пари є ерозія,

Veklich A.N., Ph. D., Associate Professor,
Boretskij V.F., Ph.D., Assistant Professor,
Lebid A.V., post grad. stud.,
Bondarenko Ya.V., stud.,
Fesenko S.O., post grad. stud.

Investigation of electric arc plasma between composite Cu–C electrodes. Part I: Temperature measurement

Present paper deals with investigations of electric arc discharge plasma in air between Cu–C composite electrodes. The radial profiles of temperature in discharge column at arc current 3.5 A were obtained by optical emission spectroscopy in the assumption of local thermodynamic equilibrium.

Key Words: plasma of electric arc discharge, composite Cu–C electrodes, radial profiles of temperature, ionization energy.

Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03680, Kyiv, Glushkova st., 4g, e-mail: puluu@yandex.ru

зумовлена дією електричної дуги, яка періодично виникає між контактами.

Як альтернативні матеріали для контактної пари рухомого складу (електропотягів, зокрема) залізничного транспорту пропонується використати композити на основі вуглецю з домішками міді [1]. Склад цих композитів визначається, як правило експериментальним шляхом на основі емпіричного досвіду. Властивості власне багатокомпонентної плазми, яка виникає між контактним провідником і пантографом, та взаємозв'язок її параметрів зі станом поверхні контактів, а, отже, і їх ерозійних властивостей, ще недостатньо вивчені. Тому виконання комплексу спектроскопічних досліджень плазми дугового розряду між такими електродами є актуальною задачею.

Отже, метою даної роботи є визначення просторового розподілу температури плазми електродугового розряду у повітрі між композитними Cu–C електродами, яка імітує

роботу реальної контактної пари електрорухомого транспорту.

Методика вимірювань та результати

Схема експериментальної установки зображена на рис.1 [2]. Електродуговий розряд ініціювався між торцевими поверхнями неохолоджуваних вертикально розташованих електродів циліндричної форми діаметром 6 мм. Міжелектродна відстань – 8 мм. Для дослідження плазми методами оптичної емісійної спектроскопії був використаний спектрограф з горизонтальним розташуванням вхідної щілини.

Центральний переріз міжелектродного проміжку електричної дуги фокусувався за допомогою конденсора на вхідну щілину спектрографа з дифракційною ґраткою 600 шт/мм. Спектр випромінювання дугового розряду реєструється ПЗЗ-камерою Nikon D3100. Такий спосіб організації оптичної схеми забезпечує як спектральну, так і просторову роздільну здатність.

В експериментальних дослідженнях використовувались композитні Cu-C електроди [3], вміст міді в яких складав 20%. Струм дуги становив 3,5 А.

На рис. 2 зображений спектр випромінювання плазми електродугового розряду між плавкими композитними Cu-C електродними (інтенсивність випромінювання проінтегрована вздовж осевого променя у середньому перерізі міжелектродного проміжку). Для вимірювання довжин хвиль у даному спектрі використовували спеціально розроблений [2] програмний інтерфейс (рис. 3). З отриманого спектру для подальшої діагностики плазми було обрано спектральні лінії атома міді: 510,5; 515,3; 521,8; 570,0 та 578,2 нм [7]. Спостережувані інтенсивності кожної з них в різних просторових точках вздовж радіуса дуги визначали шляхом інтегрування в межах контуру лінії. Значення локальних інтенсивностей отримані із спостережуваних за допомогою перетворення Абеля [4].

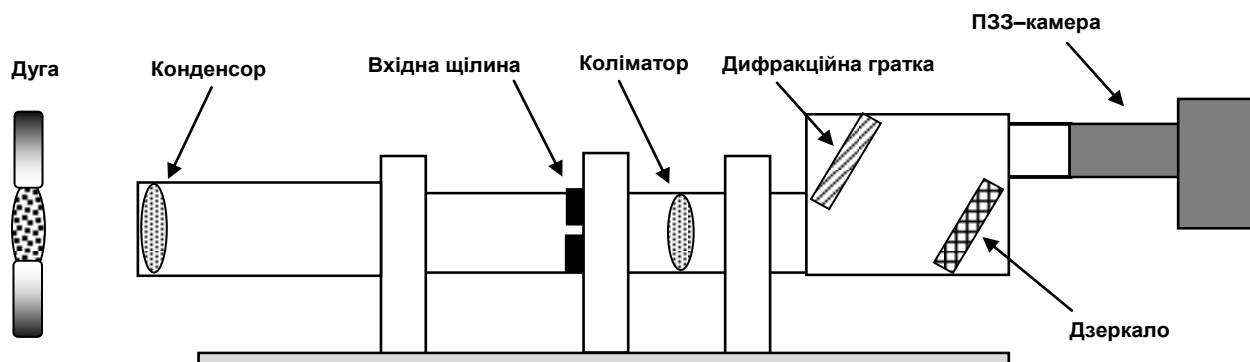


Рис.1 Схема експериментальної установки для дослідження плазми електродугового розряду

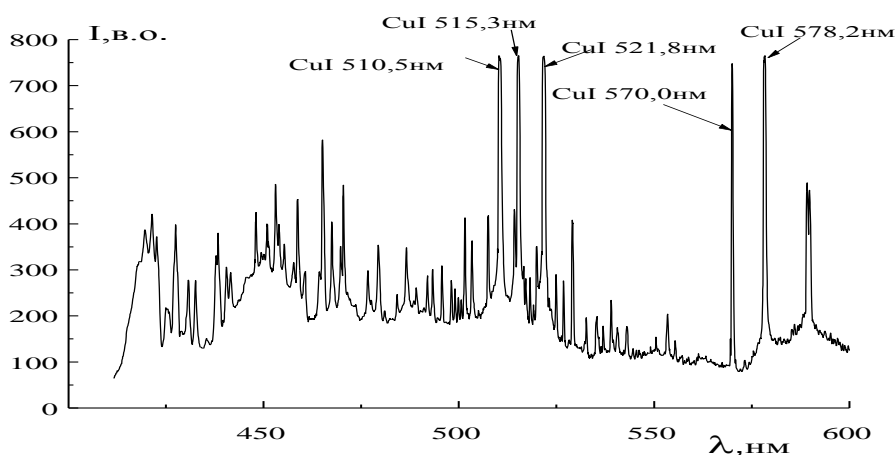


Рис.2 Спектр випромінювання плазми між композитними Cu-C електродними

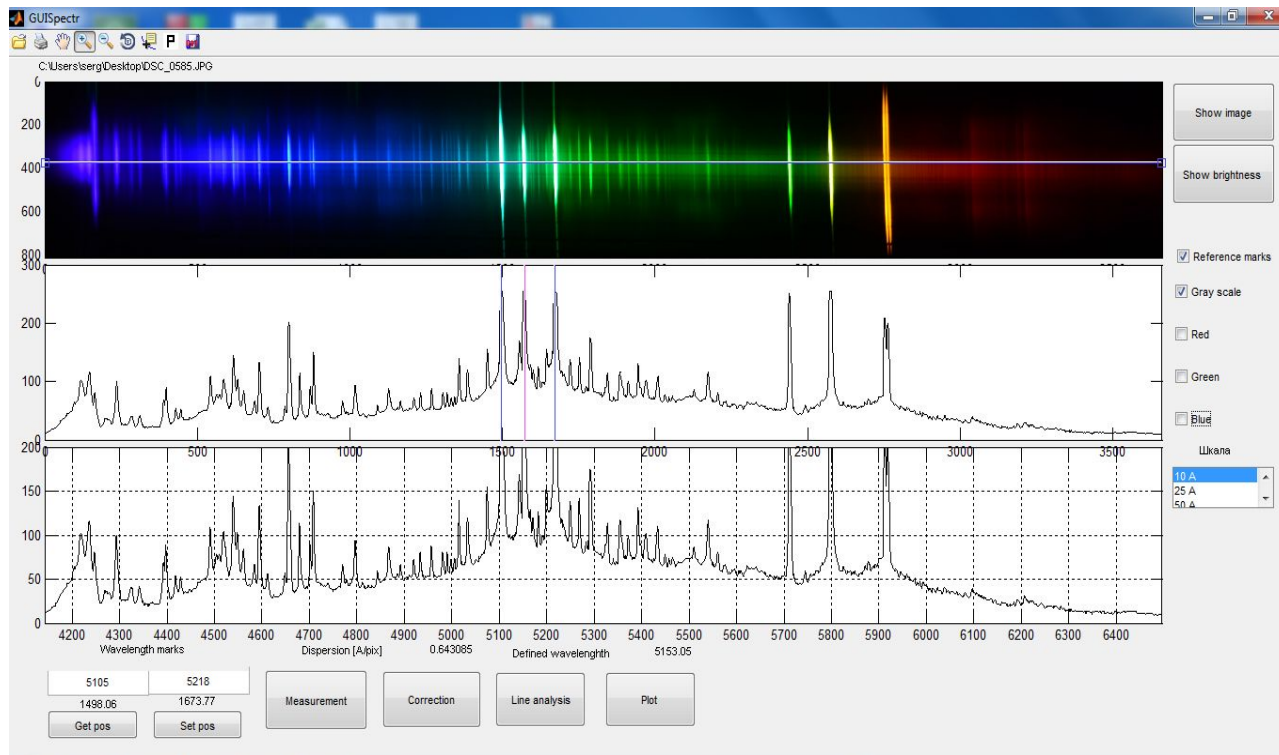


Рис.3 Програмний інтерфейс для розшифрування спектру

Для отримання температури в різних просторових точках вздовж радіусу каналу дуги будували діаграми Больцмана. При побудові враховували спектральну чутливість установки з використанням еталонного джерела випромінювання. При визначенні температури використовували спектроскопічні константи з роботи [7].

Радіальний розподіл температури плазми електродугового розряду між Cu–C електродами показано на рис. 4. На цьому ж рисунку для порівняння наведено розподіл температури плазми у дузі між мідними електродами з роботи [5] у такому ж режимі роботи розряду. Як випливає з цього рисунку радіальні профілі температури в межах похибки узгоджуються між собою.

Таким чином, на основі порівняння температур, опосередковано, можна зробити висновки щодо електроерозійних властивостей запропонованих композитних матеріалів.

Проте, оцінка ерозії електродного матеріалу потребує більш широкого комплексу як спектроскопічних, так і металографічних досліджень (як, наприклад [8,9,10]).

Крім того, для об'єктивної оцінки ерозійних властивостей досліджуваних електродів є доцільним додатково в оптичній емісійній спектроскопії застосувати спектральні лінії

карбону та прямі методики визначення концентрації парів компонентів електродного матеріалу у розрядному проміжку.

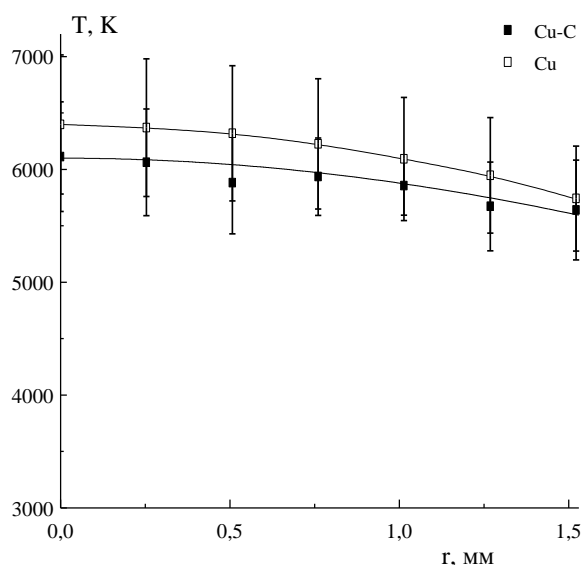


Рис.4 Радіальний розподіл температури плазми між композитними Cu–C та мідними [5] електродами

Обговорення результатів

Як було сказано вище, з аналізу рис.2 випливає, що температури плазми розряду між мідними та композитними Cu–C електродами

майже однакові. Це досить цікавий результат, якщо врахувати, що масова частка міді в композитних електродах складає лише 20%. Даний експериментальний факт можна пояснити тим, що енергії іонізації значно відрізняються: для міді – 7,72 еВ, а для вуглецю – 11,25 еВ. Таким чином, попри технологічні переваги та значний вміст вуглецю у складі композитних електродів, параметри плазми (температура), все ж таки, визначаються мідною компонентою.

Висновки

Методами оптичної емісійної спектроскопії плазми, у припущенні локальної термодинамічної рівноваги, досліджено вплив мідної компоненти у композитних Cu-C електродах на параметри електродугової плазми.

Аналіз поведінки радіальних профілів температури плазми між композитними Cu-C та мідними електродами показує, що мідь, незважаючи на її порівняно незначний вміст у складі електродів, є основним елементом, який впливає на параметри плазми.

Список використаних джерел

1. *Berent V.Ya.* Improvement of performance of current collectors on the carbon base / V.Ya. Berent, S.A. Gnezdilov // Friction and lubrication of machinery. – 2009. – **2**. – P. 18–23 (in Russian).
2. *Veklich A.* Technique of electric arc discharge plasma diagnostic: peculiarities of registration and treatment of spectra / A. Veklich, A. Lebid // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. – Series: Radiophysics & Electronics. – 2012. – **18**. – P.6 – 9.
3. *Berent V.Ya.* Enhancement of current collectors on the carbon base of electric trains / V.Ya. Berent, S.A. Gnezdilov // Friction and lubrication of machinery. – 2008. – **8**. – P. 9–15 (in Russian).
4. *Bockasten K.* Transformation of Observed Radiances into Radial Distribution of the Emission of a Plasma / K. Bockasten // Journal of the optical society of America. – 1961. – **51**. – No 9. – P. 943-947.
5. *Boretskij V.* Non-equilibrium plasma properties of electric arc discharge in air between copper electrodes / V. Boretskij, A. Veklich, Y. Cressault, A. Gleizes, Ph. Teulet // Problems of Atomic Science and Technology. – Series: Plasma Physics. – 2012. – **18**. – No 6. – P. 181-183.
6. *Miedzinski B.* Dynamics of sliding contacts in mine slow-speed railway transportation / B. Miedzinski, W. Dzierzanowski, J. Wandzio, N. Grechanyuk, V.N. Shoffa // Electrical contacts and electrodes. – Kyiv: “Frantsevich Institute for Problems of Materials Science”. – 2012. – P. 63-69.
7. *Babich I.L.* Spectroscopy of electric arc plasma between composite electrodes Ag–CuO / I.L. Babich, V.F. Boretskij, A.N. Veklich, A.I. Ivanisik, R.V. Semenyshyn, L.O. Kryachko, M.Ye. Golovkova // Electrical contacts and electrodes. – Kyiv: “Frantsevich Institute for Problems of Materials Science”. – 2010. – P. 82-115 (in Ukrainian).
8. *Minakova R.V.* Secondary structure of working layer of composite materials and their functional properties / R.V. Minakova, Ye.V. Chomehko, G.Ye. Kopulova, M.Ye. Golovkova, A.N. Veklich, P.V. Soroka // Electrical contacts and electrodes. – Kyiv: “Frantsevich Institute for Problems of Materials Science”. – 2012. – P. 38-47 (in Russian).
9. *Babich I.L.* Spectroscopy of electric arc plasma between composite electrodes Ag – SnO₂ – ZnO / I.L. Babich, V.F. Boretskij, A.N. Veklich, L.O. Kryachko, A.V. Lebid, R.V. Semenyshyn // Electrical contacts and electrodes. – Kyiv: “Frantsevich Institute for Problems of Materials Science”. – 2012. – P. 81-90 (in Ukrainian).
10. *Babich I.L.* Investigations of plasma of electric arc discharge between composite electrodes on cooper base / I.L. Babich, V.F. Boretskij, A.N. Veklich, M.I. Grechanuk, A.V. Lebid, R.V. Minakova, P.V. Soroka // Electrical contacts and electrodes. – Kyiv: “Frantsevich Institute for Problems of Materials Science”. – 2012. – P. 91-100 (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 18.02.13