



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012112719/02, 02.04.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.04.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2013 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 10.01.2014 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2087207 C1, 20.08.1997. RU 2222639 C2, 27.01.2004. RU 2194091 C2, 10.12.2002. JP 2003-340720 A, 02.12.2003.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,
ФГБУН ИТПМ СО РАН

(72) Автор(ы):

**Косарев Владимир Федорович (RU),
Клинков Сергей Владимирович (RU),
Зайковский Виктор Нестерович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт теоретической и
прикладной механики им. С.А.
Христиановича Сибирского отделения РАН
(ИТПМ СО РАН) (RU)****(54) УСТРОЙСТВО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННЮЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ**

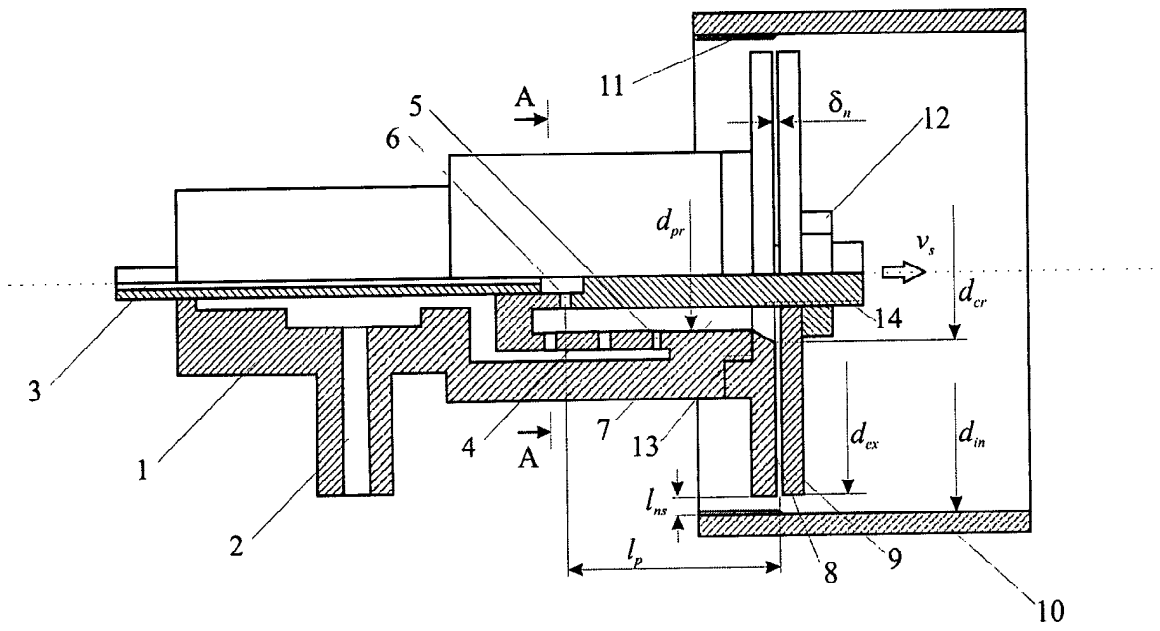
(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам газодинамического нанесения покрытий на внутреннюю цилиндрическую поверхность изделий и может быть использовано в машиностроении, в автомобильной промышленности, энергетике, строительстве и нефтегазовой отрасли промышленности. Технический результат - повышение качества покрытий, упрощение конструкции устройства, унификация конструкции для различных типоразмеров обрабатываемых изделий. Устройство содержит питатель-дозатор, систему подачи рабочего газа и частиц порошка в форкамеру, сменное радиальное сверхзвуковое сопло и средство перемещения устройства внутри изделия, а также изолирующую камеру с системой отсоса. Диаметр сопла на срезе выбран из

соотношения: $d_{ex}=d_{in}-2l_{ns}$, где d_{in} - диаметр отверстия в изделии, l_{ns} - расстояние от среза сопла до напыляемой поверхности изделия, выбираемое в пределах $(1-10)\delta_{ex}$; δ_{ex} - поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла на срезе. Внутренний диаметр радиального сверхзвукового сопла выбран из соотношения:

$$d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} d_{ex}, \text{ где } \delta_{cr} -$$

поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла в критическом сечении. При этом устройство выполнено с возможностью подачи рабочего газа в форкамеру через тангенциальные или радиальные каналы и подачи порошка через радиальные каналы. 7 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C23C 24/04 (2006.01)
B05B 7/14 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012112719/02, 02.04.2012

(24) Effective date for property rights:
02.04.2012

Priority:

(22) Date of filing: 02.04.2012

(43) Application published: 10.10.2013 Bull. 28

(45) Date of publication: 10.01.2014 Bull. 1

Mail address:

630090, g.Novosibirsk, ul. Institutskaja, 4/1,
FGBUN ITPM SO RAN

(72) Inventor(s):

**Kosarev Vladimir Fedorovich (RU),
Klinkov Sergej Vladimirovich (RU),
Zajkovskij Viktor Nesterovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Institut teoreticheskoy i
prikladnoj mekhaniki im. S.A. Khristianovicha
Sibirskogo otdelenija RAN (ITPM SO RAN) (RU)**

(54) **DEVICE FOR GAS DYNAMIC DEPOSITION OF COATING ON PART INNER CYLINDRICAL SURFACE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: proposed device comprises feeder-proportioner, system to feed working gas and powder particles into prechamber, replaceable radial supersonic nozzle, device drive and isolating chamber with suction system. Nozzle edge diameter is selected on the basis of the following relationship: $d_{ex} = d_{in} - 2l_{ns}$, where d_{in} is part hole diameter, l_{ns} is distance from nozzle edge to spayed surface making $(1-10)\delta_{ex}$; δ_{ex} is transverse size of radial nozzle supersonic channel part at the edge. Nozzle ID is selected proceeding from:

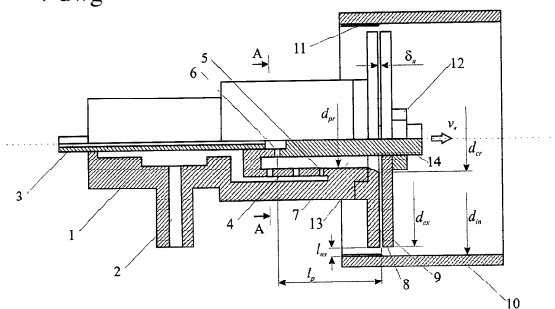
$$d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} d_{ex} \quad \text{where } \delta_{cr} \text{ is}$$

transverse size of radial nozzle supersonic channel

part at nozzle throat. Note here that note here that said device allows feeding the working gas into prechamber via tangential or radial channels and powder via radial channels.

EFFECT: higher quality of coating, simplified design, expanded applications.

7 dwg



Фиг. 1

RU 2 503 745 C2

RU 2 503 745 C2

Изобретение относится к оборудованию для нанесения покрытий методом холодного газодинамического напыления на внутренние цилиндрические поверхности изделий и может быть использовано в машиностроении, авиакосмической технике, в автомобильной промышленности, энергетике, строительстве, нефтегазовой промышленности и других областях хозяйства.

Известна установка для нанесения покрытий внутри трубы (патент РФ №2075535, МПК С23С 4/16, 1997 г.), в которой узел напыления, состоящий из сверхзвукового сопла, форкамеры и подогревателя газа смонтирован в подвижной полой штанге, связан пневмопроводом с питателем порошка и пультом управления, установленным на каретке устройства перемещения. Захватно-поворотный механизм, соединяющий напыляемую трубу с изолирующей камерой и системой отсоса, образует пылеизолирующий канал, позволяющий собрать и повторно использовать избыток порошка.

Недостатком данного устройства является то, что для получения сплошного слоя покрытия внутри трубы, ее необходимо вращать. При этом получается винтообразная дорожка напыления и чтобы получить сплошное покрытие необходимо перекрытие дорожек напыления. Это приводит к тому, что трудно получить равномерность толщины покрытия вдоль оси трубы.

Известно также устройство для нанесения на внутренние поверхности изделий (патент РФ №2222639, МПК В05В 7/14, 1999). Устройство содержит бункер для порошковой смеси с питателем-дозатором, камерой смешения, системы подачи рабочего газа в камеру смешения и питатель-дозатор, сообщенные с источником рабочего газа, а также распыливающую головку с кольцевым коллектором, кольцевым сверхзвуковым соплом, поворотным устройством, которое выполнено кольцевым, осесимметричным относительно центральной оси распыливающей головки, при этом оно расположено в корпусе распыливающей головки, сопряжено и сообщено с кольцевым сверхзвуковым соплом, а ось кольцевого поворотного устройства, являясь продолжением оси кольцевого сверхзвукового сопла, расположена по отношению к ней под углом $90\pm 5^\circ$, а выходное сечение кольцевого поворотного устройства обращено в сторону, противоположную центральной оси распыливающей головки.

Недостатком данного устройства является то, что напыляемые частицы приобретают необходимую скорость и температуру в кольцевом сверхзвуковом сопле, а затем в кольцевом поворотном устройстве разворачиваются на $90\pm 5^\circ$. При этом частицы неизбежно сталкиваются с поверхностью поворотного устройства, что приводит к потере их скорости. Кроме того, поверхность поворотного устройства в области столкновения с частицами будет эрозионно изнашиваться и, соответственно, изменится форма канала, что приведет к изменению параметров истечения и, как следствие, условий напыления. К этим же последствиям может приводить и обратный эрозионному процесс - осаждение напыляемых частиц на поверхности поворотного устройства. Кроме того, к недостатку данного устройства можно отнести то, что оно не унифицировано - напылительная головка предназначена для нанесения покрытия только на узкий диапазон внутреннего диаметра трубы. При его значительном изменении необходима другая напылительная головка.

За прототип выбрано устройство для нанесения покрытий из порошковых материалов, содержащее питатель-дозатор, систему подачи газа и частиц, сверхзвуковое сопло и промежуточное сопло, отличающееся тем, что оно снабжено профилированным центральным телом, расположенным на выходе сверхзвуковой

части сопел по их оси, а промежуточное сопло размещено по оси сверхзвукового сопла в области критического сечения последнего (патент РФ №2087207, МПК В05В 7/14, 1997 г.).

5 Недостатком данного устройства является то, что также как и в предыдущем устройстве, напыляемые частицы необходимо развернуть на $90 \pm 5^\circ$. Разворот происходит в сверхзвуковой части сопла, где частицы уже приобрели высокую скорость. Поэтому частицы неизбежно сталкиваются с поверхностью центрального тела, что приводит к потере их скорости. Кроме того, поверхность центрального тела
10 в области столкновения с частицами будет эрозионно изнашиваться и, соответственно, изменится форма сверхзвуковой части сопла, что приведет к изменению параметров истечения и, как следствие, условий напыления. К этим же последствиям может приводить и обратный эрозионному процесс - осаждение напыляемых частиц на поверхности центрального тела. Это устройство, также как и предыдущее не
15 унифицировано - при значительном изменении внутреннего диаметра трубы необходимо изготавливать новое устройство.

Задачей изобретения является повышение качества покрытий на внутреннюю цилиндрическую поверхность изделий, упрощение (изготовления) устройства
20 газодинамического напыления покрытий, унификация для различных типоразмеров обрабатываемых изделий.

Поставленная задача решается благодаря тому, что устройство газодинамического нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий, содержит
25 питатель - дозатор, систему подачи рабочего газа и частиц порошка в форкамеру, сверхзвуковое сопло и средство перемещения устройства внутри изделия, а также изолирующую камеру с системой отсоса, согласно изобретению радиальное сверхзвуковое сопло выполнено сменным, размеры которого зависят от внутреннего диаметра обрабатываемого изделия, при этом диаметр сопла на срезе выбирают из
30 соотношения: $d_{ex} = d_{in} - 2l_{ns}$,

где

d_{in} - внутренний диаметр напыляемой трубы;

l_{ns} - расстояние от среза сопла до напыляемой поверхности, выбираемое в
35 пределах $(1-10)\delta_{ex}$;

δ_{ex} - поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла на срезе, выбираемый из требуемой производительности устройства,

а внутренний диаметр радиального сверхзвукового сопла, определяющий площадь критического сечения сопла, из соотношения:

$$40 \quad d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} d_{ex}, \text{ причем}$$

поперечный размер канала сверхзвуковой части выполнен регулируемым и может быть постоянным или переменным по радиусу, а поверхность, равноотстоящая от внутренних стенок радиального сопла расположена под углом $\alpha_n = 60-90^\circ$ к внутренней
45 цилиндрической поверхности изделия. Система подачи рабочего газа в форкамеру осуществляется через тангенциальные или радиальные каналы, а подача порошка через радиальные каналы, расположенные на расстоянии $l_p = (0-10)d_{pr}$ от поверхности, равноотстоящей от внутренних стенок радиального сопла.

50 На фиг.1 изображено устройство газодинамического напыления с постоянным поперечным размером канала сверхзвуковой части радиального сопла δ_n , на фиг.2а - генератор потока тангенциальный, 2б - генератор потока радиальный; на фиг.3 изображено устройство газодинамического напыления в разрезе с переменным

поперечным размером канала сверхзвуковой части радиального сопла - расширяющимся; на фиг.4 изображено устройство газодинамического напыления в разрезе с переменным поперечным размером канала сверхзвуковой части радиального сопла - сужающимся; на фиг.5 - сопло, с поверхностью, равноотстоящей от внутренних стенок радиального сопла, расположенной под углом к внутренней цилиндрической поверхности изделия отличным от 90°; на фиг.6 - график области разрешенных значений поперечного размера канала сверхзвуковой части радиального сопла в критическом сечении δ_{cr} - заштрихованная область; на фиг.7 - показан образец, полученный при использовании радиального сопла.

Устройство газодинамического нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий, содержит корпус 1, систему подачи рабочего газа 2 и частиц порошка 3 в корпус 1, генератор 4 закрученного (I) или радиального (II) потоков с тангенсальными (a) или радиальными (b) отверстиями 5 подачи рабочего газа, радиальные отверстия 6 подачи порошка, форкамеру 7, радиальное сверхзвуковое сопло, состоящее из неподвижной 8 и подвижной 9 частей, средство продольного перемещения устройства внутри изделия (на чертеже не показано). Изолирующая камера с системой отсоса также не показана. Радиальное сверхзвуковое сопло выполнено сменным, размеры которого зависят от внутреннего диаметра обрабатываемого изделия 10 (трубы). Диаметр сопла на срезе выбирают из соотношения:

$$d_{ex} = d_{in} - 2l_{ns},$$

где

d_{in} - внутренний диаметр напыляемой трубы;

l_{ns} - расстояние от среза сопла до напыляемой поверхности, выбираемое в пределах $(1-10)\delta_{ex}$;

δ_{ex} - поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла на срезе, выбираемый из требуемой производительности устройства.

Внутренний диаметр радиального сверхзвукового сопла, определяющий площадь критического сечения сопла определяют из соотношения:

$$d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} d_{ex}.$$

Радиальное сопло выполнено с возможностью регулирования поперечного размера канала сверхзвуковой части радиального сопла, выбираемого из требуемой производительности, за счет перемещения подвижной части 9 сопла по резьбе 14, и может быть постоянной или переменной по радиусу, это обеспечивает унификацию устройства в более широком диапазоне типоразмеров напыляемых изделий (труб). Поверхность, равноотстоящей от внутренних стенок радиального сопла, расположена под углом $\alpha_n = 60-90^\circ$ к внутренней цилиндрической поверхности изделия. Изменение угла наклона α_n обусловлена расширением функциональных возможностей устройства, а именно, позволяет наносить покрытия на всю цилиндрическую поверхность глухих отверстий (см. фиг.5).

Система подачи рабочего газа в форкамеру может осуществляться через тангенциальные или радиальные каналы, что обеспечивает варьирование параметров напыления. В частности, при тангенциальном вводе улучшается равномерность перемешивания газопорошковой смеси, меняются траектории напыляемых частиц внутри сверхзвукового сопла, что может привести к улучшению качества напыляемых покрытий.

Подача порошка осуществляется через радиальные каналы, расположенные на расстоянии $l_p=(0-10)d_{pr}$ от поверхности, равноотстоящей от внутренних стенок радиального сопла, что обеспечивает варьирование температуры напыляемых частиц. В частности, частицы с низкой температурой плавления необходимо вводить в окрестности критического сечения сопла, а с более высокой - на значительном расстоянии, чтобы при движении в форкамере они смогли прогреться до необходимой для оптимального напыления температуры.

Устройство газодинамического напыления на внутренние поверхности изделия работает следующим образом.

Рабочий газ, имеющий заданную температуру и давление, поступает из нагревателя газа в корпус соплового узла 1, далее в генератор 4 закрученного (I) или радиального (II) потоков и через тангенциальные (а) или радиальные (b) отверстия 5 в форкамеру 7 неподвижной части 8 радиального сопла. Газопорошковая смесь из дозатора порошка через радиальные отверстия 6 также поступает в форкамеру 7 неподвижной части 8 сопла. Далее вся смесь перед критическим сечением подвижной части 9 сверхзвукового сопла разворачивается и ускоряется в сверхзвуковой части сопла, двигающегося относительно изделия 10 (трубы) с заданной скоростью v_s , приобретает необходимые для напыления параметры и при высокоскоростном натекании на внутреннюю поверхность изделия (трубы) образует покрытие 11.

Чтобы сменить сопло, необходимо свинтить контргайку 12, снять подвижную часть сопла и по резьбе 13 открутить неподвижную часть 8 сопла. Далее в обратном порядке по резьбе на корпусе устанавливается неподвижная часть 8 сопла, с необходимым зазором, обеспечивающим требуемую толщину сверхзвуковой части сопла, устанавливается подвижная часть 9 сопла и фиксируется контргайкой.

Поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла на срезе выбирается из существующей производительности источника сжатого газа и требуемой толщины покрытия за один проход. Если мы имеем источник сжатого газа, обеспечивающего его расход G_{com} с давлением p_0 , поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла в критическом сечении δ_{cr} определяется из условия, что расход газа через сопло

$$G_0 = \pi d_{cr} \delta_{cr} \frac{0,04 p_0}{\sqrt{T_0}} \text{ меньше}$$

производительности источника сжатого газа, выражением (для воздуха):

$$\delta_{cr} < \frac{25 G_{com} \sqrt{T_0}}{\pi p_0 d_{cr}}, \quad (1)$$

где T_0 - температура газа в форкамере, p_0 - давление газа в форкамере.

Например, при производительности источника сжатого газа 2 м³/мин, что соответствует примерно 0,04 кг/с, температуре газа в форкамере 500 К и давлении 1,5 МПа поперечный размер канала сверхзвуковой части сопла в критическом сечении должна быть не более 0,5 мм при диаметре критического сечения 10 мм и не более 0,25 мм при 20 мм, соответственно.

Кроме того, площадь критического сечения сопла должна быть меньше площади сечения форкамеры (примем как минимум в два раза). Это условие может быть записано как:

$$\delta_{cr} < \frac{d_{pr}^2}{8 d_{cr}}, \quad (2)$$

Естественно, ограничивать сверху поперечный размер канала сопла в критическом сечении будет более "жесткое" из условий (1) и (2).

С другой стороны, требование напылить за один проход покрытие толщиной δ_{c1} приводит нас к условию

$$\delta_{cr} > \frac{v_s d_{in} \delta_{c1} \rho_c \sqrt{T_0}}{2k_d p_0 d_{cr}} 10^2 \quad (3)$$

где δ_{c1} - толщина покрытия за один проход соплового узла, ρ_c - плотность покрытия, k_d - коэффициент напыления.

Зависимости $\delta_{cr} = \frac{25G_{com} \sqrt{T_0}}{\pi p_0 d_{cr}}$, $\delta_{cr} = \frac{d_{pr}^2}{8d_{cr}}$, $\delta_{cr} = \frac{v_s d_{in} \delta_{c1} \rho_c \sqrt{T_0}}{2k_d p_0 d_{cr}} 10^2$ показаны на

фиг.6. Они рассчитаны при следующих значениях входящих в них параметров:

$G_{com}=0,04$ кг/с, $T_0=500$ К, $p_0=1,5 \cdot 10^6$ МПа, $d_{cr}=20 \cdot 10^{-3}$ м, $d_{cr}=5 \cdot 10^{-3}$ м, $v_s=5 \cdot 10^{-2}$ м/с, $d_{in}=80 \cdot 10^{-3}$ м, $\delta_{c1}=100 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_c=2700$ кг/м³, $k_d=0,5$. Область разрешенных значений δ_{cr} лежит между кривыми 3 и 1 или 2 (в рассматриваемом примере между 3 и 2).

Пример 1

На фиг.7 показан образец, полученный при использовании радиального сопла с диаметром критического сечения 18 мм, диаметром выходного сечения 72 мм, длиной сверхзвукового участка 27 мм, с постоянным поперечным размером канала $\delta_n=0,5$ мм. Порошок алюминия (10-40 мкм) напыляли на внутреннюю поверхность трубы при реализации закрученного течения при $l_{ns}=4$ мм. Образец трубы с внутренним диаметром 80 мм с покрытием алюминия, $p_0=1,5$ МПа, $T_0=200^\circ\text{C}$, генератор закрутки с 32 тангенциальными отверстиями диаметром 1,5 мм.

Пример 2

С учетом условия $d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} \delta_{ex}$ длина сверхзвуковой части сопла L_n

может быть записана как $L_n = \left[1 - (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} \right] \frac{\delta_{ex}}{2}$. Меняя отношение $\frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}}$ (

$\frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} < 1$ - сужающееся сопло; $\frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} > 1$ - расширяющееся сопло) мы можем для

выбранного диаметра трубы в определенных пределах менять длину сверхзвуковой части сопла и, тем самым, подбирать ее оптимальную конфигурацию для ускорения частиц напыляемого порошка.

Положительный эффект использования предложенного устройства обеспечивается конструктивным решением сменного сопла с регулируемой толщиной и изменяемой геометрией сопла. Сокращает время переналадки устройства при обработке внутренних поверхностей труб с различным диаметром. Регулируемый поперечный размер канала сверхзвуковой части сопла позволяет унифицировать процесс напыления широкого спектра порошков с различными размерами частиц.

Источники информации

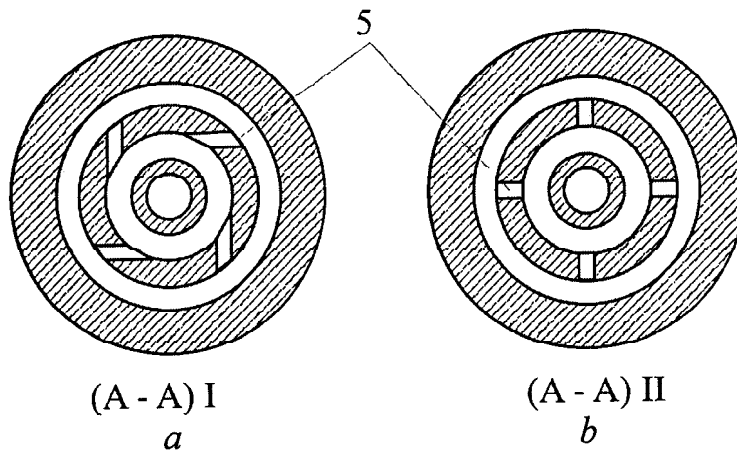
1. Патент RU №2075535, МПК C23C 4/16, 1997 г.
2. Патент RU №2222639, МПК B05B 7/4, 1999 г.
3. Патент RU №2087207, МПК B05B 7/14, 1997 г.

Формула изобретения

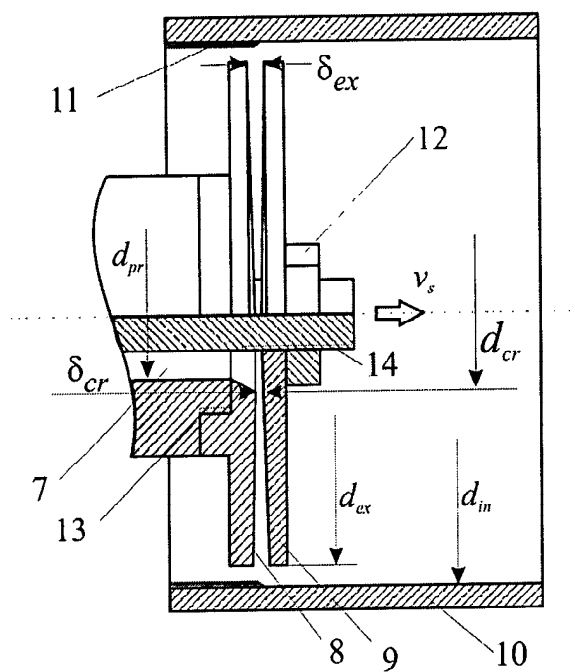
Устройство для газодинамического нанесения покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность изделия, содержащее питатель-дозатор, систему подачи рабочего газа и частиц порошка в форкамеру, сверхзвуковое сопло и средство перемещения устройства внутри изделия, а также изолирующую камеру с системой отсоса, отличающееся тем, что используется сменное радиальное сверхзвуковое сопло, размеры которого выбраны в зависимости от внутреннего диаметра обрабатываемого изделия, при этом диаметр сопла на срезе выбран из соотношения: $d_{ex}=d_{in}-2l_{ns}$, где d_{in} - диаметр отверстия в изделии; l_{ns} - расстояние от среза сопла до напыляемой поверхности изделия, выбираемое в пределах $(1-10)\delta_{ex}$; δ_{ex} - поперечный размер канала сверхзвуковой части радиального сопла на срезе, а внутренний диаметр радиального сверхзвукового сопла, определяющий площадь критического сечения сопла, выбран из соотношения:

$$d_{cr} = (0,25 - 0,5) \frac{\delta_{ex}}{\delta_{cr}} d_{ex}$$

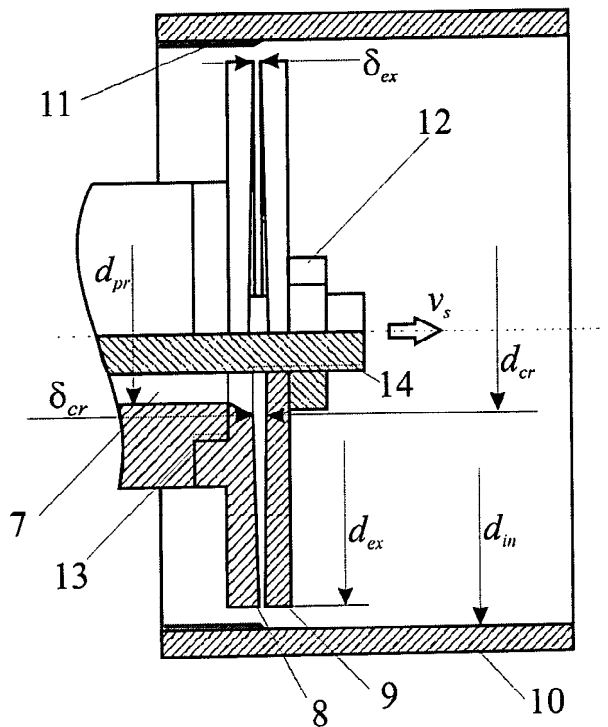
канала сверхзвуковой части радиального сопла в критическом сечении, который имеет возможность регулировки и может быть постоянным или переменным по радиусу, при этом поверхность, равноотстоящая от внутренних стенок радиального сопла, расположена под углом $\alpha_n=60-90^\circ$ к внутренней цилиндрической поверхности изделия, причем устройство выполнено с возможностью подачи рабочего газа в форкамеру через тангенциальные или радиальные каналы и подачи порошка через радиальные каналы.



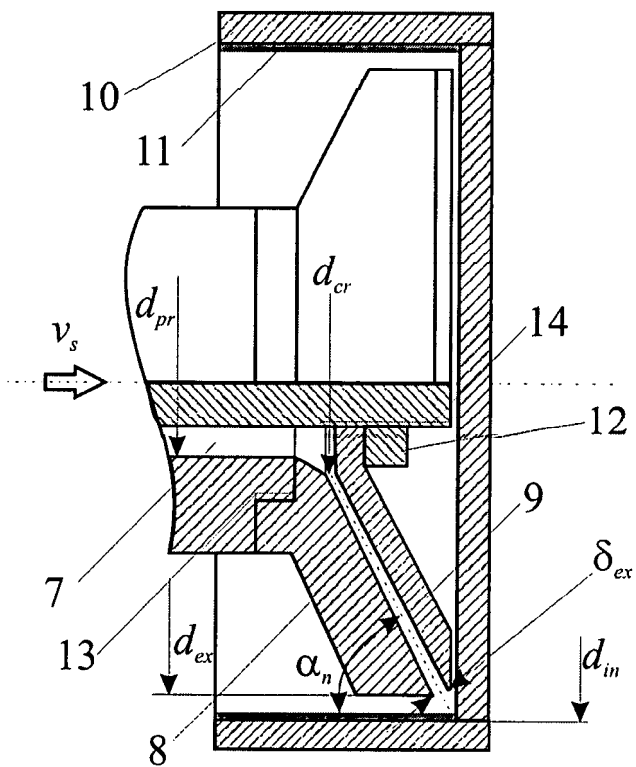
Фиг. 2



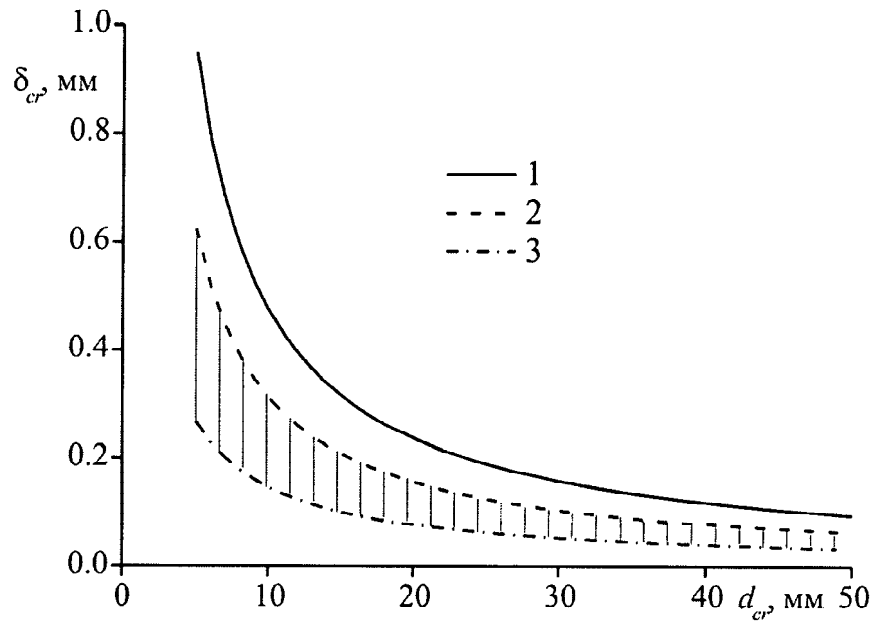
Фиг. 3



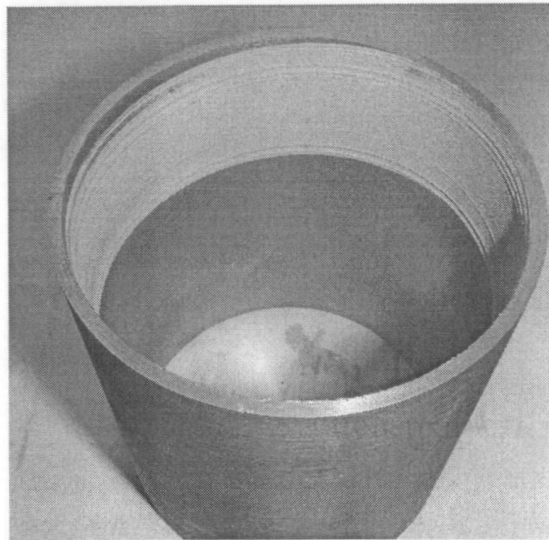
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7