

результату є те, що знайдені аналітичні співвідношення дозволяють, окрім виконання чисельних розрахунків, за формою математичних виразів аналізувати вплив на властивості водяної завіси великої кількості різноманітних параметрів.

Співвідношення (1) і (2) для координат сумісно зі співвідношенням (15) для локальної концентрації крапель в параметричному вигляді (параметрами є величини α_0 і α) представляють розподіл концентрацій крапель водяної завіси у вертикальній площині. Істотним обмеженням при виконанні розрахунків є припущення про однакові величини початкової швидкості і діаметра всіх крапель. Для виконання розрахунків, близьких до реальної картини, необхідно ввести відповідні розподіли даних параметрів у початкові умови.

Наступним етапом дослідження повинно бути вдосконалення методики розрахунку з урахуванням залежності середнього діаметру крапель від тиску перед зрошувачем. Крім того, для більш адекватного розрахунку геометричних характеристик водяної завіси необхідно враховувати явище руху повітряних мас під дією розпиленіх водяних струменів. Корисним було б також порівняння теоретичних розрахунків з результатами відповідних експериментальних досліджень.

Список літератури

1. Жаров А., Зархин А., Митрофанова М. Дренчерные завесы: теория и практика // БДИ. – 2006. – № 5 (68). – с. 24-28.
2. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / Л.М. Мешман, С.Г. Цариченко, В.А. Былинкин, В.В. Алешин, Р.Ю. Губин; Под общ. ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2002. – 315с.
3. Виноградов А.Г. Экранирование конвективных тепловых потоков водяными завесами // Вісник Сумського державного університету, серія „Технічні науки (машинобудування)”. – 2003. – №12(58). – с. 19-23.
4. Виноградов А.Г. Экранирование теплового випромінювання водяними завесами // Промислова гідроліка і пневматика. – 2005. – № 3(9). – с. 52-54.
5. Виноградов А.Г. Розсіяння теплового випромінювання сферичними краплями води // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. – 2005. – №47. – с. 51-54.
6. Виноградов А.Г. Розрахунки траєкторних параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. – 2008 – №53 – с84-88
7. Виноградов А.Г. Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2008. – №2 (49). Частина 2 – с. 42-44.
8. Виноградов А.Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – т. 19. – №1 – с. 45-49.

УДК 533.9

В.М. Пашенко канд.техн.наук, доц., О.С. Василенко асп.
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА ІЗ КРИВОЛІНІЙНИМ ДУГОВИМ КАНАЛОМ

В статье представлено результаты исследования энергетических характеристик нового класса плазменных распылителей – плазматронов с криволинейным дуговым каналом, которые позволяют организовать ввод обрабатываемого дисперсного материала еще на стадии формирования плазменного потока, что повышает эффективность использования энергии электрической дуги и приводит к существенному повышению производительности напыления тугоплавких материалов.

The results of research of power descriptions of new class of plasma nebulizers are presented in the article - plasma nebulizers with a curvilinear arc channel, which allow to organize the input of the processed dispersible material yet on the stage of forming of plasma stream, that promotes efficiency of the use of energy of voltaic arc and results in the substantial increase of the productivity of напыления of refractory materials.

Вступ та актуальність роботи. Висока твердість, жаро- та зносостійкість, низькі значення електро- та теплопровідності обумовлюють сферу практичного використання покриттів на основі керамічних оксидів (оксидів кремнію, алюмінію, титану, цирконію, тощо). Разом з тим, керамічним оксидам притаманні властивості і характеристики, які значно відрізняються від матеріалів, що традиційно використовуються у процесах газотермічного нанесення покриттів (головним чином металів та композицій на їх основі). Зокрема, це висока температура плавлення; відносно мала густина матеріалу; значна величина теплоти плавлення, малі коефіцієнти

теплопровідності, які призводять до виникнення градієнтів температури у розплаві; великі значення в'язкості розплаву, які впливають на швидкість плавлення та кристалізації; значна кількість поліморфних модифікацій із суттєво різними теплофізичними і механічними характеристиками [1].

Набір згаданих властивостей обумовлює складність отримання газотермічних покриттів із оксидів. Часто виникає необхідність у додатковому перегріванні частинок, із яких формується покриття, подовженні часу їх перебування в активній зоні високотемпературного газового потоку.

Плазмовий метод нанесення газотермічних покриттів створює необхідний температурний рівень ведення процесу нагрівання та прискорення дисперсного матеріалу, але, внаслідок високих значень швидкості витікання газового потоку, не завжди забезпечує потрібний час перебування частинок у зоні нагрівання.

Зниження швидкості струменя високотемпературного газу дає змогу дещо подовжити час нагрівання матеріалу, але негативно впливає на показники якості отриманого покриття і, зокрема, на міцність зчеплення покриття з основою.

Частково згадана особливість плазмового наплення нівелюється застосуванням високо- і середньоентальпійних плазмоутворювальних сумішей, які дозволяють суттєво подовжити високотемпературну ділянку газового струменя і, відповідно, час перебування матеріалу в зоні обробки [2].

Ефективним заходом на шляху вирішення згаданої проблеми могло б бути подовження зони нагрівання матеріалу за рахунок використання дугового каналу плазмового розпилювача (або його частини).

Це можливо, наприклад, при застосуванні аксіального способу введення матеріалу у високотемпературний газовий потік, хоча реалізація цього способу технічно ускладнена у плазмотронах лінійної схеми із стрижневим центральним електродом. До того ж, дисперсна фаза буде безпосередньо впливати на режим горіння дуги, особливо в зоні прив'язування її на стрижневу електроді.

Радіальне подавання матеріалу в межах дугового каналу за зоною прив'язування дуги у вихідному електроді може спричинити утворення настилів на внутрішній стінці каналу і порушення стабільності роботи плазмотрона, а також має певні обмеження за продуктивністю через суттєве переохолодження плазмового струменя холодним транспортуючим газом. Ще одним суттєвим недоліком цього способу є відсутність осової симетрії двофазного потоку, що формується [3].

Враховуючи вищезгадані обставини, у більшості конструкцій плазмових розпилювачів застосовується радіальне подавання матеріалу, що напильється, поза межами дугового каналу плазмотрона. Зовнішнє подавання виключає взаємозв'язок процесів генерації плазми і подавання матеріалу, але знижує ефективність використання тепла струменя на нагрівання порошку і зменшує час його перебування в зоні нагрівання [4].

На кафедрі Відновлення деталей машин Національного технічного університету України «КПІ» проводяться роботи по створенню і дослідженню нового класу плазмових розпилювачів – плазмотронів із криволінійним дуговим каналом. Характерною особливістю таких конструкцій є знаходження дугового розряду в межах двох, розміщених під кутом одна до другої ділянок дугового каналу, і введення вихідного матеріалу співвісно з вихідною ділянкою у місці переходу однієї ділянки у другу. Така організація процесу формування газопорошкового потоку, на відміну від радіального подавання порошку в дуговий канал, практично виключає налипання частинок матеріалу на стінки дугового каналу і дозволяє задіяти для нагрівання і прискорення порошку високотемпературний потік газу ще на стадії його формування, в зоні дії електричної дуги [5, 6].

Експериментальні дослідження макету плазмового розпилювача, створеного за запропонованою схемою, показали технічну життєздатність конструкції при роботі на типових для плазмового наплення струмових навантаженнях і використанні середньоентальпійних плазмоутворювальних сумішей системи N-O або N-O-C-H.

Ефективне застосування розроблених конструкцій можливе тільки за умови досягнення максимально можливих для запропонованої принципової схеми енергетичних характеристик плазмових розпилювачів.

У зв'язку з цим, мета даної роботи полягає у дослідженні основних енергетичних характеристик розпилювача при його роботі на режимах, характерних для плазмового наплення покриттів і поверхневої обробки виробів.

Основна частина. Дослідження енергетичних характеристик проводилось на діючому макеті розпилювача (рис.1).

Експериментально визначались втрати в елементи конструкції розпилювача при змінних режимних параметрах його роботи. За результатами вимірювань розраховувався коефіцієнт корисної дії плазмотрона.

Паралельно проводилось вимірювання напруги на дузі, що дозволило побудувати статичні вольт-амперні характеристики плазмового розпилювача в достатньо широкому діапазоні зміни його режимних параметрів.

Для живлення плазмотрона було застосоване тиристорне джерело струму типу АІР-402, яке стабілізує струм дуги у діапазоні (100 – 450) А при зміні робочої напруги на розпилювачі від 100 до 250 В.

Діючий макет плазмового пристрою представляв собою двоелектродний плазмотрон лінійної схеми з автогазодинамічною стабілізацією довжини дуги і вихровим подаванням плазмоутворювального газу.

В якості плазмоутворювального газу застосовувалось повітря, тому в конструкції був використаний термохімічний центральний електрод-катод із цирконієвою активною вставкою.

Катодний вузол і вихідна частина дугового каналу в межах анода мали пряме водяне охолодження, а вхідна частина дугового каналу – природне повітряне охолодження.

Втрати тепла визначались окремо у кожний фрагмент конструкції розпилювача прямим вимірюванням кількості охолоджувальної рідини та її температури до і після проходження через вузол, який охолоджується.

Напруга на дузі вимірювалась цифровим вольтметром безпосередньо на розпилювачі і співвідносилась із струмом дуги, який фіксувався як падіння напруги на шунті, встановленому в основному колі живлення дуги.



Рис. 1. Плазматрон із криволінійним дуговим каналом

дугового каналу. Цей режим роботи плазматрона є нештатним і викликає підвищені втрати енергії на ділянці каналу, яка має природне повітряне охолодження, що, у свою чергу, викликає перегрівання матеріалу електрода і різке прискорення процесу його ерозії.

На рис.3 наведені залежності втрат у основні вузли плазматрона (катодний та анодний) від режимних параметрів роботи пристрою.

У штатному режимі втрати енергії у вхідну частину дугового каналу (ділянку з меншим діаметром) практично визначається втратами тепла через випромінювання дуги, тому зменшуються із зниженням струму і підвищенням витрати плазмоутворювального газу внаслідок зниження середньомасової температури плазми.

Втрати у катодний вузол зростають у міру зростання струму дуги при постійній витраті

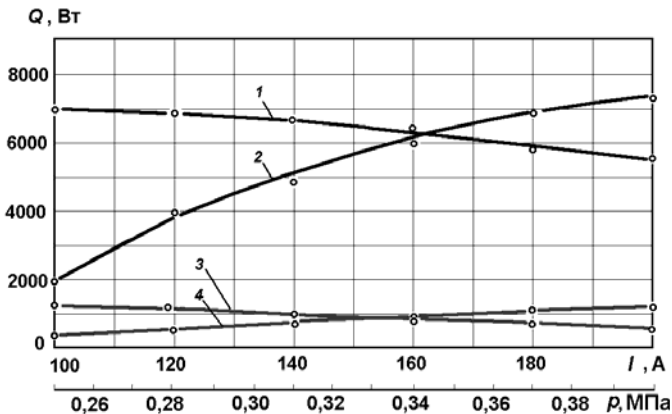


Рис. 3. Залежність втрат енергії в окремих елементах конструкції плазматрона від струму дуги (2, 4) та тиску плазмоутворювального газу (1, 3): 1, 2 – втрати енергії в анодний вузол; 3, 4 – втрати енергії у катодний вузол

Змінними режимними параметрами роботи плазматрона були витрата плазмоутворювального повітря (тиск газу перед розпилувачем) та струм дуги.

Основні результати прямих вимірювань і розрахунків на їх основі наведені на рис.2-4.

Значення напруги на дузі визначається струмом дуги і витратою (тиском) плазмоутворювального газу. Збільшення витрати призводить до подовження дуги, і, відповідно, підвищення напруги, збільшення струму викликає скорочення дуги і зниження падіння напруги на ній. (рис.2).

Характерною особливістю досліджуваного плазматрона є наявність на його статичних вольт-амперних характеристиках (ВАХ) нейтральної ділянки із тенденцією до зростання напруги при збільшенні струму дуги вище (220 – 230) А.

Це можна пояснити фіксацією довжини дуги на повороті дугового каналу в деякому діапазоні зміни струму та витрати плазмоутворювального газу. Початок процесу стабілізації довжини дуги залежить від витрати плазмоутворювального газу – чим менша витрата, тим при меншому струмі дуги стабілізація починається (штрихова лінія на рис.2).

Подальше збільшення струму до рівня (270 – 300) А призводить до стрибкоподібного скорочення дуги і втягування її у вузьку частину

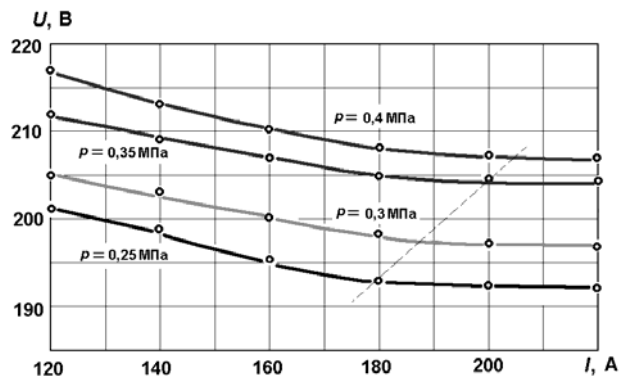


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики плазматрона розпилувача

плазмоутворювального газу, і дещо зменшуються при підвищенні його витрати, що можна пояснити відведенням частини тепла від цих елементів конструкції повітрям, яке обдуває зовнішню поверхню катода та вузла його кріплення. При цьому має місце рекуперація частини енергії електричної дуги, яка не втрачається, а використовується на попереднє підігрівання плазмоутворювального газу.

Втрати у вихідну частину дугового каналу визначаються, в основному, струмом дуги, але, із підвищенням витрати плазмоутворювального газу, внаслідок потовщення прошарку холодного газу між дугою і стінкою дугового каналу та

скорочення ділянки розвиненої турбулентної течії високотемпературного потоку газу в межах дугового каналу, загальний рівень втрат у вихідний електрод дещо зменшується.

Розрахований за вимірними втратами енергії тепловий коефіцієнт корисної дії плазмотрона (ККД) має достатньо високі значення у всьому діапазоні зміни струму дуги, хоча слід врахувати, що наявність у вихідному електроді ділянки із природнім повітряним охолодженням, втрати в яку не враховуються у розрахунках, дає дещо завищені значення розрахованого ККД (рис.4).

Спостерігається зниження значення ККД при збільшенні струму дуги, але починаючи із (160 – 170) А наявне уповільнення темпу падіння ККД та стабілізація його на рівні 0,76 – 0,8.

Високі значення ККД (0,8 – 0,86) характерні режимам роботи плазмового розпилювача із підвищеною витратою плазмоутворювального газу, які зазвичай не використовуються в процесах нанесення покриттів через низькі значення питомої енергії потоку високотемпературного газу – (2 – 3) кВт·год./м³.

Використання досліджуваного плазмотрона в якості розпилювача дисперсних матеріалів із введенням порошку разом із транспортуючим газом співвісно з вихідною ділянкою дугового каналу, дещо змінює умови горіння електричної дуги та її теплообміну із робочими газами: транспортуючий газ приймає участь у формуванні потоку плазми, бо подається в зону електричної дуги; місцеположення плями прив'язування дуги буде частково залежати від витрати і складу транспортуючого газу, бо його потік переміщує пляму у бік соплового отвору дугового каналу; форма і характер плями прив'язування дуги будуть певним чином залежати від складу транспортуючого газу із можливістю переходу до дифузного прив'язування дуги.

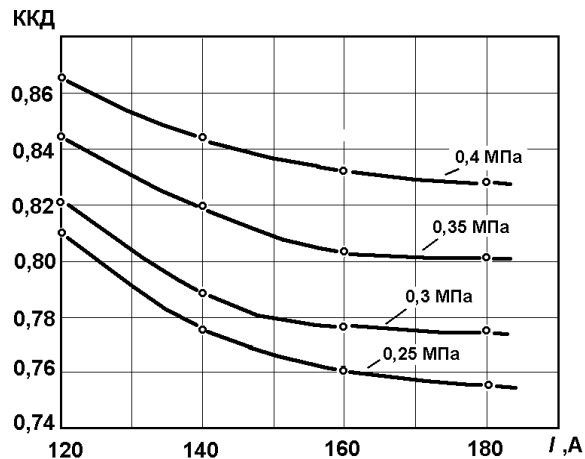


Рис. 4. Залежність ККД плазмотрона від струму дуги при різних значеннях тиску плазмоутворювального газу

Висновки

- Використання вихідного електрода із криволінійним дуговим каналом (на відміну від використання кутового сопла) не призводить до катастрофічного зростання втрат в елементи конструкції дугового розпилювача, що дозволяє прогнозувати ресурс роботи розпилювача, не гірший від ресурсу роботи плазмотронів традиційних схем;
- розміщення анодної плями прив'язування дуги на обмеженій ділянці дугового каналу за місцем зміни напрямку газового потоку дозволяє, в деякій мірі, фіксувати довжину дуги в межах дугового каналу, що сприяє підвищенню стабільності процесу генерування плазмового струменя і забезпечить у подальшому стабілізацію параметрів процесу нанесення покриття;
- ефективне застосування розпилювачів такої принципової схеми при напиленні дисперсних матеріалів потребує додаткових досліджень їх енергетичних та ресурсних характеристик із урахуванням хімічного складу та кількості використаного транспортуючого газу.

Список літератури

1. Газотермическая обработка керамических оксидов / М.Н. Бодяко, Ф.Б. Вурзель, Е.В. Кремко и др.; под ред. О.В. Романа. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 223 с.
2. Пашенко В.Н. Влияние состава плазмообразующей воздушно-газовой смеси на параметры струи плазмотрона // Автомат. Сварка. – 2009. – №4 – С.33-38.
3. Новые материалы и технологии. Теория и практика упрочнения материалов в экстремальных процессах / А.Н.Папырин, Н.П.Болотина, А.А.Большой и др.–Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992.–200с.
4. Пашенко В.М. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів: Навч. посібник. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2001. – 416 с.
5. Пашенко В.М., Кузнецов В.Д., Свистун С.В. Спосіб формування газопорошкового потоку при плазмовому нанесенні покриттів. Патент на корисну модель №29480, від 10.01. 2008 р. Бюл. №1.
6. Пашенко В.М., Василенко О.С. Пристрій для формування газопорошкового потоку при плазмовому напиленні. Патент на корисну модель №42589, від 10.07. 2009 р. Бюл. №13.