



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H01J 37/065 (2019.05)*

(21)(22) Заявка: 2018142852, 09.06.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.06.2017

Дата регистрации:  
10.09.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
07.09.2016 UA а 2016 09313

(45) Опубликовано: 10.09.2019 Бюл. № 25

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 04.12.2018

(86) Заявка РСТ:  
UA 2017/000064 (09.06.2017)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2018/048376 (15.03.2018)

Адрес для переписки:  
105215, Москва, а/я 26 Рыбина Н. А.

(72) Автор(ы):

**ТИМАШОВ Виктор Александрович (UA),  
ЦЕПКАЛОВ Андрей Анатольевич (UA),  
РЯБЕНКО Сергей Иванович (UA),  
БЕЛЯВИН Александр Федорович (UA),  
МАРИНСКИЙ Георгий Сергеевич (UA),  
ФИЛИППОВ Алексей Владиславович (UA)**

(73) Патентообладатель(и):

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ПАТОН  
ТУРБАЙН ТЕКНОЛОДЖИЗ" (UA)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 8159118 B2, 17.04.2012. SU 1572328  
A1, 09.01.1995. US 4057746 A, 08.11.1977. US  
2015187541 A1, 02.07.2015.

## (54) АКСИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА

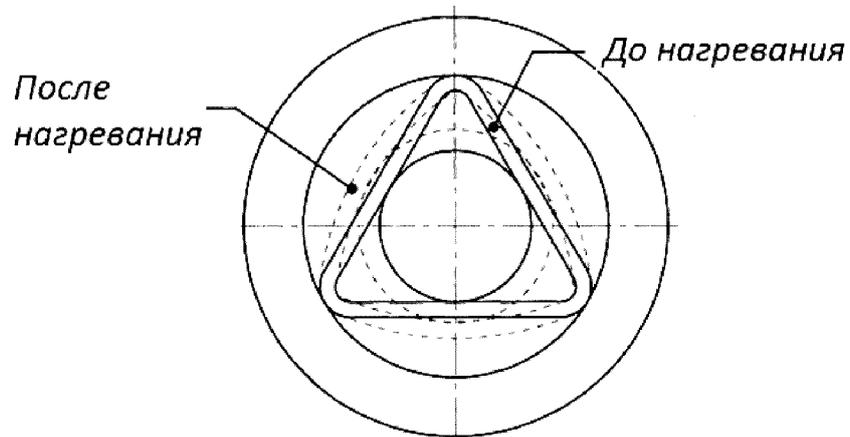
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электроннолучевой обработки материалов в вакууме либо в атмосфере реактивных газов. Аксиальная электронная пушка содержит первичный и вторичный катоды и характеризуется тем, что для сохранения стабильного положения вторичного катода относительно электроннолучевой оси аксиальной

пушки использован держатель фигурной формы, а для бомбардировки электронами вторичного катода между катодами прикладывают пульсирующее напряжение. Технический результат - повышение стабильности параметров технологического процесс и надежности работы электронной пушки. 1 з.п. ф-лы, 8 ил.

RU 2 699 765 C1

RU 2 699 765 C1



Фиг.7

RU 2699765 C1

RU 2699765 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01J 37/065 (2019.05)*

(21)(22) Application: **2018142852, 09.06.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**09.06.2017**

Registration date:  
**10.09.2019**

Priority:

(30) Convention priority:  
**07.09.2016 UA a 2016 09313**

(45) Date of publication: **10.09.2019 Bull. № 25**

(85) Commencement of national phase: **04.12.2018**

(86) PCT application:  
**UA 2017/000064 (09.06.2017)**

(87) PCT publication:  
**WO 2018/048376 (15.03.2018)**

Mail address:  
**105215, Moskva, a/ya 26 Rybina N. A.**

(72) Inventor(s):

**TIMASHOV, Victor Alexandrovich (UA),  
TSEPKALOV, Andrey Anatolyevich (UA),  
RYABENKO, Sergey Ivanovich (UA),  
BELYAVIN, Aleksandr Fyodorovich (UA),  
MARYNSKIY, Georgiy Sergeevich (UA),  
FILIPPOV, Aleksey Vladislavovich (UA)**

(73) Proprietor(s):

**PATON TURBINE TECHNOLOGIES LLC  
(UA)**

(54) **AXIAL ELECTRON GUN**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to electron-beam processing of materials in vacuum or atmosphere of reactive gases. Axial electron gun comprises primary and secondary cathodes and is characterized by that in order to maintain stable position of secondary cathode relative to electron-beam axis of axial gun shaped form

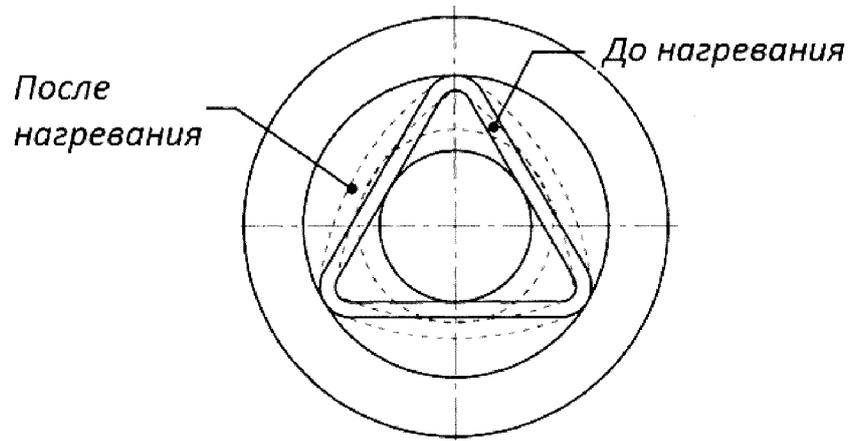
holder is used, and for bombardment of secondary cathode by electrons between cathodes pulsed voltage is applied.

EFFECT: higher stability of process parameters and reliability of electronic gun operation.

1 cl, 8 dwg

C 1  
2 6 9 9 7 6 5  
R U

R U  
2 6 9 9 7 6 5  
C 1



Фиг.7

RU 2699765 C1

RU 2699765 C1

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение принадлежит к отрасли изготовления новых материалов и покрытий и относится к устройствам электроннолучевой технологии, а именно к электронным пушкам, предназначенным для электроннолучевого нагрева, плавки и испарения

5 материалов в вакууме или в атмосфере реактивных газов.

## ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Известны электронные пушки с линейным термокатодом, в частности описанные в патентах на изобретение Украины № 21440А (Б.А. Мовчан, В.А. Тимашов, Е.Л. Пиюк), № 43927 (Б.А. Мовчан, О.Я. Гаврилюк), № 93182 (В.А. Тимашов, О.Л. Жданов, С.И. Рябенко, А.А. Цепкалов, С. Бернс) и другие, конструкция которых характеризуется

10 наличием лучевода, ускоряющего анода и катодного узла, который, в свою очередь, содержит раму или катодную плиту, изоляторы, катододержатели, фокусирующий электрод. Фокусирующий электрод размещается соосно с линейным термокатодом, благодаря чему такие электронные пушки получили название аксиальных.

15 Аксиальные электронные пушки, помимо прочего, широко используются в процессе электроннолучевого нанесения на лопатки турбин газотурбинных двигателей керамических материалов на основе  $ZrO_2$ ,  $Gd_2O_3$  или других оксидов, имеющих теплозащитные свойства. Производство новых материалов и покрытий в промышленных объемах предполагает получение готовой продукции с одинаковыми физико-

20 механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. Достичь этого возможно лишь при условии, что электронная пушка в течение достаточно длительного срока службы сохраняет неизменными параметры технологического процесса.

В настоящее время стабильность работы электронных пушек известных конструкций может быть обеспечена благодаря использованию катодов, изготовленных из

25 монокристаллического вольфрама, при условии жесткого соблюдения ориентации оси роста кристалла к рабочей поверхности катода. Это обуславливает высокую стоимость как самой пушки, так и продукции, произведенной с ее помощью. При использовании катодов, изготовленных из более дешевого поликристаллического вольфрама, возникают определенные сложности. Вследствие влияния высоких температур катод

30 изменяет свою форму, что приводит к смещению его положения в электронно-оптической системе пушки и влечет за собой изменения в фокусировке и положении электронного луча. Это может стать причиной попадания электронного луча на внутренние детали лучевода и повлечь за собой их расплавление, а также оплавление ускоряющего анода пушки. Стабильность параметров и надежность работы аксиальной

35 электронной пушки при этом резко ухудшаются.

Таким образом, общим недостатком известных конструкций электронных пушек с линейным термокатодом из поликристаллического вольфрама является низкая стабильность их работы из-за нарушения фокусировки электронного луча, вызванного

40 высокотемпературной деформацией катода и, как следствие, изменением его положения относительно оптической оси электронной пушки. Исходя из этого, цель изобретения заключается в повышении надежности работы электронной пушки путем обеспечения стабильности ее параметров. В качестве прототипа взята аксиальная электронная пушка конструкции В.А. Тимашова с соавторами по патенту США № 08159118 компании United Technologies Corporation.

## РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

45 Техническая задача заявляемого изобретения – получение стабильного электронного луча в широком диапазоне рабочего напряжения аксиальной электронной пушки при использовании вторичного катода, изготовленного из поликристаллического вольфрама.

Заявляется электронная пушка, которая содержит, в частности, первичный и вторичный катоды и характеризуется тем, что для сохранения стабильного положения вторичного катода относительно электроннолучевой оси аксиальной пушки используется держатель фигурной формы, а для бомбардировки электронами вторичного катода между катодами прикладывают пульсирующее напряжение.

Аксиальная электронная пушка (фиг. 1) состоит из: лучевода (1), содержащего отклоняющую систему (2) и фланец для стыковки с водоохлаждаемым корпусом ускоряющего анода (3), который в свою очередь содержит фокусирующую катушку (4) и сменный анод (5). На корпусе ускоряющего анода (3) через три высоковольтных изолятора (6) установлена катодная плита (7), на которой, в свою очередь, крепится катодный узел (8).

Катодный узел (фиг. 2) представляет собой корпус (9), к которому через два плоских керамических изолятора (10) крепятся два токоподвода (11), на которых через прижимы (12) устанавливается проволочный вольфрамовый первичный катод (13), защищенный тепловыми экранами (14) и первичным фокусирующим электродом (15). Также к корпусу (9) через накидную гайку (16), тепловой экран (17) и прижим (18) крепится вторичный (основной) фокусирующий электрод (19). Вторичный (основной) катод (20) имеет кольцевидную проточку на своей боковой цилиндрической поверхности и устанавливается между вторичным фокусирующим электродом (19) и прижимом (18) с помощью фигурного держателя (21), выполненного из вольфрамовой проволоки и имеющего форму плоского правильного треугольника (фиг. 3а), четырехугольника (фиг. 3б), пятиугольника (фиг. 3в) или шестиугольника (фиг. 3г). Этот держатель (21) позволяет центрировать и фиксировать положение вторичного катода (20) в проточке отверстия вторичного фокусирующего электрода (19).

В электронной пушке – прототипе по патенту США № 08159118 вторичный катод устанавливается между фокусирующим электродом и прижимом с помощью кольца круглой формы (фиг. 4). Также известна аксиальная электронная пушка по патенту США № 3556600 компании Westinghouse Electric Corporation и аналогичные ей устройства, в которых вторичный катод крепится с помощью трех тонких вольфрамовых торсионов в виде стержней диаметром до 1 мм, установленных в соответствующих отверстиях на внешней боковой поверхности катода под углом  $120^\circ$  относительно друг друга (фиг. 5).

Поставленная техническая задача решается тем, что вместо катода с центрирующим кольцом круглой формы либо катода со стержневыми торсионами применяют фигурные центрирующие держатели плоской правильной треугольной, четырехугольной, пятиугольной или шестиугольной формы. Вторичный катод имеет кольцевую проточку на боковой цилиндрической поверхности. Фокусирующий электрод также имеет проточку соответствующей глубины и диаметра на установочной для катода плоскости. Держатель фигурной формы надевается на проточку катода и катод с держателем вставляется в проточку фокусирующего электрода, где фиксируется дополнительным прижимом (фиг. 6). Выбор конкретной формы держателя зависит от соотношения диаметров вторичного катода и фокусирующего электрода. При нагревании происходит деформация вторичного катода из поликристаллического вольфрама. Однако стороны держателя начинают работать как рессоры и компенсируют изменение формы катода, сохраняя его положение относительно электронно-оптической оси аксиальной пушки (фиг. 7). Проведенные авторами исследования показали, что держатели новой формы компенсируют изменения геометрических размеров вольфрамовых катодов, вызванные как термическим расширением, так и термической усадкой. Этот технический результат

позволяет с успехом применять более дешевые вольфрамовые катоды, изготовленные методом порошкового прессования.

При использовании вторичных катодов с кольцевой проточкой и фиксирующим держателем в форме кольца (фиг. 4) наблюдались частые случаи прекращения технологического процесса вследствие потери фокусировки электронным лучом, вызванной деформацией катода. При этом иногда даже происходило вываливание катода с последующим коротким замыканием высоковольтного источника питания и полной остановкой технологического процесса, то есть невозможностью использовать даже резервные пушки. Как следствие, все детали, находившиеся в технологической камере, отправлялись на переработку, то есть снятие и повторное нанесение покрытия. Кроме этого, после проведения технологического процесса испарения керамики наблюдался эффект паразитного запыления зазоров между фиксирующим держателем в форме кольца и вторичным катодом в зоне кольцевой проточки, связанный с разницей остаточного давления кислорода между рабочей камерой (камерой напыления) и камерой пушек. Теплозащитная оксидная керамика при комнатной температуре, как правило, является диэлектриком. По этой причине формирование паразитной диэлектрической прослойки в относительно равномерных зазорах между кольцевым держателем и вторичным катодом приводило к тому, что при выключении аксиальной пушки после ее полного охлаждения необходимо было значительное время для разрушения указанной диэлектрической прослойки и восстановления номинального потенциала -20 кВ на вторичном катоде.

При использовании вторичных катодов, закрепленных с помощью трех торсионов (фиг. 5), после непродолжительной работы электронных пушек наблюдалось нарушение фокусировки луча, вызванное деформацией катода и самих торсионов, которое сопровождалось изменением положения катода относительно оптической оси электронной пушки. Вследствие нарушения фокусировки наблюдалось повышенное оседание электронов на ускоряющий анод, сопровождаемое частыми пробоями ускоряющего напряжения. При этом также заметно снижалась скорость испарения керамических слитков и увеличивалось время нанесения керамического покрытия на детали.

При использовании способа фиксации вторичного катода с помощью кольцевой проточки и держателя плоской правильной треугольной формы (фиг. 6) получено заметное улучшение стабильности работы аксиальной электронной пушки на весь расчетный срок службы катода.

До конца расчетного срока службы пушки наблюдалось определенное ухудшение фокусировки электронного луча, связанное с физическим износом катода, однако при этом как фокусировка, так и частота пробоев ускоряющего напряжения оставались в приемлемых границах. Использование держателя плоской правильной треугольной формы позволило геометрически уменьшить зазоры между держателем и катодом. В результате удалось существенно понизить влияние паразитного запыления зазоров, благодаря чему после полного охлаждения аксиальной электронной пушки обеспечивается ее выход на номинальный режим с существенным, по сравнению с держателем кольцевой формы, снижением потерь времени на удаление диэлектрической паразитной прослойки.

Дальнейшие исследования относительно оптимизации формы держателя позволили сделать вывод о том, что использование держателей катода правильной четырехугольной формы (квадрат), пятиугольной или шестиугольной формы также обеспечивают ресурс катода до замены не менее 100 часов, при этом вероятность отказа

электронной пушки во всех случаях не превышала 10%. Установлено, что отсутствие четкой корреляции между формой держателя и вероятностью отказа аксиальной пушки в случае четырех-, пяти- и шестиугольной формы держателя обусловлена исключительно качеством материала вольфрамовой проволоки и технологичностью изготовления держателя. Под технологичностью в данном случае понимается способность оснастки обеспечить угол загиба вольфрамовой проволоки данного диаметра без растрескивания поверхности проволоки для получения плоской правильной геометрической формы держателя – треугольника, четырехугольника, пятиугольника или шестиугольника.

Экспериментально также установлено следующее. Существует оптимальная форма держателя вторичного катода в зависимости от его диаметра (и, как следствие, массы). Установлено и практически продемонстрировано, что наиболее эффективными с точки зрения соотношения «форма держателя – надежность работы аксиальной электронной пушки» как в момент включения, так и на стадии установившегося процесса интенсивного испарения керамического материала с учетом паразитного осаждения керамики в зазоры между держателем и вторичным катодом при остаточном давлении кислорода в камере пушек не выше 0,67 Па ( $5 \times 10^{-3}$  Торр), являются следующие сочетания «диаметр катода – форма держателя»:

диаметр катода 8-10 мм – треугольник;

диаметр катода 10-14 мм – треугольник или четырехугольник;

диаметр катода 14-16 мм – четырехугольник;

диаметр катода 16-18 мм – пятиугольник;

диаметр катода 18 мм и более – шестиугольник.

Традиционно для бомбардировки вторичного катода принято использовать стабилизированное постоянное напряжение. Однако, вследствие близкого расположения первичного (13) и вторичного (20) катодов и недостаточного уровня вакуума, между катодами может развиваться произвольный ионно-плазменный разряд, который приводит к неконтролируемому нагреванию вторичного катода и вызывает неконтролируемый рост тока луча аксиальной пушки. Для предупреждения этого явления предлагается использовать пульсирующее напряжение бомбардировки вторичного катода (20), которое позволяет обрывать только что зародившийся плазменно-дуговой разряд, и благодаря этому не допускать развития неконтролируемых процессов внутри аксиальной электронной пушки, повышая стабильность ее работы. Благодаря относительно большой массе вторичного катода (20) пульсирующее напряжение бомбардировки не вызывает подобных ему пульсирующих изменений его температуры, что в итоге предупреждает пульсацию тока луча аксиальной электронной пушки.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Заявляемое изобретение поясняется, но не ограничивается чертежами, на которых изображено, на:

Фиг. 1 – основные элементы конструкции аксиальной электронной пушки, вертикальный разрез;

Фиг. 2 – конструкция катодного узла, вертикальный разрез;

Фиг. 3а-г – расположение фигурного держателя в форме плоского правильного многоугольника относительно вторичного катода, горизонтальный разрез;

Фиг. 4 – схема установки вторичного катода с помощью кольца круглой формы, вертикальный и горизонтальный разрезы;

Фиг. 5 – схема установки вторичного катода с помощью держателей в виде стержневых торсионов, вертикальный и горизонтальный разрезы;

Фиг. 6 – схема установки вторичного катода с помощью держателя в форме плоского правильного треугольника, вертикальный и горизонтальный разрезы;

Фиг. 7 – компенсирование высокотемпературной деформации вторичного катода с помощью держателя в форме плоского правильного треугольника;

5 Фиг. 8 – диаграмма зависимости длительности работы аксиальной электронной пушки в зависимости от способа крепления вторичного катода.

#### ЛУЧШИЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Аксиальная электронная пушка (фиг. 1), включающая в себя катодный узел (фиг. 2) работает таким образом. К токоподводам (11) подается переменное напряжение 4-10  
10 VAC, благодаря чему через проволочный вольфрамовый первичный катод (13) протекает ток накаливания в диапазоне 20...80 А, который нагревает первичный катод. Между первичным катодом (13) и вторичным катодом (20) приложено напряжение бомбардировки в диапазоне -0.5...-2.5 kV. Электроны, эмитированные из первичного катода, бомбардируют вторичный катод, приводя к его нагреванию до температуры  
15  $\approx 2800^{\circ}\text{C}$ . Степень нагревания вторичного катода (20) зависит от тока накаливания первичного катода (13) и напряжения бомбардировки. Между вторичным катодом (20), закрепленным с помощью держателя в форме плоского правильного многоугольника, и анодом (5) приложено ускоряющее напряжение в диапазоне 18...30  
20 kV, под действием которого электроны покидают катод (20), фокусируются фокусирующим электродом (15) и сквозь отверстие в ускоряющем аноде (5) проходят к лучеводу аксиальной электронной пушки (1), в котором сформированный таким образом электронный луч дополнительно фокусируется фокусирующей катушкой (4) и отклоняется в нужном направлении отклоняющей системой (2), которая также  
25 осуществляет сканирование электронного луча. Таким образом, изменяя величину тока накаливания первичного катода (13), можно регулировать значения тока бомбардировки вторичного катода (20), а следовательно, и тока луча пушки.

#### ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРИМЕНИМОСТЬ

На фиг. 8 представлена диаграмма зависимости длительности работы аксиальной  
30 электронной пушки в часах от способа крепления вторичного катода:

1. Фиксация катода держателем в форме кольца.
2. Фиксация катода тремя независимыми торсионами.
3. Фиксация катода заявляемым держателем правильной треугольной формы.

Из приведенной диаграммы видно, что заявленное техническое решение в сравнении с прототипом позволяет увеличить длительность работы аксиальной электронной  
35 пушки в штатном режиме более, чем в три раза, и почти в полтора раза – по сравнению с креплением вторичного катода с помощью торсионов.

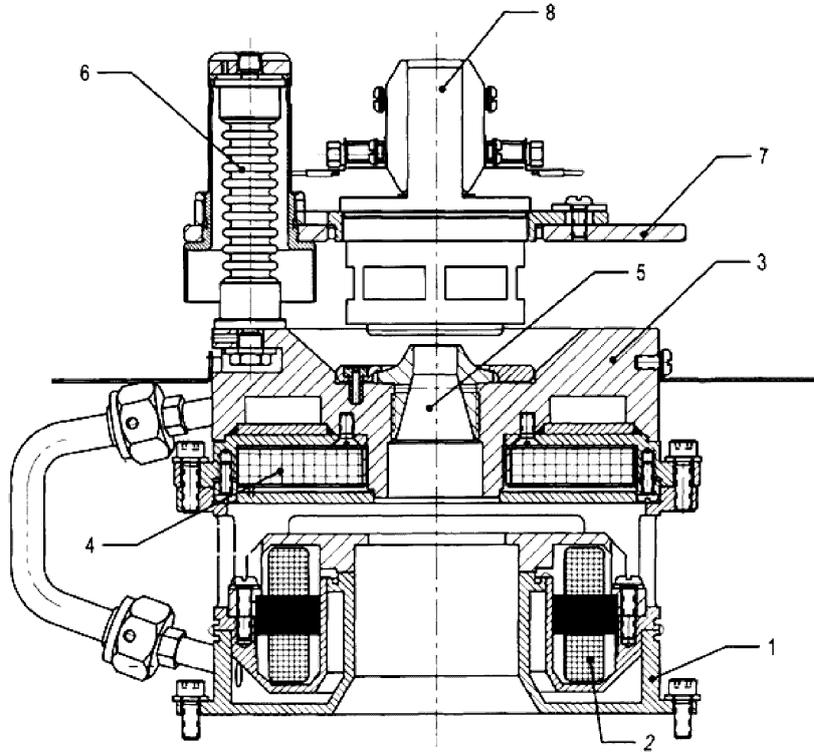
#### (57) Формула изобретения

1. Аксиальная электронная пушка, состоящая из первичного катода, вторичного  
40 катода, ускоряющего анода, лучевода, фокусирующей катушки, отклоняющей системы, системы питания и вакуумной системы, которая отличается тем, что применяется держатель вторичного катода фигурной формы, выполненный из поликристаллической вольфрамовой проволоки в виде плоского правильного треугольника, четырехугольника, пятиугольника или шестиугольника, который надевается на  
45 кольцевую проточку цилиндрической боковой поверхности катода.

2. Аксиальная электронная пушка по п.1, отличающаяся тем, что для бомбардировки электронами вторичного катода между вторичным и первичным катодами приложено пульсирующее напряжение.

1

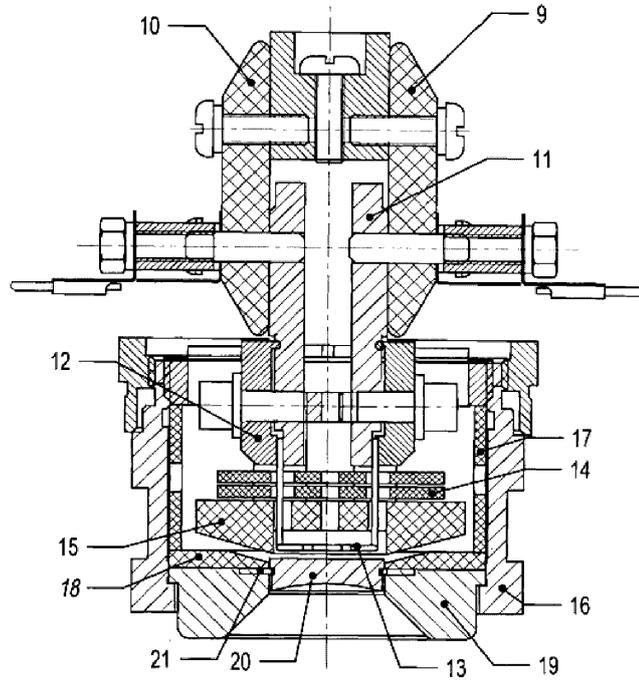
1/5



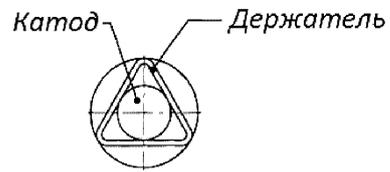
Фиг.1

2

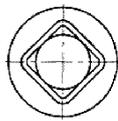
2/5



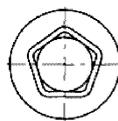
Фиг.2



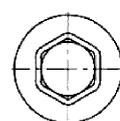
Фиг.3а



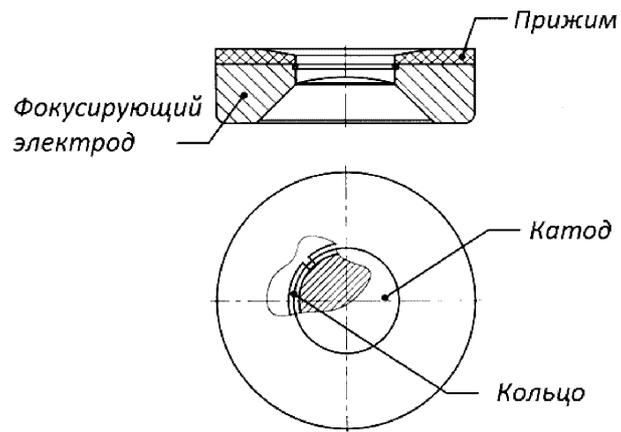
Фиг.3б



Фиг.3в

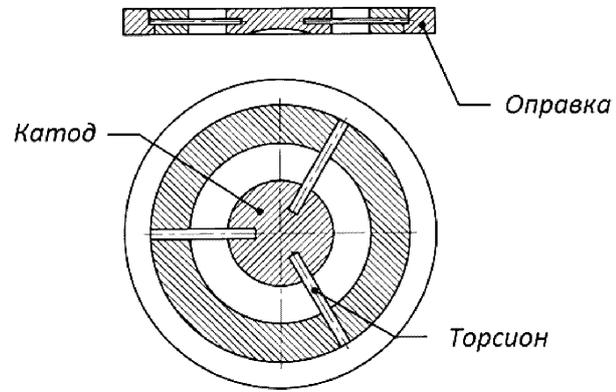


Фиг.3г

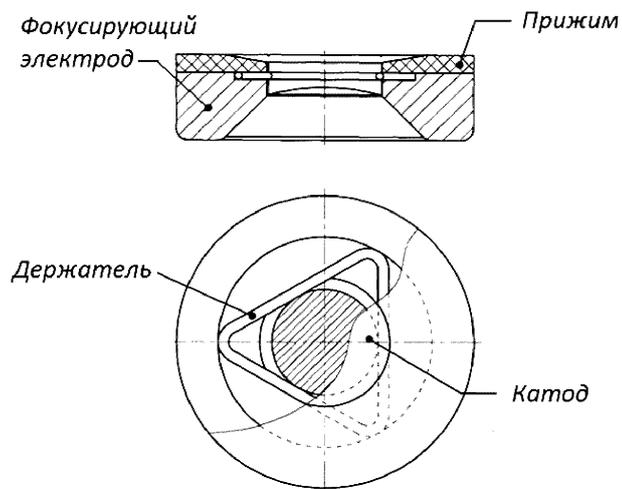


Фиг.4

4/5

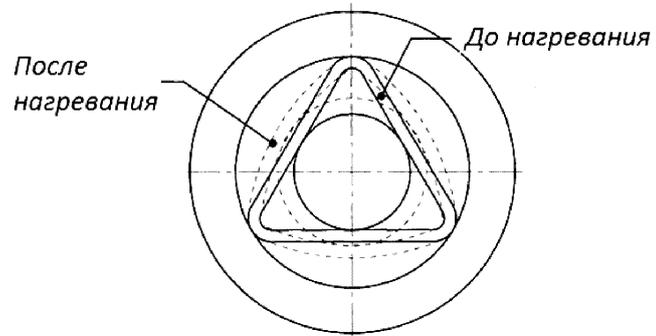


Фиг.5

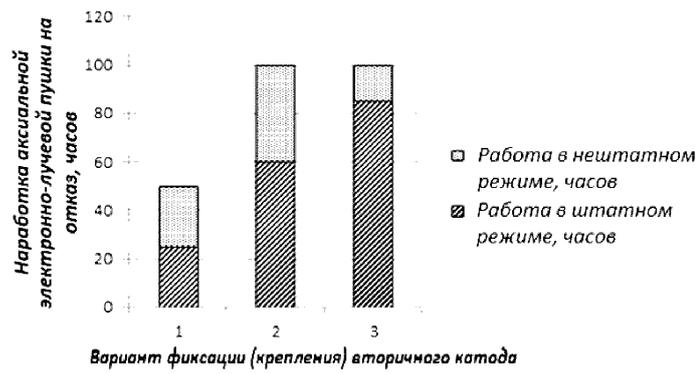


Фиг.6

5/5



Фиг.7



Фиг.8