



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110120** (13) **C2**
(51) МПК
H05B 7/22 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2013 07624	(72) Винахідник(и): Сисоєв Юрій Олександрович (UA), Костюк Геннадій Ігорович (UA)
(22) Дата подання заявки: 17.06.2013	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.11.2015	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 8133365 B2, 13.03.2012 JP 2007070690 A, 22.03.2007 JP 2005350763 A, 22.12.2005 SU 1040631 A1, 07.09.1983 US 3625848 A, 07.12.1971 SU 661042 A1, 05.05.1979 SU 529715 A1, 30.06.1978 АКСЕНОВ І. І., АНДРЕЕВ А. А., БЕЛОУС В. А., СТРЕЛЬНИЦКИЙ В. Е., ХОРОШИХ В. М. Вакуумная дуга: источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование. - К.: Наукова думка, 2012. - С. 191-237 ДОРОДНОВ А.М. Технологические плазменные ускорители // Журнал технической физики, 1978, т. 48, в. 9. - С. 1858-1869, рис. 4
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.10.2014, Бюл.№ 19	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2015, Бюл.№ 22	

(54) ВАКУУМНО-ДУГОВЕ ДЖЕРЕЛО ПЛАЗМИ

(57) Реферат:

Винахід належить до електротехніки, зокрема до джерел плазми на основі вакуумно-дугового розряду. У вакуумно-дуговому джерелі плазми, що містить співвісно встановлені анод і стрижневий катод, що витрачається, прикріплений до торця анода, вузол охолодження катода, змонтований поблизу його робочої поверхні у вигляді пустотілого корпусу, що охоплює герметично бічну поверхню катода, вузол переміщення катода, розташований біля його неробочого торця, і вузол підпалу, розміщений поблизу робочої поверхні катода. Між вузлом переміщення катода і неробочим торцем катода розміщена проставка, приєднана до катода, яка має поверхню, яка ізометрична поверхні катода і є її продовженням, і довжину L , яка визначається з умови

$$L=L_1-L_2,$$

де L_1 - відстань від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, який відпрацював свій ресурс; L_2 - товщина катода, що відпрацював свій ресурс. Винахід дозволяє підвищити коефіцієнт корисного використання матеріалу катода і надійність роботи вакуумно-дугового джерела плазми.

UA 110120 C2

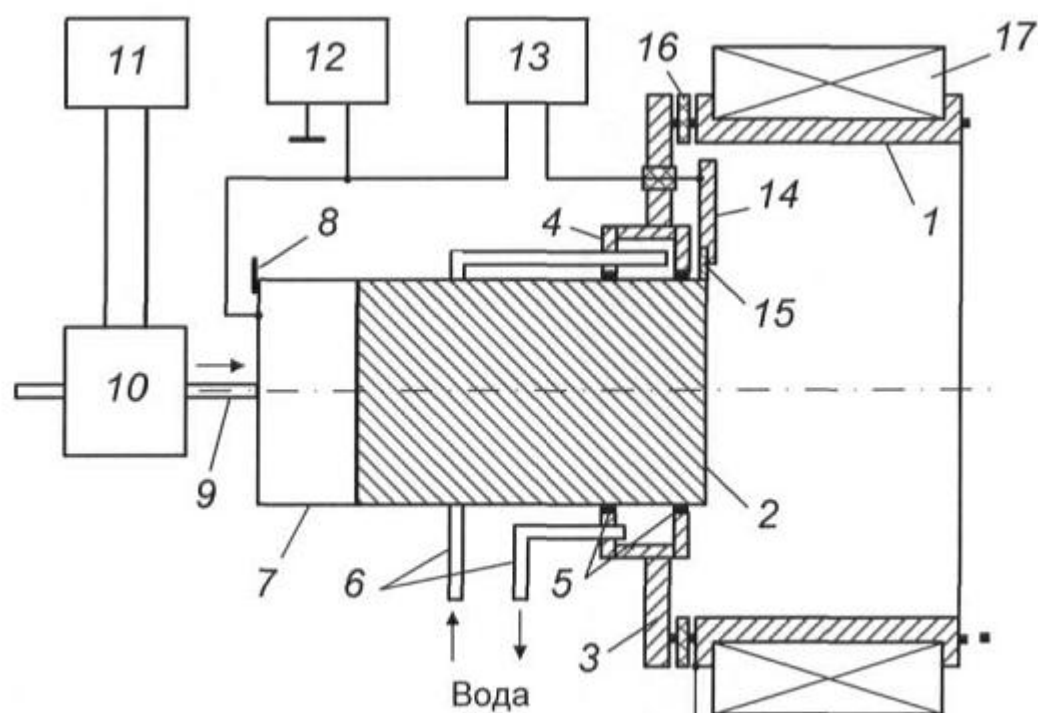


Fig. 1

Винахід належить до електротехніки, зокрема до джерел плазми на основі вакуумно-дугового розряду, що застосовуються для отримання покриттів різного функціонального призначення на деталях машин і інструменті.

Відомі джерела плазми, в яких генерація плазмового потоку здійснюється катодною плямою вакуумно-дугового розряду з інтегрально холодним катодом [Дороднов А.М. Технологические плазменные ускорители. ЖТФ, 1978, т. 48, в. 9, с. 1862, рис. 4]. Такі джерела являють собою коаксіальну систему примусово охолоджуваних електродів - центрального катода, виконаного з провідникового матеріалу, який перетворюється в плазмовий стан, і конічного анода. Стационарні та імпульсні плазмові потоки, що генеровані джерелами розглянутого типу, використовуються для отримання покриттів різного призначення. Водночас їм притаманний ряд недоліків: складна конструкція, низька надійність системи підпалу дуги, невисокі запас плазмоутворюючого матеріалу катода і коефіцієнт його використання.

Відомий ряд вакуумно-дугових джерел плазми, у тому числі тих, що знайшли широке практичне застосування в іонно-плазмових установках типу "Булат", описаних в роботі [Аксенов И.И. и др. Вакуумная дуга: источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование. - К.: Наукова думка, 2012. - с. 191-237]. У наведених конструкціях джерел плазми вирішені завдання: підвищена надійність порушення дуги застосуванням безконтактного підпалу (там же, с. 210, рис. 8.29, за авт. свід. СРСР № 529715, 1978, Бюл. ОИПОТЗ, № 24), виводу і стабілізації катодних плям на робочій поверхні катода (там же, с. 197, рис. 8.10), фокусування плазмового потоку (там же, с. 200, рис. 8.16, за авт. свід. СРСР № 1040631, 1983, Бюл. ОИПОТЗ, № 33) та ін. Особливістю всіх наведених у цій роботі конструкцій джерел плазми є застосування в них примусового охолодження катода по його неробочому торцю. Таке рішення характеризується нарівні з простотою реалізації неможливістю використання катодів з високим запасом плазмоутворюючого матеріалу і низьким коефіцієнтом його корисного використання.

Суттєво підвищити запас матеріалу катода можна в конструкціях джерел плазми з охолодженням катода по боковій поверхні. Така спроба була зроблена в джерелі плазми за авт. свід. СРСР № 661042, 1979, Бюл. ОИПОТЗ № 17. Однак введення води для охолодження анода з боку катода не дозволяє в такій конструкції використовувати катод з великим запасом матеріалу, а віддаленість зони охолодження катода від його робочої поверхні зменшує коефіцієнт корисного використання матеріалу катода.

Найбільш близьким до запропонованого вакуумно-дугового джерела плазми з технічної сутності є вакуумно-дуговий пристрій за патентом США № 3625858, 1971 (A. Snaper. Arc depositions process and apparatus, fig. 9), вибраний у якості прототипу, і який містить співвісно встановлені анод і стрижневий катод, що витрачається, прикріплений до торця анода, вузол охолодження катода, змонтований поблизу його робочої поверхні у вигляді пустотілого корпусу, що охоплює герметично бічну поверхню катода, вузол переміщення катода, розташований біля його неробочого торця і вузол підпалу, розміщений поблизу робочої поверхні катода. У вакуумно-дуговому пристрої даної конструкції за рахунок охолодження катода по боковій поверхні і постійного переміщення катода в міру його вироблення вузлом переміщення забезпечується можливість застосування катодів зі значним запасом плазмоутворюючого матеріалу. Істотним недоліком пристрою-прототипу є низький коефіцієнт корисного використання матеріалу катода. Цей недолік особливо неприпустимий у разі виготовлення катода з матеріалу високої вартості (вольфрам, молібден, гафній та ін.)

Причина низького коефіцієнта корисного використання матеріалу катода в пристрої-прототипі обумовлена тим, що переміщення катода в ньому обмежене і можливе тільки до моменту, коли неробочий торець катода підійде до першого ущільнення зони охолодження катода (поз. 78 на фіг. 9 пристрою-прототипу). Якщо після цього продовжити переміщення катода, то виникне аварійна ситуація - розгерметизація зони охолодження. Таким чином, частина катода, укладена між першим ущільненням зони охолодження і робочим торцем катода в пристрої-прототипі не може бути використана. Тому після того, як неробочий торець катода зрівняється з першим ущільненням зони охолодження, катод повинен бути замінений на новий. Ця обставина й обумовлює низьке значення коефіцієнта корисного використання матеріалу катода в пристрої-прототипі. Крім того пристрій-прототип характеризує низька надійність, оскільки не виключена можливість виникнення аварійної ситуації наприкінці вироблення катодом свого ресурсу.

Технічною задачею запропонованого винаходу є створення вакуумно-дугового джерела плазми з високим коефіцієнтом корисного використання матеріалу катода і підвищення надійності його роботи.

Поставлена технічна задача вирішується тим, що у вакуумно-дуговому джерелі плазми, що містить співвісно встановлені анод і стрижневий катод, що витрачається, прикріплений до торця анода, вузол охолодження катода, змонтований поблизу його робочої поверхні у вигляді пустотілого корпусу, що охоплює герметично бічну поверхню катода, вузол переміщення катода, розташований біля його неробочого торця і вузол підпалу, розміщений поблизу робочої поверхні катода, між вузлом переміщення катода і неробочим торцем катода розміщена приєднана до катода проставка, яка має поверхню, ізометричну поверхні катода і є її продовженням і довжину L , яка визначається з умови

$$L=L_1-L_2,$$

де L_1 - відстань від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, який відпрацював свій ресурс; L_2 - товщина катода, що відпрацював свій ресурс.

Поставлена технічна задача вирішується також тим, що у вакуумно-дуговому джерелі плазми проставка з протилежного від катода торця забезпечена упором, який припиняє переміщення катода при відпрацюванні катодом ресурсу, а сама проставка виготовлена з матеріалу катода.

Розглянемо детально причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими відмінними ознаками запропонованого пристрою і технічним результатом, що досягається.

1. Введення в джерело плазми між вузлом переміщення катода і неробочим торцем катода проставки, приєднаної до катода, що має відповідну форму (ізометричну поверхні катода) і розташовану так, що її поверхня є продовженням катода і довжину L , яка визначається з умови

$$L=L_1-L_2,$$

де L_1 - відстань від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, який відпрацював ресурс; L_2 - товщина катода, що відпрацював свій ресурс, забезпечує практично повне вироблення матеріалу катода (а значить, і забезпечення коефіцієнта корисного використання матеріалу катода близького до 100 %) наступним чином. У разі наявності проставки з обумовленими істотними ознаками після того, як неробочий торець катода зрівняється з першим ущільненням зони охолодження, катод можна переміщати далі, оскільки на його місце в районі першого ущільнення переміститься проставка і розгерметизації зони охолодження не відбудеться. Так само проставка в ході подальшої роботи джерела плазми переміститься і на місце катода в районі другого ущільнення, не порушивши герметизацію зони охолодження. Таким чином можна переміщати катод аж до його повного вироблення ($L_2=0$). Однак на практиці внаслідок ряду причин (в загальному випадку це: неприпустимість ерозії матеріалу, що з'єднує проставку і катод, матеріалу самої проставки, нерівномірність вироблення робочої поверхні катода) необхідно встановлювати значення L_2 рівним 1...2 мм. У порівнянні з пристроєм-прототипом, в якому товщина катода, що виробив свій ресурс (L_2), має значення в кілька десятків міліметрів, запропонований пристрій забезпечує більш повну виробку матеріалу катода, і, відповідно більш високий коефіцієнт корисного використання матеріалу катода.

2. У запропонованому вакуумно-дуговому джерелі плазми проставка з протилежного від катода торця забезпечена упором, який припиняє переміщення катода при виробітку катодом ресурсу. Ця істотна відмінна ознака забезпечує безаварійну роботу пристрою в кінці експлуатації катода. Дійсно, оскільки в пристрої-прототипі відсутні конструктивні елементи, що обмежують переміщення катода в кінці його експлуатації, то можливе виникнення аварійної ситуації - розгерметизації охолоджуючої порожнини. У запропонованому пристрої за рахунок введення упора така ситуація виключена, що різко підвищує надійність його роботи.

3. Виготовлення в запропонованому вакуумно-дуговому джерелі плазми проставки з матеріалу катода забезпечує досягнення наступного позитивного результату - збереження незмінним теплового режиму катода, що додатково підвищує надійність цього джерела плазми, оскільки воно забезпечує при такій ознаці сталість складу плазмового потоку протягом усього терміну експлуатації катода. У загальному випадку можливе виготовлення проставки з будь-якого провідного матеріалу, відмінного від матеріалу катода. Однак при цьому, коли проставка входить в зону охолодження катода і, переміщаючись, буде займати все більшу частину в ній, то внаслідок різних коефіцієнтів теплопровідності матеріалів проставки і катода, буде змінюватися тепловий режим на робочій поверхні катода, що незмінно викличе зміну складу плазмового потоку, а це знижує надійність джерела плазми як джерела з незмінними вихідними параметрами. Виготовлення в запропонованому пристрої проставки з матеріалу катода зберігає незмінним тепловий режим катода, незалежно від ступеня його вироблення, що забезпечує сталість складу плазмового потоку протягом усього терміну експлуатації катода, а отже, підвищує надійність запропонованого пристрою.

Таким чином, розглянуті суттєві відмінні ознаки даного технічного рішення в сукупності причинно-наслідкових зв'язків забезпечують досягнення заявленого технічного результату - високий коефіцієнт корисного використання матеріалу катода в запропонованому вакуумно-дуговому джерелі плазми і підвищення надійності його роботи.

5 На фіг. 1 зображено запропоноване вакуумно-дугове джерело плазми.

На фіг. 2 зображений катодний вузол вакуумно-дугового джерела плазми з катодом, який відпрацював свій ресурс.

На фіг. 3 показаний варіант виконання упора для зупинки переміщення катода, який відпрацював свій ресурс.

10 Вакуумно-дугове джерело плазми (фіг. 1) містить співвісна встановлені анод 1 і стрижневий витрачуваний катод 2, прикріплений до торця анода 1 за допомогою фланця 3. По боковій поверхні катод 2 охоплює вузол охолодження катода 2, що складається з пустотілого корпусу 4 і ущільнень 5, що герметизують зону охолодження, з можливістю переміщення через вузол охолодження катода 2. Вузол охолодження прикріплений до фланця 3 в центральній його частині. Надходження і відведення охолоджуючої рідини (вода) в зону охолодження катода 2 і з неї забезпечується патрубками 6. До неробочого торця катода 2 співвісно прикріплена проставка 7 так, що її поверхня, яка ізометрична поверхні катода 2, є продовженням поверхні катода 2. До проставки 7 з боку, протилежного катода, прикріплений упор 8. У торцеву поверхню проставки 7 впирається шток 9, що приводиться в рух кроковим приводом 10. Кроковий привід 10 підключений до блока управління приводом 11. Анод 1 і катод 2 джерела плазми підключені до блока живлення дугового розряду 12. Збудження вакуумно-дугового розряду в джерелі плазми здійснюється блоком підпалу 13, що видає імпульс запуску на вузол підпалу, утворений пусковим електродом 14, який контактує з катодом 2 через ізолятор 15. Електрична розв'язка між анодом 1 і катодом 2 виконана кільцевим ізолятором 16. Для утримання на робочій поверхні катода 2 катодних плям служить соленоїд 17. Для припинення переміщення катода 2 при його повній виробці може використовуватися кінцевий вимикач 18, що спрацьовує від упора 8.

Вакуумно-дугове джерело плазми працює таким чином.

У початковому стані катод 2 (матеріал титан марки ВТ1-00, діаметр 60 мм, довжина 200 мм) з прикріпленою проставкою 7 (матеріал титан марки ВТ1-00, діаметр 60 мм, довжина 71 мм) встановлено у вузлі охолодження так, що бокова поверхня катода 2 в районі його робочої поверхні контактує з ізолятором 15 вузла підпалу, шток 9 впирається в проставку 7, блок живлення дуги 12 включений, через соленоїд 17 від блока його живлення (на фіг. 1 не показаний) протікає струм, що створює в системі магнітне поле. Об'єм джерела плазми, яке приєднане до вакуумної камери (на фіг. 1 не показана) відкачано до робочого тиску ($10^{-1} \dots 10^{-3}$ Па). Попередньо виготовляли проставку 7 з матеріалу катода (титан марки ВТ1-00) точно такого ж діаметра і прикріплювали до катода 2 в спеціальній оправці, що забезпечувала її співвісність з катодом 2, вакуумною пайкою припоєм марки SPM-1, а довжину L проставки 7 визначали з умови $L=L_1-L_2$ (фіг. 2), де L_1 (відстань від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, який відпрацював свій ресурс) 40 рівнялась 72 мм, а L_2 (товщина катода, що відпрацював свій ресурс) рівнялась 1 мм, звідси $L=71$ мм.

Запуск вакуумно-дугового джерела плазми здійснювали шляхом подачі імпульсу підпалу на підпалючий електрод 14 від блока підпалу 13. Пробій по поверхні ізолятора 15, що відбувається при цьому, ініціює вакуумно-дуговий розряд між анодом 1 і катодом 2 джерела плазми. Катодні плями виниклого дугового розряду утримуються на робочій поверхні катода 2 магнітним полем, створюваним соленоїдом 17.

У процесі роботи джерела плазми в катодних плямах дуги відбувається утворення плазмового потоку з матеріалу катода 2, який прямує у бік оброблюваних виробів (на фіг. 1 не показані), розміщених у вакуумній камері. Ерозія робочої поверхні катода 2 призводить до винесення маси катода 2, тому для нормальної роботи джерела плазми катод 2 переміщують зі швидкістю його випаровування (швидкість переміщення катода 2 при струмі дуги 100 А відповідала 2,5 мкм за 10 с), що здійснюють за допомогою штока 9, який приводиться в рух кроковим приводом 10 (двигун ШД-5Д1М), керованим блоком управління проводом 11.

Так продовжується протягом всього часу роботи джерела плазми. При решті довжини катода в 72 мм проставка 7 підійде до першого ущільнення 5 вузла охолодження катода 2 і потім у міру вироблення катода 2, буде переміщатися в зону охолодження. Виконання проставки 7 з того ж матеріалу, що і катод 2, забезпечує збереження температурного режиму робочої поверхні катода 2, а значить і постійний склад плазмового потоку, що генерується джерелом плазми. При повній виробці катода 2, яка відбувається при його залишку в один міліметр, упор 8, розміщений на прокладці 7, прийде в зіткнення з поверхнею вузла

охолодження (фіг. 2) і подальше переміщення катода 2 стане неможливим. На фіг. 3 показаний варіант виконання упора 8, який при повній виробці катода 2 викликає спрацювання кінцевого вимикача 18, що зупиняє кроковий привід 10. Після повного вироблення катода, проставка 7 може бути знову використана шляхом звільнення її від залишку катода і прикріплення до нового катода тієї ж геометрії, що і попередній.

В запропонованому джерелі плазми при довжині проставки 7 в 71 мм і товщині катода, що відпрацював свій ресурс, один міліметр, коефіцієнт використання матеріалу катода дорівнює 99,5 %, а в пристрої-прототипі при тих же параметрах (довжина катода - 200 мм, відстань L_1 від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, що відпрацював свій ресурс - 72 мм) коефіцієнт використання матеріалу катода не перевищує 69 %.

Таким чином, запропоноване вакуумно-дугове джерело плазми забезпечує досягнення заявлених технічних результатів, а саме, підвищує коефіцієнт корисного використання матеріалу катода (випробуваний зразок підвищив коефіцієнт корисного використання матеріалу катода в порівнянні з прототипом на 30,5 %), а використання упора на проставці і її виготовлення з матеріалу катода підвищує надійність роботи джерела плазми: виключається виникнення аварійних ситуацій з причини розгерметизації зони охолодження катода і забезпечується постійний склад плазмового потоку протягом усього терміну експлуатації катода.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Вакуумно-дугове джерело плазми, яке містить співвісно встановлені анод і стрижневий катод, що витрачається, прикріплений до торця анода, вузол охолодження катода, змонтований поблизу його робочої поверхні у вигляді пустотілого корпусу, що охоплює герметично бічну поверхню катода, вузол переміщення катода, розташований біля його неробочого торця, і вузол підпалу, розміщений поблизу робочої поверхні катода, яке **відрізняється** тим, що між вузлом переміщення катода і неробочим торцем катода розміщена приєднана до катода проставка, яка має поверхню, яка ізометрична поверхні катода і є її продовженням, і довжину L , яка визначається з умови

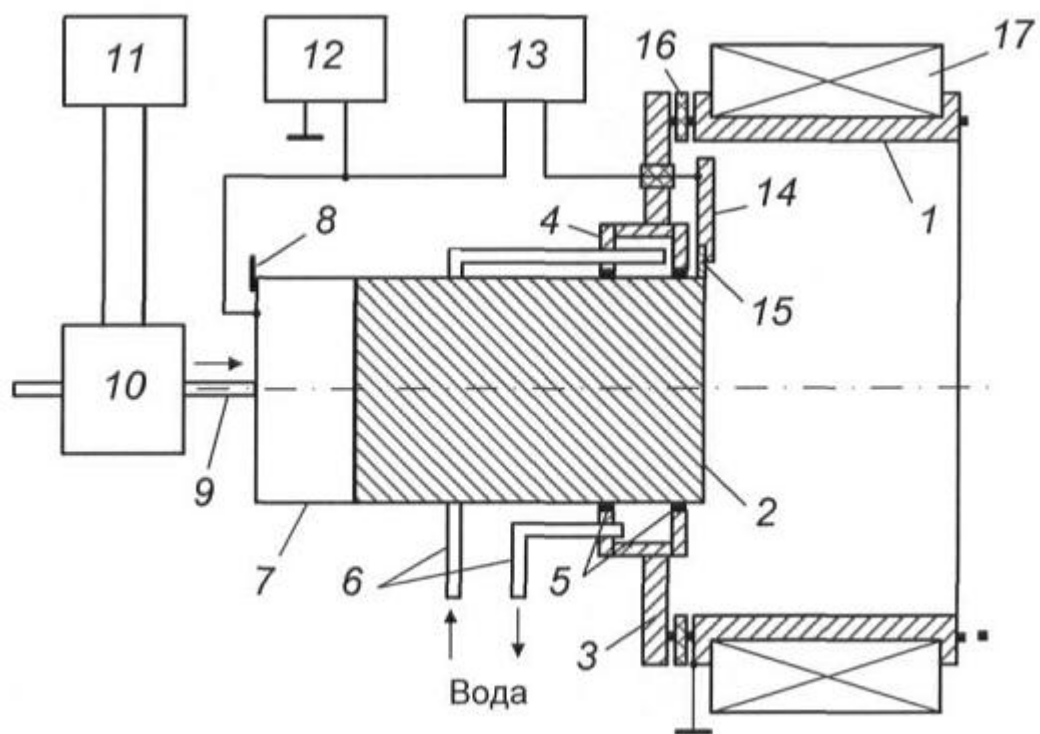
$$L=L_1-L_2,$$

де L_1 - відстань від поверхні корпусу вузла охолодження, зверненої до вузла переміщення катода, до робочої поверхні катода, який відпрацював свій ресурс;

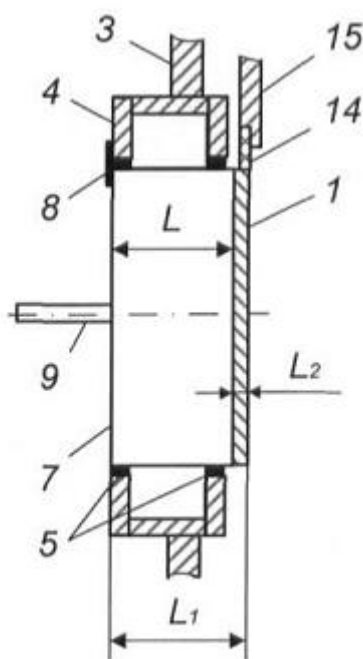
L_2 - товщина катода, що відпрацював свій ресурс.

2. Вакуумно-дугове джерело плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що проставка з протилежного від катода торця забезпечена упором для припинення переміщення катода при виробленні катодом ресурсу.

3. Вакуумно-дугове джерело плазми за пп. 1, 2, яке **відрізняється** тим, що проставка виготовлена з матеріалу катода.



Фиг. 1



Фиг. 2

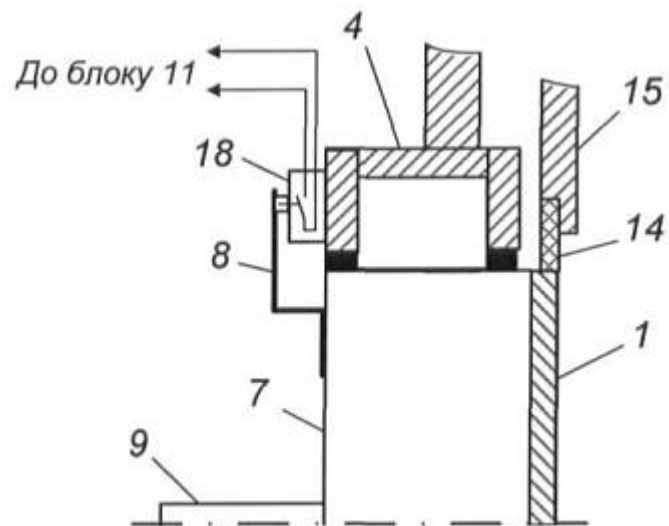


Fig. 3

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601