



УКРАЇНА

(19) UA (11) 45505 (13) C2  
(51) 6 H01J37/06МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ГАЗОРОЗРЯДНА ЕЛЕКТРОННА ГАРМАТА

1

2

(21) 2000127394

(22) 21.12.2000

(24) 15.04.2002

(46) 15.04.2002, Бюл. № 4, 2002 р.

(72) Мельник Віталій Гнатович, Тугай Борис Андрійович, Тагіль Анатолій Гаврилович, Федоров Віктор Миколайович, Щокін-Кротов Віктор Анатолійович

(73) Акціонерне товариство закритого типу "ФІКО"

(56) Авторське свідоцтво СРСР №222572, 1984

US 3412196 19.11.68

US 5269899 14.12.95

(57) 1. Газорозрядна електронна гармата, яка виконана у вигляді розбірної вакуумної конструкції, що містить розташовані по її осі холодний металевий катод з розвиненою емісійною поверхнею та порожниною для проточної води, порожнистий анод з отвором в його дні, а також циліндричний

канал з магнітною фокусуючою лінзою, яка **відрізняється** тим, що поверхня катода в порожнині виконана рельєфною і над нею по осі встановлений розподільник потоку води, причому напрямна поверхня розподільника виконана рельєфною відповідно поверхні катода, а по краю катода виконана кільцева порожнина і ззовні катод охоплений електродом, виготовленим із матеріалу з низькими емісійними властивостями.2. Газорозрядна електронна гармата по п. 1, яка **відрізняється** тим, що в отворі анода вмонтована охолоджувана водою мідна вставка, діаметр отвору в якій становить 0,1-0,2 діаметра катода.3. Газорозрядна електронна гармата по п. 1, яка **відрізняється** тим, що в корпусі анода розташована проміжна камера, сполучена з порожниною анода кільцевою щілиною в його дні, поперечний розмір якої знаходиться в межах 1-3 мм.

Винахід відноситься до електронної техніки, а більш конкретно до газорозрядних електронних гармат технологічного призначення, і може бути використаний для електронно-променевої плавки, випаровування та інших термічних процесів, що виконуються у вакуумі з застосуванням потужних електронних пучків.

Відомі газорозрядні електронні гармати, робота яких базується на використанні електричного розряду між холодними електродами в газі низького тиску (високовольтного тліючого розряду), (М.А. Завьялов, Ю.Е. Крейндель, А.А. Новиков, Л.П. Шантурин. Плазменные процессы в технологических электронных пушках. М. Энергоатомиздат, 1989, 97 - 145 с.). Електродні системи таких гармат складаються з холодного металевого катода та порожнистого аноду циліндричної або іншої форми. Пучок променів електронів емітується в результаті бомбардування поверхні холодного катода прискореними іонами, що надходять з плазми, локалізованої в порожнині аноду. В області катодного падіння потенціалу електрони прискорюються і в залежності від конфігурації поля, яка визначається формою увігнутото катоду, порожнистого аноду, а також положенням та формою анодної

плазми, формуються в пучок з відповідним кутом сходження. Із-за відносно невеликої густини струму емісії холодного катода (біля  $0,1 \text{ A/cm}^2$ ) отримання потужного пучка можливе лише в електродній системі великого поперечного розміру. При цьому на електродах в залежності від матеріалу катода та режимів розряду (прискорюючої напруги, струму розряду, тиску та складу робочого газу) виділяється енергія, що перевищує 10% загальної потужності розряду. Це потребує ефективного охолодження електродів і ускладнює створення гармат великої потужності. Максимальна потужність гармат високовольтного тліючого розряду визначається допустимою потужністю, що може розсіюватися на електродах, і залежить від ефективності тепловідведення матеріалу електродів, яке для алюмінію (матеріал катода) становить  $< 0,2 \text{ кВт/см}^2$  і для міді  $< 2 \text{ кВт/см}^2$  (матеріал з високим тепловідведенням, що може використовуватись в конструкції аноду). Граничні параметри розряду часто обмежуються не тільки тепловими процесами на електродах, а також іонізаційними, електродинамічними і газодинамічними ефектами в об'ємі розряду. По відношенню до цього значну роль відіграють способи та системи керування

(13) C2

(11) 45505

(19) UA

тиском робочих газів при регулюванні струму розряду, особливо в режимі великих потужностей. В гарматах невеликих потужностей з відносно малими геометричними розмірами і незначними витратами робочих газів місце надходження газу в розрядну камеру не має вирішального значення і здебільшого він подається через отвори в перфорованому аноді. В гарматах великих потужностей з відповідно великими розмірами електродних систем і значним потоком робочого газу підвищення ефективності та рівня вихідних параметрів потребує застосування нових принципів та систем газодинамічного керування. Максимальна потужність відомих гармат високовольтного тліючого розряду становить 200 - 250кВт. (Я.Я. Удрис, В.А. Чернов. Электронная пушка высоковольтного тлеющего разряда как стабильный источник нагрева при повышении газовой выделении. Специальная электротехнология, ИЭС, 1981, № 46, с. 73 - 79).

Найбільш близьким по технічній суті до запропонованого винаходу є газорозрядна електронна гармата з холодним катодом (А.с. СССР № 222572 НО1j 3/4 опубл. 15.06.84), яка містить холодний катод з увігнутою емісійною поверхнею і циліндричний анод, що з'єднаний з циліндричним каналом для виведення електронного променя. Для охолодження катоду в його тілі виконана порожнина, що заповнена трансформаторним маслом, в яке поміщений трубчатий радіатор з проточною водою. В тіло аноду також вмонтований трубчатий охолоджуваний водою радіатор. Для подачі в розрядний проміжок робочого газу в порожнині аноду розташований циліндричний канал. Застосований метод охолодження електродів, особливо катоду, що нагрівається в результаті бомбардування іонами, не забезпечує максимально можливого відбору енергії. Це приводить до нагрівання електродів при підвищенні потужності розряду і обмежує потужність гармати. Канал для подачі робочого газу в розрядну камеру розміщений в отворі аноду, через який здійснюється відкачування газу із гармати, що збільшує витрати робочого газу і знижує ефективність газодинамічного керування струмом розряду. Крім того, розміщений в місці проходження потужного електронного пучка канал для подачі газу може нагріватися, що порушує стабільність подачі газу і відповідно стабільність роботи гармати.

В основу винаходу поставлено завдання розробити газорозрядну електронну гармату великої потужності понад 1мгвт, в якій ефективно охолодження електродної системи та оптимальне розміщення каналу подачі газу забезпечили б стабільність енергетичних параметрів потужного електронного променя.

Поставлена задача вирішується тим, що в газорозрядній електронній гарматі, яка виконана у вигляді вакуумної розбірної конструкції і містить розташовані по її вісі холодний металевий катод з розвиненою емісійною поверхнею та порожниною для проточної води, порожнистий анод з отвором в його дні, а також циліндричний канал з магнітною фокусуючою лінзою, поверхня катоду в порожнині виконана рельєфною і над нею по вісі встановлений розподільник потоку води, причому спрямовуюча поверхня розподільника виконана рельєфною

відповідно поверхні катоду, а по краю катоду виконана кільцева порожнина і ззовні катод охоплений електродом, виготовленим із матеріалу з низькими емісійними властивостями. При цьому, в отворі аноду вмонтована охолоджувана водою мідна вставка, діаметр отвору в якій становить 0,1 - 0,2 діаметру катоду. Крім того, в корпусі аноду розташована проміжна камера, сполучена з порожниною аноду кільцевою щілиною в його дні, поперечний розмір якої знаходиться в межах 1 - 3мм.

В такій електродній гарматі при тиску робочого газу (водень, кисень) одиниці - десятки Па та прискорюючій напрузі 20 - 30кВ збуджується високовольтний тліючий розряд з локалізованою в порожнині аноду плазмою та катодною областю (між катодом та межею плазми). Електрони пучка емітуються з поверхні холодного алюмінієвого катоду в результаті бомбардування його поверхні іонами, що знаходяться з плазми, прискорюються в полі катодної області і полем катодної області формуються в конусний пучок з фокусною відстанню, близькою до радіусу кривизни катоду. За межами аноду електронний пучок за допомогою магнітної лінзи транспортується в зону термічної обробки виробів. Регулювання струму розряду здійснюється подачею робочого газу через проміжну камеру, з'єднану з порожниною аноду кільцевою щілиною.

Для ефективного відведення енергії від катоду в ньому застосоване пряме охолодження водою. При цьому для збільшення охолоджуваної площі поверхня в порожнині виконана рельєфною (радіальне спрямовані проточки). Встановлений по вісі катоду розподільник з метою забезпечення максимального відбору тепла забезпечує проходження води по поверхні з великою швидкістю. Для цього направляюча поверхня розподільника виконана рельєфною відповідно поверхні катоду (над канавками в катоді розташовані виступи на розподільнику). З урахуванням того, що температурна нагрівка на катод максимальна в його центральній частині, вода подається в центр катоду. Необхідна кількість води для охолодження катоду і відповідно пропускна здатність каналів визначається в залежності від потужності гармати.

В процесі роботи гармати температуру катоду доцільно підтримувати в межах 200 - 350°C. Така температура перешкоджає конденсації продуктів вакуумної камери (пари масел насосів та інше), та сорбції газів поверхнею катоду, що підвищує стабільність емісійних характеристик. Виконана по периферії катоду кільцева порожнина забезпечує необхідний градієнт температури між робочою поверхнею катоду та його основою, що дає можливість підтримувати підвищену температуру емісійної поверхні і низьку температуру тіла катоду в місці його кріплення, де для герметизації порожнини використовується гумова прокладка.

Циліндричний електрод, що охоплює катод ззовні, виготовляється із матеріалу з низькою емісійною здатністю (наприклад сталь X18H10T), що зменшує кількість дугових розрядів в вакуумному проміжку катод-анод, які, зазвичай, порушують стабільність роботи газорозрядних гармат.

Порожнистий анод гармати також охолоджується проточною водою. Максимальний тепловий навантажувачі в аноді піддається місце проходження

електронного пучка через отвір в його дні. З метою розв'язки по вакууму гармати і технологічної камери, що підвищує стабільність роботи гармати, отвір в дні аноду доцільно мати по можливості мінімального діаметру. Проте із-за значного розподілу електронів по швидкості, характерного для пучків газорозрядних гармат (по периферії пучок розмитий), зменшення діаметру отвору веде до осідання периферійних електронів пучка на аноді і відповідно до його нагрівання. Щоб забезпечити мінімально можливий розмір отвору в аноді і ефективно його охолодження в дно аноду вмонтована мідна вставка. Діаметр ефективної частини пучка в фокусі (місці проходження через отвір в аноді) залежить від поперечного розміру (діаметру) емісійної зони катоду і становить приблизно 0,1 - 0,2 її діаметру (діаметру катоду при максимальному струмі розряду). Відповідно до цього співвідношення і вибраний розмір отвору в мідній вставці аноду.

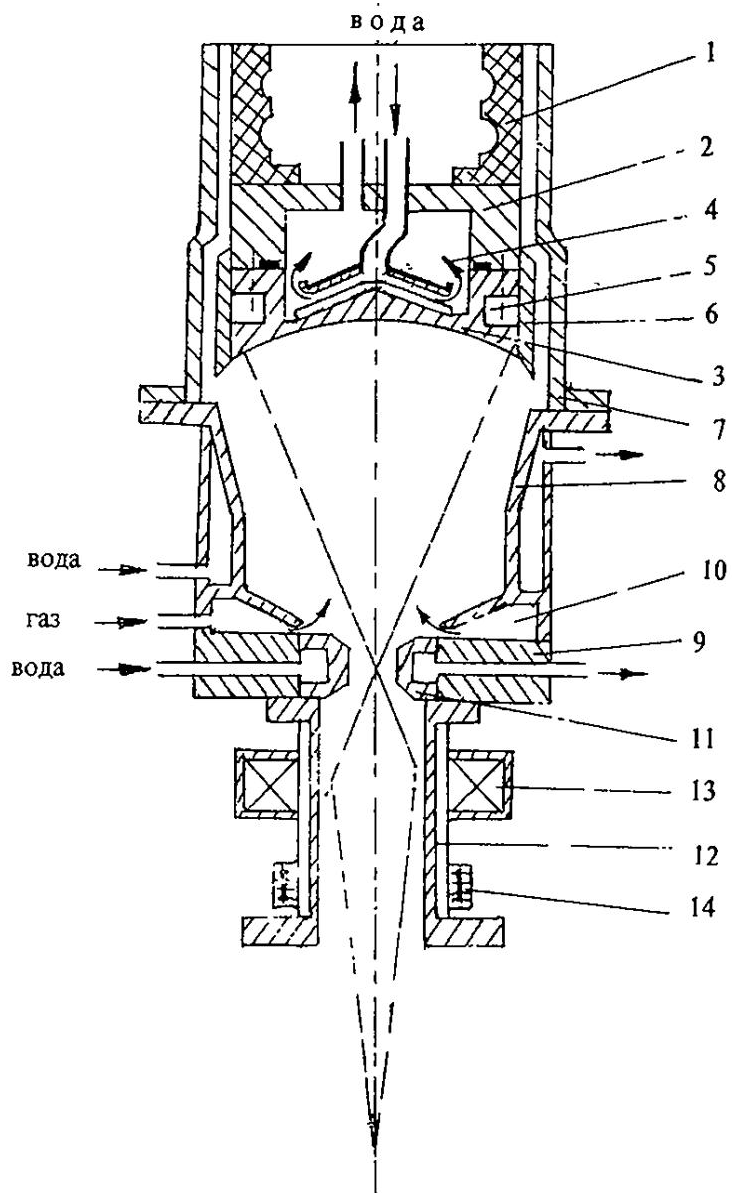
При регулюванні струму розряду зміною тиску в розрядному проміжку подача газу в запропонованій гарматі здійснюється через кільцеву проміжну камеру, сполучену з порожниною аноду кільцевою щілиною в його дні. При цьому здійснюється контрольований напуск робочих газів в проміжну камеру, до якої підключені манометричні датчики та керовані регулятори потоку газів. В міжелектродному об'ємі робочий тиск підтримується в результаті надходження газів в порожнину аноду з проміжної камери і безперервного відкачування газів в технологічну камеру, де тиск підтримується нижчим на один - два порядки ніж в гарматі. Поперечний розмір щілини знаходиться в межах 1 - 3 мм. Мінімальний розмір щілини обмежений пропускною здатністю при максимальному потоці газу (максимальному струмі розряду) та інерційністю газодинамічного керування, а максимальний - запобіганням проникнення анодної плазми в проміжну камеру, що може порушувати роботу вимірюючих та регулюючих пристроїв системи контролю тиску. Розмір щілини в аноді при цьому не повинен перевищувати 2 - 3 дебаєвських радіусів екранування для анодної плазми, що для розряду низького тиску не перевищує 3 - 5 мм. Надходження потоку газу через щілину в дні аноду здійсню-

ється безпосередньо в зону ефективної іонізації, що забезпечує високу газову та енергетичну ефективність гармати.

На фіг. представлений схематичний розріз конструкції запропонованої газорозрядної електронної гармати. Газорозрядна гармата містить закріплений на високовольтному ізоляторі 1 за допомогою тримача 2 холодний катод 3. В порожнині катоду розміщений розподільник потоку води 4, а по периферії катоду виконана кільцева порожнина 5, яка закрита циліндричним електродами 6. За допомогою циліндричного корпусу 7 катодний вузол розміщений на порожнистому охолоджуваному водою аноді 8. В дні аноду 9 розташована проміжна камера 10, а по його вісі вмонтована мідна вставка 11. Співвісно електродам гармати до дна аноду приєднаний циліндричний охолоджуваний водою канал 12, на якому розташовані магнітна лінза 13 та відхиляюча система 14. За допомогою фланця на торці циліндричного каналу гармата встановлюється на технологічній камері вакуумної установки.

Для роботи запропонованої гармати при безперервній її відкачці на катод 3 подається прискорююча напруга 20 - 30 кВ, а в порожнину аноду 9 - робочий газ (водень, кисень). При цьому збуджується високовольтний тліючий розряд, сила струму якого регулюється зміною тиску (величиною потоку газу, що надходить в гармату) в діапазоні 1 / 10 Па. За допомогою магнітної фокусувальної лінзи 13 електронний пучок виводиться в технологічну камеру та фокусується на поверхні об'єкту термічної обробки. За допомогою системи відхилення 14 пучок сканується за відповідною програмою.

Запропонована газорозрядна електронна гармата призначена для електронно-променевої плавки металів та інших технологічних процесів, де потрібна велика потужність електронного пучка. Ефективне охолодження електродів, геометричні параметри яких визначаються з урахуванням допустимої величини струму емісії з катоду ( $0,1 \text{ A/cm}^2$ ), забезпечує потужність гармати, що перевищує 1 мВт. При цьому запропонована гармата відрізняється високою стабільністю енергетичних та геометричних параметрів електронного пучка, вода проста та надійна в експлуатації.



Фіг.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)  
 вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна  
 (044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»  
 вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна  
 (044) 216 – 32 – 71