

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.М. Шмельов, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
 E-mail: *Ishvm@mail.ru*

Особливості електричної дуги в поперечному потоці рідини

Описано електричну дугу в поперечному потоці рідини. Наведено повна система рівнянь, що описує модель електродугової плазми, яка рухається, з умови припущення рівності температур усіх її компонентів. Основною задачею дослідження стало вивчення і опис особливостей і характеру взаємодії дуги з поперечним потоком рідини. Наведено кадри швидкісної кінозйомки дуги, що горить в поперечному потоці рідини в умовах розмірної обробки електричною дугою, яка переміщується по поверхні електродів, причому переміщення дуги носить дискретний характер, тобто дуга після деякого вистоявання на місці переміщується на іншу, частіше ближню ділянку, або ж виникає в іншому місці поміж електродами.

електрична дуга, магнітна індукція, електричне поле, силове поле, магнітне поле, трикутник взаємоперетворень, стовп дуги

В.И. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.Н. Шмелев, доц., канд. техн. наук
Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина
Особливості електричної дуги в поперечному потоці рідини

Описано электрическую дугу в поперечном потоке жидкости. Приведена полная система уравнений, которая описывает модель электродуговой плазмы, движущейся из условия предположения равенства температур всех ее компонентов. Основной задачей исследования стало изучение и описание особенностей и характера взаимодействия дуги с поперечным потоком жидкости. Приведены кадры скоростной киносъемки дуги, горящей в поперечном потоке жидкости в условиях размерной обработки электрической дугой, которая перемещается по поверхности электродов, причем перемещение дуги носит дискретный характер, то есть дуга после некоторого выстоявания на месте перемещается на другую, чаще ближайший участок, или же возникает в другом месте между электродами.

электрическая дуга, магнитная индукция, электрическое поле, силовое поле, магнитное поле, треугольник взаимопревращений, столб дуги

Постановка проблеми. Електрична дуга в поперечному потоці рідини раніше не була об'єктом досліджень. Проте досліджувалися дуги в поперечному потоці газу [1, с. 88...90]. За існуючими уявленнями, процеси в дузі, що обдувається, складні і різноманітні. В цілому цей комплекс взаємопов'язаних процесів можна описати системою рівнянь, які включають себе закони збереження мас, імпульсів, зарядів і енергії, закони електромагнітного поля і переносу, а також залежності термодинамічних і кінематичних властивостей і параметрів стану системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Повна система рівнянь, що описує модель електродугової плазми, яка рухається, з умови припущення рівності температур усіх її компонентів, може бути записана так [2, с. 14... 17]:

рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

рівняння руху (імпульсів)

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{g}\rho + \rho_e \vec{E} + \vec{j} \times \vec{B} - \text{grad } p + \vec{f}_\tau \quad (2)$$

рівняння енергії

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} \left(h + \frac{\vec{v}^2}{2} \right) - \frac{\partial p}{\partial t} = \rho \vec{g} \cdot \vec{v} + \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div}(\lambda \text{ grad } T) + q_r + q_\tau, \quad (3)$$

де, окрім загальноприйнятих позначок; ρ_e – густина зарядів;

q_r – потік випромінювання;

g – прискорення сили тяжіння;

f_τ – сила внутрішнього тертя

$$\vec{f}_\tau = (2\mu + \mu_1) \text{grad div } \vec{v} - \mu \text{ rot rot } \vec{v} + [2(\text{grad } \mu \nabla) \vec{v} + \text{div } \vec{v} \cdot \text{grad } \mu_1 + \text{grad } \mu \times \text{rot } \vec{v}]; \quad (4)$$

q_τ – робота сил внутрішнього тертя

$$q_\tau = \text{div} \left\{ \mu \left[\text{grad } \frac{\vec{v}^2}{2} + (\vec{v} \nabla) \vec{v} \right] + \mu_1 \vec{v} \text{ div } \vec{v} \right\}, \quad (5)$$

де μ – в'язкість; $\mu_1 = -(2/3)\mu$.

Електромагнітні величини пов'язані рівняннями Максвелла і узагальненим законом Ома:

$$\text{rot } \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0; \quad (6)$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho_e; \quad (7)$$

$$\text{div } \vec{B} = 0; \quad (8)$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad (9)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (10)$$

Магнітна індукція B і напруженість магнітного поля H , електрична індукція D і напруженість електричного поля E пов'язані співвідношеннями:

$$\vec{B} = \mu_e \vec{H}; \quad \vec{D} = \varepsilon_e \vec{E}, \quad (11)$$

де μ_e – магнітна проникність; ε_e – діелектрична постійна середовища.

Записана система рівнянь завершується рівнянням стану:

$$P = R_0 \rho T \cdot M^{-1}, \quad (12)$$

де M – молекулярна вага;

R_0 – абсолютна газова постійна.

Постановка завдання. Описана система рівнянь повинна відображувати особливості електричної дуги в поперечному потоці рідини. Згідно викладеного, основною задачею дослідження повинно стати вивчення і опис особливостей і характеру взаємодії дуги з поперечним потоком рідини. При цьому основним фактором такої взаємодії, як зазначалось, є динамічний тиск потоку рідини.

Виклад основного матеріалу. Дуга в поперечному потоці рідини в умовах РОД горить при малих міжелектродних зазорах, що складають десятки долі міліметра. Течія рідини в таких зазорах має ряд особливостей. До того ж на гідродинамічний режим впливають і інші процеси: горіння розряду, який переміщується і змінюється за формою і розмірами, поява в рідині газоподібних і твердих включень, нагрівання рідини, зміна мікро- і макрогеометрії міжелектродного зазору. Відповідний аналіз і

розрахунки показують, що в умовах РОД можуть спостерігатись як ламінарний так і турбулентний режим руху рідини.

Як показують, зокрема, кадри швидкісної кінозйомки, дуга, що горить в поперечному потоці рідини в умовах РОД, переміщується по поверхні електродів, причому переміщення дуги носить дискретний характер, тобто дуга після деякого вистоявання на місці переміщується на іншу, частіше ближню ділянку, або ж виникає в іншому місці поміж електродами. Середня швидкість переміщення дуги приблизно на один порядок менша швидкості потоку рідини. Тобто можна розглядати такий випадок, коли дуга нерухома, а потік рідини обтікає її. Але в такому випадку потік рідини повинен чинити на стовп дуги (як і на будь яке інше стороннє тіло) механічну дію (тиск), характер якого відображено на рис.1 епюрою тисків. При цьому максимальний тиск потоку рідини на стовп дуги P_{max} являє собою динамічний тиск P_d .

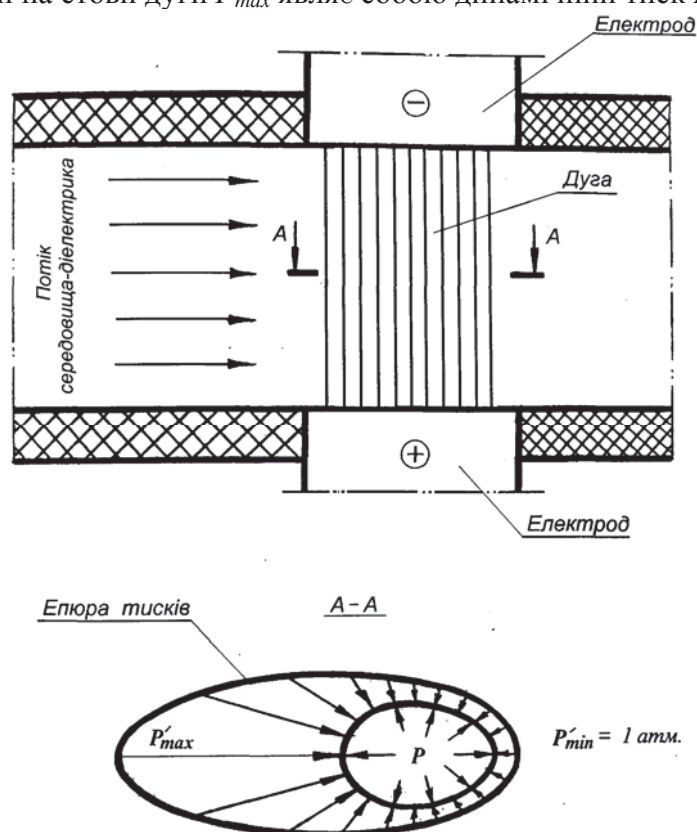


Рисунок 1 – Епюра тисків поперечного потоку рідини в стовпі дуги

Легко визначити, що максимальні тиски поперечного потоку рідини на стовп дуги можуть бути значними. Так, при горінні дуги в поперечному потоці води, що тече зі швидкістю 50 м/с, максимальний тиск потоку на стовп дуги складає 1,25 МПа, тоді як зі зворотної сторони дуги тиск води на стовп дуги не перевищує 0,1 МПа (1 атм.). Це обумовлює однобічний тиск потоку води на стовп дуги, в зв'язку з чим існування дуги, здавалось би, можливе лише в такому випадку, коли стовп дуги буде мати достатню “механічну міцність” (інакше він буде зруйнований), а поміж стовпом дуги і електродами будуть проявляти себе сили взаємного “механічного зчеплення” (оскільки інакше дуга повинна переміщуватись разом з потоком зі швидкістю потоку), що, як зазначалось, в дійсності не спостерігається. При цьому, чим більше динамічний тиск потоку, тим більшу “механічну міцність” повинен мати стовп дуги і тим більше повинні проявляти себе сили взаємного “механічного зчеплення” стовпа дуги з електродами. Проте, для таких припущень немає достатніх підстав. Тому особливого

пояснення вимагає факт існування дуги в поперечному потоці рідини. Для цього звернемося до даних експериментальних досліджень.

На рис. 2, а. показано кадр швидкісної кінозйомки дуги, яка горить в поперечному потоці води поміж мідним анодом (розташований зверху, на знімку не показаний) і графітовим катодом (знизу); струм дуги $I = 250$ А, динамічний тиск потоку води $P_0 = 0,3$ МПа, частота кінозйомки 4000 кадр/с, експозиція 1/20000 с, збільшення в 30 разів. На рис. 2, б. приведено той же кадр швидкісної кінозйомки при збільшенні в два рази, що дозволяє визначити місцезнаходження дуги поміж електродами, а отже і напрямок течії потоку води відносно до за знятої дуги (зліва направо).



а) власне дуги; б) дуги поміж електродами

Рисунок 2 – Кадр швидкісної кінозйомки дуги

Така дуга має достатньо чіткі оптичні межі і лише зліва зі сторони потоку рідини, що рухається, на ділянці максимального динамічного тиску потоку бічна поверхня стовпа дуги має розмитий контур, що свідчить про наявність у стовпа дуги деякої перехідної зони. Це дозволяє припустити, що в цій перехідній зоні відбувається інтенсивне термічне руйнування потоку за рахунок випаровування рідини теплом дуги, тобто має місце термічна взаємодія дуги з потоком. Результатом такої взаємодії є, як це зазначалось, саморегулювання геометричних і енергетичних характеристик дуги в функції динамічного тиску потоку. Пояснимо цей факт.

Стовп дуги може розглядатись як зрівноважена саморегулююча система. Пояснюється це наступним. «В плазмі стовпа дуги присутні частки трьох видів. Тому можна говорити про температури електронного T_e , іонного T_i і нейтрального T_a газів. У випадку, якщо вони відрізняються, рівновага є частковою. В крайньому випадку, коли температура всього комплексу часток стає однаковою, плазму називають ізотермічною, а термодинамічну рівновагу повною. Умовам повної рівноваги ідеально відповідають замкнені системи, що ізольовані від оточуючого середовища. Дугу не можна віднести до їх числа, оскільки вона є типово відкритою системою, стаціонарний стан якої обумовлено рівністю енергії, що виділяється в ній та тією, що відводиться в оточуюче середовище. Проте стаціонарний стан таких систем задовольняє умовам термодинамічної рівноваги, якщо витримується принцип детальної рівноваги, який потребує зворотності фізичних механізмів прямих і зворотних енергетичних процесів і рівності їх швидкостей. Практично це означає, що стовп дуги не може знаходитись в строгій термодинамічній рівновазі. Вона може бути лише приблизною. Проте її законами можна користуватись для опису стану такої системи» [3, с.31 ...32].

Відомо, що коли на систему, яка знаходиться в стані рівноваги, діяти зовнішнім фактором, що виводить систему з рівноваги, то рівновага зміщується в тому напрямку, при якому ефект зовнішньої дії послаблюється (принцип зміщення рівноваги Ле-

Шательє). Тому при горінні дуги в поперечному потоці рідини при зміні динамічного тиску потоку рідини в результаті процесів саморегулювання в дузі її характеристики повинні змінюватись таким чином, щоб ослабити ефект зовнішньої дії (ефект зміни динамічного тиску потоку) і забезпечити горіння дуги в нових умовах. І дійсно, як це було показано вище в результаті експериментальних досліджень, при збільшенні (зменшенні) динамічного тиску потоку рідини геометричні характеристики дуги, що визначаються площею поперечного перерізу і довжиною, зменшуються (збільшуються), а енергетичні характеристики дуги, які визначаються перш за все напруженістю електричного поля і густиною струму, збільшуються (зменшуються), що необхідно розглядати як результат саморегулювання геометричних і енергетичних характеристик дуги в функції динамічного тиску потоку.

Опишемо вірогідний фізичний механізм такого саморегулювання, що є результатом взаємодії дуги з потоком рідини. Описати таке явище в термінах Фундаментальних часток і їх взаємодії поки що неможливо. Тому розглянемо Що взаємодію з макроскопічної точки зору, з точки зору взаємодії двох систем Дуги і поперечного потоку рідини. Згідно уявлень сучасної фізики, будь-яка взаємодія реалізується через деякі поля.

Електрична дуга, як зазначалось, це породження того, що ми називаємо електричним полем, це матеріальна форма прояву електричного поля, це, на відміну від металевих провідників струму, «оголена» форма існування електричного поля, яке таким чином, має безпосередній контакт із зовнішнім середовищем, взаємодіючи з ним, і чим, власне, пояснюються тонкі механізми саморегулювання дуги в функції складу і стану зовнішнього середовища. Потік рідини – це силове поле. Нагадаємо, що силове поле – це будь-яка причина, що викликає рух чи зміну руху.

Таким чином, взаємодію дуги з потоком рідини (і взагалі будь-якого середовища-діелектрика) треба розглядати як взаємодію електричного поля, яке характеризується струмом I і такими енергетичними характеристиками як напруженість електричного поля E і густина струму j , та силового поля, яке характеризується динамічним тиском потоку P_d . Основним результатом будь-якої взаємодії є те, що системи, які взаємодіють, змінюються з певними наслідками. В нашому випадку в результаті взаємодії з поперечним потоком рідини спостерігається саморегулювання енергетичних характеристик дуги E і j в функції динамічного тиску потоку P_d . Тобто, в результаті взаємодії дуги (електричне поле) з потоком рідини (силове поле) змінюються характеристики дуги (електричного поля), змінюється її енергетична структура, змінюється стан плазми дугового розряду.

Так, наприклад, тиск плазми в стовпі такої дуги може досягати десятків і навіть сотень МПа. Щоб переконатись в цьому досить прийняти до уваги отримані значення E і j [4]. Але в такому випадку треба шукати силу, що стискує, утримує та зрівноважує тиск плазми в стовпі дуги. Залишаються також нез'ясованими і вимагають пояснення особливості існування дуги в умовах “механічної” взаємодії дуги з потоком. Наслідком взаємодії дуги з потоком є також факт Руху дуги в напрямку, поперечному до руху потоку рідини, який спостерігається, зокрема, при протіканні розряду між сталевими електродами при струмі $I > 300...400$ А і динамічному тиску потоку $P_d > 0,3$ МПа. Це також вимагає пояснень, але одночасно дозволяє більш визначено розглядати отриманий фізичний ефект взаємодії дуги з поперечним потоком рідини та дає підстави, щоб запропонувати наступну гіпотезу, яка пояснює всі наведені факти.

Згідно діючих уявлень, в даному випадку єдиною силою, яка може рухати дугу в напрямку, поперечному до руху потоку рідини, може бути тільки власне магнітне поле дуги. Причому, порівняно зі звичайними дугами типу зварювальних магнітна індукція

такого магнітного поля при інших рівних умовах (струм I і напруга U) помітно більша і є функцією не тільки струму (як це визначає закон Біо-Савара), але і динамічного тиску потоку, оскільки таке магнітне поле дуги рухає її в поперечному напрямку до напрямку руху потоку (при відсутності чи порівняно малих динамічних тисках поперечного потоку рідини такого не спостерігається). Визначеним в такому випадку є також напрямок вектора магнітної індукції такого магнітного поля дуги, що є несиметричним - він співпадає з напрямком руху робочої рідини (згідно правила лівої руки). Стає зрозумілою при цьому і «механічна» міцність такої дуги, бо потужне власне магнітне поле дуги відповідних характеристик, які визначаються динамічним тиском потоку, стискує, утримує і зрівноважує тиск плазми в стовпі дуги і, таким чином, забезпечує відповідну енергетичну структуру стовпа дуги, яка термічно руйнує потік рідини, що набігає на неї. Отримує пояснення також і наведений вище факт, коли дуга в поперечному потоці рідини рухається не разом з потоком і не з його швидкістю, бо знову таки, потужне власне магнітне поле рухає дугу згідно розглянутого вище закону, сформульованого, як закон найменшого опору.

Тож, згідно викладеного, наявність власного потужного магнітного поля дуги, яка горить в поперечному потоці рідини (або іншого середовища-діелектрика), магнітна індукція якого (поля) є функцією не лише струму I , але й динамічного тиску потоку P_d , є наслідком і необхідною умовою існування дуги в екстремальних умовах поперечного потоку рідини. Визначимо магнітну індукцію такого поля.

На основі експериментальних даних можна зробити висновок, що магнітна індукція B власного поля дуги, яка горить в поперечному потоці середовища-діелектрика, пропорційна струму I і динамічному тиску потоку середовища-діелектрика P_d , залежить від напрямку потоку відносно стовпа дуги і може бути представлена виразом:

$$B = k \cdot I \cdot P_d \cdot \sin \alpha, \quad (13)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, при відповідному виборі одиниць виміру $k = 1$; α – кут між напрямком потоку і стовпом дуги; при горінні дуги в поперечному потоці середовища-діелектрика $\alpha = 90^\circ$ і, відповідно, $\sin \alpha = 1$.

Мовою векторної алгебри вираз (3.12) можна представити у вигляді:

$$\vec{B} = \vec{I} \times \vec{P}_d. \quad (14)$$

Отриманий вираз має принципове значення і важливі наслідки. Сформулюємо у найзагальнішому вигляді його фізичну суть. Прийmemo до уваги, що I - це основна кількісна характеристика електричного поля, P_d - основна кількісна характеристика силового поля (яким є потік середовища-діелектрика).

Співвідношення (14) виражає, по суті, невідому раніше закономірність взаємодії електричного поля (дуги) і силового поля (потоку середовища-діелектрика), результатом якої є перетворення енергії електричного поля дуги в енергію власного магнітного поля прямо пропорційно векторного добутку струму дуги на динамічний тиск потоку середовища-діелектрика, яке (магнітне поле), в розглянутому нами випадку, стискує, утримує і зрівноважує тиск плазми в стовпі дуги високих енергетичних характеристик. Таким чином, в стовпі такої дуги (яка горить в поперечному потоці середовища-діелектрика) одночасно досягається одержання, і утримання плазми високих енергетичних характеристик.

Співвідношення (14) отримано нами для дуг в поперечному потоці середовища-діелектрика. Проте воно поширюється на всі дуги без виключення, бо завжди має місце взаємодія дуги із зовнішнім середовищем, яке характеризується відповідними

параметрами силового поля, а отже будь-яка дуга характеризується відповідними параметрами власного магнітного поля, що є функцією струму дуги та характеристик силового поля зовнішнього середовища. Таким чином електричну дугу можна розглядати не тільки як потужний перетворювач електричної енергії в тепло, але, зокрема, при горінні дуги в поперечних силових полях, ще і як ефективний перетворювач електричної енергії в енергію магнітного поля.

На відміну від існуючих уявлень про те, що магнітна індукція в усіх випадках є функцією тільки струму (закон Біо-Савара), вираз (14) установлює, що магнітна індукція є, окрім того, також результатом взаємодії електричного і силового полів, при якому енергія електричного поля перетворюється в енергію магнітного поля. Проте, якщо прийняти до уваги, що електричні і магнітні сили складають частини одного фізичного явища, - електромагнітної взаємодії часток [5, с. 276] і, відповідно, електричні і магнітні ефекти треба розглядати як різні сторони одного і того ж явища, що зветься електромагнетизмом, — зазначена закономірність не несе протиріч існуючим в цій області уявленням.

Значимо, що співвідношення (14) в відомих межах є аналогічним співвідношенням, що описують закон електромагнітної сили (закон Ампера) і закон електромагнітної індукції (закон Фарадея) з тією принциповою різницею, що в першому випадку установлюється по суті, закон взаємодії електричного і Магнітного полів, результатом якої є перетворення енергії електричного поля в енергію силового поля; в другому випадку установлюється закон взаємодії силового і магнітного полів, результатом якої є перетворення енергії силового поля в енергію електричного поля; згідно запропонованої нами гіпотези установлюється закономірність взаємодії електричного і силового полів, результатом якої є перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля, в зв'язку з чим така закономірність може бути названою законом магнітної індукції.

В аналогіях і спільності форм усіх зазначених закономірностей, в тому, що їх об'єднує і робить схожими, треба шукати спільність фізичної суті явищ, що розглядаються, яка (суть), очевидно, може бути сформульована як закономірність взаємоперетворення енергії електричного, магнітного і силових полів. В цьому зв'язку зручно прослідкувати за такими фактами взаємоперетворень енергій електричного E , магнітного B і силового P полів на умовній схемі (рис. 3), яка названа нами трикутником взаємоперетворення енергій електричного, магнітного і силового полів.

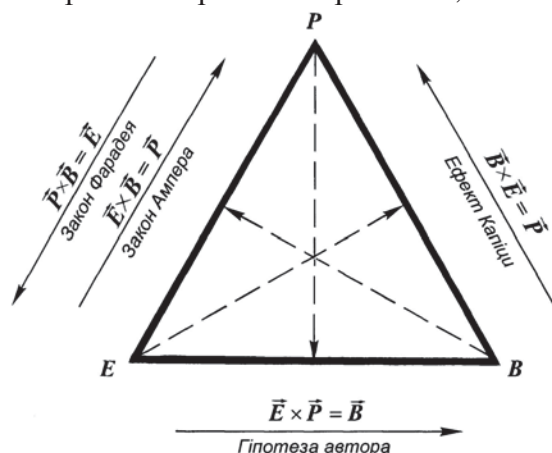


Рисунок 3 –Трикутник взаємоперетворень енергії електричного E , магнітного B та силового P полів

Якщо прийняти до уваги описані особливості дуги та запропоновану гіпотезу і, відповідно, співвідношення (14), то рівняння (2) і (3) приймають вигляд:

$$\rho \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{g}\rho + \rho_e \bar{E} + \bar{j} \times \bar{B}_* - grad p + \bar{f}_\tau, \quad (15)$$

$$\rho \frac{d}{dt} \left(h + \frac{\bar{v}^2}{2} \right) - \frac{\partial p}{\partial t} = \rho \bar{g}\bar{v} + \bar{j}\bar{E} + div(\lambda grad T) - div(\alpha \Delta T) - k \bar{j} \times \bar{P}_d + q_r + q_\tau, \quad (16)$$

де B_* – магнітна індукція власного магнітного поля дуги

$$\bar{B}_* = k_* \bar{j} \times \bar{P}_d, \quad (17)$$

де k і k_* – коефіцієнти розмірності;

α – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією;

ΔT – різниця температур.

Якщо наведену повну систему рівнянь (1 - 12 та 15, 16) максимально спростити, відкидаючи менш суттєві і залишаючи тільки найбільш важливі з них, то залишається ще достатньо складна система, розв'язок якої наптовхується на значні математичні труднощі. Тому вона повинна стати об'єктом подальших досліджень.

Висновки: В підсумку зазначимо, що при реалізації дуги в поперечному потоці середовища-діелектрика, зокрема рідини, в результаті протікання в стовпі дуги процесів саморегулювання при збільшенні (зменшенні) динамічного тиску потоку енергетичні характеристики плазми в стовпі дуги (температура, концентрація часток, тиск) збільшуються (зменшуються); при цьому магнітна індукція власного магнітного поля дуги відповідно збільшується (зменшується), стискаючи, зрівноважуючи і утримуючи в стовпі дуги плазму отриманих високих енергетичних характеристик. Як наслідок, в стовпі такої дуги одночасно забезпечується як одержання, так і утримання плазми високих енергетичних характеристик, що в багато разів перевищує енергетичні характеристики плазми в стовпі відомих дуг і дозволяє розглядати таку дугу як якісно нове джерело тепла для науки і нових технологій.

Список літератури

1. Золотых, Б.Н. Физические основы электроискровой обработки металлов [Текст] // Б.Н. Золотых. – М.: Гостехиздат, 1953. – 107 с.
2. Теория термической электродуговой плазмы. Часть 1. Методы математического исследования плазмы / отв. редакторы: Жуков М.Ф., Коротеев А.С. – Новосибирск: Наука. – 1987. – 288 с.
3. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга [Текст] // Г.И. Лесков. – М: Машиностроение, 1970. – 335 с.
4. Носуленко, В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою [Текст] : Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07 “Процеси фізико-технічної обробки” / В. І. Носуленко. – К., 1999. – 32 с.
5. Фейман, Р. Фейнмановские лекции по физике. Электричество и магнетизм [Текст] // Р. Фейман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М: Мир, 1977. – 300с.

Victor Nosulenko, Prof., DSc., Vitaliy Shmelyov, Assoc. Prof., Phd tech. sci.

Centralukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Features of an electric arc in a cross flow of fluid

The paper purpose - Development of theoretical bases of an electric arc in a cross flow of fluid. Studying and the description of features and character of interaction of an arch with a cross flow of fluid.

In a paper describes an arc in a cross flow of fluid. Shows the complete system of equations that describes the model of electric arc plasma, moving from the condition that of equality of the temperatures of all her components. Shows frames from high-speed filming burning arc in a cross flow of fluid in conditions of dimensional processing by an electric arc, which moves along the surface of the electrodes, moving in an arc is discrete, that is, the arc after some standing in place moves to another, usually the nearest land, or arises in a different place between the electrodes.

Describes an electric arc in a cross flow of fluid as a source of magnetic energy. Described triangle interconversion energy magnetic, power, energy fields.

electric arc, magnetic induction, electric field, force field, magnetic field, triangle interconversions, the arc column

Одержано 13.05.17