

к.т.н. Сергієнко С.М.,
доц. Бірюкова Т.В.,
Алексєєва М.Ю.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

РОЗРАХУНОК ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПЛАЗМОВОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ТУГОПЛАВКИХ ПОРОШКІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Наведені результати теоретичних досліджень, математичних розрахунків, отримані основні характеристики плазмотрону.

Ключові слова: плазма, плазмотрон, диспергування, вольт-амперні та теплові характеристики, плазмохімічна установка.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.

Широке застосування електродугового плазмотрона для отримання тугоплавких порошків стримується відсутністю надійних, високоефективних плазмотронів. Їх наявність дозволить вирішити питання зниження енерговитрат процесу диспергування та підвищення однорідності порошків і дисперсності, тому розрахунок плазмотрона для процесу плазмового диспергування є досить актуальним.

За останні роки з'явилося багато робіт, які присвячені плазмовому диспергуванню тугоплавких порошків. Однак діапазон наведених у них результатів є обмеженим, а плазмотрони, що використовуються, недосконаліми. Таким чином, виникає необхідність проектування плазмотронів для плазмового диспергування тугоплавких порошків з поліпшеними енергетичними та ресурсними характеристиками.

Постановка задачі. Розглянемо розрахункову схему плазмотрона (рисунок 1). Необхідно зробити розрахунки плазмотрона на непрямій дії, робочий газ – повітря, початкова температура повітря $T_1 = 300$ К, кінцева температура повітря $T_2 = 5000$ К. Витрата повітря $G = 2 \cdot 10^{-2}$ кг/с. Тиск робочого газу на виході із плазмотрона $p = 10^5$ Па. Катод – стрижневий. Анод – циліндричний ступінчастий. Стабілізація дуги – газовихрова.

Потрібно визначити наступні параметри: робочі значення напруги U і сили струму I , тепловий коефіцієнт корисної дії η , геометричні розміри електродугової камери (l_2, d_2, l_3, d_3) і катода, що забезпечують необхідний ресурс роботи катода і анода, витрати води на охолодження вузлів плазмотрона, теплові і вольт-амперні характеристики.

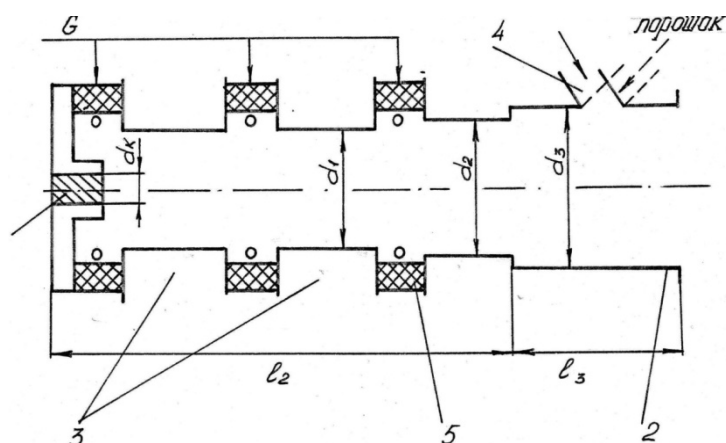
Виклад матеріалу і його результати. Особливістю даної конструкції є наявність двох міжелектродних вставок, а також уступу в каналі анода. При раптовому розширенні потоку безпосередньо за уступом утворюється стійкий вихровий потік. У цьому місці відбувається прив'язка дуги. При розрахунку даного типу плазмотрона доцільно скористатись наступною системою рівнянь [4]:

- напруга на дузі, що самоустанавлиється:

$$U = 0,85 \cdot 1290 \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d_2} \right)^{-0,15} \cdot \left(\frac{G}{d_2} \right)^{0,3} \cdot (p \cdot d_2)^{0,25} \quad (1)$$

- енергія витікаючого струменя:

$$U \cdot I \cdot \eta = G \cdot (h_2 - h_1) \quad (2)$$



1 – катод; 2 – анод; 3 – секції МЕВ; 4 – реакторна камера; 5 – ізолятор.

Рисунок 1 – Розрахункова схема плазмотрона

- тепловой ККД плазмотрона:

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5,85 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d_2}\right)^{0,27} \cdot \left(\frac{G}{d_2}\right)^{-0,27} \cdot (p \cdot d_2)^{0,3} \cdot \left(\frac{l_2}{d_2} + \frac{l_3}{d_3}\right)^{0,5} \quad (3)$$

- напруга на висхідній ділянці вольт-амперної характеристики (ВАХ) плазмотрона:

$$U = 4,55 \cdot \left(1 + 4,6 \cdot 10^{-5} \frac{I}{d_2 + d_3}\right) \cdot \left(\frac{G}{d_2 + d_3}\right)^{0,22} \cdot \left(\frac{l_2}{d_2} + \frac{l_3}{d_3}\right)^{0,95} \cdot (p \cdot (d_2 + d_3))^{0,23} \quad (4)$$

У формулах (1) – (4) уведені наступні позначення:

U – напруга на дузі;

I – сила струму;

η – коефіцієнт корисної дії плазмотрона;

d₂ – діаметр електрода до уступу;

l₂ – довжина електрода до уступу;

d₃ – діаметр електрода після уступу;

l₃ – довжина електрода після уступу.

У результаті отримане наступне: напруга на дузі - 145 В, сила струму - 210 А, тепловий ККД - 65%, довжина розрядного каналу до уступу - 0,033 м.

Обчислимо потужність даного плазмотрона:

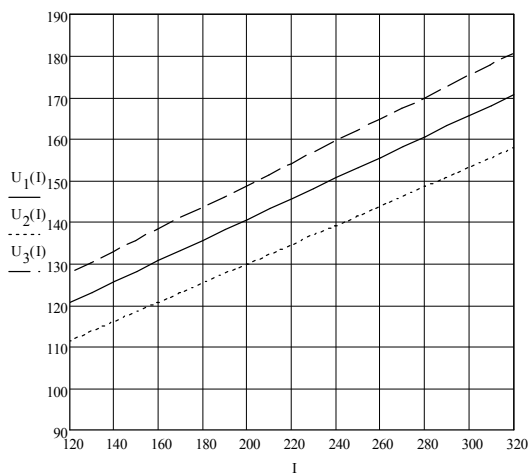
$$P = I \cdot U = 210 \cdot 145 = 30 \text{ кВт} \quad (5)$$

Ресурс роботи плазмотрона становить близько 16 годин. Але якщо замінити матеріал катода – замість цирконія взяти вольфрам, що захищається аргонем від впливу повітря, тоді ресурс роботи буде збільшений до 140 годин, а для анода зробити термохімічні вставки з метою газодинамічного розчеплення струменя дуги, ресурс анода збільшиться не менше ніж у два рази.

Визначені та наведені теплові та електричні характеристики розробленого плазмотрона.

Розглядається плазмотрон з МЕВ. При побудові графіків був обраний діапазон зміни сили струму від 120 до 320 А для більш докладного ілюстрування залежності. Графіки побудовані для трьох витрат газу: G , $0,7G$ і $1,3G$, тобто для номінальної витрати газу і для витрат, меншого та більшого на 30% від номінального.

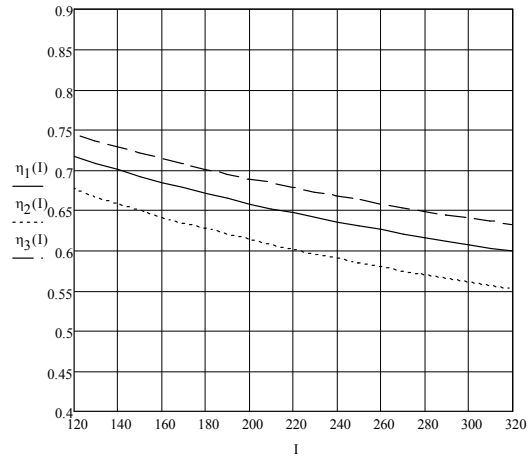
Теплові характеристики. Якість плазмотронів визначається головним чином ефективністю перетворення електричної енергії в теплову, а це у великій мірі залежить від організації процесу взаємодії газу, що нагрівається, з охолоджуваними стінками електродугової камери. Проблема збільшення ККД плазмотрона є зараз дуже актуальною, оскільки марні втрати енергії приводять до пропорційних зменшень економічної вигідності експлуатації плазмотрона. Порівняння наведених результатів розрахунків електричних і теплових характеристик плазмотрона з відомими експериментальними даними [1] показали, що похибка становить не більше 22%, тобто теоретичні розрахунки з достатньою точністю співпадають з експериментальними даними, які наведені на рисунках 6 і 7.



$$1 - G = 2 \cdot 10^{-3}; \quad 2 - 1,4 \cdot 10^{-3};$$

$$3 - 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Рисунок 2 – Вольт– амперні характеристики плазмотрона



$$1 - G = 2 \cdot 10^{-3}; \quad 2 - 1,4 \cdot 10^{-3};$$

$$3 - 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Рисунок 3 – Теплові характеристики плазмотрона

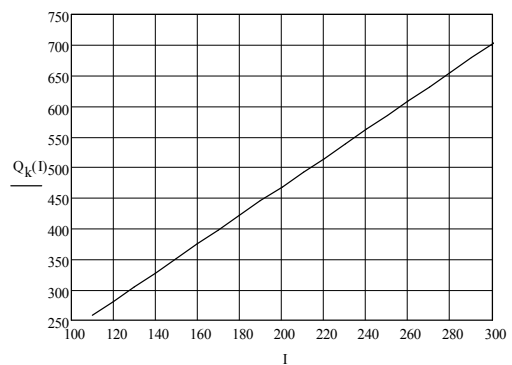
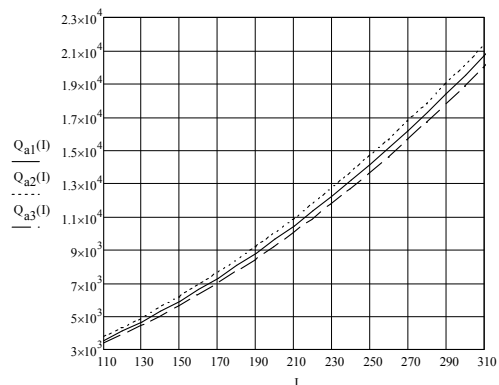


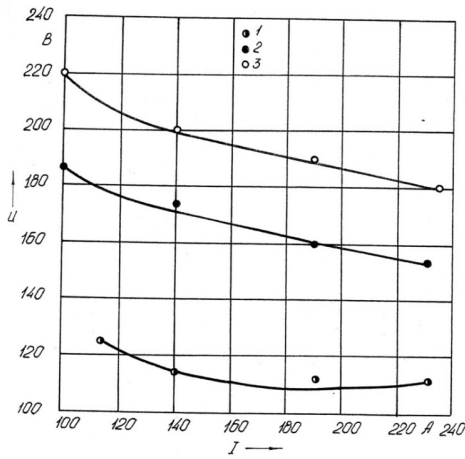
Рисунок 4 – Графік залежності теплових потоків у катод



$$1 - G = 2 \cdot 10^{-3}; \quad 2 - 1,4 \cdot 10^{-3};$$

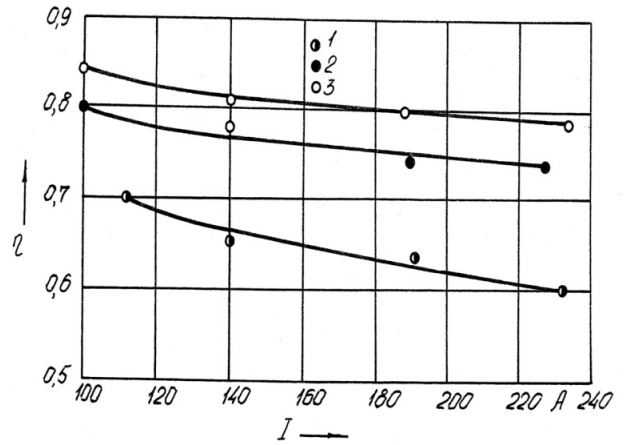
$$3 - 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Рисунок 5 – Графік залежності теплових потоків в аноді



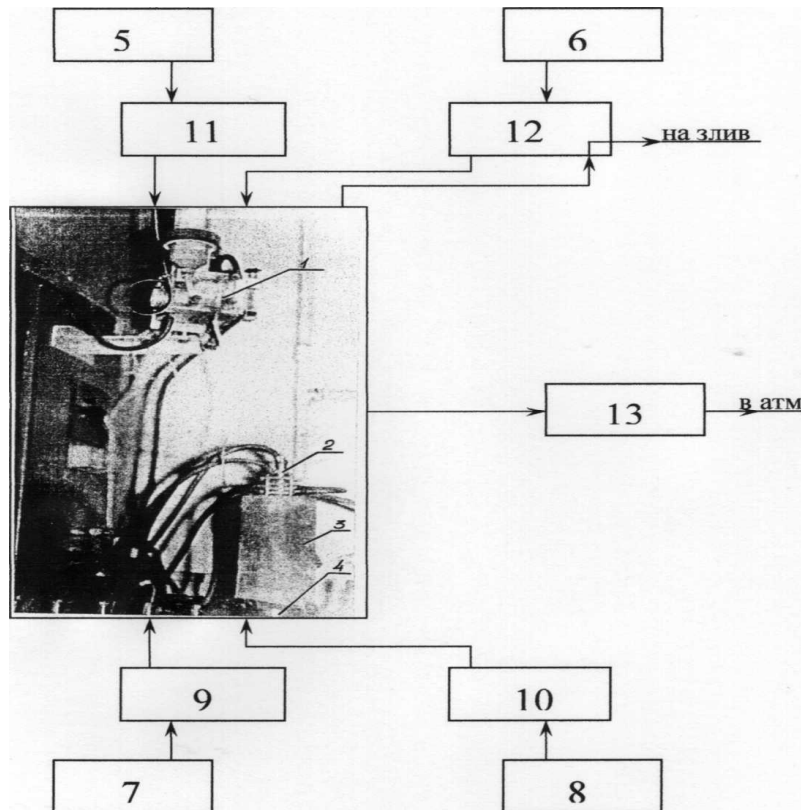
1 – $G = 0,9 \cdot 10^{-3}$; 2 – $1,2 \cdot 10^{-3}$;
3 – $1,8 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

Рисунок 6 – Вольт – амперні характеристики плазмотрона



1 – $G = 2 \cdot 10^{-3}$; 2 – $1,4 \cdot 10^{-3}$;
3 – $2,6 \cdot 10^{-3}$ кг/с

Рисунок 7 – Теплові характеристики плазмотрона



1 – порошковий дозатор; 2 – плазмотрон; 3 – графітовий насадок; 4 – кристалізатор; 5,6,7,8 – джерела живлення плазмотрона електроенергією, водою, захисним і робочим газом відповідно; 9,10 – системи вимірювання та контролю витрат захисного і робочого газів; 11 – система вимірювання витрати та температури води; 12 – система контролю, вимірювання і витрати електроенергії; 13 – система вентиляції.

Рисунок 8 – Плазмохімічний комплекс для одержання диспергованих тугоплавких порошків

Плазмохімічна установка (рис. 8) для одержання тугоплавких порошків призначена для обробки дисперсного матеріалу в плазмовому струмені з метою зміни дисперсності частинок (порошку) реальних розмірів.

Плазмотрон виконаний за лінійною схемою з газовіхревої стабілізації і має секціонірований розрядний канал. Матеріалом катода служить цирконій. МЕВ плазмотрона складається з двох частин: водоохолоджуваного корпусу і змінної секції. Конструкція МЕВ забезпечує її багаторазове використання шляхом заміни секції у випадках виходу з ладу або необхідності зміни геометричних розмірів і витратних параметрів плазмотрона. Реакторна камера пристикується до корпусу плазмотрона. Введення дисперсного матеріалу проводиться поблизу виходу з анодного каналу, тобто в найбільш високотемпературну область плазмового струменя. Конструкція камери дозволяє змінювати кут подачі матеріалу від 75 ° до 97 °. Розподілена подача робочого газу (повітря) по довжині каналу сприяє підвищенню теплового ККД. Реакторна камера об'ємна, є продовженням розрядного каналу анода. Графітовий насадок служить для підвищення теплової характеристики струменя.

Порошковий дозатор забезпечує довготривалу точність і рівномірність подачі

дисперсних матеріалів в плазмотрон, надійність подачі матеріалів дисперсністю не менше 10 мкм, візуальний контроль за процесом дозування і простий в обслуговуванні.

В якості джерела живлення використаний модернізований, серійно випускаємий тиристорний перетворювач ТЕ - 4. [3]. Джерело живлення забезпечено пристроєм автоматичної стабілізації струму дуги. Описана плазмохімічна установка процесу плазмового диспергування тугоплавких порошків, в якій застосовується низькотемпературна плазма, що дозволяє одержувати високопродуктивний процес, який легко здійснити за безперервною схемою і автоматизувати. Установка працює на дешевій і доступній сировині – атмосферне повітря і вода, з використанням електроенергії, що значно підвищує економічність процесу в порівнянні із традиційними методами одержання порошків.

Висновки і напрямок подальших досліджень.

Результати розрахунків можуть бути використані при проектуванні електродугових плазмотронів постійного струму.

Розроблений плазмотрон можна рекомендувати для плазмового диспергування тугоплавких порошків в умовах виробництва.

Бібліографічний список

1. Дзюба В.Л. Физико-химические основы плазменного получения тугоплавких кислородных и бескислородных порошков / В.Л. Дзюба, О.Н.Ключник, С.Н. Сергиенко. – Алчевск, ДонГТУ, 1993. – 113с.
2. Жуков М.Ф. Основы расчета плазмотронов линейной схемы / М.Ф. Жуков. – Новосибирск, 1979. – 146 с.
3. Дзюба В.Л. Электродуговые плазмотроны и источники их питания: [конспект лекций] / В.Л. Дзюба. – Алчевск: ДГМИ, 1993. – 57 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей; 2-е изд., доп. и перераб / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.

Рекомендована до друку д.т.н., проф. Заблодським М.М.

Стаття надійшла до редакції 27.06.13.

к.т.н. Сергиенко С.Н., Бирюкова Т.В., Алексеева М.Ю. (ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

**РАСЧЕТ ПЛАЗМАТРОНА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ
ТУГОПЛАВКИХ ПОРОШКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Приведены результаты теоретических исследований, математических расчетов, получены основные характеристики плазматрона.

Ключевые слова: *плазма, плазматрон, диспергирование, вольт- амперные и тепловые характеристики, плазмохимическая установка.*

Sergienko S.N., Biruikova T.V., Alekseeva M.Y. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

**CALCULATION OF THE PLASMA TORCH FOR PLASMA DISPERSION OF
REFRACTORY POWDERS AND THE DEFINITION OF ITS BASIC CHARACTERISTICS**

Theoretical studies, mathematical calculations to obtain the basic characteristics of the plasma torch.

Key words: *plasma, plasma arc, dispersion, tungsten- voltage and thermal characteristics, plasma-chemical plant.*