

УДК 621.767

В.М. Пащенко*Національний технічний університет України «КПІ»***РОЗПОДІЛ СТРУМУ ТА ВТРАТ ТЕПЛА ЗА ДОВЖИНОЮ ВИХІДНОГО ЕЛЕКТРОДА У ПЛАЗМОТРОНАХ НА ПЛАЗМОУТВОРЮВАЛЬНИХ СУМІШАХ ПОВІТРЯ З ВУГЛЕВОДНЯМИ**

Розглянуті питання щодо шляхів підвищення енергетичних характеристик генераторів плазми на сумішах повітря з вуглеводнями. Досліджений розподіл струму та втрат вздовж дугового каналу в межах вихідного електрода для двоелектродної принципової схеми і схеми із міжелектродними вставками, проаналізовані отримані результати з точки зору оптимізації конструкції плазмотрона для підвищення його коефіцієнта корисної дії. Бібліогр. 4, рис. 6.

Ключові слова: плазмоутворювальні суміші повітря з вуглеводнями, плазмотрон, дуговий канал, міжелектродні вставки, теплові втрати, розподіл струму

В.Н. Пащенко*Национальный технический университет Украины «КПИ»***РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА И ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПО ДЛИНЕ ВЫХОДНОГО ЭЛЕКТРОДА В ПЛАЗМОТРОНАХ НА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЯХ ВОЗДУХА С УГЛЕВОДОДАМИ**

Рассмотрены вопросы повышения энергетических характеристик генераторов плазмы на смесях воздуха с углеводородными газами. Исследовано распределение тока и потерь тепла вдоль дугового канала в пределах выходного электрода для двухэлектродной принципиальной схемы и схемы с межэлектродными вставками, проанализированы полученные результаты с точки зрения оптимизации конструкции плазмотрона для повышения его коэффициента полезного действия. Библиогр. 4, рис. 6.

Ключевые слова: плазмообразующие смеси воздуха с углеводородами, плазмотрон, дуговой канал, межэлектродные вставки, тепловые потери, распределение тока

V.M. Pashchenko*National Technical University of Ukraine "KPI"***DISTRIBUTION OF CURRENT AND HEAT LOSS IN LENGTH OUTPUT ELECTRODES IN THE PLASMA TORCH THE PLASMA-FORMING MIXTURES ON AIR HYDROCARBONS**

The problems of improving the energy characteristics of plasma generators air mixtures with hydrocarbon gases by optimizing output electrode length are presented. There was studied the current distribution and heat losses along the arc channel within the two-electrode to the output electrode of the concept of the plasma torch with inter-electrode inserts schemes, as well as the process of restructuring of these distributions during the transition from a two-electrode circuit to circuit with inter-electrode insert. The essential difference between the nature of these distributions for these two schemes was established. There were researched effect of the composition of the plasma-forming mixture (the ratio between air and hydrocarbon gas) to the position of the maxima and current losses. The possibility of increasing the unit of the plasma generator power and expand its operation stable current range by enriching the plasma-forming mixture was shown. There were analyzed the results obtained in terms of optimizing the design of the plasma torch to improve its efficiency. Bibliography 4, Fig. 6.

Keywords: plasma air mixed with hydrocarbons, plasma torch, an arc channel, inter-electrode insert, heat losses, the current distribution

Ефективність процесів інженерії поверхні, які базуються на використанні плазмових середовищ, багато в чому залежать від енергетичних характеристик генераторів плазми, задіяних у технологічних процесах [1].

Енергетичні характеристики, зокрема коефіцієнт корисної дії, залежать від рівня втрат в елементи конструкції генератора плазми. Тенденція до підвищення одиничної потужності плазмотронів потребує мінімізації цього показника зі збереженням технологічних можливостей плазмотронів. Основну долю (приблизно 85...90 %) у загальному енергетичному балансі становлять втрати у вихідний електрод-анод [2]. Визначення оптимальної довжини вихідного електрода може бути дієвим заходом щодо обмеження непродуктивних втрат тепла в процесі генерації плазми.

Розподіл теплових втрат вздовж дугового каналу певною мірою пов'язаний із розподілом струму. Обидва розподіли суттєво залежать від принципової схеми використаного генератора плазми.

У разі застосування складних газових сумішей на розподіл згаданих параметрів впливає співвідношення між компонентами вихідної плазмоутворювальної суміші. Підвищення вмісту

вуглеводневого компонента збільшує загальну потужність генератора плазми (за умови сталих значень інших режимних та конструктивних параметрів), змінює діелектричні властивості пристінного шару газу, призводить до перебудови структури течії в дуговому каналі [3]. Все це впливає на процеси шунтування дуги і визначає розміри та положення зони шунтування в межах вихідного електрода.

Крім того, зміна характеру течії газового потоку, прискорена його турбулізація призводить до зміщення максимуму теплових втрат за довжиною електрода.

Результати дослідження розподілів струму та теплових втрат за довжиною дугового каналу повинні стати об'єктивною базою для оптимізації конструкції анодного вузла, яка передбачає встановлення мінімально необхідної довжини електрода та організацію охолодження теплонапружених ділянок у відповідності до інтенсивності локального тепловиділення.

Мінімально необхідна довжина вихідного каналу повинна бути такою, за якої виключається винос електричної дуги за межі електрода на всіх допустимих режимах роботи плазмотрона і яка забезпечує формування потоку плазми із заданим розподілом параметрів у поперечному перерізі струменя.

На рис. 1 показаний загальна схема установки, на якій досліджувався вплив режимних параметрів роботи на розподіл струму та втрат енергії в межах дугового каналу. Установка створена на базі плазмотрона з секціонованим вихідним електродом (анодом).

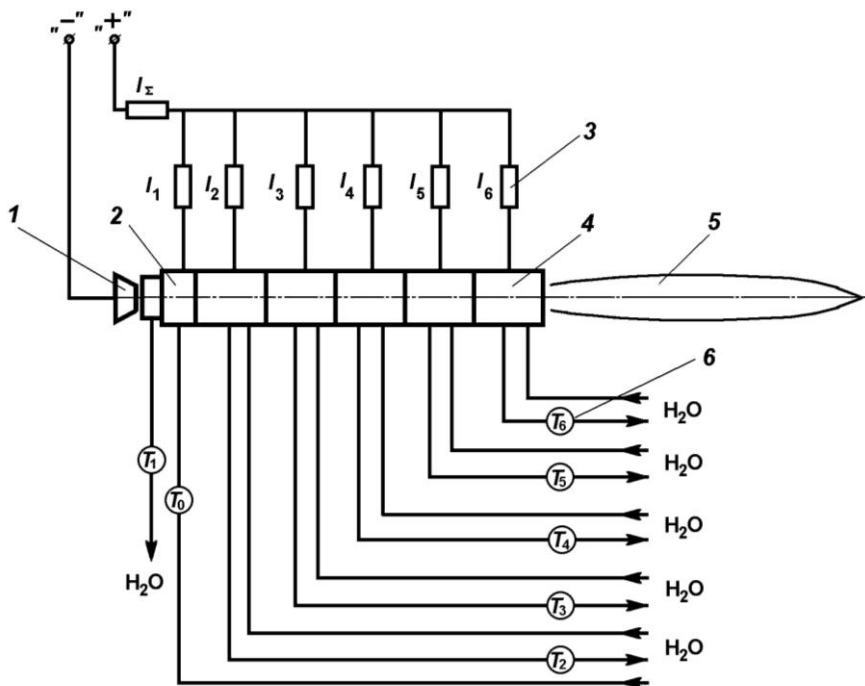


Рис. 1. Схема вимірювань розподілу струму та втрат енергії вздовж дугового каналу плазмотрона: 1 – катод плазмотрона; 2 – вхідна секція анода; 3 – шунт; 4 – лінійна секція анода; 5 – струмінь плазми; 6 – вимірювальна термопара

Дослідження проводились із застосуванням плазмоутворювальних сумішей повітря із природним газом. При цьому вуглеводневий компонент може подаватися як у складі вже готової плазмоутворювальної суміші, через один із двох альтернативних завихрювальних пристроїв – тангенціальний або аксіально-тангенціальний, так і окремо, через свій завихрювальний пристрій (один із згаданих).

Змінні вхідні секції дугового каналу дозволяють варіювати кутом входу в дуговий канал і впливати тим самим на ступінь завихрення газового потоку.

Вихідний електрод плазмотрона (анод) виготовлений у вигляді набору мідних секцій, кожна з яких має індивідуальне водяне охолодження (рис. 2).

Конструкція розпилювача дає змогу змінювати довжину та конфігурацію дугового каналу за рахунок збільшення кількості прохідних секцій та конфігурації вхідної.

У конкретному випадку із секцій був набраний складений вихідний електрод, в якому відтворений ступінчастий профіль дугового каналу (із раптовим розширенням), що досить розповсюджений у плазмотронах для нанесення покриттів [4].

Основні результати досліджень представлені на рис. (3 – 6).

Встановлено, що положення максимуму розподілу струму залежить від вмісту вуглеводневого газу і зміщується вниз по потоку у міру збагачення суміші. Має місце збільшення середньої довжини дуги, що є однією із причин підвищення інтегрального значення напруги на дузі. Супутнім ефектом збагачення плазмоутворювальної суміші є розширення діапазону струмів, в якому горіння дуги забезпечується на робочій ділянці дугового каналу, без переходу плями прив'язування дуги у його вузьку частину.

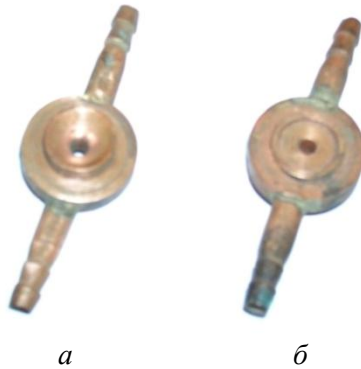


Рис. 2. Вхідна (а) та прохідна (б) секції вихідного електрода плазмотрона

Зона шунтування дуги у разі зниження α (коефіцієнта витрати окиснювача) звужується і локалізується на ділянці, довжина якої не перевищує (2 – 3) калібру вихідного діаметра. У загальному випадку це є ознакою стабілізації параметрів плазмотрона, яка є необхідною умовою отримання якісних покриттів (рис. 3).

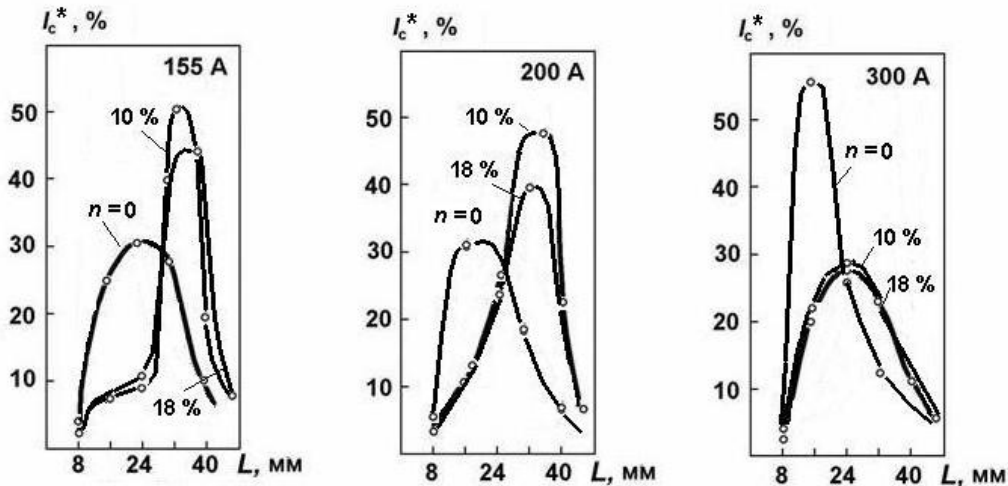


Рис.3. Розподіл струму за довжиною вихідного електрода (анода) плазмового розпилювача (n – об'ємний вміст природного газу в плазмоутворювальній суміші)

Збільшення струму дуги в цілому не змінює характеру розподілу струму за довжиною каналу, хоча викликає певне зміщення максимуму розподілу вверх проти течії.

На повітрі за цих умов зона шунтування локалізується із частковим прив'язуванням дуги у вузькій частині дугового каналу, а на сумішах вуглеводневого газу з повітрям – розширюється, зберігаючи основну долю зони шунтування на робочій ділянці дугового каналу.

На рис. 4 представлений розподіл теплових втрат уздовж анода за умови різного вмісту вуглеводневого компонента (для трьох значень струму дуги).

Перехід від системи N-O (повітря) до системи N-O-C-H (суміш повітря з вуглеводнями) радикально змінює характер розподілу втрат енергії в дуговому каналі плазмотрона з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги (ступінчаста форма каналу вихідного електрода).

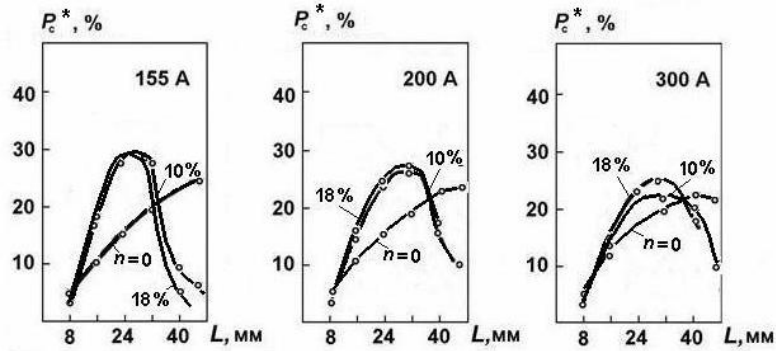


Рис. 4. Розподіл теплових втрат по секціях вихідного електрода

Практично лінійна залежність рівня втрат за довжиною каналу на повітрі, яка характерна для початкової та перехідної ділянок течії, переходить у екстремальну, із явно вираженим максимумом. Локалізація ділянки максимальних втрат є ознакою інтенсифікації процесів турбулізації газового потоку в дуговому каналі плазмотрона при переході з повітря на суміш повітря з вуглеводнями. Водень, який з'являється в результаті дисоціації вихідної плазмоутворювальної суміші, прискорює відведення тепла до більш холодних шарів газового потоку, вирівнюючи тим самим профілі температур. Цей процес відбувається на достатньо короткій ділянці каналу – 25...30 мм.

Положення екстремумів на розподілах струмів та втрат за довжиною каналу практично співпадають для сумішей повітря з вуглеводневими газами, що дає можливість оптимізувати лінійні розміри дугового каналу з метою зниження загальних втрат в елементи конструкції без погіршення розподілу температурних та швидкісних полів на виході розпилювача.

Зменшення електропровідності пристінного шару газу змінює умови шунтування дуги. Спостерігається подовження дуги (за інших незмінних умов).

На рис. (5 – 6) представлені розподіли струмів і теплових втрат у міжелектродну вставку (МЕВ) і анод у випадку різних значень вмісту природного газу в плазмоутворювальній суміші (без вентиляції зазорів між секціями).

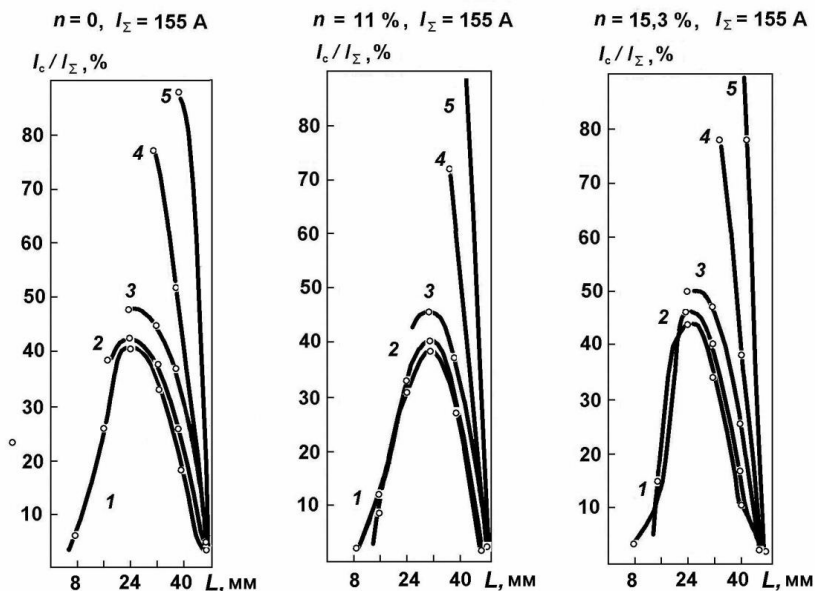


Рис. 5. Розподіл струму по секціях вихідного електрода за наявності міжелектродної вставки: 1 – всі секції під потенціалом анода; 2 – відключена перша (з боку катода) секція; 3 – відключені дві секції; 4 – відключені три секції; 5 – відключені чотири секції

Експерименти проведені на плазмотроні з електрично ізольованими секціями анода і МЕВ за умови відключення по черзі секцій у процесі роботи плазмотрона.

На графіках просліджується послідовний перехід від розподілу струмів характерного для суцільного каналу (без МЕВ) до розподілу, характерному для розвитої турбулентної течії газу перед анодом у плазмотронів з МЕВ.

На розподіл теплових втрат в анод і МЕВ у даному конкретному випадку крім розміру МЕВ впливає наявність уступу в дуговому каналі. У міру подовження МЕВ, максимум теплових втрат зміщується вгору по потоку і стає більш «гострим» (рис. 6).

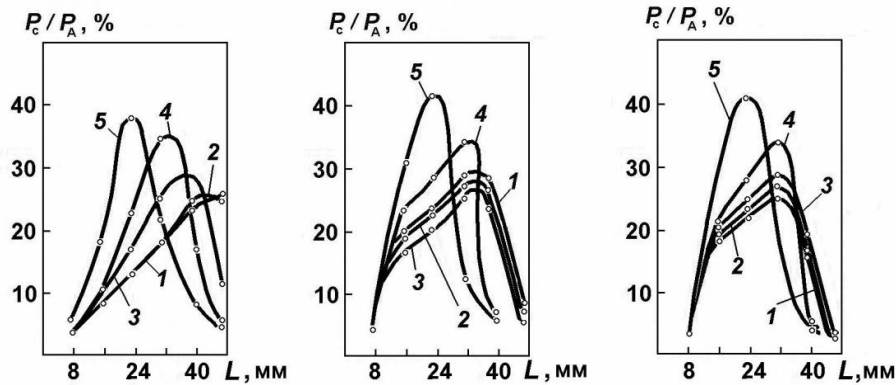


Рис. 6. Розподіл теплових втрат по секціях вихідного електрода за наявності міжелектродної вставки: 1 – всі секції під потенціалом анода; 2 – відключена перша (з боку катода) секція; 3 – відключені дві секції; 4 – відключені три секції; 5 – відключені чотири секції

За цих умов збільшується потужність плазмотрона внаслідок зростання напруги на дузі. Ріст потужності у випадку $n = 0$ веде до зміни структури плазмового потоку і досягнення у межах заданої довжини дугового каналу розвинутої турбулентної течії газу, не досягнувши у випадку використання суцільного анода (рис. 3).

Положення максимуму теплових втрат не збігається з максимумом струму під час відключення секцій каналу, і визначається, вочевидь, положенням точки приєднання зони зриву потоку.

Висновки.

- Положення максимуму розподілу струму в дуговому каналі плазмотрона з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги залежить від вмісту вуглеводневого газу і зміщується вниз по потоку у міру збагачення суміші;

- має місце збільшення середньої довжини дуги, що є однією із причин підвищення інтегрального значення напруги на дузі. Супутнім ефектом збагачення плазмоутворювальної суміші є розширення діапазону струмів, в якому горіння дуги забезпечується на робочій ділянці дугового каналу, без переходу плями прив'язування дуги у його вузьку частину;

- перехід від системи N-O до системи N-O-C-N радикально змінює характер розподілу втрат енергії в дуговому каналі плазмотрона з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги. Практично лінійна залежність рівня втрат за довжиною каналу на повітрі, яка характерна для початкової та перехідної ділянок течії, переходить у екстремальну, із явно вираженим максимумом, характерним для розвинутої турбулентної течії;

- зростання потужності повітряного плазмотрона у разі переходу від двоелектродної схеми до схеми з МЕВ (за умови сталих режимних і основних геометричних параметрів) дозволяє суттєво вирівняти температурні та швидкісні характеристики плазмового потоку в межах дугового каналу без додаткових конструктивних заходів.

Список використаних джерел:

1. Пашенко В. М. Генерування потоків плазми та керування їх енергетично-просторовими параметрами [Текст]: моногр. / В. М. Пашенко. – Київ: Гнозис, 2014. – 283 с. 2. Жуков М. Ф. Электродуговые генераторы с межэлектродными вставками [Текст]: моногр. / М. Ф. Жуков, А. С. Аньшаков, И. М. Засыпкин и др. – Новосибирск: Наука, 1981. – 221 с. 3. Петров С. В. Плазменное газозвушное напыление [Текст]: моногр. / С. В. Петров, И. Н. Карп. – К.: Наук.думка, 1993. – 494 с. 4. Даутов Г. Ю. Плазмотроны со стабилизированными электрическими дугами [Текст]: моногр. / Г. Ю. Даутов, В. Л. Дзюба, И. Н. Карп. – К.: Наук.думка, 1984. – 168 с.

Стаття надійшла до редакції 21.03.2016.