

# ДІАГНОСТИКА ВОДНЕВО-КИСНЕВО ПЛАЗМОВОГО СТРУМЕНЯ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ГАЗОТЕРМІЧНОМУ НАПИЛЕННІ

Ю.С. Попіль<sup>1</sup>, В.М. Корж<sup>1</sup>, В.Я. Черняк<sup>2</sup>, Є.А. Захаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37. E-mail: Popill\_kpi@ukr.net

<sup>2</sup>Київський національний університет ім. Т. Шевченка. 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 4, г.

Розглянуто питання отримання низькотемпературного плазмового струменя, де плазмоутворюючим газом виступає воднево-киснева суміш, вироблена електролізно-водяними генераторами. Ціль роботи в визначенні розмірів активної зони струменя, по довжині якого відбувається плавлення та нагрівання частки, та керування нею шляхом зміни характеру течії. Шляхом діагностування струменя плазми було визначено розподіл температури, швидкості, ефективної теплової потужності залежно від характеру витоку струменя. Визначено, що розміри активної зони плазмового струменя в 1,4 рази можуть бути більшими при ламінарному характеру течії, ніж при турбулентному. Максимальна температура знаходиться в дуговій частині плазмотрона і становить  $8400 \pm 1000$  К, в струмені воднево-кисневої плазми середньомасова температура  $5000 \pm 500$  К. Враховуючи результати діагностування, можна вибрати матеріал для плазмового напилення та дистанцію. Бібліогр. 19, табл. 1, рис. 2.

*Ключові слова:* воднево-кисневий плазмовий струмінь, ламінарний, турбулентний характер витікання, розміри активної зони струменя, плазмове напилення

Застосування високоентальпійних газів і сумішей як плазмоутворюючого середовища в технологіях газотермічного нанесення покриття, є одним з сучасних наукових напрямків. Відомо, що для отримання покриттів з високими якісними показниками, які отримуються газотермічними способами нанесення, перевага надається струменям з високими кінетичними та тепловими параметрами, оскільки збільшення цих параметрів приводить до більш інтенсивного теплообміну між плазмовим струменем та напилюваними частинками.

Можливість управління потужністю і питомими енергетичними характеристиками плазмотрона за рахунок зміни складу плазмоутворюючого газу дають можливість прогнозувати характеристики і порівняльні розміри струменів плазми, отриманих з різних плазмоутворюючих середовищ. В якості визначального фактора ефективності застосування такого струменя можуть бути обрані розміри активної зони плазмового струменя, в якій можливий нагрів, плавлення та прискорення частинок матеріалу при газотермічному нанесенні покриття.

Таким джерелом може бути плазмовий струмінь з використанням в якості плазмоутворюючого середовища воднево-кисневої суміші (ВКС), виробленої електролізно-водяними генераторами. Отримання плазмоутворюючого газу безпосередньо на робочому місці робить мобільним технологічний процес газотермічної обробки ма-

теріалів, відсутність балонного і транспортно-го господарства, приміщень для зберігання, знижує собівартість. Крім того, в екологічному плані, для здоров'я людини, така суміш при факельному спалюванні і генерації плазми зменшує кількість шкідливих речовин.

Одним з компонентів ВКС є водень, який при іонізації має високі теплофізичні властивості і є високоефективним перетворювачем електричної енергії в теплову.

Аналіз технічної літератури показав, що використання воднево-кисневої плазми в процесах газотермічної обробки матеріалів практично відсутнє, а застосування водню, від 10 до 30 % як плазмоутворюючої добавки в плазмоутворюючих газах є застарілою інформацією, більш сучасною є використання паро-водяної плазми [1–4].

Дисоціація водню починається при температурі 2000 К, 90 % відбувається при температурі 4700 К і повністю завершується при температурі 6000 К. У цьому температурному інтервалі водень має надзвичайно високу теплопровідність [5].

Температура і ентальпія водневої плазми при стандартних умовах представлено в таблиці, в залежності від зміни фізичних умов ці показники можуть істотно зростати. Під час електродугового нагрівання воднево-кисневої суміші як плазмоутворюючий газ може розкладатися на 23 нейтральних і заряджених компонент [6], для спрощення визначення теплофізичних властивостей можна скористатися такими дисоційованими продуктами:  $H_2$ ,

H, O<sub>2</sub>, O, OH, H<sub>2</sub>O, + H. Теоретично залежність ентальпії від температури плазми різних газів можна визначити, використовуючи довідкову літературу [7, 8]. На практиці ці фізичні характеристики та інші, можуть істотно відрізнятися, враховуючи зміни тиску, витрат, складу газової суміші.

Застосування двоатомних газів приводить до більш різкого збільшення напруги дуги (таблиця). У цьому випадку енергія дуги витрачається також для дисоціації молекул газу на атоми. Значно підвищується напруга дуги при використанні газу, який має велику теплоємність, теплопровідність.

Особливістю ВКС є те, що співвідношення між об'ємом кисню VO<sub>2</sub> і водню VH<sub>2</sub> в суміші, отриманої електролітичним розкладанням води 2H<sub>2</sub>O = 2H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, постійне і рівновесне  $\beta = VO_2/VH_2 = 0,5$ . При такому співвідношенні компонентів в суміші плазмовий струмінь має окислювальний потенціал.

Позитивним фактором може бути те, що присутність у водні 2:1 об'єму кисню підвищує кінетичні характеристики струменя за рахунок збільшення щільності плазмоутворюючої суміші.

Разом з тим кисень як плазмоутворюючий газ має менший потенціал іонізації ніж азот, тому за рахунок нестачі електронів кисневий атом буде прагнути компенсувати його електронною парою зв'язку з воднем. Як наслідок, ВКС може мати менший потенціал іонізації і підвищену ступінь дисоціації, ніж водень, відповідно і напруга дуги буде менших значень, вказаних в таблиці.

Вибір суміші в якості плазмоутворюючого газового середовища визначається можливістю її використання в існуючому плазмотроні та надійною роботою анодного і катодного вузлів даного плазмотрона, а також технологією процесу.

Ефективність використання залежить від конструкції плазмотрона, що генерує плазму з плазмоутворюючої суміші. Основні напрямки удосконалення типових конструкцій плазмотронів спрямовані на модифікацію їх окремих вузлів і елементів для підвищення їх коефіцієнта корисної дії [11].

З огляду на те, що ВКС є вибухонебезпечною, високі вимоги з безпеки повинні забезпечуватись при розробці обладнання і технологічних процесів. Недостатність інформації та досліджень про теплофізичні характеристики низькотемпературної воднево-кисневої плазми і оцінки їх впливу на

газотермічні процеси стримує розвиток і впровадження ВКС у виробництво.

Метою роботи було генерування низькотемпературної воднево-кисневої плазми атмосферного тиску, отриманої електродуговим нагріванням та діагностування теплофізичних властивостей струменя, стосовно застосування в плазмовому способі нанесення покриття.

Використовувалося таке обладнання: електролізно-водяний генератор монополярного типу А1803УХЛЧ з максимальною продуктивністю по виробленню ВКС – 1,6 м<sup>3</sup>/г; джерело живлення інверторного типу для плазмового різання СUT – 40, з напругою холостого ходу 300 В і максимальним струмом 40 А [12]. За основу конструкції плазмотрона був узятий катодний вузол мікроплазмового пальника ОБ-1160А, який використовується для мікроплазмового зварювання, установка МПУ-4 [13]. Подача газу в сопло плазмотрона здійснювалась аксіально.

Термохімічний катод являє собою водоохолоджуваний мідний електрод, в якому знаходиться гафнієва вставка. Геометрія сопла плазмотрона мала звужуючу форму, вихідний діаметр становив 3 мм. Безпечна робота, ініціювання та отримання воднево-кисневої плазми здійснювалося за допомогою пускових газових сумішей, таких, як повітря. Пуск і отримання плазмового струменя відбувалося на повітряній суміші, в яку вводилася ВКС, поступово повітряна суміш перекривалася і утворювався воднево-кисневий струмінь. При припиненні роботи дії відбуваються в зворотному порядку. При стабільній роботі плазмотрона на ВКС робоча напруга становила 100 В.

**Методика досліджень і результати.** Геометричні розміри плазмового струменя фіксувалися, при цьому перехідні межі від ламінарного до турбулентного характеру течії визначалися максимальною і мінімальною довжиною плазмового струменя, з контролем витрат суміші. Витрати газової суміші становили при ламінарному характері течії 0,4 м<sup>3</sup>/г і турбулентному більше 0,6 м<sup>3</sup>/г, при тиску 0,08...0,1 МПа. Як показали дослідження геометрії воднево-кисневого плазмового струменя з ламінарним характером течії, при витоку в оточуючу атмосферу струмінь поводить як воднево-кисневе полум'я, кут розкриття струменя невеликий і може становити 2...5°, а довжина більше 200 мм (рис. 1, б). При збільшенні витрат

Дані про плазмоутворення в різних газах [9, 10]

| Газ            | Енергія, що підводиться до плазмотрону, кВт | Температура плазми, °С | Теплоємність плазми, ккал/кг | Напруга на дузі, В | Коефіцієнт використання енергії на нагрів газів, % |
|----------------|---|------------------------|------------------------------|--------------------|--|
| Ar             | 48  | 14 000                 | 4 670                        | 40                 | 40   |
| He             | 50  | 20 000                 | 51 100                       | 47                 | 48   |
| N <sub>2</sub> | 60  | 7 300                  | 9 950                        | 65                 | 60   |
| H <sub>2</sub> | 62  | 5 093                  | 76 600                       | 120                | 80   |

суміші і переходу струменя в турбулентний характер течії, кут розкриття збільшується і факел плазми скорочується до 70 мм. Як видно з рис. 1, а (через червоний світлофільтр), будова плазмового факела нагадує газове полум'я, де видно ядро і приядерну зону.

Для визначення ефективної теплової потужності плазмових струменів різних характерів течії використовувалася експериментальна установка з водяним калориметром. Кількість теплоти, яке виділяє плазмовий струмінь, фіксували при нагріванні мідної пластини. При цьому визначались час нагрівання, температура рідини в калориметрі, вимірювання здійснювалось спеціальним термометром Бекмана, розрахунки проводилися за стандартною методикою [14].

Як показали дослідження, ефективна теплова потужність при витратах ВКС 0,4 м<sup>3</sup>/г, що відповідає ламінарному характеру течії, становила 30 мДж, при прикладеній електричній потужності до плазмотрону 4 кВт. При збуренні потоку і переході в турбулентний стан витоку, з витратами суміші 0,6...1,0 м<sup>3</sup>/г, ефективна теплова потужність складала 54...60 мДж.

Гідродинамічним методом визначали розподіл швидкості по довжині струменя з використанням зонда на основі трубки Піто-Прандтля, діаметром 1,5 мм і внутрішніми отворами 0,5 мм. Для розрахунку швидкості використовували відоме з технічної термодинаміки рівняння, основане на рівнянні Бернуллі, яке враховує напірний тиск і температуру плазми на ділянці струменя [15].

Для дослідження розподілу температур по довжині плазмового струменя, струмінь поділявся на три інтервали ефективних температур. Використовувалися три способи вимірювання: в інтервалі температур 8000...4000 К – спектральний, 3300...2200 К – пірометричний, 2000...500 К – термопарний. Для визначення температури в першому інтервалі за складовими компонентами плазмового струменя було застосовано безконтактний метод емісійної спектроскопії. Для дослі-

дження другого інтервалу температур застосовувався оптичний пірометр ЛОП-78, по температурі нагрітого тіла, де в якості тіла використовувався вольфрамовий стрижень діаметром 3 мм, абсолютна температура розраховувалася за стандартною методикою [16]. В третьому інтервалі застосовували вольфрамо-ренієву термопару ВР-5/20 діаметром 0,5 мм, для запобігання окислення і вигорання, термопара розміщувалася в захисній оболонці з кварцевого скла. Термопара тарувалась, похибка термопар становила 1 % від вимірювання електрорушійної сили, а допустима похибка вимірювального приладу 0,2 %. Для визначення температури компонентів плазмового струменя був застосований безконтактний метод емісійної спектроскопії. Досліджувалися температури і концентрації компонентів плазмового струменя по її довжині ( $z$ ), при відхиленні від центральної осі ( $h$ ), з урахуванням того, що факел є осесиметричний.

Емісійні спектри плазмового факела реєструвалися за допомогою спектрометра на базі CCD-лінійки Solar III (S-150-2-3648 USB), яка працює в діапазоні довжин хвиль 200...1080 нм і має трикутну апаратну функцію, з напівшириною 0,2 нм, в діапазоні довжин хвиль 200...650 та 0,3 нм в діапазоні 650...1080 нм. Випромінювання реєструвалося по променям зору, перпендикулярним осі плазмового факела [17, 18]. На рис. 2 наведено типові спектри випромінювання плазми в разі використання ВКС, при  $z = 15$  мм,  $h = 5$  мм. Спектри є багатокомпонентними, містять компоненти матеріалу електродів, а саме, атомарні лінії міді, компоненти атмосфери, в яку витікає струмінь, і робочого газу, мультиплет кисню і молекулярні смуги OH, NO, O<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>.

Значення температур населеності збудженості електронних T<sub>e</sub><sup>\*</sup> рівнів визначалися з використанням програмного коду Spec Air [19].

Розрахунки і експерименти показали, що температури визначені по міді T<sub>e</sub><sup>\*</sup> (Cu) = 6700 ± ± 1000 К. Температура атомарного кисню на осі плазмового факела вдвічі більше в порівнян-

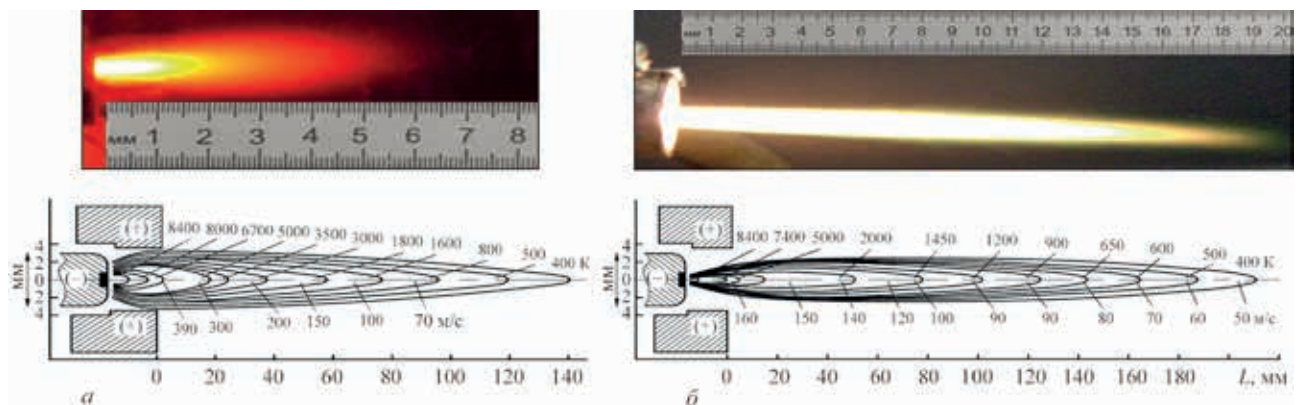


Рис. 1. Розподіл температури і швидкості по довжині плазмового струменя з різними характерами течії: а – турбулентний  $V = 1$  м<sup>3</sup>/г; б – ламінарний  $V = 0,4$  м<sup>3</sup>/г

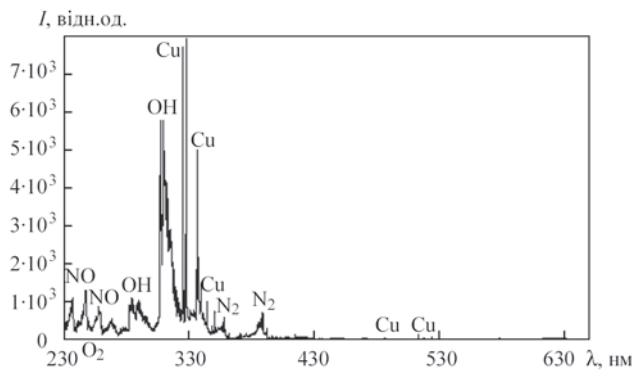


Рис. 2. Спектри випромінювання плазмового факела при  $z = 15$  мм,  $h = 5$  мм в діапазонах довжин хвиль 200...650 нм

ні з випадковим відхиленням від осі, тобто при  $h = 0$  мм  $T_c^*(O) = 8400 \pm 1000$  К, а при  $h = 5$  мм  $T_c^*(O) = 4100 \pm 1000$  К. Температура заселеності збуджених коливальних і обертальних рівнів гідроксиду в межах похибки однакова і дорівнює  $T_r^*(OH) = T_v^*(OH) = 5000 \pm 500$  К. Температури заселеності збудженості електронних  $T_c^*$  рівнів кисню, визначені методом діаграм Больцма, мають більш низьке значення в порівнянні з використанням програмного коду Spec Air, проте ці відмінності не перевищують значення похибки. Температури, які були визначені по молекулі (OH) і по атомарним компонентам (O та Cu) відрізняються, це свідчить, що плазма неізотермічна. Причиною різниці температур може служити нерівномірність просторового розподілу випромінюючих частинок і екзотермічних процесів в факелі. Як показало оцінювання температур заселеності збуджених електронних рівнів по довжині воднево-кисневого плазмового струменя, за середньомасову температуру струменя можна взяти значення молекули OH, яка представляє  $5000 \pm 500$  К, а за максимальну атомарного O =  $8400 \pm 1000$  К, які збігаються з літературними даними.

Дослідження в температурному інтервалі 3300...900 К показало, що розподіл багато в чому залежить від характеру течії, і при ламінарному характері витікання (рис. 1, б) ця область може бути більшої протяжності в 1,4 рази по відношенню до турбулентного (рис. 1, а). При турбулізації потоку тенденція змінюється, більш високотемпературний інтервал 8000...4000 К більший при турбулентному характері витікання струменя.

Максимальні значення швидкості плазмового струменя підвищуються в разі збільшених витрат суміші при постійному діаметрі сопла, що характерно для турбулентного характеру витікання, але при зменшенні довжини факела скорочується і інтервал ефективних швидкостей. При зниженні витрат суміші і переході в ламінарний характер течії максимальні значення швидкостей нижче, але протяжність інтервалу ефективних швидкостей більше.

З огляду на ефективні температурні і швидкісні інтервали плазмового струменя з використанням в якості плазмоутворюючого газу ВКС, можна встановити розміри активної зони струменя, в якій можливе плавлення і достатня швидкість частинок, для визначення одного з важливих технологічних параметрів процесу газотермічного нанесення покриття, дистанції напилення, для отримання якісного покриття. Такою дистанцією, для даних параметрів процесу, може бути 80 мм для турбулентного і 140 мм для ламінарного характеру витікання струменя.

Відповідно швидкісні показники струменю можна істотно підвищувати за рахунок збільшення витрат плазмоутворюючої суміші, вихідних діаметрів та профілювання геометричних розмірів соплової частини плазмотронів, при цьому можуть змінюватися і довжини як плазмового струменя, так і розміри активної зони, але закономірність розподілення температури в струмені воднево-кисневої плазми може відповідати результатам наших досліджень.

Для застосування плазмового способу напилення функціональних покриттів за допомогою ВКС як плазмоутворюючого газу, можна визначити наступний підхід. При ламінарному характері течії є можливість наносити покриття з металів та сплавів. При турбулентному більш ефективно напилювати жаростійкі, теплозахисні та інші покриття на основі оксидів, боридів та ін., з високою температурою плавлення.

## Висновки

1. Дистанція напилення при використанні ВКС в 1,4 рази може бути більше при ламінарному характері витікання струменя ніж при турбулентному. Кут розкриття струменя становить 2...5°, що дозволяє концентрувати щільність теплового потоку на виробі, яке обробляється, за рахунок зменшення плями нагріву.

2. Ефективна теплова потужність плазмового струменя при витратах ВКС 0,4 м³/г, що відповідає ламінарному характеру витікання струменя, становила 30 мДж, при поданій електричній потужності до плазмотрону 4 кВт. При турбулентному характеру течії плазмового потоку, з витратами суміші 0,6...1,0 м³/г становила 54...60 мДж.

3. Максимальна температура воднево-кисневої плазми має місце в дуговій частині плазмотрону та на зрізі сопла-анода 9...12 мм і становить  $8400 \pm 1000$  К, середньомасова температура воднево-кисневого плазмового струменя становить  $5000 \pm 500$  К.

4. Представлені результати можна використовувати при розробці технологічних процесів плаз-

мового способу нанесення покриття з використанням в якості плазмоутворюючого газу ВКС.

## Список літератури

1. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. (1975) *Специальные методы сварки*. Москва, Машиностроение.
2. Борисов Ю.С. (1987) *Газотермические покрытия из порошковых материалов*. Справочник. Киев, Наукова думка.
3. Корж В.М., Попиль Ю.С. (2010) *Обработка металлов водородно-кислородным пламенем*. Киев, Екотехнологія.
4. По данным компаний ООО «Мультиплаз» <http://www.multiplaz.ru/> ОАО «Элион», «Горыныч» (<https://as-pp.ru/gorynych>; <http://asprompt.ru/mppk-gorynych>)
5. Фролов В.В. (1954) *Физико-химические процессы в сварочной дуге*. Москва, Mashgiz.
6. Дудко Д.Я., Емец Ю.П., Репа И.И. (1981) Состав и электрофизические параметры водородно-кислородной плазмы. *Теплофизика высоких температур*, 19, 4, 697–701.
7. Даутов Г.Ю., Урюков Б.А. и др. (2004) *Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. Проблемы и перспективы*. Новосибирск, Наука, сс. 105–145.
8. Варгафтик Н.Б. (1963) *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*. Москва, Физматгиз.
9. (1959) Browning. Plasma – a substitute for the oxy – fuel flame. *Welding J.*, 9, 38.
10. Васильев К.В., Исаченко А.А. (1962) Об использовании плазменного нагрева в сварочных процессах. *Труды ВНИИАВТОГЕНА*, Вып. VIII.
11. Жуков М.Ф., Смоляков В.Я., Урюков Б.А. (1973) *Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны)*. Москва, Наука.
12. Корж В.М., Попиль Ю.С., Попиль Н.Ю., Москаленко Д.В. (2015) *Способ отримання воднево-кисневого плазмового струменя*; власник Нац. тех. ун-т України «КПІ». №U201513126; заявл .31.12.2015; опубл. 10.06.2016. Україна Пат. 107568 МПК Н05Н 1/26, В23К 10/02, В23К 101/00.
13. Патон Б.Е., Гвоздецкий В.С., Дудко Д.А. и др. (1979) *Микроплазменная сварка*. Киев, Наукова думка.
14. Рыкалин Н.Н. (1985) *Высокотемпературные технологические процессы*. Москва, Наука.
15. Абрамович Г.Н. (1969) *Прикладная газовая динамика*. Москва, Гл. ред. физ.-мат. литературы.
16. (1977) *Пирометер оптический ЛОП-72. Паспорт*. Харьков, Облграфиздат.
17. Laux, C.O., Spence, T.G., Kruger, C.H., Zare, R.N. (2003) Optical diagnostics of atmospheric pressure air plasma. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 12, 2, 125–138.
18. (1985) *Электронно-возбужденные молекулы в неравновесной плазме*. Труды ФИАН. Москва, Наука.

19. Pearse, R.W.B, Gaydon, A.G. (1976) *The identification of molecular spectra*. John Wiley&Sons, Inc., NewYor.

## References

1. Nikolaev, G.A., Olshansky, N.A. (1975) *Special methods of welding*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Borisov, Yu.S. (1987) *Thermal coatings from powder materials: Refer. book*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
3. Korzh, V.M., Popil, Yu.S. (2010) *Oxyhydrogen treatment of metals*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
4. *By data of Companies LLC Multiplaz* <http://www.multiplaz.ru/> OJSC Elion, Gorynych <https://as-pp.ru/gorynych>; <http://asprompt.ru/mppk-gorynych> [in Russian].
5. Frolov, V.V. (1954) *Physicochemical processes in welding arc*. Moscow, Mashgiz [in Russian].
6. Dudko, D.Ya., Emets, Yu.P., Repa, I.I. (1981) Composition and electrophysical parameters of oxyhydrogen plasma. *Teplofizika Vysokikh Temperatur*, 19, 4, 697–701 [in Russian].
7. Dautov, G.Yu., Uryukov, B.A. et al. (2004) *Generation of low-temperature plasma and plasma technologies. In: Problems and Prospects*. Novosibirsk, Nauka, 105–145 [in Russian].
8. Vargafitik, N.B. (1963) *Reference book on thermophysical properties of gases and fluids*. Moscow, Fizmatgiz [in Russian].
9. (1959) Browning. Plasma – a substitute for the oxy-fuel flame. *Welding J.*, 9, 38.
10. Vasiliev, K.V., Isachenko, A.A. (1961) On application of plasma heating in welding processes. *Trudy VNIIVAVTOGEN*, Issue 8 [in Russian].
11. Zhukov, M.F., Smolyakov, V.Ya., Uryukov, B.A. (1973) *Electric arc heaters of gas (plasmotrons)*. Moscow, Nauka [in Russian].
12. Korzh, V.M., Popil, Yu.S., Popil, N.Yu., Moskalenko, D.B. (2015) *Method of producing of oxyhydrogen plasma jet*. Ukraine Pat. 107568, fill. 31.12.2015; publ. 10.06.2016; Int. Cl. B23K 10/02, B23K 101/00 [in Ukrainian].
13. Paton, B.E., Gvozdetzky, V.S., Dudko, D.A. et al. (1979) *Microplasma welding*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
14. Rykalin, N.N. (1985) *High-temperature technological processes*. Moscow, Nauka [in Russian].
15. Abramovich, G.N. (1969) *Applied gas dynamics*. Moscow, Fiz-Mat. Literatura [in Russian].
16. (1977) *Optical pyrometer LOP-72: Certificate*. Kharkov, Oblgrafizdat [in Russian].
17. Laux, C.O., Spence, T.G., Kruger, C.H., Zare, R.N. (2003) Optical diagnostics of atmospheric pressure air plasma. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 12, 2, 125–138.
18. (1985) *Electron-excited molecules in nonequilibrium plasma*. *Trudy FIAN*. Moscow, Nauka [in Russian].
19. Pearse, R.W.B, Gaydon, A.G. (1976) *The identification of molecular spectra*. John Wiley & Sons, Inc., NewYork.

## DIAGNOSTICS OF HYDROGEN-OXYGEN PLASMA JET FOR APPLICATION IN GAS THERMAL SPRAYING

Yu.S. Popil<sup>1</sup>, V.M. Korzh<sup>1</sup>, V.Ya. Chernyak<sup>2</sup>, Ye.A. Zakharov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NTU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine. E-mail: Popill\_kpi@ukr.net

<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv. 64/13, Volodymyrska Str., 01601, Kyiv, Ukraine,

The issue of obtaining a low-temperature plasma jet, where the plasma-forming gas is a hydrogen-oxygen mixture produced by electrolysis-water generators, is considered. The aim of the work is to determine the size of the active zone of the jet, along the length of which the melting and heating of the particle takes place, and to control it by changing the nature of the flow. By diagnosing the plasma jet, the distribution of temperature, velocity, and effective thermal power depending on the nature of the jet leakage was determined. It was determined that the size of the active zone of the plasma jet is 1.4 times larger in the laminar nature of the flow than in the turbulent one. The maximum temperature is in the arc part of the plasmatron and is  $8400 \pm 1000$  K, in the jet of hydrogen-oxygen plasma the average temperature is  $5000 \pm 500$  K. Taking into account the results of the diagnostics, the material for plasma spraying and distance can be chosen. 19 Ref., 1 Tabl., 2 Fig.

*Keywords: hydrogen-oxygen plasma jet, laminar, turbulent nature of flow, sizes of active zone of the jet, plasma spraying*

Надійшла до редакції  
12.10.2020