

КЕРУВАННЯ СЕРЕДНЬОМАСОВОЮ ЕНТАЛЬПІЄЮ ПОТОКУ ПЛАЗМИ СИСТЕМИ N–O–C–H З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАЗМОТРОНА

В.М. Пашенко

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

E-mail: vn.paschenko@ukr.net

Представлені результати експериментального дослідження впливу режимних параметрів на енергетичні характеристики генератора плазми системи N–O–C–H та середньомасову ентальпію плазми, яку він генерує. Дослідження проведені на двоелектродному плазмотроні двох принципових схем – з автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги та із самоустановлювальною дугою. Показано, що всі переваги застосування сумішей повітря з вуглеводневим газом реалізуються у випадку фіксації довжини дуги в дуговому каналі. Застосування автогазодинамічної фіксації довжини дуги практично дозволяє стабілізувати значення ККД у всьому діапазоні зміни режимних параметрів генерації і нівелювати тим самим вплив ККД на середньомасову ентальпію потоку плазми. Перехід на систему N–O (повітря) знижує на 7...10 % середній рівень значень ККД та майже вдвічі величину середньомасової ентальпії. Скорочується арсенал засобів впливу на згадані параметри через незмінний склад плазмоутворювального газу. Плазмотрон із самоустановлювальною дугою на плазмоутворювальних сумішах системи N–O–C–H має на 15...20 % нижчий рівень значень ККД, ніж у випадку фіксації довжини дуги. Середньомасова ентальпія плазми суттєво залежить від витрати та складу плазмоутворювального газу. Підвищення значень середньомасової ентальпії збільшенням струму дуги призводить до погіршення енергетичних характеристик генератора плазми. Узгодження власних енергетичних характеристик пристрою і параметрів плазми, яка генерується, може здійснюватися тільки на основі компромісу. Бібліогр. 6, рис. 12.

Ключові слова: генератор плазми, плазмоутворювальна суміш повітря із вуглеводневим газом, плазма системи N–O–C–H, сумарна потужність, втрати енергії, ККД плазмотрона, середньомасова ентальпія плазми

Вступ. Дугові генератори плазми (плазмотрони) широко використовуються в технологіях зварювання та інженерії поверхні. До них висуваються цілий ряд вимог, що обумовлені, по-перше, необхідними параметрами потоків плазми, які вони генерують. А по-друге, вимогами до власних характеристик генератора як енергетичного пристрою. Часто згадані вимоги вступають у протиріччя: покращання власних енергетичних характеристик може призводити до погіршення технологічних можливостей пристрою і навпаки.

Враховуючи, що потужність сучасних генераторів плазми становить десятки та сотні кіловат, узгодження власних енергетичних показників плазмотронів із режимними параметрами їх роботи для забезпечення необхідних технологічних характеристик потоків плазми є актуальною задачею. Можливості такого узгодження для найбільш розповсюджених плазмотронів посередньої дії із самоустановлюваною дугою на інертних та нейтральних газах дуже обмежені. Тому дослідження енергетичних характеристик генераторів плазми інших принципових схем на складних плазмоутворювальних сумішах і, зокрема, на газових системах N–O–C–H становлять практичний інтерес і є актуальними.

Літературний огляд. Сучасні дугові генератори плазми широко застосовуються для нане-

сення покриттів, наплавлення, різання, зварювання, термічної обробки поверхні тощо. Але найбільш актуальним питання забезпечення високих енергетичних характеристик пристрою є для плазмотронів посередньої дії, які широко застосовуються в технологіях інженерії поверхні – нанесенні покриттів та модифікації структури поверхні.

Плазмотрони для нанесення покриттів, які пропонуються на ринку, випускаються в широкому діапазоні потужності (від 20 до 200 кВт) для зовнішнього та внутрішнього напилення [1]. Практично всі генератори плазми є плазмотронами посередньої дії і виконані за двоелектродною схемою без стабілізації довжини дуги та з аксіальним подаванням плазмоутворювального газу [2]. В якості плазмоутворювальної речовини застосовуються інертні та нейтральні гази із можливим додаванням водню. Такий набір обумовлений типом застосованого катода – вольфрамовий, термoeмісійний. Енергетичні характеристики двоелектродних схем плазмотронів достатньо добре досліджені. Їх коефіцієнт корисної дії не перевищує 0,5...0,6 і суттєво зменшується зі зростанням струму, а реальні засоби впливу на значення ККД практично відсутні [3]. Наприклад, скорочення довжини дугового каналу сприяє зменшенню втрат в елементи конструкції генератора, але зменшує шанси вирівняти температурні та швид-

кісні поля потоку плазми, які суттєво неоднорідні на етапах формування потоку. Це негативно впливає на технологічні можливості плазмотрона. Зниження струму дуги, враховуючи спадну вольт-амперну характеристику генератора плазми із самоустановлювальною дугою, призводить, як правило, до зменшення потужності пристрою та погіршення його питомих енергетичних характеристик (наприклад, питомої ентальпії). Збільшення витрати плазмоутворювального газу підвищує, зазвичай, значення ККД, але виникає небезпека винесення опорної плями дуги за межі дугового каналу і значно зростає нерівномірність розподілу температурних та швидкісних параметрів потоку за його перерізом. Перехід на інші принципи схеми генераторів плазми у разі застосування інертних газів не дає, як правило, реального впливу на його ККД та енергетичні характеристики плазми, яку він генерує [4]. Генератори плазми на плазмоутворювальних сумішах системи N–O–C–H відносяться до гібридних пристроїв, бо використовують для генерації два різних за фізичною природою джерела первинної енергії – електричну та енергію горючого газу [5]. Особливості перетворення цих енергетичних потоків у теплову енергію плазмоутворювального газу можуть створити нові можливості впливу на ефективність цього процесу.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу на ККД плазмотрона, що використовує плазмоутворювальну суміш повітря та вуглеводнів, основних режимних параметрів його експлуатації з урахуванням можливої зміни середньомасової ентальпії потоку плазми. Для досягнення цієї мети необхідно дослідити вплив витрати та складу плазмоутворювальної суміші, а також традиційного режимного параметру – струму дуги, на втрати в теплонапружені елементи конструкції та загальну потужність плазмотрона. Наявність такої інформації дозволить виявити найбільш економічні з енергетичної точки зору режими роботи плазмотрона з урахуванням вимог до потоку плазми, який генерується.

Методика експериментів. Експериментальні дослідження проводились на плазмотронах типу ПГ [6] із аксіально-тангенціальним подаванням плазмоутворювальної суміші та автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги.

Конструктивно всі плазмотрони серії ПГ складаються із двох основних вузлів – катодного та анодного, об'єднаних у єдину конструкцію через ізолятор.

Досліджувались плазмотрони із самовстановлюваною дугою (у межах анода гладкий канал) та плазмотрони з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги (ступінчастий канал).

Катод – термохімічного типу. У плазмотронах серії ПГ застосовуються серійні термохімічні катоди типу ОБ 1541А, ОБ 1542А, ЕП-01, ЕП-02, ЕР-01, які використовуються в апаратах повітряно-плазмового різання.

Залежно від типу застосованого катода плазмотрони здатні працювати в діапазоні струмів до 400 А протягом 5...7 год. Охолодження катодного та анодного вузлів водяне, незалежне, що дозволяє вимірювати втрати енергії в елементи конструкції кожного із вузлів окремо.

Плазмоутворювальний газ подається в дугову камеру через завихрювач шнекового типу, який додає потоку газу тангенціальну складову швидкості і сприяє формуванню вихрової течії речовини.

Напругу U і струм дуги I вимірювали зразковими стрілочними приладами типу М 243 кл. 0,2 та М 1105 кл. 0,2.

Втрати у електродні вузли плазмотрона визначались шляхом вимірювання витрати охолоджувальної води та її температури на вході та виході контуру охолодження. Витрата визначалась за показниками ротаметрів і контролювалась застосуванням мірчої посудини.

Температура води вимірювалась диференційною ХК-термопарами і контролювалась ртутними лабораторними термометрами із ціною поділки 0,1 °С.

ККД розпилювача із комбінованим підведенням енергії розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma} - P_{\text{втр}}}{P_{\Sigma}},$$

де P_{Σ} – сумарна потужність, яка підведена до плазмоутворювального газу; $P_{\text{втр}}$ – втрати енергії в елементи конструкції розпилювача.

У свою чергу потужність, що підведена до розпилювача, складається із електричної потужності $P_{\text{ел}} = UI$ та теплової потужності, яка реалізується за умови повного згоряння вуглеводневого газу. Її величину можна оцінити за виразом: $P_{\text{вг}} = a Q_{\text{вг}}$, де a – нижча робоча теплотворна здатність вуглеводневого газу, кВт·год/м³; $Q_{\text{вг}}$ – витрата вуглеводневого компонента, м³/год. (для чистого метану $P_{\text{сн}_4} = 10,35 Q_{\text{мет}}$, кВт, для природного газу $P_{\text{пг}} = 10,258 Q_{\text{пг}}$, кВт).

Середньомасова ентальпія потоку плазми розраховується як відношення корисної потужності до сумарної витрати плазмоутворювального газу:

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{к}}}{Q_{\Sigma}},$$

де $P_{\text{к}} = P_{\Sigma} - P_{\text{втр}}$ – корисна потужність генератора плазми; $Q_{\Sigma} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{вг}}$ – сумарна витрата плазмоутворювального газу; $Q_{\text{п}}$ – витрата повітря.

Результати експериментів та їх обговорення.

Дослідження енергетичних характеристик плазмотрона із автогазодинамічною фіксацією довжини дуги доводить, що втрати в елементи конструкції визначаються головним чином струмовим навантаженням генератора плазми. Залежність практично лінійна у дослідженому діапазоні значень (рис. 1).

Внесення додаткової енергії з горючим компонентом плазмоутворювальної суміші (метаном) також збільшує втрати в стінку дугового каналу, але величина цього збільшення у разі переходу на збагачені суміші із вмістом вуглеводневого газу до 15...16 % відносно невисока і не перевищує 20...25 % від початкового значення втрат (рис. 1). На нижній межі струмового діапазону плазмотрон (з точки зору втрат енергії) більш чутливий до зміни співвідношення між компонентами плазмоутворювальної суміші.

Зі збільшенням струму дуги та збагаченням плазмоутворювальної суміші одночасно із втратами в елементи конструкції зростає загальна потужність генератора плазми (рис. 2).

Це відбувається не тільки за рахунок зростання електричної потужності (пропорційно струму дуги) та додавання енергії горючого газу, але й внаслідок взаємного впливу двох різних за своєю природою видів енергії, яка надходить до плазмотрона [5]. Зі зміною складу плазмоутворювальної суміші змінюється падіння напруги на дузі (у міру збагачення суміші напруга зростає).

Залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) генератора плазми від вмісту вуглеводневого компонента та загальної потужності генератора плазми носить більш складний характер (рис. 3).

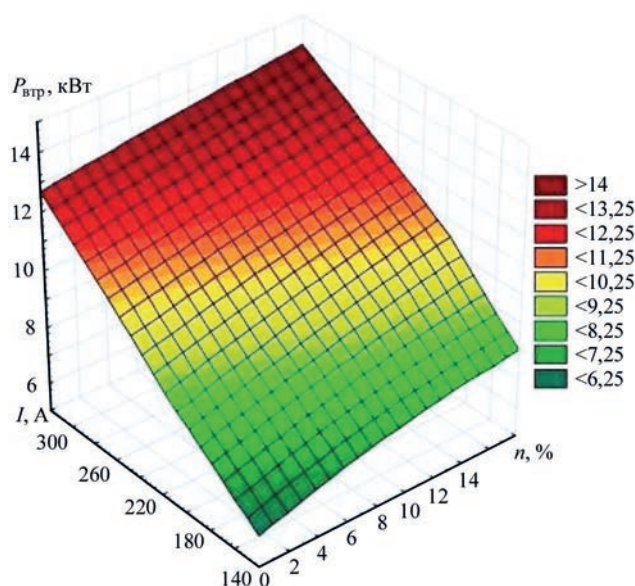


Рис. 1. Залежність втрат потужності генератора плазми від вмісту вуглеводневого компонента плазмоутворювальної суміші та струму дуги для плазмотрону з автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги

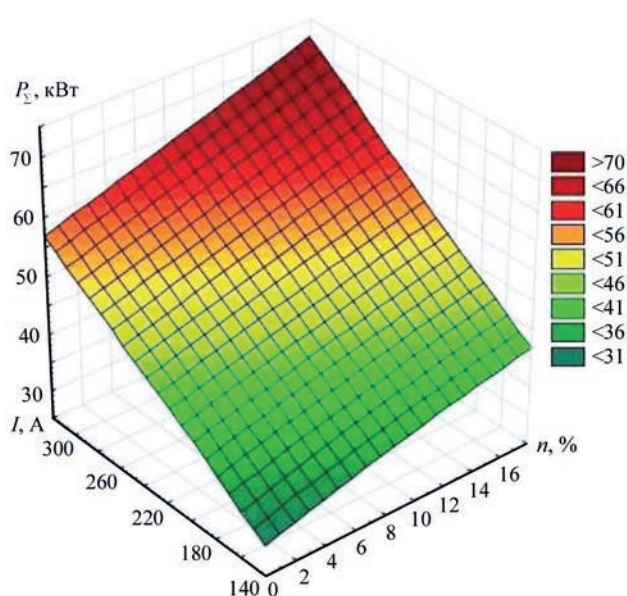


Рис. 2. Залежність загальної потужності генератора плазми від вмісту вуглеводневого компонента плазмоутворювальної суміші та струму дуги для плазмотрону з автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги

На нижній межі діапазону зміни струму збільшення вмісту вуглеводневого компонента призводить до достатньо суттєвого підвищення напруги на дузі, що підвищує електричну потужність генератора плазми на 50...60 %. Беручи до уваги, що підвищення електричної потужності відбулось без збільшення струму дуги і в умовах помірного зростання втрат, а також враховуючи додаткову енергію, яка була внесена з вуглеводневим газом, можна очікувати зростання ККД генератора плазми. Результати експериментів підтверджують це припущення. Спостерігається збільшення загального ККД пристрою на 4...5 %.

У ході збільшення струму дуги, внаслідок підвищення втрат в елементи конструкції плазмотро-

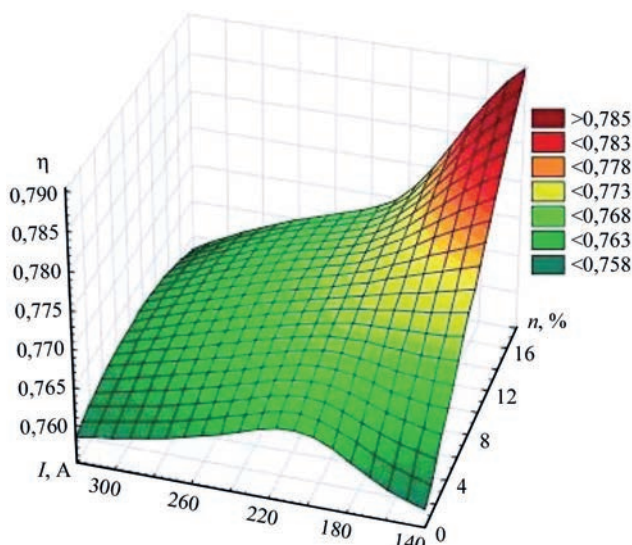


Рис. 3. Залежність ККД від вмісту вуглеводневого компонента у плазмоутворювальній суміші та струму дуги (плазмотрон з автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги)

на, прирощення загальної потужності вже не перевищує зростання втрат. Тому має місце певне зменшення ККД пристрою, хоча це зменшення не виходить за межі 8...10 % від початкового значення (0,76) і суттєво не впливає на ефективність генератора плазми.

Важливим універсальним показником здатності генератора плазми обробляти матеріал в технологіях інженерії поверхні є середньомасова ентальпія (ϵ) потоку плазми, яка характеризує енергонасиченість робочого середовища. Залежно від природи матеріалу, який обробляється, цей показник необхідно оперативнo змінювати. Матеріали з високою температурою плавлення і низькою теплопровідністю потребують значень ϵ , які лежать в діапазоні 8...12 кВт год/м³.

На рис. 4 показана залежність ϵ від основних режимних параметрів плазмотрона – струму дуги та вмісту вуглеводневого компонента (за умови постійної загальної витрати плазмоутворювального суміші 5 м³/год).

Відносна стабільність ККД плазмотрона з автогазодинамічною стабілізацією дуги у всьому діапазоні зміни режимних параметрів дозволяє не враховувати можливе незначне зниження ККД генератора плазми внаслідок зміни струмового навантаження. Тобто, застосування плазмотронів на плазмоутворювальних сумішах системи N–O–C–H із автогазодинамічною фіксацією довжини дуги не потребує у загальному випадку спеціального узгодження енергетичних характеристик пристрою із необхідними параметрами робочого тіла (потoku плазми). Загальний діапазон зміни питомої середньомасової ентальпії достатньо широкий: у 2,0...2,2 рази. За рахунок зміни складу вихідної газової суміші (без зміни струму дуги) можли-

ве збільшення ϵ у 1,2...1,5 рази, порівняно із вихідним значенням (на мінімальному струмі дуги і застосуванні «збідненої» суміші повітря з вуглеводневим газом. Зміною струму дуги можна додатково у 1,2...1,3 рази підвищити ϵ .

Для плазми системи N–O (повітря без додавання вуглеводневого газу) основним засобом підвищення загальної потужності пристрою є збільшення струму дуги (рис. 5).

Залежність загальної потужності (вона ж і електрична) практично лінійна у дослідженому діапазоні зміни струму.

На рис. 6 наведена залежність ККД від основних режимних параметрів генератора плазми.

ККД зростає до 1,5 % порівняно із вихідним значенням зі збільшенням витрати плазмоутворювального повітря. Це відбувається за рахунок

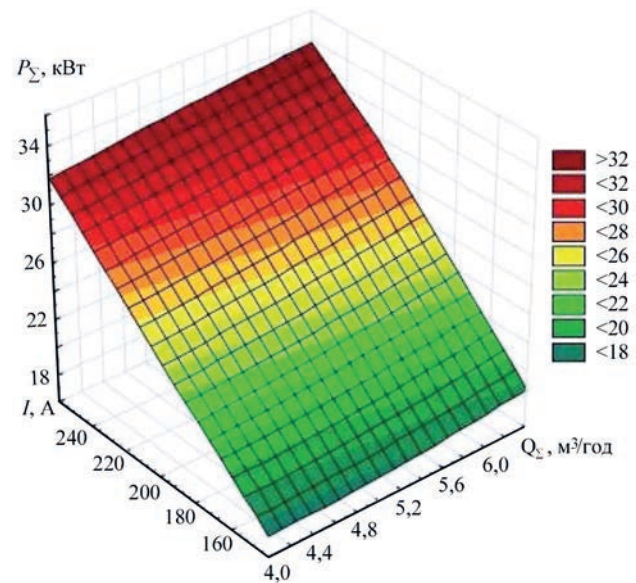


Рис. 5. Залежність загальної потужності генератора плазми з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги від витрати плазмоутворювального повітря та струму дуги

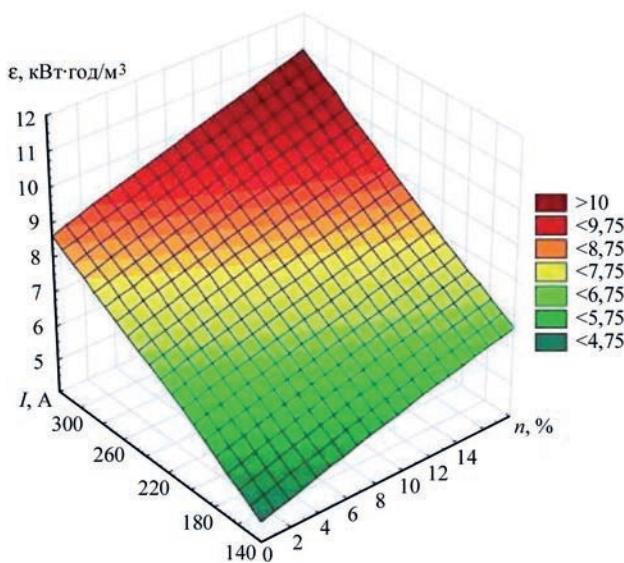


Рис. 4. Залежність середньомасової ентальпії від вмісту вуглеводневого компонента у плазмоутворювальній суміші та струму дуги ($Q_{\Sigma} = 5$ м³/год.)

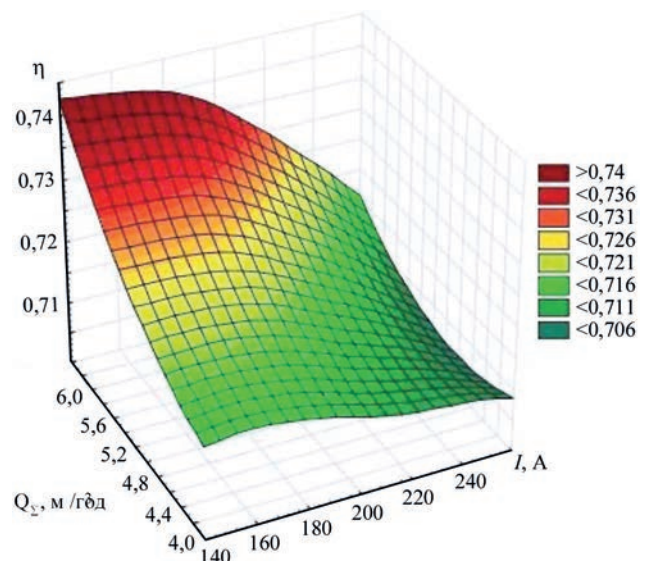


Рис. 6. Залежність ККД від витрати плазмоутворювального повітря та струму дуги

зменшення втрат в катодний вузол внаслідок інтенсифікації охолодження зовнішньої поверхні обоими катода плазмоутворювальним повітрям (рекуперація частини втраченої енергії), а також зменшення втрат у стінку дугового каналу через потовщення прошарку холодного газу між дугою та анодом. Збільшення струму дуги призводить до прогнозованого зменшення ККД через підвищення втрат в елементи конструкції генератора плазми.

Одночасно, підвищення витрати плазмоутворювального повітря погіршує функціональні можливості плазми. Середньомасова ентальпія знижується у 1,4...1,5 рази зі збільшенням витрати (рис. 7).

Підвищити середньомасову ентальпію потоку плазми можна збільшенням струму дуги (рис. 7). Зростання загальної потужності навіть з урахуванням зниження ККД генератора плазми (рис. 6), призводить до збільшення у 1,5...1,6 рази енергонасиченості робочого тіла.

Перехід на схему плазмотрона із самовстановлювальною дугою (гладкий дуговий канал) дещо змінює закономірності впливу режимних параметрів роботи плазмотрона на його енергетичні характеристики.

Збільшення струму дуги призводить до пропорційного підвищення загальної потужності генератора плазми (рис. 8). Підвищення витрати плазмоутворювальної суміші за рахунок подовження довжини дуги теж веде до зростання загальної потужності плазмотрона. Але враховуючи, що довжина дуги визначається ще й процесами шунтування в дуговому каналі, подовження дуги має певні обмеження. Це проявляється у припиненні зростання загальної потужності плазмотрона після досягнення певного рівня витрати газу.

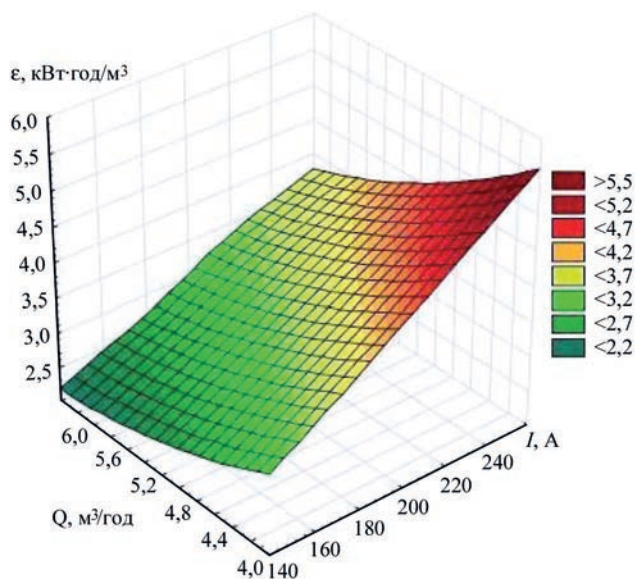


Рис. 7. Залежність середньомасової ентальпії від витрати плазмоутворювального повітря та струму дуги

ККД генератора плазми із самовстановлювальною дугою на плазмоутворювальних сумішах системи N–O–C–H знижується у міру зростання струму і вмісту вуглеводневого компонента у плазмоутворювальній суміші (рис. 9, 10). Вочевидь це є результатом зменшення загальної потужності генератора плазми через зміну умов шунтування дуги у ході появи значної кількості водню у пристінному шарі потоку газу, що призводить до скорочення дуги і відповідного зменшення напруги на ній. Підвищення напруженості електричного поля на окремих ділянках дуги внаслідок зміни складу плазмоутворювального газу не компенсує загального зменшення інтегрального значення напруги на дузі через її скорочення. Вплив струму на ККД проявляється у

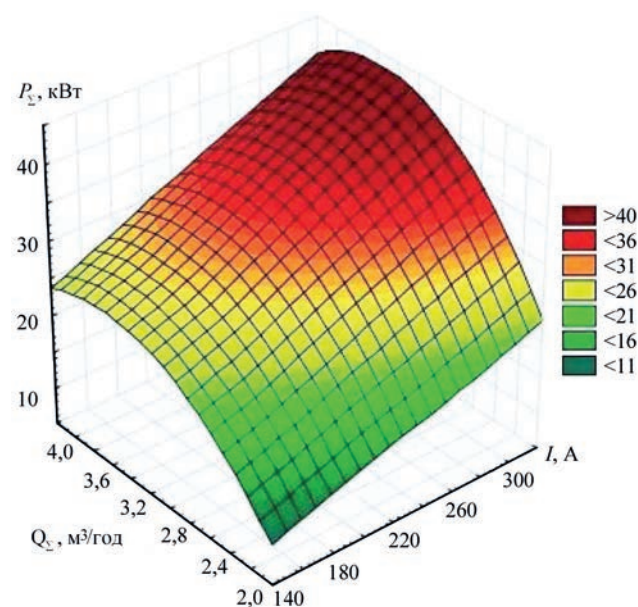


Рис. 8. Залежність загальної потужності генератора плазми від витрати плазмоутворювальної суміші та струму дуги

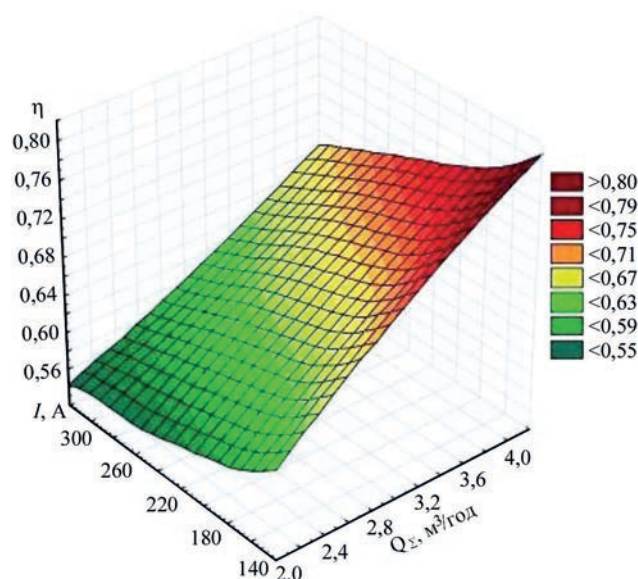


Рис. 9. Залежність ККД від витрати плазмоутворювальної суміші та струму дуги

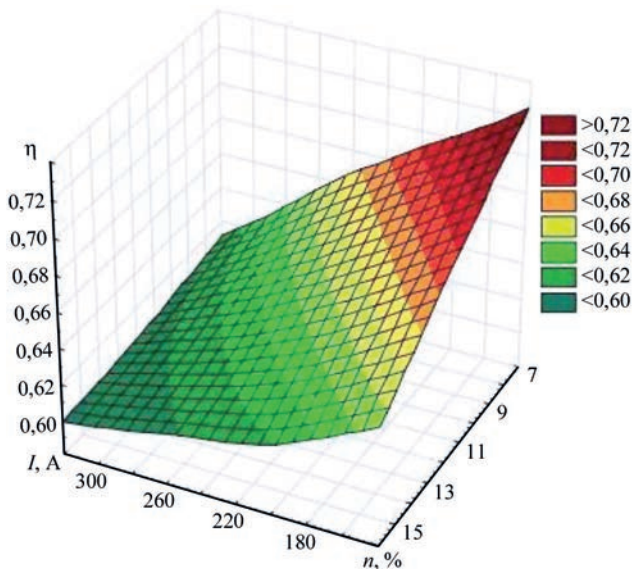


Рис. 10. Залежність ККД від вмісту вуглеводневого газу та струму дуги

збільшенні втрат в елементи конструкції плазмотрона у ході зростання струму дуги.

Підвищення витрати плазмоутворювальної суміші за умови постійного складу плазмоутворювальної суміші призводить до певного зростання ККД за рахунок інтенсифікації охолодження зовнішньої обійми катодотримача із рекуперацією частини втраченої енергії та зростання прошарку «холодного» газу між дугою та стінкою дугового каналу і, відповідно, зменшення рівня втрат енергії в анодному вузлу.

Значення середньомасової ентальпії плазми (робочого тіла) зростає зі збільшенням струму дуги і знижується у міру збагачення вуглеводнями плазмоутворювальної суміші внаслідок зменшення загальної потужності генератора плазми і ККД пристрою (рис. 11).

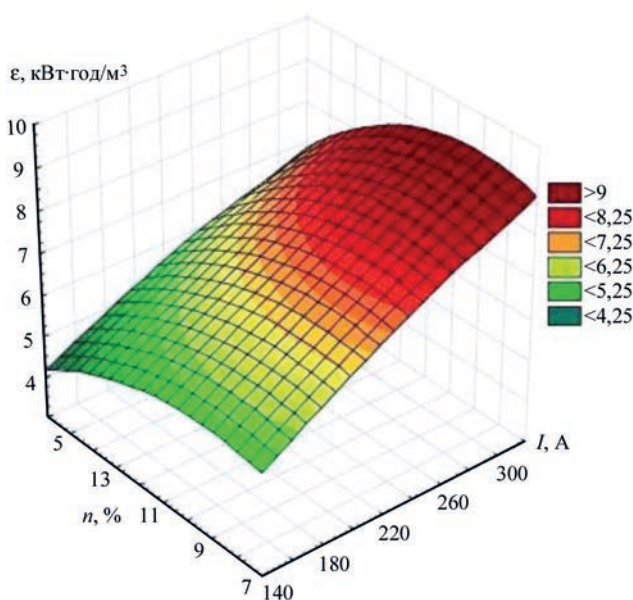


Рис. 11. Залежність середньомасової ентальпії від вмісту вуглеводневого компонента у плазмоутворювальній суміші та струму дуги

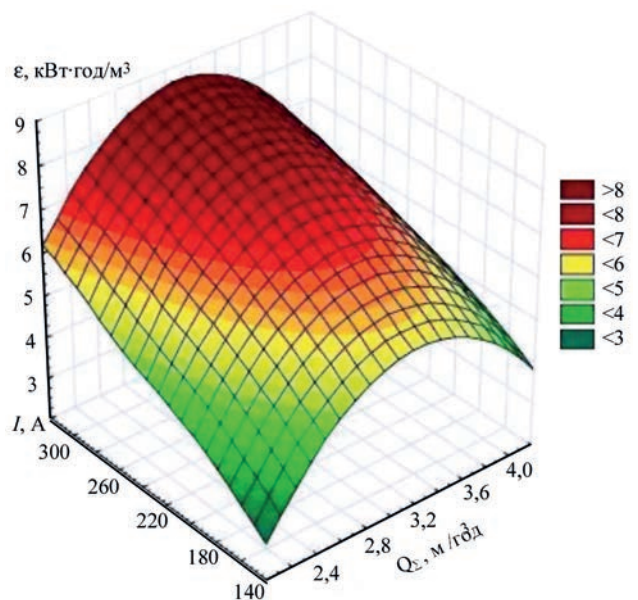


Рис. 12. Залежність середньомасової ентальпії від витрати плазмоутворювальної суміші та струму дуги

Залежність від витрати газу має більш складний характер і відображає зміну умов існування дуги у гладкому каналі з урахуванням балансу між конкуруючими процесами шунтування дуги та її подовження під дією потоку газу, а також зменшення енергонасиченості плазми через збільшення об'єму застосованого плазмоутворювального газу (рис. 12).

Висновки

1. Схема двохелектродного плазмотрона з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги і використанням плазмоутворювальної суміші системи N–O–C–H є найбільш раціональною для застосування в технологіях інженерії поверхні через практичну відсутність необхідності узгоджувати власні енергетичні характеристики пристрою із параметрами плазми, яка генерується. Стабільність ККД в широкому діапазоні зміни режимних параметрів роботи генератора плазми дозволяє не враховувати цей показник у ході зміни режимних параметрів під час реалізації технологічного процесу обробки матеріалу.

2. Перехід на плазмоутворювальні суміші системи N–O (повітря) обмежує можливості керування енергонасиченістю плазми тільки зміною струму дуги за умови суттєво нижчого, ніж у випадку застосування плазми системи N–O–C–H, загального рівня значень ККД. Досяжні значення середньомасової ентальпії потоку плазми повітря майже вдвічі (у 1,8...2,0 рази) нижчі, ніж у випадку застосування плазми системи N–O–C–H.

3. Заміна принципової схеми плазмотрона із автогазодинамічною фіксацією довжини дуги на схему із самоустановлювальною дугою призводить до втрати переваг застосування плазмоутво-

рювальних сумішей повітря із вуглеводневими газами. Суттєво знижуються можливості керування енергетичними характеристиками плазматрона та параметрами потоку плазми, яку він генерує: підвищення вмісту вуглеводневого компонента погіршує ККД пристрою та зменшує величину середньомасової ентальпії плазми; загальний ККД генератора плазми на 15...20 % нижчий, ніж у схеми з автогазодинамічною фіксацією довжини дуги (на ідентичних режимних параметрах).

4. Застосування плазмоутворювальних сумішей системи N–O–C–H в технологіях інженерії поверхні доцільно здійснювати на генераторах плазми зі стабілізацією довжини дуги. У цьому випадку досягається максимальний рівень ККД генератора (до 80 %) і можливе застосування всіх наявних засобів впливу на енергетичні параметри потоку плазми: зміни струму дуги, витрати плазмоутворювального газу та його складу. Підвищення питомих енергетичних характеристик потоку плазми у процесі керування відбувається без суттєвого погіршення ККД до 1...2 %. Перехід на схеми із самовстановлювальною дугою звужує діапазон можливих засобів керування енергетич-

ними параметрами плазми до зміни струму дуги, із відповідним погіршенням ККД пристрою (зниження на 20 %) і негативним впливом на його ресурсні характеристики.

Список літератури/References

1. *External atmospheric plasma*. https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/thermal-spray-equipment/thermal-spray-components/spray-guns/plasma/?tab=external_atmospheric_plasma.
2. *Atmospheric Plasma Spray Solutions*. https://smsbbtim.com/wp-content/uploads/2016/08/Plasma_Solutions_EN5.pdf.
3. Murashov, A.P., Grishchenko, A.P., Vigilyanskaya, N.V. et al. (2012) Efficiency of the use of protective extension in plasma spraying. *The Paton Welding J.*, **2**, 28–32.
4. Borisov, Yu.S., Voinarovych, S.G., Kyslytsia, A.N. et al. (2019) Investigation of electrical and thermal characteristics of plasmatron for microplasma spraying of coatings from powder materials. *The Paton Welding J.*, 2019, **11**, 19–22. <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.11.04>
5. Pashchenko, V. (2017) Research into the energy conversion processes in hybrid plasma devices for applying the coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, **2** (86), 47–54, DOI: 10.15587/1729-4061.2017.95578
6. Пашченко В.М. (2018) *Дугові генератори в технологіях інженерії поверхні*. Харків, Мачулін, 288.

Pashchenko, V.M. (2018) *Arc generators in technologies of surface engineering*. Kharkiv, Machulin, 288 [in Ukrainian].

CONTROL OF MEDIUM ENTHALPY OF PLASMA FLOW OF N–O–C–H SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE POWER EFFICIENCY OF THE PLASMATRON

V.M. Pashchenko

NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". 37 Peremohy Ave., 03056, Kyiv, Ukraine.

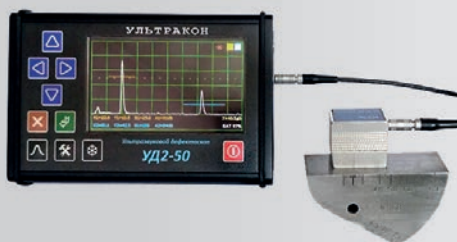
E-mail: vn.pashchenko@ukr.net

The results of experimental studies of the impact of mode parameters on power characteristics of the generator of plasma of N–O–C–H system and medium enthalpy of plasma, generated by the latter were presented. The studies were conducted in a two-electrode plasmatron with two schematic diagrams – with an automatic gas dynamic arc length stabilization and with a self-setting arc. It is shown that all the benefits of using mixtures of air with a hydrocarbon gas are realized in the case of fixing the arc length in the arc channel. The use of automatic gas dynamic arc length fixation practically allows stabilizing the values of efficiency throughout the whole range of changing generation mode parameters and, at the same time, eliminating the impact of efficiency on the medium enthalpy of plasma flow. The transition to the system N - O (air) reduces the average level of efficiency by 7...10 % and almost twice the value of medium enthalpy. The arsenal of means of influencing the mentioned parameters due to a constant composition of plasma gas reduces. The plasmatron with a self-setting arc on plasma-forming mixtures of the system N-O-C-H has by 15...20 % lower level of efficiency values than in the case of fixing the arc length. The medium enthalpy of plasma depends significantly on the flow-rate and composition of plasma-forming gas. An increase in the values of medium enthalpy by an increase in the arc current leads to deterioration of power characteristics of the plasma generator. Coordination of own power characteristics of the device and parameters of plasma being generated can only be carried out only on the basis of a compromise. 6 Ref., 12 Fig.

Keywords: *plasma generator, plasma-forming mixture of air with hydrocarbon gas, plasma of N–O–C–H system, total power, energy losses, efficiency of plasmatron, medium enthalpy of plasma*

Надійшла до редакції 07.06.2023

Ультразвуковий дефектоскоп УД2-50



Сучасний малогабаритний ультразвуковий дефектоскоп загального призначення для неруйнівного контролю. Призначений для пошуку порушень суцільності та однорідності виробів, зварних з'єднань і напівфабрикатів з металів, пластиків, композитів, а також для вимірювання координат залягання і оцінки параметрів дефектів.

Розробник ТОВ НВФ «УЛЬТРАКОН»