



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2009124487/07**, 27.11.2007(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.11.2007

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
28.11.2006 US 11/564,080(43) Дата публикации заявки: **10.01.2011** Бюл. № 1(45) Опубликовано: **20.04.2013** Бюл. № 11(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 2006108332 A1, 25.05.2006. RU 2196010 C2, 10.01.2003. US 6744006 B2, 01.06.2004. WO 2004028221 A1, 01.04.2004. US 5591356 A1, 07.01.1997. US 5376767 A, 27.12.1994.**(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: **29.06.2009**(86) Заявка РСТ:
US 2007/085606 (27.11.2007)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2008/067292 (05.06.2008)

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"**

(72) Автор(ы):

**БЕЛАЩЕНКО Владимир Е. (US),
СОЛОНЕНКО Олег Павлович (RU),
СМИРНОВ Андрей Владимирович (RU)**

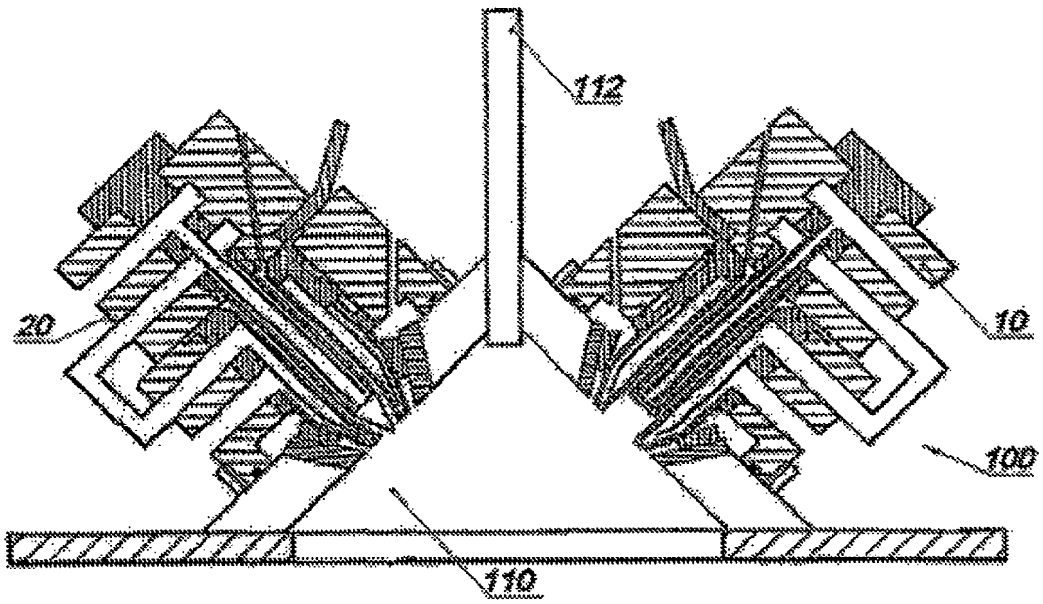
(73) Патентообладатель(и):

**БЕЛАЩЕНКО Владимир Е. (US),
СОЛОНЕНКО Олег Павлович (RU),
СМИРНОВ Андрей Владимирович (RU)****(54) ПЛАЗМЕННЫЕ УСТРОЙСТВО И СИСТЕМА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области плазменной обработки материалов. Плазменное устройство включает в себя первую анодную плазменную головку и первую катодную плазменную головку. Каждая из плазменных головок содержит электрод, канал для потока плазмы, и элемент для впуска основного газа, расположенный между, по меньшей мере, частью указанного электрода и указанным каналом для потока плазмы. Первая анодная плазменная головка и первая катодная плазменная головка

расположены под некоторым углом друг относительно друга в одной плоскости. Плазменное устройство также содержит вторую анодную плазменную головку и вторую катодную плазменную головку, расположенные под некоторым углом друг относительно друга в другой плоскости. Угол между плоскостями, в которых расположены первые катодная и анодная головки и вторые катодная и анодная головки, составляет 50-90 градусов. Технический результат - повышение эффективности обработки материалов. 6 з.п. ф-лы, 12 ил.



Фиг.1

RU 2 4 7 9 4 3 8 C 2

RU 2 4 7 9 4 3 8 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B44C 1/22 (2006.01)
H05H 1/34 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2009124487/07, 27.11.2007**

(24) Effective date for property rights:
27.11.2007

Priority:

(30) Convention priority:
28.11.2006 US 11/564,080

(43) Application published: **10.01.2011 Bull. 1**

(45) Date of publication: **20.04.2013 Bull. 11**

(85) Commencement of national phase: **29.06.2009**

(86) PCT application:
US 2007/085606 (27.11.2007)

(87) PCT publication:
WO 2008/067292 (05.06.2008)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**BELASHchENKO Vladimir E. (US),
SOLOnenko Oleg Pavlovich (RU),
SMIRNOV Andrej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**BELASHchENKO Vladimir E. (US),
SOLOnenko Oleg Pavlovich (RU),
SMIRNOV Andrej Vladimirovich (RU)**

RU 2 479 438 C2

RU 2 479 438 C2

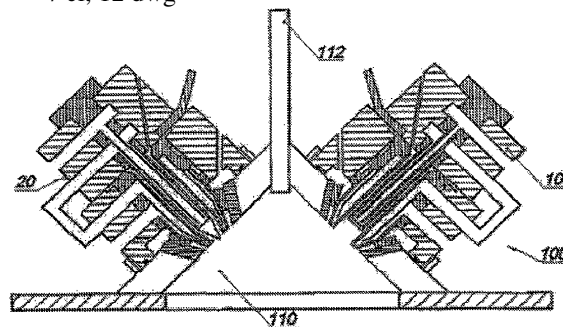
(54) PLASMA DEVICE AND SYSTEM

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to treatment of materials by plasma. Plasma device comprises first anodic plasma head and first cathodic plasma head. Every said plasma head comprises electrode, plasma passage and main gas inlet arranged between, at least, section of said electrode and said plasma passage. First anodic and second cathodic plasma heads are arranged at certain angle relative to each other. Plasma device comprises also second anodic and second cathodic plasma heads arranged at certain angle relative to each other. Angle between said first cathodic and anodic heads and second cathodic

and anodic heads makes 50-90 degrees.
EFFECT: higher efficiency of treatment.
7 cl, 12 dwg



Фиг.1

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Настоящая заявка притязает на приоритет заявки на патент США № 11/564080, поданной 28 ноября 2006, описание которой включено в данную заявку путем ссылки.
ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее описание относится в целом к плазмотронам (плазменным горелкам) и плазменным системам и, более точно, к сдвоенным плазмотронам для плазменной обработки и напыления материалов.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На эффективность и стабильность плазменных термических систем, предназначенных для плазменной обработки материалов и плазменного напыления, может влиять множество параметров. На надлежащее образование плазменной струи и поддержание рабочих параметров плазменной струи может, например, повлиять способность к образованию стабильной дуги, имеющей постоянное соединение с электродами. Аналогичным образом, стабильность горения дуги может также зависеть от эрозии электродов и/или стабильности профиля или положения плазменной струи. Изменения профиля и положения плазменной струи могут привести к изменениям характеристик плазменной струи, создаваемой плазмотроном. Кроме того, на качество материала, подвергнутого плазменной обработке, или покрытия, полученного посредством плазменной системы, могут повлиять подобные изменения профиля, положения и характеристик плазмы.

В обычном сдвоенном плазменном устройстве 100, подобном показанному на фиг.1, катодная и анодная головки 10, 20 обычно расположены под углом, составляющим приблизительно 90 градусов, друг относительно друга. Подающая труба 112, как правило, расположенная между головками, может обеспечивать подачу материала, подлежащего обработке плазмой. Компоненты обычно расположены с образованием замкнутой зоны 110 обработки, в которой будет происходить соединение дуг. Относительная непосредственная близость друг к другу и, тем самым, огороженное небольшое пространство часто создают тенденцию дестабилизации дуг, в особенности при высоких напряжениях и/или при низкой интенсивности подачи (низком расходе) плазмообразующего газа. Дестабилизация дуги, часто называемая «образованием побочных дуг (side arcing)», происходит, когда дуги предпочтительно соединяются с контурами с более низким сопротивлением. Попытки предотвратить образование побочных дуг часто предусматривают использование защитных газов, однако данный подход, как правило, приводит к более сложной конструкции, а также к более низким температурам и энтальпиям плазмы. В результате более низкая температура и энтальпия плазмы приводят к более низкой эффективности процесса.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Признаки и преимущества заявленного предмета изобретения будут очевидными из нижеприведенного описания вариантов осуществления, соответствующих ему, при этом указанное описание следует рассматривать совместно с сопровождающими чертежами, в которых:

фиг.1 представляет собой детализированный схематический вид одного варианта осуществления обычного углового сдвоенного плазменного устройства;

фиг.2 представляет собой схематическую иллюстрацию сдвоенного плазменного устройства;

фиг.3а-в схематически показывают варианты осуществления соответственно катодной плазменной головки и анодной плазменной головки в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.4 представляет собой детализированный вид одного варианта осуществления плазменного канала, включающего в себя три цилиндрических участка с разными диаметрами, в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения;

фиг.5 представляет собой детализированный схематический вид одного варианта осуществления образующего модуля в соответствии с настоящим изобретением, имеющего расположенные впереди и позади по потоку части образующего модуля;

фиг.6 иллюстрирует вариант осуществления, выполненный с конфигурацией, обеспечивающей возможность подачи вспомогательного плазмообразующего газа в плазменный канал;

фиг.7a-b показывают аксиальное и радиальное сечения устройства для введения вспомогательного плазмообразующего газа в соответствии с настоящим изобретением;

фиг.8a-b иллюстрируют виды одного сдвоенного плазмотрона, выполненного с конфигурацией, обеспечивающей аксиальное введение материалов;

фиг.9a-c иллюстрируют один сдвоенный плазмотрон, выполненный с конфигурацией, обеспечивающей радиальное введение материалов;

фиг.10 представляет собой схематический вид комплекта плазмотронов, включающего в себя два сдвоенных плазмотрона;

фиг.11a-b представляют собой иллюстрации сверху и снизу комплекта плазмотронов, включающего в себя два сдвоенных плазмотрона, выполненных с конфигурацией, обеспечивающей аксиальное введение материалов; и

фиг.12a-b иллюстрируют влияние интенсивностей подачи плазмообразующих газов и тока на напряжение дуги для плазмотронов, расположенных под углом 50° .

ОПИСАНИЕ

В качестве общего представления, в соответствии с настоящим изобретением могут быть предложены системы со сдвоенными плазмотронами, модули и элементы систем со сдвоенными плазмотронами и т.д., которые могут в различных вариантах осуществления обеспечивать одну или несколько из следующих характеристик:

сравнительно широкий рабочий диапазон параметров плазмы, более стабильную и/или однородную плазменную струю и более высокую стойкость электродов. Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением могут быть обеспечены средства, которые могут обеспечить регулирование введения материала, подлежащего плазменной обработке или плазменному напылению, в плазменную струю. Сдвоенные плазменные устройства могут найти широкое применение при плазменной обработке материалов, сфероидизации порошков, обработке отходов (очистке сточных вод), плазменном напылении и т.д. вследствие сравнительно высокой эффективности подобных устройств.

Сдвоенное плазменное устройство согласно настоящему изобретению может обеспечить значительно более высокую эффективность плазменной обработки материалов. Более высокая эффективность может быть обеспечена частично за счет интенсивностей подачи и скоростей потока плазмы, которые являются сравнительно низкими, и соответствующих чисел Рейнольдса, которые могут составлять около или ниже приблизительно 700-1000. При подобных интенсивностях подачи и скоростях потока плазмы время выдержки материалов в плазменной струе может быть достаточным для обеспечения возможности эффективного использования энергии плазмы, и желательная трансформация материалов во время плазменной обработки может происходить с высокой эффективностью и производительностью. Кроме того, сдвоенное плазменное устройство согласно настоящему изобретению может также

обеспечить уменьшение или устранение возникновения побочных дуг, которое обычно связано с высоким напряжением и/или низкими числами Рейнольдса.

Как показано на фиг.2, двояное плазменное устройство 100 может генерировать дугу 7 между анодной плазменной головкой 20 и катодной плазменной головкой 10, соответственно соединенными с положительным и отрицательным выводами источника питания постоянного тока. Как показано на фиг.2, оси плазменных головок 10 и 20 могут быть расположены под углом α друг относительно друга, при этом сходимость осей обеспечивает образование зоны взаимодействия плазменных головок 10, 20.

При рассмотрении сначала фиг.3 можно отметить, что в соответствии с настоящим изобретением в целом может быть предложено двояное плазменное устройство, включающее в себя катодную плазменную головку, показанную на фиг.3а, и анодную плазменную головку, показанную на фиг.3б. Как показано, анодная и катодная плазменные головки могут иметь по существу аналогичную конструкцию. Основное различие между анодной и катодной плазменными головками может состоять в конструкции электродов. Например, в конкретном варианте осуществления анодная плазменная головка может включать в себя анод 45а, который может быть выполнен из материала со сравнительно высокой удельной электропроводностью. Приведенные в качестве примера аноды могут включать в себя медь или медный сплав, при этом легко можно представить другие пригодные материалы и конфигурации. Катодная плазменная головка может включать в себя вставку 43, которая вставлена в катододержатель 45б. Катододержатель 45б может быть выполнен из материала с высокой удельной электропроводностью. Аналогично аноду, катододержатель 45б может представлять собой медь или медный сплав и т.д. Материал вставки 43 может быть выбран таким, чтобы обеспечить длительный срок службы вставки при использовании ее вместе с определенными плазмообразующими газами. Например, лантанированный или торированный вольфрам может представлять собой материал, пригодный для использования, когда азот или аргон используются в качестве плазмообразующих газов, при добавлении или без добавления водорода или гелия. Аналогичным образом, вставка из гафния или циркония может представлять собой пригодный материал в вариантах осуществления, в которых воздух используется в качестве плазмообразующего газа. В других вариантах осуществления анод может иметь конструкцию, аналогичную конструкции катода, и может содержать вставку из вольфрама или гафния, или другие вставки, которые могут обеспечить повышение стабильности горения дуги и увеличение стойкости анода. Плазменные головки могут быть образованы в целом электродным модулем 99 и плазмообразующим узлом 97. Электродный модуль 99 может включать в себя основные элементы, такие как корпус 23 электрода, канал 25 для подачи основного плазмообразующего газа, имеющий входной патрубок 27, вихреобразующую гайку 47, образующую вихревую составляющую плазмообразующего газа, и электрод 45а или 45б с водяным охлаждением. Различные дополнительные и/или заменяющие компоненты можно легко представить и предпочтительно использовать вместе с электродным модулем по настоящему изобретению.

Плазмообразующий узел 97 может включать в себя основные элементы, такие как корпус 11, образующий модуль 30, имеющий расположенную впереди по потоку секцию 39 и выходную секцию 37, канал 13 для охлаждающей воды, соединенный с элементом 15 для впуска воды, кольцевой изолятор 35. В образующем модуле 30 может быть по существу образован плазменный канал 32.

В проиллюстрированных приведенных в качестве примера плазменных головках основной плазмообразующий газ подается через входной патрубок 27 в канал 25, который находится в изоляторе 51. Затем плазмообразующий газ дополнительно направляется через ряд прорезей или отверстий, выполненных в вихреобразующей гайке 47, и в плазменный канал 32 через зазор 44 между анодом 45а или катододержателем 45b с установленным в нем катодом 43 и расположенной впереди по потоку секцией 39 образующего модуля 30. Различные другие конфигурации могут быть в качестве альтернативы или дополнительно использованы для подачи основного плазмообразующего газа в плазменный канал 32.

Плазменный канал 32 в соответствии с настоящим изобретением может специфическим образом способствовать образованию регулируемой дуги и может обеспечить поддержание регулируемой дуги, характеризующейся уменьшенной склонностью или отсутствием склонности к образованию побочных дуг при сравнительно низких интенсивностях подачи основного плазмообразующего газа, например, таких, которые могут давать число Рейнольдса в интервале от приблизительно 800 до 1000 и, более точно, характеризуются числом Рейнольдса в диапазоне ниже 700.

Плазменный канал 32 может включать в себя три по существу цилиндрических участка, как проиллюстрировано более подробно на фиг.4. Расположенный впереди по потоку участок 38 плазменного канала 32 может находиться рядом с электродами, например, рядом с катодной вставкой 43 и анодом 45а, и может иметь диаметр $D1$ и длину $L1$. Средний участок 40 плазменного канала 32 может иметь диаметр $D2 > D1$ и длину $L2$. Выходной участок 42 плазменного канала 32 может иметь диаметр $D3 > D2$ и длину $L3$.

Расположенный впереди по потоку цилиндрический участок 38 может обеспечивать оптимизированную скорость плазменной струи, обеспечивая надежное расширение или распространение плазменной струи до зоны 12 взаимодействия, показанной на фиг.2. Диаметр $D1$ может быть больше диаметра $D0$ катода. Как правило, оптимальное значение диаметра $D1$ зависит от интенсивности подачи плазмообразующего газа и тока дугового разряда. Например, в одном варианте осуществления диаметр $D1$ может находиться по существу в интервале от приблизительно 4,5 до 5,5 мм, если в качестве плазмообразующего газа используется азот, при интенсивности подачи плазмообразующего газа от приблизительно 0,3 до 0,6 г/с и токе дугового разряда в диапазоне от приблизительно 200 до 400 А. Диаметр $D1$ первого участка обычно может быть увеличен в вариантах осуществления, в которых используется более высокая интенсивность подачи плазмообразующего газа и/или больший ток дугового разряда.

Длина ($L1$) первого участка, как правило, может быть выбрана достаточно большой для обеспечения возможности образования стабильной плазменной струи. Тем не менее, увеличивающаяся вероятность образования побочных дуг внутри первого участка может иметь место при $L1 > 2D1$. Экспериментально желательное значение отношения $L1/D1$ может быть описано следующим образом.

$$0,5 < L1/D1 < 2 \quad (1)$$

Более предпочтительное соотношение между $L1$ и $D1$ может быть описано следующим образом.

$$0,5 < L1/D1 < 1,5 \quad (1a)$$

Второй 40 и третий 42 участки плазменного канала 32 могут обеспечить возможность повышения уровня ионизации плазмообразующего газа внутри канала, а

также дополнительного образования плазменной струи с обеспечением желательной скорости. Диаметры указанных второго 40 и третьего 42 участков плазменного канала 32 в общем могут быть охарактеризованы соотношением $D3 > D2 > D1$. Вышеприведенное соотношение диаметров может способствовать избежанию

5

дополнительного образования побочных дуг внутри указанных второго 40 и третьего 42 участков плазменного канала 32, а также уменьшению рабочего напряжения.

10

$$4 \text{ мм} > D2 - D1 > 2 \text{ мм} \quad (2)$$

$$2 > D2/D1 > 1,2 \quad (3)$$

Дополнительные характеристики третьего участка могут быть описаны следующим образом.

15

$$6 \text{ мм} > D3 - D2 > 3,5 \text{ мм} \quad (4)$$

$$2 > L3/(D3 - D2) > 1 \quad (5)$$

Различные модификации и варианты вышеупомянутых геометрических параметров, приведенных посредством вышеуказанных соотношений и характеристик, в некоторых вариантах осуществления также могут обеспечить желательные эксплуатационные параметры. В проиллюстрированных вариантах осуществления по фиг.3 и 4 плазменный канал 32 имеет ступенчатый профиль между тремя по существу цилиндрическими участками. Помимо ступенчатой конфигурации могут быть соответствующим образом использованы различные другие возможные варианты, относящиеся к геометрическим формам плазменного канала, обеспечивающим

20

25

30

соединение трех цилиндрических участков. Например, конические или аналогичные переходы между цилиндрическими участками, а также закругленные края уступов также могут быть использованы с той же целью.

Сдвоенное плазменное устройство, имеющее плазменные каналы, соответствующие соотношениям (1)-(5), приведенным выше, может обеспечить стабильную работу при уменьшении или устранении образования побочных дуг в сравнительно широком диапазоне рабочих параметров. Тем не менее, в некоторых случаях «образование побочных дуг» может все же иметь место, когда интенсивность подачи плазмообразующего газа и скорость плазмы дополнительно уменьшены. Например, приведенный в качестве примера вариант осуществления сдвоенного плазмотрона с плазменным каналом, имеющим размеры $D1=5$ мм, $L1=3$ мм, $D2=8$ мм, $L2=15$ мм, $D3=13$ мм, $L3=6$ мм, может работать без «образования побочных дуг» при токе дугового разряда 150-350 Ампер при использовании азота в качестве основного плазмообразующего газа, подаваемого при интенсивности подачи, превышающей 0,35 г/с. Уменьшение интенсивности подачи азота до значений менее 0,35 г/с и особенно ниже 0,3 г/с может привести к «образованию побочных дуг». В соответствии с настоящим изобретением дополнительное уменьшение интенсивности подачи плазмообразующих газов может быть выполнено при одновременной минимизации или предотвращении образования побочных дуг посредством выполнения электрически изолированных элементов в конструкции образующего модуля 30.

35

40

45

50

На фиг.5 также имеется иллюстрация одного варианта осуществления образующего модуля 30, в которой расположенная впереди по потоку часть 39 образующего модуля 30 электрически изолирована от расположенной позади по потоку части 37 образующего модуля керамическим кольцевым изолятором 75. В данном проиллюстрированном варианте осуществления уплотнительное кольцо 55 может

быть использовано совместно с кольцевым изолятором 75. Электрическая изоляция расположенной впереди по потоку части 39 и расположенной позади по потоку части 37 образующего модуля 30 может привести к дополнительной стабильности горения дуги и плазменной струи, то есть к получению плазменной струи, характеризующейся уменьшением или устранением образования побочных дуг, даже при очень низких интенсивностях подачи (расходах) плазмообразующего газа, и соответствующими низкими значениями числа Рейнольдса. Например, во время испытаний приведенного в качестве примера варианта осуществления плазменной головки, имеющей такие же размеры плазменного канала и работающей при том же уровне тока, как и в приведенном в качестве примера варианте осуществления, описанном выше, когда интенсивность подачи азота была уменьшена до 0,25 г/с, не наблюдалось образования побочных дуг. Может потребоваться дополнительная электрическая изоляция элементов образующего модуля 30 для обеспечения возможности еще больших дополнительных уменьшений интенсивности подачи плазмообразующего газа при одновременном уменьшении или устранении образования побочных дуг. Подобная дополнительная изоляция соответственно может привести к повышению сложности сдвоенного плазменного устройства.

Фиг.3а-б иллюстрируют вариант осуществления сдвоенного плазменного устройства, в котором плазмообразующий газ или смесь плазмообразующих газов подается только по каналу 27 для подачи газа и через вихреобразующую гайку 47. В некоторых случаях подача плазмообразующего газа вокруг электродов может вызвать чрезмерную эрозию электродов, особенно в том случае, если смесь плазмообразующих газов включает в себя воздух или другой активный газ. В соответствии с одним аспектом настоящего изобретения эрозия электродов может быть уменьшена или предотвращена посредством подачи инертного газа, например, аргона, через вихреобразующую гайку 47, как описано выше, и пропускания его вокруг электродов. Активный или дополнительный вспомогательный газ или смесь газов может быть подан(-а) в зоне, находящейся по потоку за зазором 44, который находится между анодом 45а или катодом 43 и расположенной впереди по потоку секцией 39 образующего модуля 30. Вариант осуществления, обеспечивающий дополнительное введение плазмообразующего газа, показан на фиг.6 для катодной плазменной головки. Соответствующую конструкцию для анодной плазменной головки можно легко представить. Вспомогательный плазмообразующий газ может быть подан в газовый канал 79 через элемент 81 для впуска газа, расположенный внутри распределителя 41. Из канала 79 вспомогательный газ может быть подан в плазменный канал 32 через прорези или отверстия 77, находящиеся в расположенной впереди по потоку секции 39 образующего модуля 30. Если обратиться также к фиг.7, приведенный в качестве примера вариант осуществления одного возможного элемента для подачи вспомогательного плазмообразующего газа показан в аксиальном и радиальном сечениях. В проиллюстрированном варианте осуществления четыре прорези 77 могут быть выполнены в расположенной впереди по потоку секции 39 для подачи вспомогательного плазмообразующего газа в плазменный канал 32. Как показано, прорези 77 могут быть выполнены так, чтобы обеспечить введение вспомогательного плазмообразующего газа по существу по касательной в плазменный канал 32. Другие конструкции также могут быть использованы соответствующим образом.

Может существовать множество разных возможных конструкций, в которых выполнены одно или несколько сдвоенных плазменных устройств в соответствии с

настоящим изобретением для удовлетворения разных технологических требований, связанных с плазменной обработкой материалов и плазменным напылением.

Аксиальное, радиальное введение или сочетание аксиального/радиального введения материалов, подлежащих плазменной обработке, могут быть использованы в данных конструкциях. Фиг.8-11 иллюстрируют приведенные в качестве примера конфигурации для введения материала в сочетании со сдвоенным плазменным устройством.

Различные другие конфигурации также могут быть использованы соответствующим образом.

Фиг.8 и 9 иллюстрируют конфигурации для введения, реализованные в комбинации с одним сдвоенным плазмотроном, соответственно обеспечивающие аксиальную и радиальную подачу материалов, подлежащих обработке. Угол α между катодной головкой 10 и анодной головкой 20 может представлять собой один из основных параметров, определяющих положение зоны взаимодействия, длину дуги и, следовательно, рабочее напряжение дуги. Меньшие углы α , как правило, могут приводить к более длинной дуге и более высокому рабочему напряжению. Экспериментальные данные показывают, что для эффективной плазменной сфероидизации керамических порошков предпочтительно может быть использован угол α , находящийся в интервале 45-80 градусов, при этом угол, находящийся в интервале примерно $50^\circ < \alpha < 60^\circ$, является особенно предпочтительным.

Фиг.8a-8b иллюстрируют катодную 10 и анодную 20 плазменные головки, ориентированные так, чтобы образовать систему 126 с одним угловым сдвоенным плазмотроном. Питание плазменных головок 10, 20 может осуществляться посредством источника 130 питания. Аксиальный инжектор 120 для порошков может быть расположен между соответствующими плазменными головками 10, 20 и может быть ориентирован для направления вводимого материала по существу по направлению к зоне взаимодействия. Аксиальный инжектор 120 для порошков может быть закреплен относительно плазменных головок 10, 20 посредством держателя 124 инжектора. В разных вариантах осуществления держатель инжектора может обеспечивать электрическую и/или тепловую изоляцию инжектора 120 от системы 126 с плазмотроном.

Конфигурация плазмотрона, обеспечивающая радиальную подачу материалов, проиллюстрирована на фиг.9a-c. Как показано, радиальный инжектор 128 может быть расположен рядом с концом одной или обеих плазменных головок, например, катодной плазменной головки 10. Радиальный инжектор 128 может быть ориентирован так, чтобы обеспечить введение материала в плазменную струю, выходящую из плазменной головки, по существу в радиальном направлении. Радиальный инжектор 128 может иметь круглое поперечное сечение канала 140 для подачи материала, как показано на фиг.9c. Однако в других вариантах осуществления эллиптическая или аналогичная форма канала 136, ориентированная так, что более длинная ось будет ориентирована вдоль оси плазменной струи, выходящей из плазменной головки, как показано на фиг.9b, может привести к улучшенному использованию энергии плазмы и, следовательно, к более высокой производительности.

Фиг.10-11 иллюстрируют возможные конструкции комплекта 132 с двумя сдвоенными плазмотронами. Ось каждой пары из катодной плазменной головки 10a, 10b и соответствующей анодной плазменной головки 20a, 20b может находиться в соответствующей плоскости 134a, 134b. Плоскости 134a и 134b могут образовывать угол β друг с другом. Некоторые экспериментальные результаты показали, что угол β ,

составляющий от около 50 до 90 градусов и более предпочтительно находящийся в диапазоне примерно $55^\circ < \beta < 65^\circ$, может обеспечить эффективную плазменную сфероидизацию керамических порошков. Образование побочных дуг может начинаться, когда угол β между плоскостями 134a, 134b уменьшается до величин менее 50 градусов. Углы β , превышающие приблизительно 80-90 градусов, могут привести к некоторым недостаткам при аксиальном введении порошков.

Как рассмотрено выше, конфигурации для аксиальной подачи материалов проиллюстрированы на фиг.8 и 11. Инжектор 120 для порошков может быть установлен в держателе 124 инжектора для обеспечения возможности регулирования положения инжектора 120 для удовлетворения различных технологических требований. Хотя это и не показано, радиальные инжекторы для материалов, такие как показанный на фиг.9a-c, аналогичным образом могут быть смонтированы с возможностью регулирования относительно плазменных головок, например, для обеспечения возможности регулирования промежутка между инжектором и плазменной струей, а также для обеспечения возможности регулирования положения места введения вдоль плазменной струи. Аксиальный инжектор 120 может иметь круглое поперечное сечение 140 канала для подачи материала. Тем не менее, аналогично радиальному введению, может быть использован канал инжектора, имеющий эллиптическую или аналогичную форму, например, с более длинной осью отверстия, ориентированной, как показано на фиг.11b. Подобная конфигурация может привести к улучшенному использованию энергии плазмы, что, в свою очередь, может обеспечить более высокую производительность. В других вариантах осуществления улучшенное использование энергии плазмы может быть достигнуто посредством использования комбинированного одновременного радиального и аксиального введения материалов, подлежащих плазменной обработке. Можно представить множество разных возможностей введения, которые могут обеспечить возможность регулирования и оптимизации параметров плазмы и введения для определенных применений.

Несмотря на то, что разработанные и выполненные по заказу источники питания могут быть соответствующим образом использованы в сочетании с плазменной системой согласно настоящему изобретению, следует понимать, что можно обеспечить управление рабочим напряжением и регулирование рабочего напряжения плазменной системы для приспособления к имеющимся выходным параметрам промышленно изготавливаемых и имеющихся на рынке источников питания. Например, компания ESAB (Florence, Южная Каролина, США) изготавливает источники питания ESP-400 и ESP-600, которые широко используются для плазменной резки и других плазменных технологий. Данные промышленно изготавливаемые и имеющиеся на рынке источники питания могут быть использованы эффективным образом также для сдвоенных плазменных устройств и систем. Однако максимальное рабочее напряжение данной группы источников питания для получения плазмы при 100%-й нагрузке составляет около 260-290 Вольт. Таким образом, конструкцию сдвоенного плазменного устройства, тип плазмообразующего газа и интенсивность подачи плазмообразующего газа можно регулировать так, чтобы они соответствовали доступному напряжению источников питания ESP-типа. Подобную регулировку можно выполнить для обеспечения сопряжения сдвоенного плазменного устройства с другим промышленно изготавливаемым и имеющимся на рынке или изготавливаемым по заказу источником питания.

Фиг.12a-b иллюстрируют влияние размеров плазменного канала, интенсивностей

подачи плазмообразующих газов и тока на напряжение дуги для приведенных в качестве примера вариантов осуществления сдвоенных плазмотронов, выполненных с углом 50° между соответствующими катодной и анодной плазменными головками. Азот часто может представлять собой плазмообразующий газ, представляющий
 5
 интерес для применений, вследствие его высокой энтальпии, невысокой цены и доступности. Однако применение только азота в качестве плазмообразующего газа может потребовать высокого рабочего напряжения, составляющего около 310 Вольт, как проиллюстрировано кривой 1 на фиг.12a-b. Уменьшение рабочего напряжения,
 10
 например, до значений, находящихся в пределах интервала выходных напряжений, подаваемых промышленно изготавливаемыми и имеющимися на рынке источниками питания, может быть обеспечено посредством использования, например, смеси аргона и азота при оптимизированных интенсивностях подачи, что проиллюстрировано кривыми 2-5 на фиг.12a. Уменьшение рабочего напряжения также может быть
 15
 обеспечено посредством оптимизации профиля и размеров плазмообразующего канала 32. Данные, представленные на фиг.12a, были получены посредством использования сдвоенного плазмотрона, в котором плазменный канал 32 каждой плазменной головки имел профиль, определяемый диаметрами $D1=4$ мм, $D2=7$ мм
 20
 и $D3=11$ [мм]. Плазмообразующие газы и интенсивности подачи, связанные с каждой из кривых 1-5, соответственно были следующими: кривые 1 и 1a: N_2 , 0,35 г/с; кривая 2: Ar, 0,35 г/с, N_2 , 0,2 г/с; кривая 3: N_2 , 0,25 г/с; кривая 4: Ar, 0,5 г/с, N_2 , 0,15 г/с, и кривая 5: Ar, 0,5 г/с, N_2 , 0,05 г/с. Фиг.12b показывает, что даже сравнительно незначительное увеличение диаметров $D1$, $D2$, $D3$ от соответственно 4 мм, 7 мм и 11 мм до 5 мм, 8 мм
 25
 и 12 мм может привести к уменьшению рабочего напряжения от около 310 Вольт до приблизительно 270-280 Вольт, что проиллюстрировано на фиг.12b.

Различные признаки и преимущества изобретения были приведены посредством описания приведенных в качестве примера вариантов осуществления в соответствии с
 30
 изобретением. Следует понимать, что многочисленные модификации и изменения описанных вариантов осуществления могут быть выполнены без принципиального отхода от изобретения, представленного здесь. Соответственно, изобретение не ограничивается описанными вариантами осуществления, но охватывает полный объем формулы изобретения, приложенной к данному описанию.
 35

Формула изобретения

1. Плазменное устройство, содержащее:

40
 первую анодную плазменную головку, имеющую канал для потока плазмы, и первую катодную плазменную головку, имеющую канал для потока плазмы, каждая из которых содержит электрод и элемент для впуска основного газа, расположенный между, по меньшей мере, частью каждого из указанных электродов и указанными каналами для потока плазмы, причем каждый из указанных предназначенных для потока плазмы каналов содержит первый, по существу, цилиндрический участок,
 45
 находящийся рядом с указанным электродом и имеющий диаметр $D1$, второй, по существу, цилиндрический участок, примыкающий к указанному первому участку и имеющий диаметр $D2$, и третий, по существу, цилиндрический участок, примыкающий к указанному второму участку и имеющий диаметр $D3$, при этом $D1 < D2 < D3$,
 50
 причем указанная первая анодная плазменная головка и указанная первая катодная плазменная головка расположены под некоторым углом друг относительно друга и способны генерировать дугу между указанными первой анодной и первой катодной плазменными головками, причем упомянутая дуга, которая генерируется

между указанной первой анодной плазменной головкой и первой катодной плазменной головкой, является такой, что дуга проходит последовательно из участков с диаметрами D1, D2 и D3 одного из упомянутых каналов для потока плазмы и последовательно в участки с диаметрами D3, D2 и D1 другого из каналов для потока плазмы;

вторую анодную плазменную головку, имеющую канал для потока плазмы, и вторую катодную плазменную головку, имеющую канал для потока плазмы, каждая из которых содержит электрод, элемент для впуска основного газа, расположенный между, по меньшей мере, частью каждого из указанных электродов и указанными каналами для потока плазмы, причем каждый из указанных предназначенных для потока плазмы каналов содержит первый, по существу, цилиндрический участок, находящийся рядом с указанным электродом и имеющий диаметр D1, второй, по существу, цилиндрический участок, примыкающий к указанному первому участку и имеющий диаметр D2, и третий, по существу, цилиндрический участок, примыкающий к указанному второму участку и имеющий диаметр D3, при этом $D1 < D2 < D3$,

причем указанная вторая анодная плазменная головка и указанная вторая катодная плазменная головка расположены под некоторым углом друг относительно друга и способны генерировать дугу между указанными второй анодной и второй катодной плазменной головками, причем упомянутая дуга, которая генерируется между указанной второй анодной плазменной головкой и второй катодной плазменной головкой, является такой, что дуга проходит последовательно из D1, D2 и D3 одного из упомянутых каналов для потока плазмы и последовательно в D3, D2 и D1 другого из каналов для потока плазмы;

при этом указанные первая анодная плазменная головка и первая катодная плазменная головка расположены в первой плоскости, и указанная вторая анодная плазменная головка и указанная вторая катодная плазменная головка расположены во второй плоскости, причем указанные первая и вторая плоскости расположены под углом друг относительно друга, составляющим от около 50° до около 90° .

2. Плазменное устройство по п.1, в котором указанная первая плоскость и указанная вторая плоскость расположены под углом друг относительно друга, составляющим между около 55° и около 65° .

3. Плазменное устройство по п.1, дополнительно содержащее инжектор для порошка, взаимодействующий с, по меньшей мере, одной плазменной головкой, при этом указанный инжектор выполнен с конфигурацией, обеспечивающей возможность введения порошкообразного материала в струю плазмы, генерированную указанной, по меньшей мере, одной плазменной головкой.

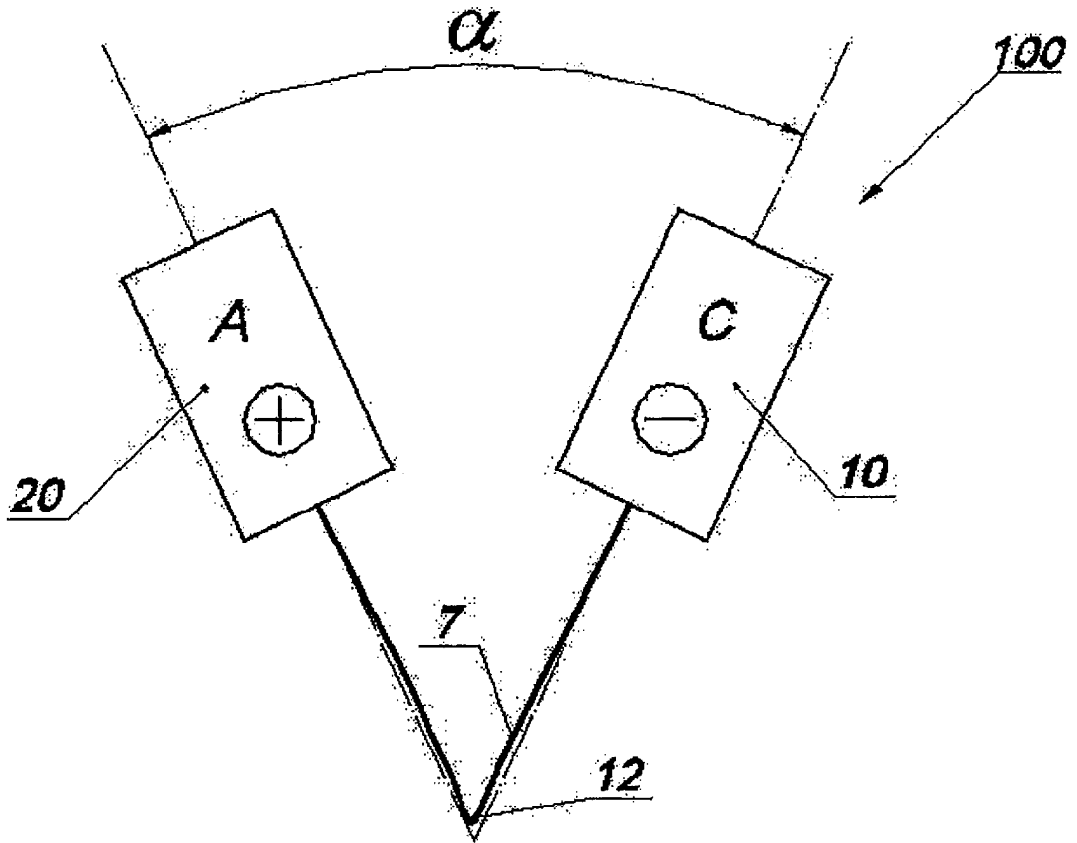
4. Плазменное устройство по п.3, в котором указанный инжектор для порошка выполнен с конфигурацией, обеспечивающей возможность введения порошка, по существу, в радиальном направлении относительно указанной струи плазмы, и в котором указанный инжектор для порошка имеет удлиненное поперечное сечение отверстия, при этом длинная ось указанного отверстия ориентирована, по существу, параллельно оси указанного предназначенного для потока плазмы канала указанной, по меньшей мере, одной плазменной головки.

5. Плазменное устройство по п.3, в котором указанный инжектор для порошка выполнен с конфигурацией, обеспечивающей возможность направления порошкообразного материала к зоне, находящейся между зоной взаимодействия указанной первой анодной плазменной головки и указанной первой катодной плазменной головки и зоной взаимодействия указанной второй анодной плазменной

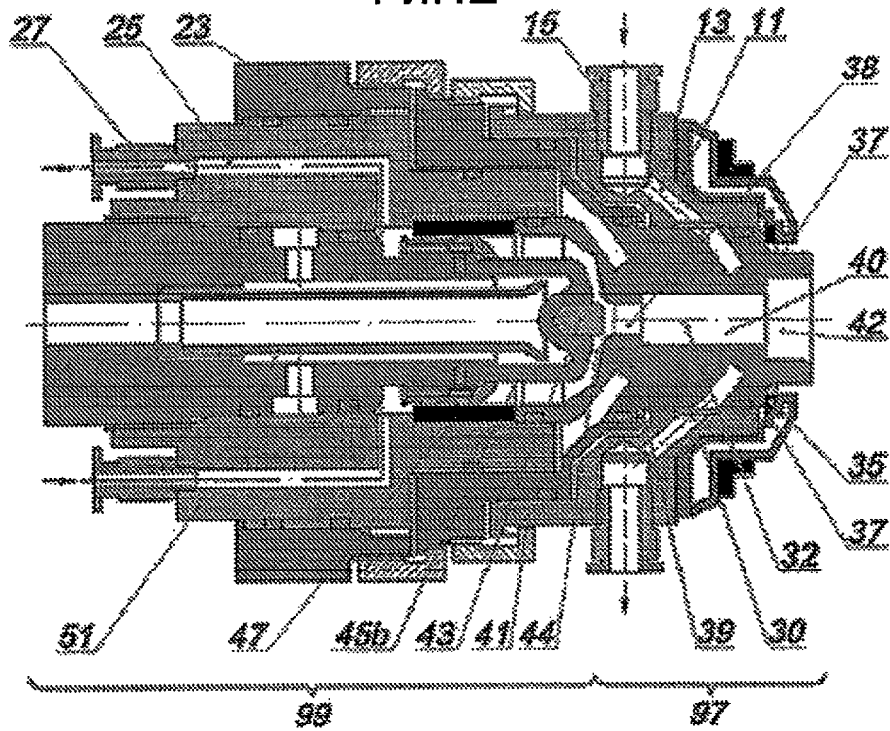
головки и указанной второй катодной плазменной головки.

6. Плазменное устройство по п.3, содержащее первый инжектор для порошка, выполненный с конфигурацией, обеспечивающей возможность введения порошка, по существу, в радиальном направлении относительно указанной струи плазмы, и второй инжектор для порошка, выполненный с конфигурацией, обеспечивающей возможность направления порошкообразного материала к зоне, находящейся между зоной взаимодействия указанной первой анодной плазменной головки и указанной первой катодной плазменной головки и зоной взаимодействия указанной второй анодной плазменной головки и указанной второй катодной плазменной головки.

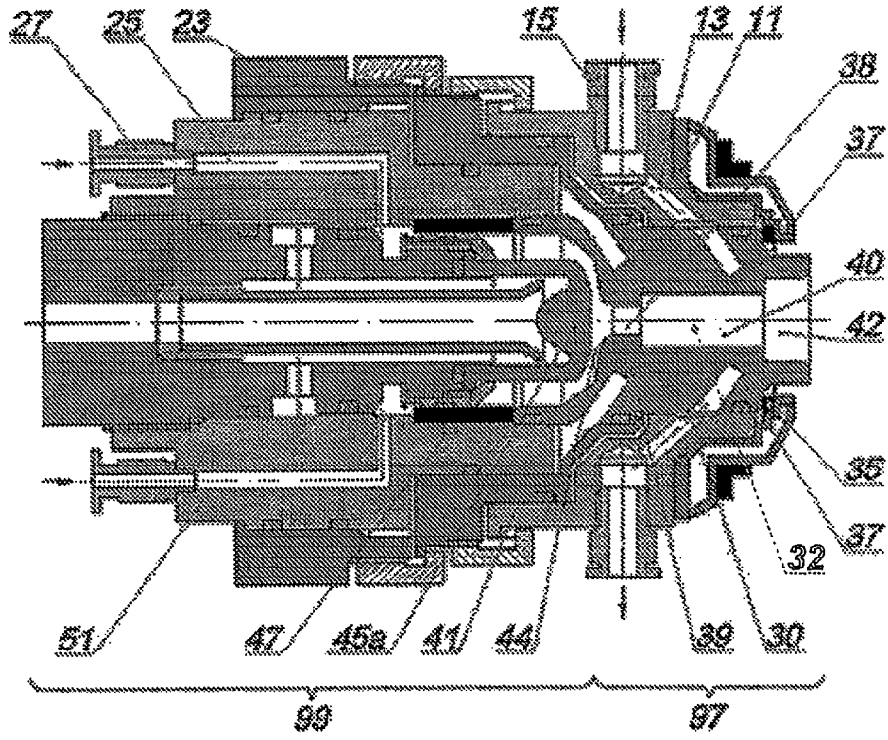
7. Плазменное устройство по п.1, в котором, по меньшей мере, одна из указанных плазменных головок содержит элемент для впуска вспомогательного газа, расположенный по потоку за указанным элементом для впуска основного газа.



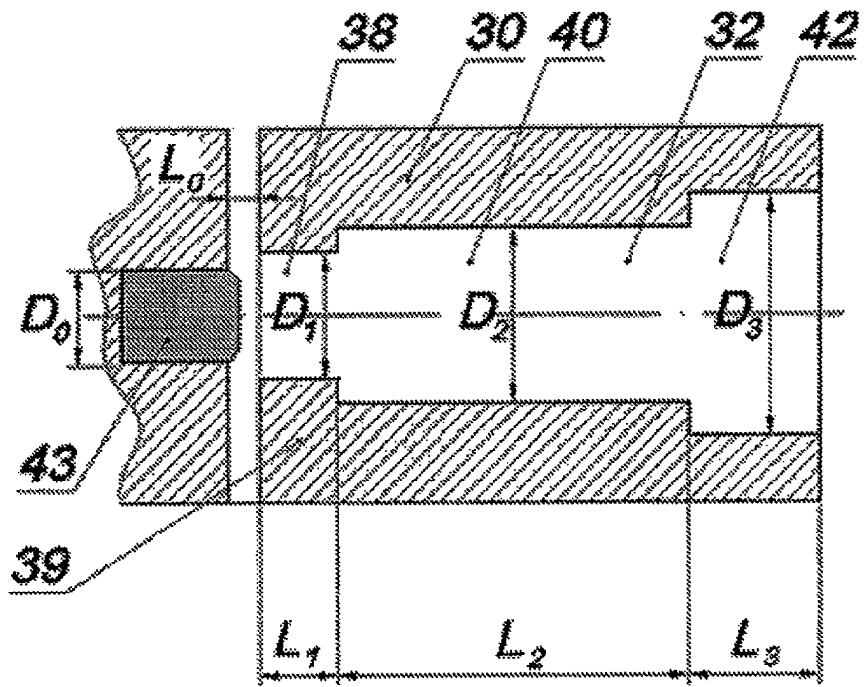
Фиг.2



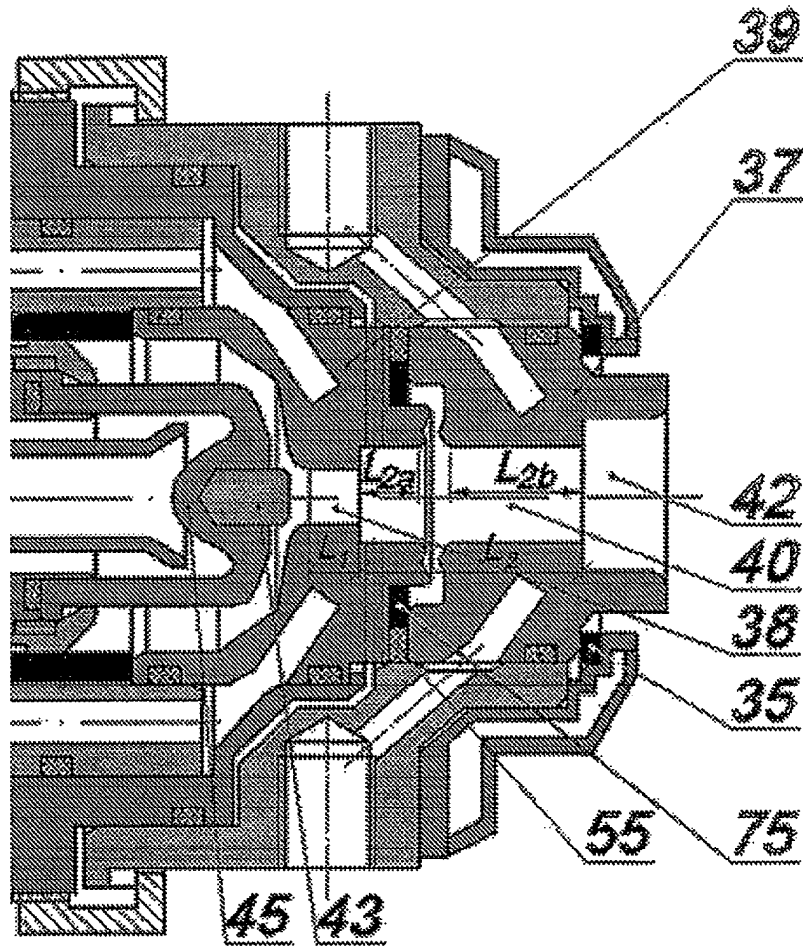
Фиг.3а



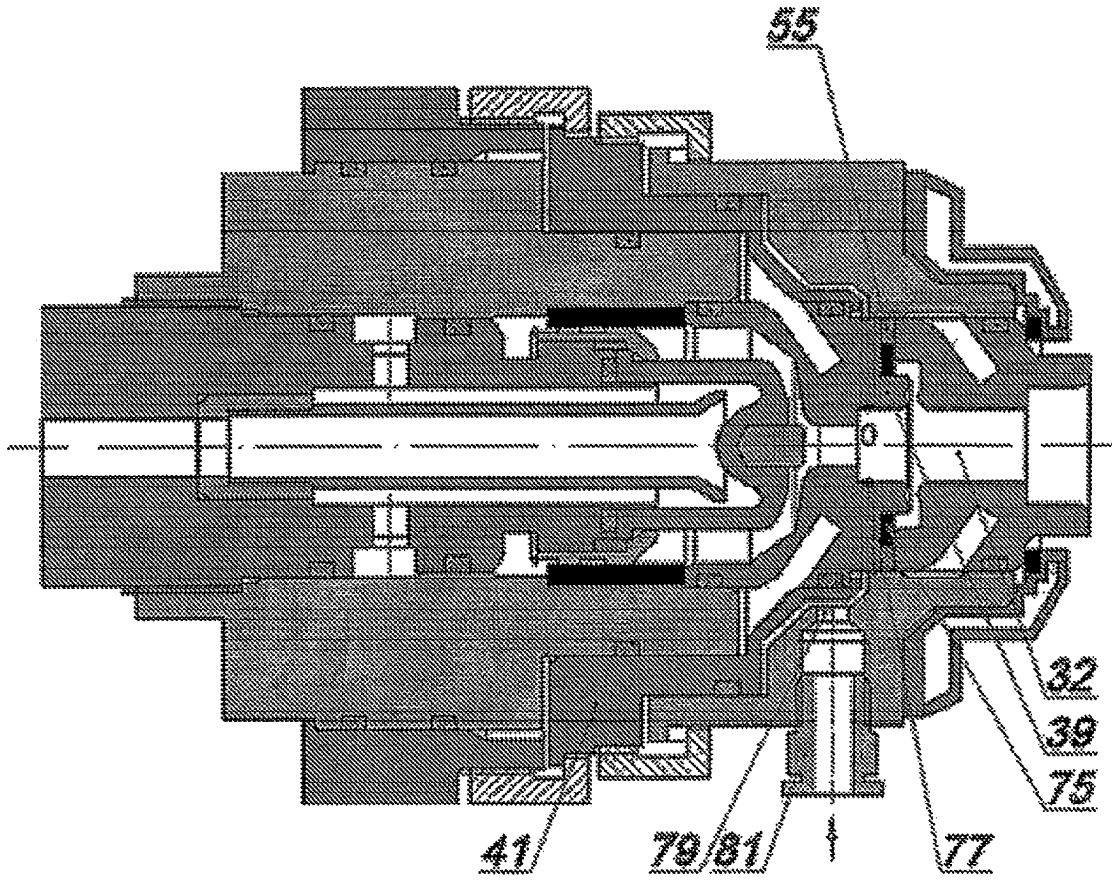
Фиг.3b



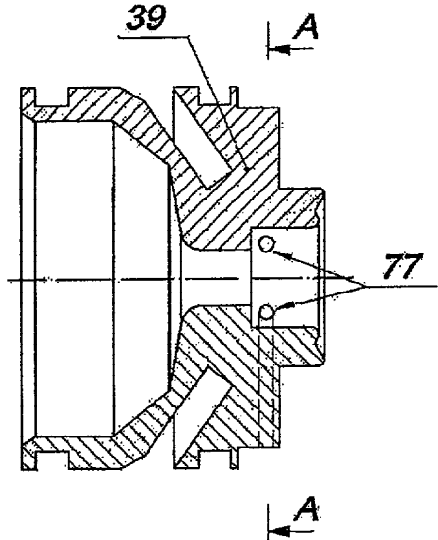
Фиг.4



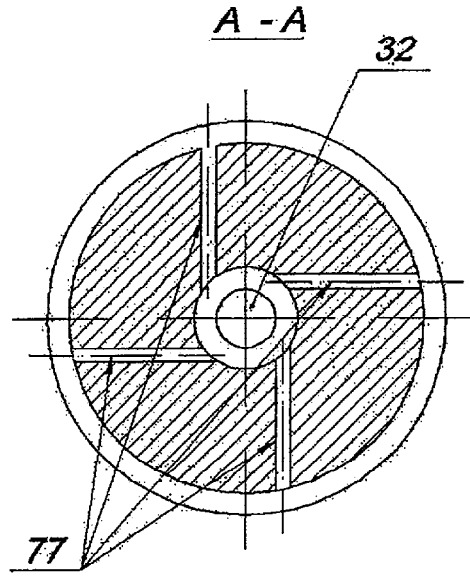
Фиг.5



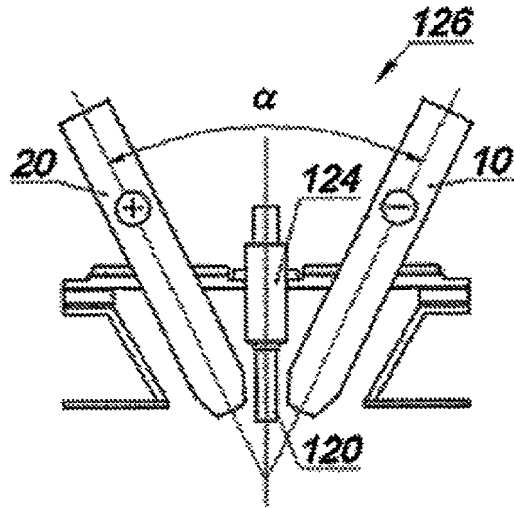
Фиг.6



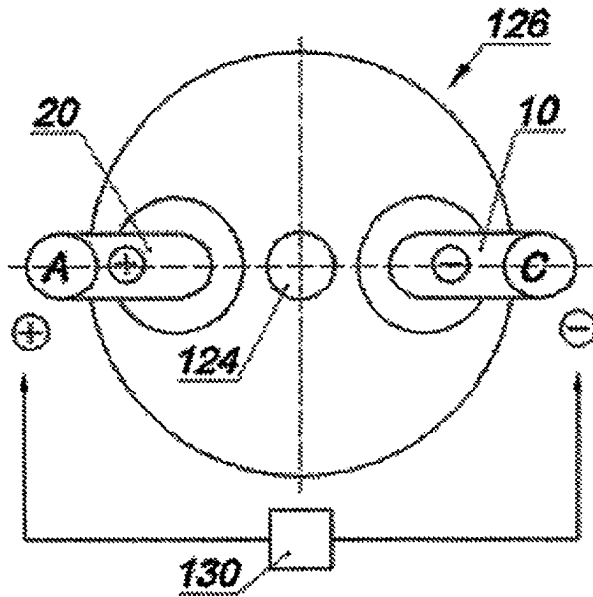
Фиг.7а



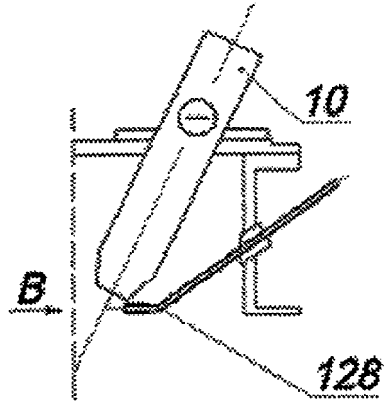
Фиг. 7b



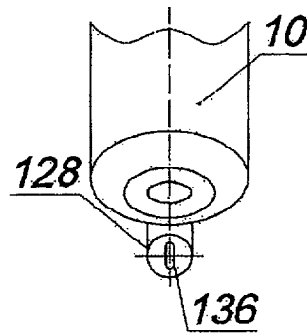
Фиг. 8a



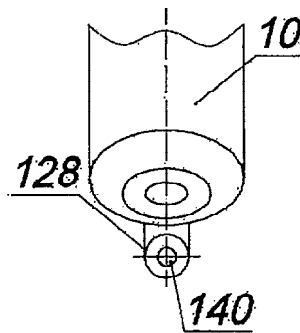
Фиг. 8b



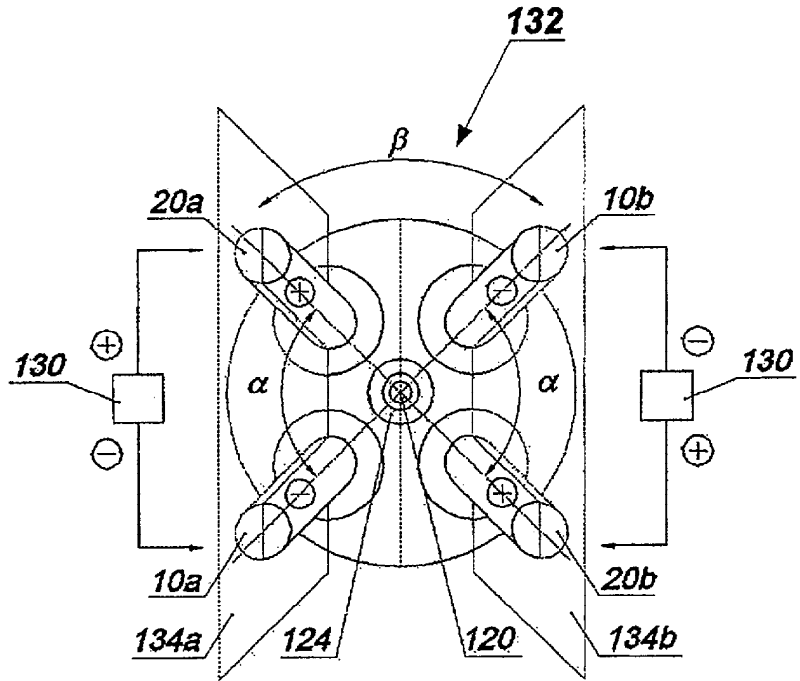
Фиг.9а
Вид В



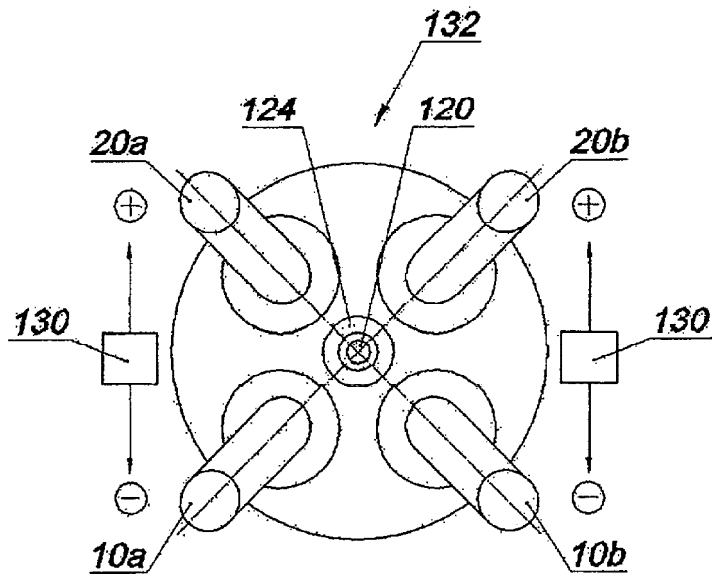
Фиг.9б
Вид В



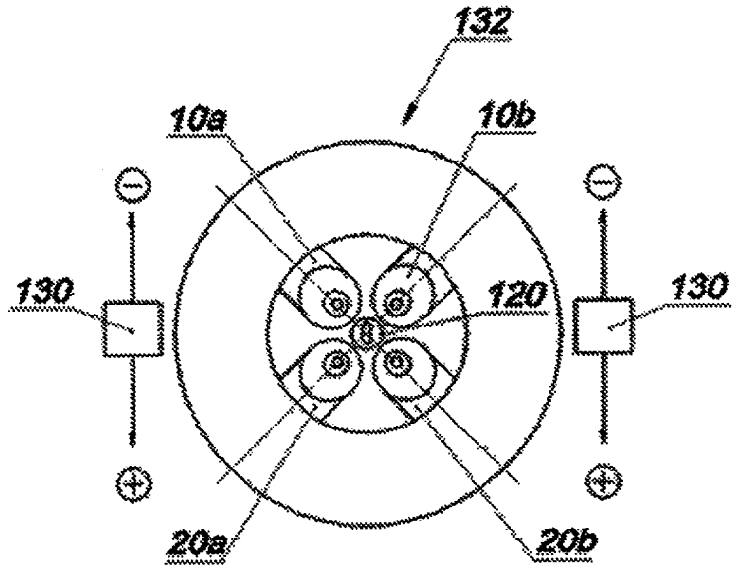
Фиг.9с



Фиг.10

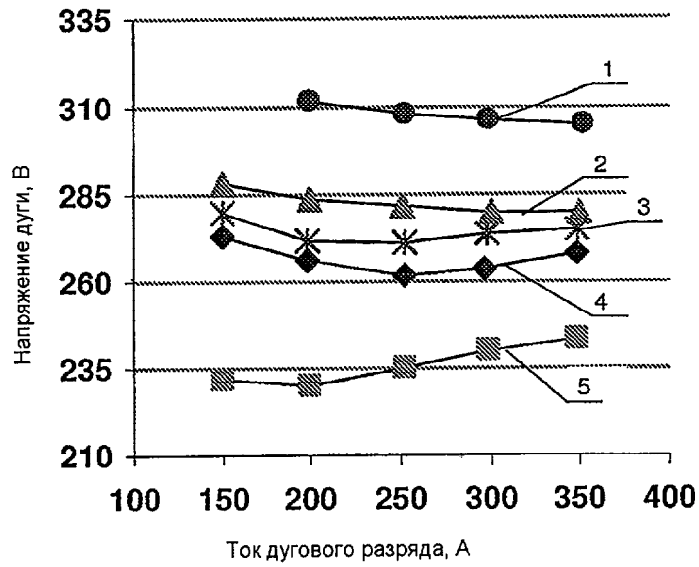


Фиг.11а



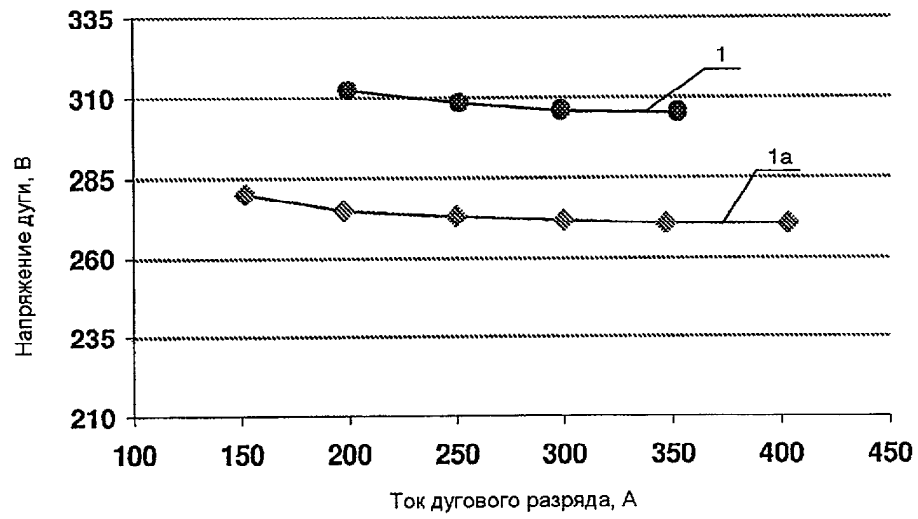
Фиг.11b

Вольтамперная характеристика



Фиг.12a

Вольтамперная характеристика



Фиг. 12b