



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010140292/02, 01.10.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.10.2010

(43) Дата публикации заявки: 10.04.2012 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 27.11.2012 Бюл. № 33

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: DE 10119288 A1, 24.10.2002. RU 2396371 C2, 10.08.2010. RU 2399694 C1, 20.09.2010. WO 2008031185 A1, 20.03.2008. US 4933211 A, 12.06.1990.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,
Институт теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии
наук (ИТПМ СО РАН)

(72) Автор(ы):

**Косарев Владимир Федорович (RU),
Клишков Сергей Владимирович (RU),
Зайковский Виктор Нестерович (RU),
Меламед Борис Михайлович (RU),
Трубачев Георгий Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

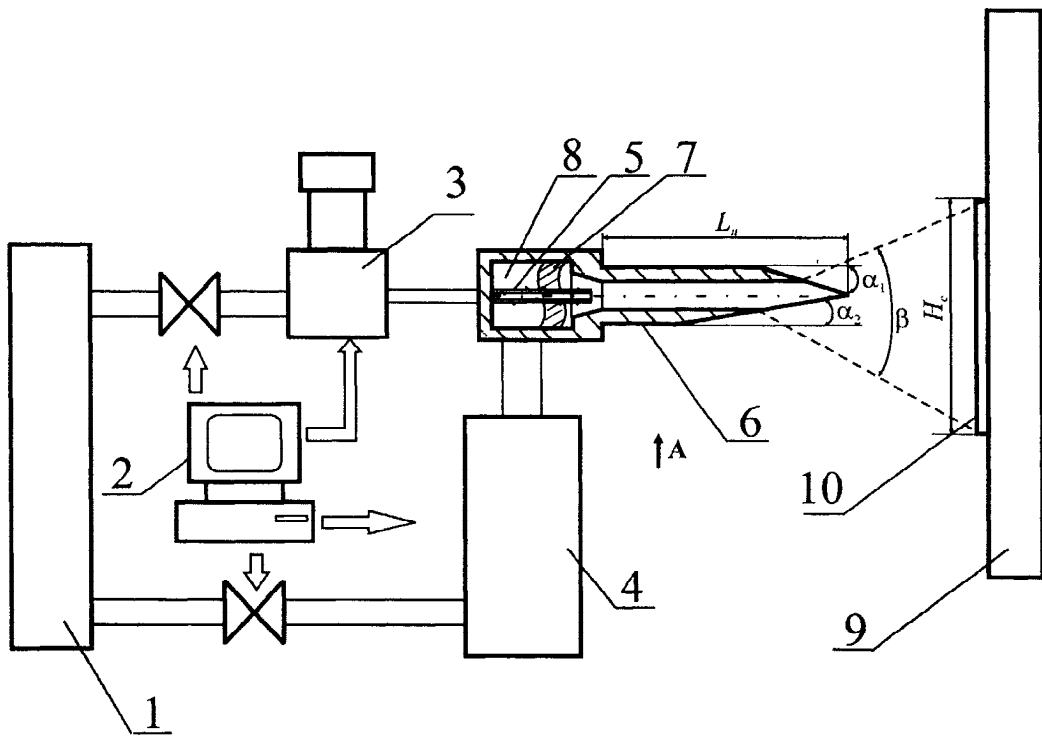
**Институт теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии
наук (ИТПМ СО РАН) (RU)**

(54) СПОСОБ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ВАРИАНТЫ)

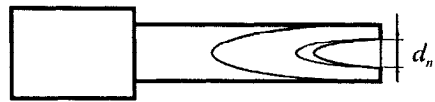
(57) Реферат:

Изобретение относится к области газодинамического напыления порошковых материалов и может быть использовано в машиностроении и других сферах производства для получения покрытий различного функционального назначения. Осуществляют нагрев подаваемого из источника (1) сжатого газа в электронагревателе (4). Узлом подачи (5) подают его в звуковое сопло постоянного сечения (6) и формируют в сопле закрученный газовый поток завихрителем (7), размещенным в форкамере (8) сопла. Подают в

поток частицы порошкового материала, ускоряют их в сопле и наносят на поверхность. Сопло на выходе имеет два плоских несимметричных среза. Напыление ведут плоской струей газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$, который формируют заданной конфигурацией выходного сечения звукового сопла. Расширяются технологические возможности газодинамического напыления за счет увеличения ширины полосы напыления и снижения себестоимости. 6 н.п. ф-лы, 15 ил.



Вид А



Фиг. 6



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C23C 24/04 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010140292/02, 01.10.2010**

(24) Effective date for property rights:
01.10.2010

Priority:

(22) Date of filing: **01.10.2010**

(43) Application published: **10.04.2012 Bull. 10**

(45) Date of publication: **27.11.2012 Bull. 33**

Mail address:

**630090, g.Novosibirsk, ul. Institutskaja, 4/1,
Institut teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki
im. S.A. Khristianovicha Sibirskogo otdelenija
Rossijskoj akademii nauk (ITPM SO RAN)**

(72) Inventor(s):

**Kosarev Vladimir Fedorovich (RU),
Klinkov Sergej Vladimirovich (RU),
Zajkovskij Viktor Nesterovich (RU),
Melamed Boris Mikhajlovich (RU),
Trubacheev Georgij Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki
im. S.A. Khristianovicha Sibirskogo otdelenija
Rossijskoj akademii nauk (ITPM SO RAN) (RU)**

(54) METHOD FOR GAS DYNAMIC SPUTTERING OF POWDER MATERIALS AND DEVICE FOR GAS DYNAMIC SPUTTERING OF POWDER MATERIALS (VERSIONS)

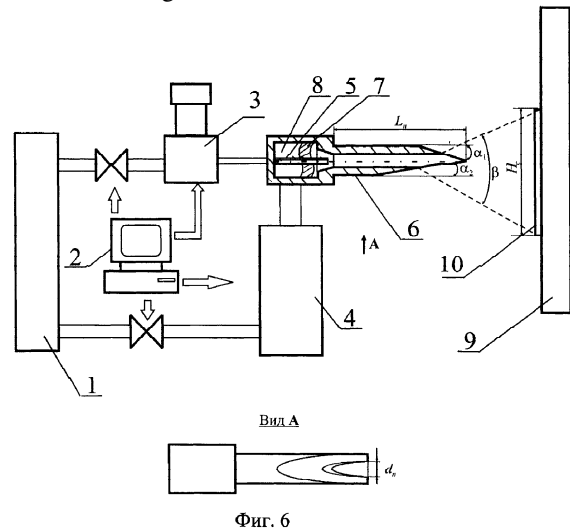
(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: compressed gas supplied from a source (1) is heated in an electric heater (4). With a supply unit (5) it is sent into a sonic nozzle of permanent section (6), and a swirled gas flow is formed in the nozzle with a swirler (7), arranged in a forechamber (8) of the nozzle. Particles of the powder material are supplied into the flow, accelerated in the nozzle and applied onto the surface. The nozzle at the outlet has two flat asymmetrical cuts. Spraying is carried out with a flat jet of a gas powder flow with an opening angle equal to $\beta=40\div90^\circ$, which is formed by the specified configuration of the output section of the sonic nozzle.

EFFECT: expanded process capabilities of gas dynamic sputtering due to increased width of a

sputtering strip and reduced prime cost.
6 cl, 15 dwg



RU 2 468 123 C2

RU 2 468 123 C2

Изобретение относится к устройствам и способам газодинамического напыления порошкового материала и может быть использовано в различных отраслях машиностроения и других сферах производства для получения покрытий различного функционального назначения.

5 Известен способ газодинамического напыления порошка на алюминиевый блок головок двигателя, реализованный в устройстве US 2002073982 (опубл. 20.06.2002), которое включает источник сжатого газа, дозатор подачи порошкового материала, сверхзвуковое сопло, изогнутое под углом $30\pm 15^\circ$. В этом способе напыление порошка
10 осуществляют путем введения металлических порошков в поток сжатого газа, ускорения газопорошковой смеси в сверхзвуковом сопле и подачи напыляемого порошкового материала под углом $30\pm 15^\circ$.

Основным недостатком данного изобретения является малый угол удара частиц. Известно, что наибольший коэффициент напыления реализуется при ударе, близком к
15 нормальному. Многие материалы вообще не образуют покрытие при углах соударения менее 45° . Кроме того, устройство не способно сформировать пятно напыления прямоугольной либо близкой к таковой формы и, соответственно, невозможно получить большую ширину полосы напыления.

20 Известно устройство US 2007181714 (опубл. 09.08.2007), которое включает источник сжатого газа, дозатор подачи порошкового материала, сверхзвуковое сопло и канал, изогнутый под углом 90° , либо рефлектор, отражающий частицы на угол 90° . Стенки изогнутой части сопла либо дефлектора имеют покрытие из мягких материалов (силикон, резина, латекс, уретан, пластик и т.д.) либо твердых материалов (керамика,
25 стекло, нитриды и т.д.), обеспечивающих безадгезионный отскок частиц.

Основным недостатком данного изобретения является то, что материал (покрытия) сопла изготавливается из мягких материалов (силикон, резина, латекс, уретан, пластик и т.д.), склонных к сильной эрозии и не позволяющих нагрев как правило более 200-
30 300°C , что сильно ограничивает его применимость и срок его эксплуатации. Кроме того, при ударе частицы теряют свою скорость тем сильнее, чем больше угол удара. Это сильно ограничивает применимость дефлекторов (либо сопел с изгибом) с углом заворота более либо порядка 45° . Кроме того, устройство также не способно сформировать пятно напыления прямоугольной либо близкой к таковой формы и,
35 соответственно, невозможно получить большую ширину полосы напыления.

Известно устройство газодинамического напыления порошковых материалов по патенту РФ №2334827 (опубл. 27.09.2008), содержащее электронагреватель сжатого
40 газа, порошковый питатель, сверхзвуковое сопло, узел ввода в сопло газопорошковой смеси, рабочего газа. Узел ввода газопорошковой смеси содержит центральное тело с переменным по длине сечением и осевым каналом для подачи газопорошковой смеси в сопло. Оно выполнено для образования с внутренней стенкой сопла регулируемых дозвукового и сверхзвукового кольцевых каналов подачи рабочего газа. В форкамере сверхзвукового сопла может быть расположен завихритель рабочего газа и
45 порошкового материала для образования однородного газопорошкового потока.

Недостатком данного устройства является то, что невозможно сформировать пятно напыления прямоугольной либо близкой к таковой формы и, соответственно, невозможно получить большую ширину полосы напыления.

50 Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ газодинамического напыления поверхностей, осуществляемый устройством по патенту DE №10119288 (опубл. 24.10.2002), в котором частицы в звуковом сопле с длинным ускоряющим участком ускоряются, при этом на входе в звуковое сопло

рабочий газ сжимается в области сжатия и ускоряется до скорости ниже числа $M=1$. В область сжатия в рабочий газ вводятся частицы порошка, которые вместе ускоряются на длинном участке сопла, затем ускоренный газопорошковый поток со скоростью $M=1$ направляют на поверхность изделия.

Недостатком данного способа является то, что невозможно сформировать пятно напыления прямоугольной либо близкой к таковой формы и, соответственно, невозможно получить большую ширину полосы напыления.

В этом же патенте описано устройство для газодинамического напыления поверхностей, наиболее близкое к предлагаемому изобретению. Это устройство содержит ускоряющее звуковое сопло, нагревающий элемент и ввод частиц порошка объединяются в подвижное целое, и ускоряющее звуковое сопло соединено с нагревателем газа. Дозатор порошка выполнен в виде пневматически работающего дозатора и подает порошок через воронку в подготовительную камеру. В подготовительной камере посредством вихревой форсунки создается циркулирующее течение, затем порошок с воздухом перемешивается и направляется в сужение сопла рабочего газа.

Предлагаемыми изобретениями решается задача расширения технологических возможностей устройства и способа газодинамического напыления порошкового материала, а именно увеличения ширины полосы напыления и снижения себестоимости напыления на изделие.

Указанный технический результат достигается тем, что в способе газодинамического напыления порошковых материалов, включающем нагрев сжатого газа, подачу его в звуковое сопло постоянного сечения, формирование в сопле закрученного газового потока, подачу в поток частиц порошкового материала, ускорение его в сопле и нанесение на поверхность, согласно изобретению напыление ведут плоской струей газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$, который формируют заданной конфигурацией выходного сечения звукового сопла.

Для достижения указанного технического результата в предлагаемом устройстве газодинамического напыления порошкового материала (первый вариант), содержащем электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере сопла, новым является то, что сопло на выходе имеет плоский срез с углом α относительно оси сопла в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$ с обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$.

Предлагаемый способ, осуществленный в данном устройстве, позволяет расширить технологические возможности устройства и способа газодинамического напыления порошкового материала, а именно в несколько раз увеличить ширину полосы напыления в сравнении с шириной полосы напыления, полученной звуковым соплом, используемым в прототипе, а также снизить себестоимость напыления на изделие. Это достигается тем, что благодаря наличию плоского среза газопорошковая смесь истекает через выходное сечение эллиптической формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) осесимметричный газопорошковый поток расширяется в одной плоскости, оставаясь практически неизменным в перпендикулярной плоскости, и тем самым преобразуется в плоскую сверхзвуковую веерную струю с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$ (см. фиг. 1, 2). Кроме того, среднее направление движения плоской сверхзвуковой веерной струи отклоняется от оси звукового сопла, которое зависит от угла плоского среза и давления газа в форкамере. Это также расширяет

технологические возможности, позволяя более оптимально проводить напыление на поверхности, к которым невозможно расположить звуковое сопло перпендикулярно. Завихрение потока в форкамере звукового сопла позволяет за счет центробежных сил значительно увеличить ширину полосы напыления.

5 Для достижения указанного технического результата во втором варианте устройства газодинамического напыления порошковых материалов, содержащего электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере
10 сопла, новым является то, что сопло на выходе имеет два плоских среза, расположенных симметрично или несимметрично относительно оси сопла, так что угол α_1 равен углу α_2 или углы не равны, и каждый угол находится в пределах $0 < \alpha_1 < 90^\circ$ и $0 < \alpha_2 < 90^\circ$, где α_1, α_2 - углы между осью сопла и плоскостью среза, с обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом
15 раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$.

В результате чего, в зависимости от соотношения углов плоских срезов сопла и положения плоскостей относительно оси сопла, выходное сечение сопла в общем случае представляет собой комбинацию из состыкованных двух частей эллипсов,
20 плоскости которых пространственно расположены под углом $\alpha_1+\alpha_2$. В зависимости от конкретных задач и формы обрабатываемой поверхности сопло может быть выполнено симметричным и несимметричным (см. фиг.3-7).

Предлагаемый способ, осуществленный в данном устройстве, позволяет расширить
25 технологические возможности устройства и способа газодинамического напыления порошкового материала, а именно в несколько раз увеличить ширину полосы напыления в сравнении с шириной полосы напыления, полученной звуковым соплом, используемым в прототипе, а также снизить себестоимость напыления на изделие. Это достигается тем, что благодаря наличию плоских срезов газопорошковая смесь
30 истекает через выходные сечения эллиптической формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) осесимметричный газопорошковый поток расширяется в одной плоскости, оставаясь практически неизменным в перпендикулярной плоскости, и тем самым преобразуется в плоскую сверхзвуковую веерную струю с углом раскрытия, равным
35 $\beta=40\div 90^\circ$ (см. фиг.3-7). Кроме того, среднее направление движения плоской сверхзвуковой веерной струи отклоняется от оси звукового сопла на угол, зависящий от соотношения углов плоских срезов и давления газа в форкамере (в случае равных углов струя расширяется симметрично и среднее направление движения плоской
40 сверхзвуковой веерной струи совпадает с осью звукового сопла). Это также расширяет технологические возможности, позволяя более оптимально проводить напыление на поверхности, выбирая, в зависимости от ситуации, сопло с определенными углами срезов. Завихрение потока в форкамере звукового сопла позволяет за счет центробежных сил значительно увеличить ширину полосы напыления.

45 Для достижения указанного технического результата в третьем варианте устройства газодинамического напыления порошковых материалов, содержащего электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере
50 сопла, согласно изобретению сопло на выходе имеет в продольном сечении сквозной пропилен заданной конфигурации шириной, равной внутреннему диаметру звукового сопла, и глубиной $0,5d_n < L_{cut} < 5d_n$, где d_n - внутренний диаметр сопла, мм, L_{cut} - глубина пропила на выходе сопла, мм, с обеспечением формирования плоской струи

газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$.

В зависимости от конкретных задач сопло может быть выполнено с пропилами заданной конфигурации, например прямоугольной, треугольной, эллиптической формы (фиг.8, 9).

5 Предлагаемый способ, осуществленный в данном устройстве, также позволяет расширить технологические возможности устройства и способа газодинамического напыления порошкового материала, а именно в несколько раз увеличить ширину полосы напыления в сравнении с шириной полосы напыления, полученной звуковым
10 соплом, используемым в прототипе, а также снизить себестоимость напыления на изделие. Это достигается тем, что благодаря наличию сквозного пропила газопорошковая смесь истекает через выходные сечения, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего
15 воздуха) осесимметричный газопорошковый поток расширяется в одной плоскости, оставаясь практически неизменной в перпендикулярной плоскости и тем самым преобразуется в плоскую сверхзвуковую веерную струю с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$ (см. фиг.8, 9). В этом случае, как и в случае равных углов плоских срезов, струя расширяется симметрично, и среднее направление движения плоской
20 сверхзвуковой веерной струи совпадает с осью звукового сопла. Завихрение потока в форкамере звукового сопла позволяет за счет центробежных сил значительно увеличить ширину полосы напыления.

Для достижения указанного технического результата предлагается устройство газодинамического напыления порошкового материала (четвертый вариант),
25 содержащее электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи порошкового материала в сопло, формирование в сопле закрученного газового потока. Новым является то, что сопло на выходе имеет плоский срез с углом α относительно оси сопла в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$, при этом ось концевой части сопла
30 расположена относительно оси основной части сопла под углом γ в направлении к обрабатываемой, например внутренней или труднодоступной поверхности, с обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$.

35 Предложенный способ газодинамического напыления порошковых материалов осуществляется в данном разработанном устройстве (вариант 4).

Конструктивные особенности устройства позволяют реализовать предложенный способ газодинамического напыления порошкового материала, включающий нагрев сжатого газа, подачу его в звуковое сопло постоянного сечения, формирование в
40 сопле закрученного газового потока, подачу в поток частиц порошкового материала, ускорение в сопле и нанесение на поверхность изделия, согласно изобретению напыление ведут плоской струей газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 60^\circ$, который формируют заданной конфигурацией выходного сечения на срезе
45 звукового сопла, или при этом для напыления используют сопло с изогнутой под углом γ концевой частью в направлении к обрабатываемой, например, внутренней труднодоступной поверхности.

Предлагаемый способ, осуществленный в данном устройстве, позволяет расширить технологические возможности устройства и способа газодинамического напыления
50 порошкового материала, а именно в несколько раз увеличить ширину полосы напыления в сравнении с шириной полосы напыления полученной звуковым соплом, используемым в прототипе, а также снизить себестоимость напыления на изделие. Это достигается тем, что благодаря наличию плоского среза газопорошковая смесь

истекает через выходное сечение эллиптической формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) осесимметричный газопорошковый поток расширяется в одной плоскости, оставаясь практически неизменным в перпендикулярной плоскости, и тем самым преобразуется в плоскую сверхзвуковую веерную струю с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 60^\circ$ (см. фиг.10, 11). Кроме того, среднее направление движения плоской сверхзвуковой веерной струи отклоняется от оси основной части звукового сопла на угол, равный $90\pm 15^\circ$, за счет изогнутости концевой части сопла и плоского среза на выходе сопла. Это также расширяет технологические возможности и обеспечивает возможность нанесения покрытия на труднодоступные или внутренние поверхности под требуемым углом между направлением потока и обрабатываемой поверхностью изделия. Завихрение потока в форкамере звукового сопла позволяет за счет центробежных сил значительно увеличить ширину полосы напыления (см. фиг.10, 11).

Для обеспечения оптимального ускорения и нагрева частиц порошкового материала предлагается использовать электротермический подогреватель сжатого воздуха. Температура сжатого газа задается в следующих пределах $T_0=473-873$ К.

В зависимости от поставленных задач для нанесения защитных покрытий в качестве порошкового материала могут быть использованы различные металлы, сплавы и их смеси, например медь, алюминий, цинк, никель и др., а также их смеси с неметаллическими порошковыми материалами, например металл в сочетании с керамикой.

Для обеспечения эффективного нанесения покрытий предлагается использовать порошковый материал с размерами частиц от 5 до 40 мкм.

Предлагаемые варианты изобретения поясняются схемами устройств, фотографиями струй, истекающих из таких устройств и напыленных покрытий, на которых изображено:

на фиг.1 показана схема устройства газодинамического напыления порошковых материалов (Вариант 1), где сопло на выходе имеет плоский срез; фиг.2 - Теплеровская визуализация плоской струи, сформированной соплом, имеющим на выходе плоский срез (вид в направлении, перпендикулярном плоскости плоской струи); на фиг.3 - показана схема устройства газодинамического напыления порошковых материалов (Вариант 2), где сопло на выходе имеет два симметричных плоских среза; на фиг.4 - Теплеровская визуализация плоской струи, сформированной соплом, имеющим на выходе два плоских среза, расположенных симметрично относительно оси сопла с углами, равными друг другу (вид в направлении, перпендикулярном плоскости плоской струи) (Вариант 2); на фиг.5 - Теплеровская визуализация плоской струи, сформированной соплом, имеющим на выходе два плоских среза, расположенных симметрично относительно оси сопла с углами, равными друг другу (вид в направлении, параллельном плоскости плоской струи) (Вариант 2); на фиг.6 показана схема устройства газодинамического напыления порошковых материалов (Вариант 2), где сопло на выходе имеет два несимметричных плоских среза; на фиг.7 - Теплеровская визуализация плоской струи, сформированной соплом, имеющим на выходе два плоских среза, расположенных несимметрично относительно оси сопла с углами, не равными друг другу (вид в направлении, перпендикулярном плоскости плоской струи) (Вариант 2); на фиг.8 - показаны схемы устройства (Вариант 3), где сопло на выходе имеет в продольном сечении сквозной пропил; на фиг.9 - Теплеровская визуализация плоской струи, сформированной соплом, имеющим на выходе сквозной пропил (вид в направлении, перпендикулярном плоскости плоской

струи) (Вариант 3); на фиг.10 показана схема устройства (Вариант 4), где сопло выполнено с изогнутой концевой частью и плоским срезом на выходе; на фиг.11 - Теплеровская визуализация конечного разворота течения и процесса взаимодействия плоской струи с напыляемым изделием (вид в направлении, перпендикулярном плоскости плоской струи) (Вариант 4); на фиг.12 показаны фотографии покрытий, полученных звуковым соплом без боковых срезов; на фиг.13 - фотографии покрытий, полученных звуковым соплом с двумя симметричными боковыми срезами с углами $\alpha=7,5^\circ$ без завихрения газопорошковой смеси в форкамере сопла (Вариант 2); фиг.14 - фотографии покрытий, полученных звуковым соплом с двумя симметричными боковыми срезами с углами $\alpha=7,5^\circ$, с завихрением газопорошковой смеси в форкамере сопла (Вариант 2); на фиг.15 - фотография медного покрытия, нанесенного на внутреннюю цилиндрическую поверхность, полученного соплом, выполненным с изогнутой концевой частью сопла и плоским срезом на выходе (вариант 4).

Представлены схемы предлагаемых вариантов устройств.

На фиг.1 показана схема устройства для осуществления способа напыления варианта 1.

Устройство (вариант 1) газодинамического напыления содержит источник сжатого газа 1, пульт управления и контроля параметров напыления 2, дозатор порошка 3, электронагреватель сжатого газа 4, узел подачи порошкового материала 5, соединенный трубопроводом со звуковым соплом постоянного сечения 6, завихритель потока газа 7, размещенный в форкамере сопла 8. Звуковое сопло постоянного сечения на выходе имеет плоский срез (фиг.1).

Устройство (вариант 2) газодинамического напыления (фиг.3, 6) содержит источник сжатого газа 1, пульт управления и контроля параметров напыления 2, дозатор порошка 3, электронагреватель сжатого газа 4, узел подачи порошкового материала 5, соединенный трубопроводом со звуковым соплом постоянного сечения 6, завихритель потока газа 7, размещенный в форкамере сопла 8. Звуковое сопло постоянного сечения на выходе имеет два плоских симметричных (фиг.3) и несимметричных (фиг.6) среза на выходе.

Устройство (вариант 3) газодинамического напыления (фиг.8) содержит источник сжатого газа 1, пульт управления и контроля параметров напыления 2, дозатор порошка 3, электронагреватель сжатого газа 4, узел подачи порошкового материала 5, соединенный трубопроводом со звуковым соплом постоянного сечения 6, завихритель потока газа 7, размещенный в форкамере сопла 8. Звуковое сопло на выходе имеет в продольном сечении сквозной пропилом заданной конфигурации. Сквозной пропилом может быть выбран, например, прямоугольной, треугольной, эллипсоидной формы.

На фиг.10 показана схема устройства для осуществления способа напыления варианта 4. Устройство содержит источник сжатого газа 1, пульт управления и контроля параметров напыления 2, дозатор порошка 3, электронагреватель сжатого газа 4, узел подачи порошкового материала 5, соединенный трубопроводом со звуковым соплом постоянного сечения 6, завихритель потока газа 7 размещенный в форкамере сопла 8. Звуковое сопло постоянного сечения содержит основную и концевую части сопла с плоским срезом на выходе, при этом ось концевой части сопла расположена относительно оси основной части сопла под углом γ в направлении к обрабатываемой поверхности.

Устройство газодинамического напыления (вариант 1) работает следующим образом.

Сжатый газ, например воздух, по пневмопроводу подается в электронагреватель 4, где поток этого газа нагревается до необходимой температуры. Затем нагретый сжатый газ по пневмопроводу подается в форкамеру сопла 8, где в завихрителе 7 формируется закрученный газовый поток. В этот закрученный газовый поток из дозатора порошка 3 через узел подачи порошкового материала 5, в осевом направлении через заднюю стенку форкамеры 8, вводится порошковый материал. Под воздействием закрученного нагретого газового потока частицы порошкового материала вовлекаются в вихревое движение. Закрученная однородная газопорошковая смесь ускоряется в сужающей части звукового сопла 6 и далее до звуковой скорости в цилиндрической части, имеющей на выходе плоский срез (фиг.1) с углом, выбранным в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$ и образующим выходное сечение эллипсоидной формы, при этом температура газопорошковой смеси остается достаточно высокой. Далее закрученная газопорошковая смесь истекает через выходное сечение эллипсоидной формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) и центробежных сил газопорошковый поток преобразуется в плоскую веерную струю (см., например, фиг.2). Образовавшаяся плоская веерная струя с большим углом раскрытия β (до 90°) позволяет увеличить ширину полосы напыления 10 на обрабатываемой поверхности 9 за один проход до 25 раз по отношению к диаметру цилиндрического канала сопла.

Устройство газодинамического напыления (вариант 2) работает следующим образом.

Сжатый газ, например воздух, по пневмопроводу подается в электронагреватель 4, где поток этого газа нагревается до необходимой температуры. Затем нагретый сжатый газ по пневмопроводу подается в форкамеру сопла 8, где в завихрителе 7 формируется закрученный газовый поток. В этот закрученный газовый поток из дозатора порошка 3 через узел подачи порошкового материала 5, в осевом направлении через заднюю стенку форкамеры 8, вводится порошковый материал. Под воздействием закрученного нагретого газового потока частицы порошкового материала вовлекаются в вихревое движение. Закрученная однородная газопорошковая смесь ускоряется в сужающей части звукового сопла 6 и далее в цилиндрической части, имеющей на выходе два симметричных (фиг.3) или два несимметричных (фиг.6) плоских среза с углами, выбранными в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$ и образующими выходные сечения эллипсоидной формы, до звуковой скорости, при этом температура газопорошковой смеси остается достаточно высокой. Далее закрученная газопорошковая смесь истекает через выходные сечения эллипсоидной формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) и центробежных сил газопорошковый поток преобразуется в плоскую веерную струю (см., например, фиг.4, 5 и 7), образовавшаяся плоская веерная струя с большим углом раскрытия β (до 90°) позволяет увеличить ширину полосы напыления 10 на обрабатываемой поверхности 9 за один проход до 25 раз по отношению к диаметру цилиндрического канала сопла.

В качестве примера на фотографиях (фиг.12, 13 и 14) показаны примеры покрытий, полученных звуковым соплом без боковых срезов (фиг.12), звуковым соплом с двумя симметричными боковыми срезами с углами $\alpha=7,5^\circ$ без завихрения газопорошковой смеси в форкамере сопла (фиг.13) и звуковым соплом с двумя симметричными боковыми срезами с углами $\alpha=7,5^\circ$ с завихрением газопорошковой смеси в форкамере сопла (фиг.14). Напыление проводилось при следующих заданных параметрах:

диаметр цилиндрического канала звукового сопла $d_n=4$ мм, длина цилиндрического участка $L_n=40$ мм, расстояние от среза сопла до подложки $l_{ns}=50$ мм, давление в форкамере перед завихрителем $p_0=3,0$ МПа, температура торможения воздуха в форкамере $T_0=673$ К. Видно, что ширина полосы напыления равна $H_c=13$ мм в первом случае (фиг.12), $H_c=50$ мм во втором случае (фиг.13) и $H_c=100$ мм в третьем случае (фиг.14).

Устройство газодинамического напыления (вариант 3) работает следующим образом.

Сжатый газ, например воздух, по пневмопроводу подается в электронагреватель 4, где поток этого газа нагревается до необходимой температуры. Затем нагретый сжатый газ по пневмопроводу подается в форкамеру сопла 8, где в завихрителе 7 формируется закрученный газовый поток. В этот закрученный газовый поток из дозатора порошка 3 через узел подачи порошкового материала 5, в осевом направлении через заднюю стенку форкамеры 8, вводится порошковый материал. Под воздействием закрученного нагретого газового потока частицы порошкового материала вовлекаются в вихревое движение. Закрученная однородная газопорошковая смесь ускоряется в сужающей части звукового сопла 6 и далее в цилиндрической части, имеющей на выходе в продольном сечении сквозной пропила (фиг.8) заданной конфигурации: шириной, равной внутреннему диаметру звукового сопла, и глубиной $0,5d_n < L_{cut} < 5d_n$, где d_n - внутренний диаметр сопла, мм, L_{cut} - глубина пропила, мм, до звуковой скорости, при этом температура газопорошковой смеси остается достаточно высокой. Далее закрученная газопорошковая смесь истекает через образованные пропилом боковые выходные сечения, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) и центробежных сил газопорошковый поток преобразуется в плоскую веерную струю (см., например, фиг.9). Образовавшаяся плоская веерная струя с большим углом раскрытия β (до 90°) позволяет увеличить ширину полосы напыления 10 на обрабатываемой поверхности 9 за один проход до 25 раз по отношению к диаметру цилиндрического канала сопла. Сквозной пропил может быть выбран, например, прямоугольной, треугольной, эллипсовидной формы.

Устройство газодинамического напыления (вариант 4) работает следующим образом.

Сжатый газ, например воздух, по пневмопроводу подается в электронагреватель 4, где поток этого газа нагревается до необходимой температуры. Затем нагретый сжатый газ по пневмопроводу подается в форкамеру сопла 8, где в завихрителе 7 формируется закрученный газовый поток. В этот закрученный газовый поток из дозатора порошка 3 через узел подачи порошкового материала 5, в осевом направлении через заднюю стенку форкамеры 8, вводится порошковый материал. Под воздействием закрученного нагретого газового потока частицы порошкового материала вовлекаются в вихревое движение, закрученная однородная газопорошковая смесь ускоряется в сужающей части звукового сопла 6.

И далее ускоренная газопорошковая смесь, проходя через основную (длиной L_g (мм)) и концевую (длиной L_{end} (мм)) части звукового сопла с изгибом центральной оси на угол $\gamma=30-45^\circ$ (фиг.10), ускоряется до транзвуковой скорости. При этом температура газопорошковой смеси остается достаточно высокой. Минимальная длина концевой части определяется из выражения

$$L_{\min} = \frac{d_n}{\cos\alpha_{cr} \cdot \operatorname{tg}\alpha_{cut}}$$

Например, при $\gamma=45^\circ$ и $\alpha=15^\circ$ $L_{\min}\approx 5,2d_n$, а при $\gamma=45^\circ$ и $\alpha=7,5^\circ$ $L_{\min}\approx 11d_n$.

5 Далее закрученная газопорошковая смесь истекает через выходное сечение эллипсовидной формы, где под воздействием избыточного давления (давление на срезе сопла больше давления окружающего воздуха) и центробежных сил газопорошковый поток преобразуется в плоскую несимметричную веерную струю (фиг.11) с углом раскрытия $\beta=40\div 60^\circ$. Полный угол разворота струи от направления 10 оси основной части сопла составляет $90\pm 15^\circ$, после чего поток натекает на обрабатываемую поверхность 9 заданной конфигурации, например плоскую, цилиндрическую. Тем самым обеспечивается возможность нанесения покрытия на труднодоступные или внутренние поверхности под требуемым углом между 15 направлением потока и обрабатываемой поверхностью 9 изделия и качественное нанесение защитного покрытия. Плоская веерная струя обеспечивает увеличение ширины полосы напыления 10 за один проход (до 50 мм).

Образец медного покрытия, нанесенного на внутреннюю цилиндрическую поверхность, показан на фиг.15. В качестве примера, подтверждающего высокое 20 качество покрытия из медного порошка, нанесенного на внутреннюю поверхность трубы, можно отметить возможность его токарной обработки.

К основным преимуществам данного устройства напыления на поверхности 25 заданной конфигурации следует отнести возможность наносить покрытия с шириной полосы напыления, значительно превосходящей внутренний диаметр звукового сопла, что обеспечивает высокую производительность по площади напыления данного устройства, а также компактность напыляемого устройства, что позволяет использовать его для нанесения покрытий на внутреннюю поверхность труб 30 достаточно малого диаметра. Минимальный диаметр трубы, в которой можно обеспечить процесс напыления таким устройством, определяется из выражения

$$d_{\min} = d_n \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}\alpha} + \delta_n + d_n,$$

35 где δ_n - толщина стенки звукового сопла. Например, при $d_n=4$ мм и $\gamma=45^\circ$ и $\alpha=15^\circ$ и $d_{\min}\approx 21$ мм, а при $\gamma=45^\circ$ и $\alpha=7,5^\circ$ $d_{\min}\approx 37$ мм.

40 Таким образом, представленные изобретения, а также примеры их реализации обеспечивают расширение технологических возможностей при формировании покрытий, а также позволяют увеличить ширину полосы напыления и снизить себестоимость напыления на изделие.

Формула изобретения

1. Способ газодинамического напыления порошковых материалов, включающий 45 нагрев сжатого газа, подачу его в звуковое сопло постоянного сечения, формирование в сопле закрученного газового потока, подачу в поток частиц порошкового материала, ускорение в сопле и нанесение на поверхность, отличающийся тем, что напыление ведут плоской струей газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta=40\div 90^\circ$, который формируют заданной конфигурацией выходного сечения звукового 50 сопла.

2. Устройство газодинамического напыления порошковых материалов, содержащее 55 электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере

сопла, отличающееся тем, что сопло на выходе имеет плоский срез с углом α относительно оси сопла в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$ с обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом раскрытия, равным $\beta = 40 \div 90^\circ$.

5 3. Устройство газодинамического напыления порошковых материалов, содержащее
электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи
10 порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере
сопла, отличающееся тем, что сопло на выходе имеет два плоских среза,
расположенных симметрично или несимметрично относительно оси сопла, так что
15 угол α_1 , равен углу α_2 или углы не равны, и каждый угол находится в пределах
 $0 < \alpha_1 < 90^\circ$ и $0 < \alpha_2 < 90^\circ$, где α_1, α_2 , - угол между осью сопла и плоскостью среза, с
обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом
20 раскрытия, равным $\beta = 40 \div 90^\circ$.

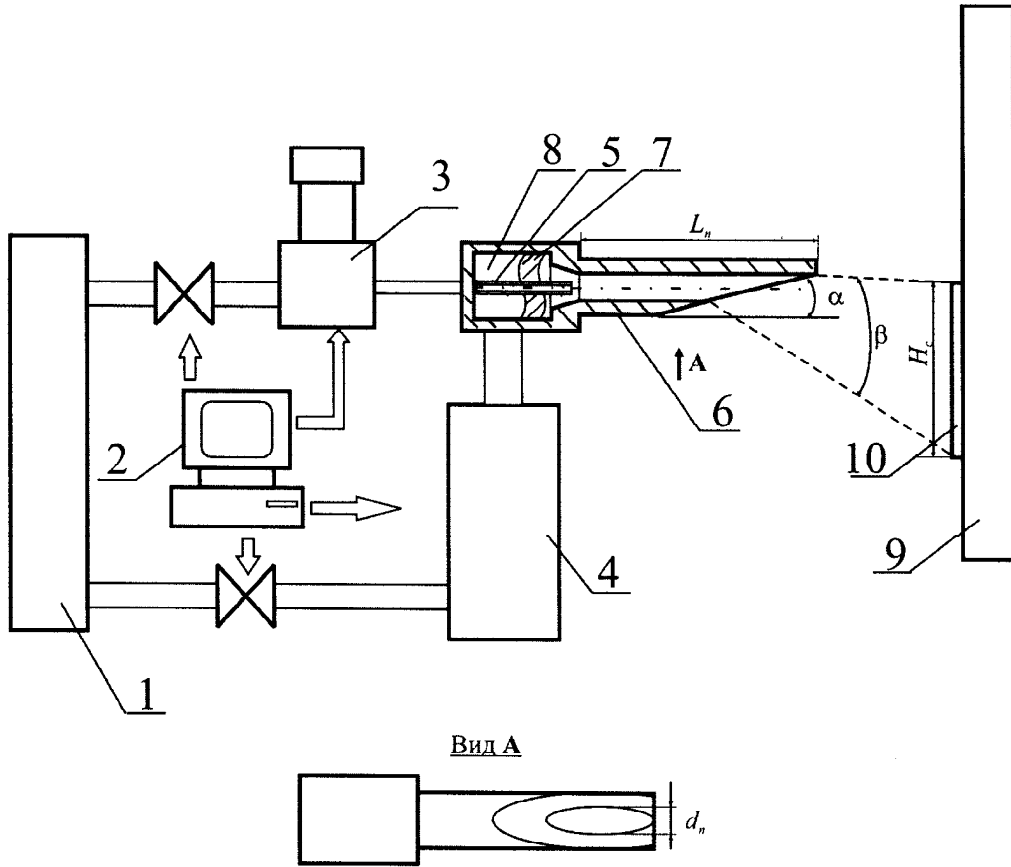
15 4. Устройство газодинамического напыления порошковых материалов, содержащее
электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи
порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере
сопла, отличающееся тем, что сопло на выходе имеет сквозной пропил в продольном
сечении заданной конфигурации, шириной, равной внутреннему диаметру звукового
20 сопла и глубиной $0,5d_n < L_{cut} < 5d_n$, где d_n - внутренний диаметр сопла, L_{cut} - глубина
пропила, с обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с
углом раскрытия, равным $\beta = 40 \div 90^\circ$.

25 5. Способ газодинамического напыления порошковых материалов, включающий
нагрев сжатого газа, подачу его в звуковое сопло постоянного сечения, формирование
в сопле закрученного газового потока, подачу в поток частиц порошкового
материала, ускорение в сопле и нанесение на поверхность, отличающийся тем, что
напыление ведут плоской струей газопорошкового потока с углом раскрытия, равным
30 $\beta = 40 \div 60^\circ$, который формируют заданной конфигурацией выходного сечения на срезе
звукового сопла, при этом для напыления используют сопло с изогнутой под углом γ
концевой частью в направлении к обрабатываемой, например, внутренней или
труднодоступной поверхности.

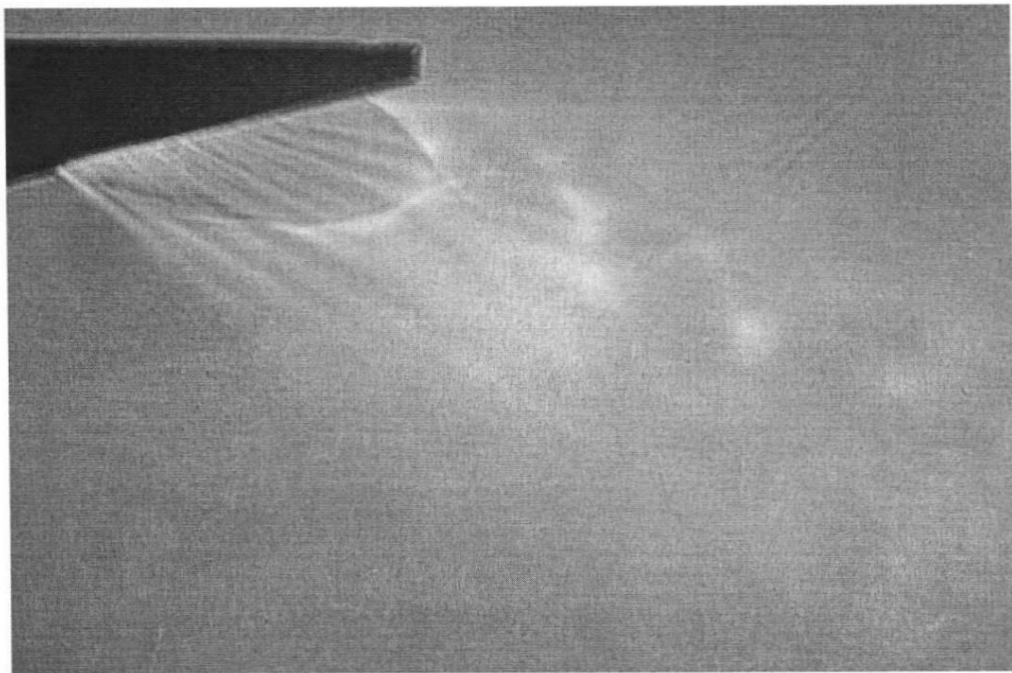
35 6. Устройство газодинамического напыления порошковых материалов, содержащее
электронагреватель сжатого газа, звуковое сопло постоянного сечения, узел подачи
порошкового материала в сопло, завихритель потока газа, размещенный в форкамере
сопла, отличающееся тем, что сопло на выходе имеет плоский срез с углом α
относительно оси сопла в пределах $0 < \alpha < 90^\circ$, при этом ось концевой части сопла
40 расположена относительно оси основной части сопла под углом γ в направлении к
обрабатываемой, например, внутренней или труднодоступной поверхности, с
обеспечением формирования плоской струи газопорошкового потока с углом
раскрытия, равным $\beta = 40 \div 90^\circ$.

45

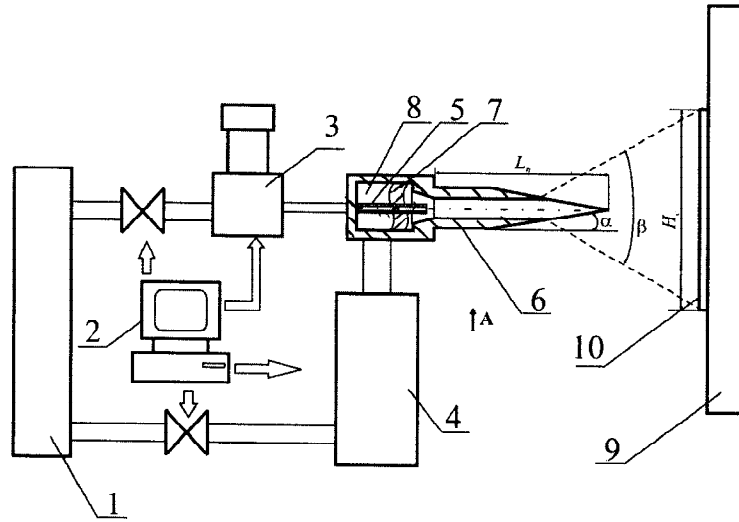
50



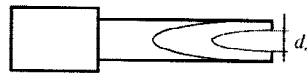
Фиг. 1



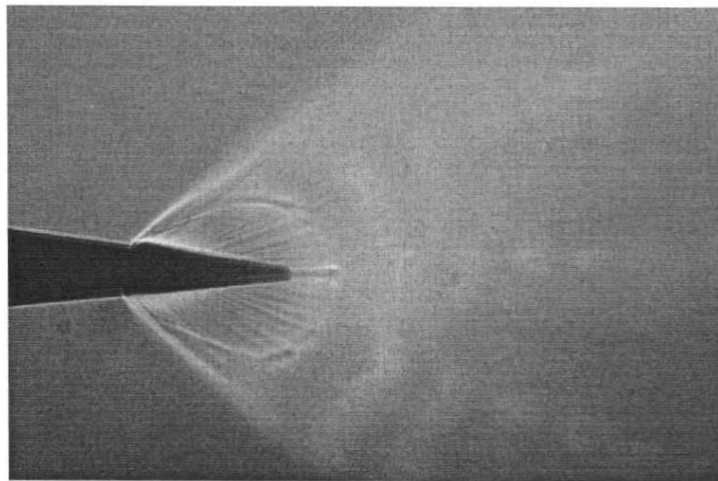
Фиг. 2



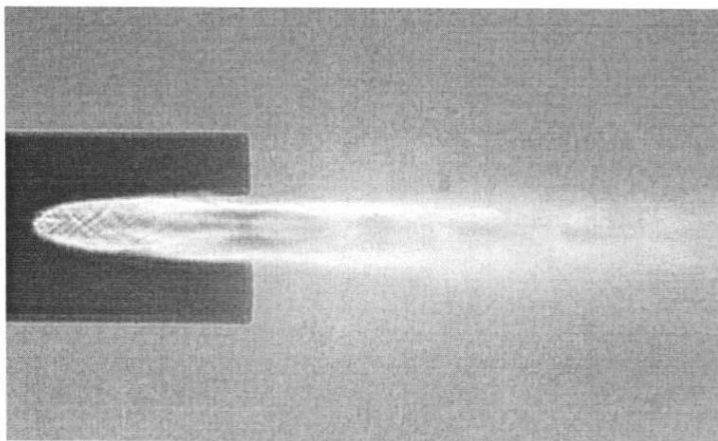
Вид А



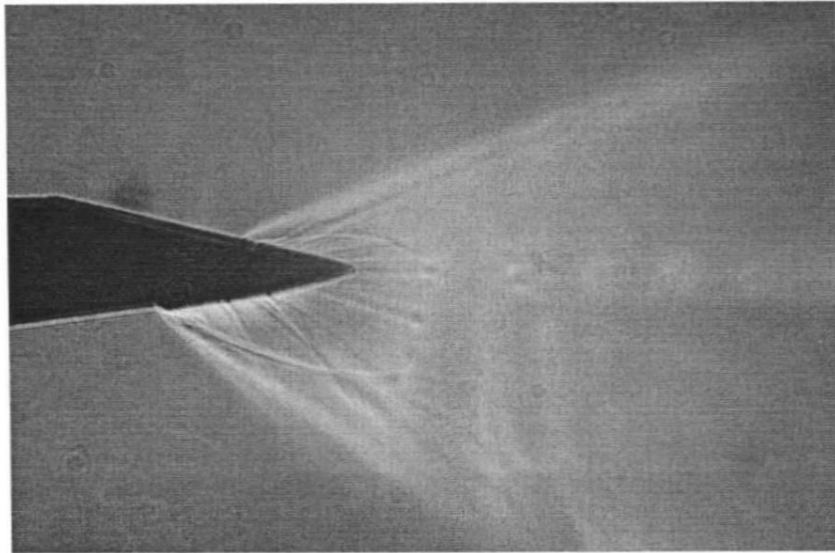
Фиг. 3



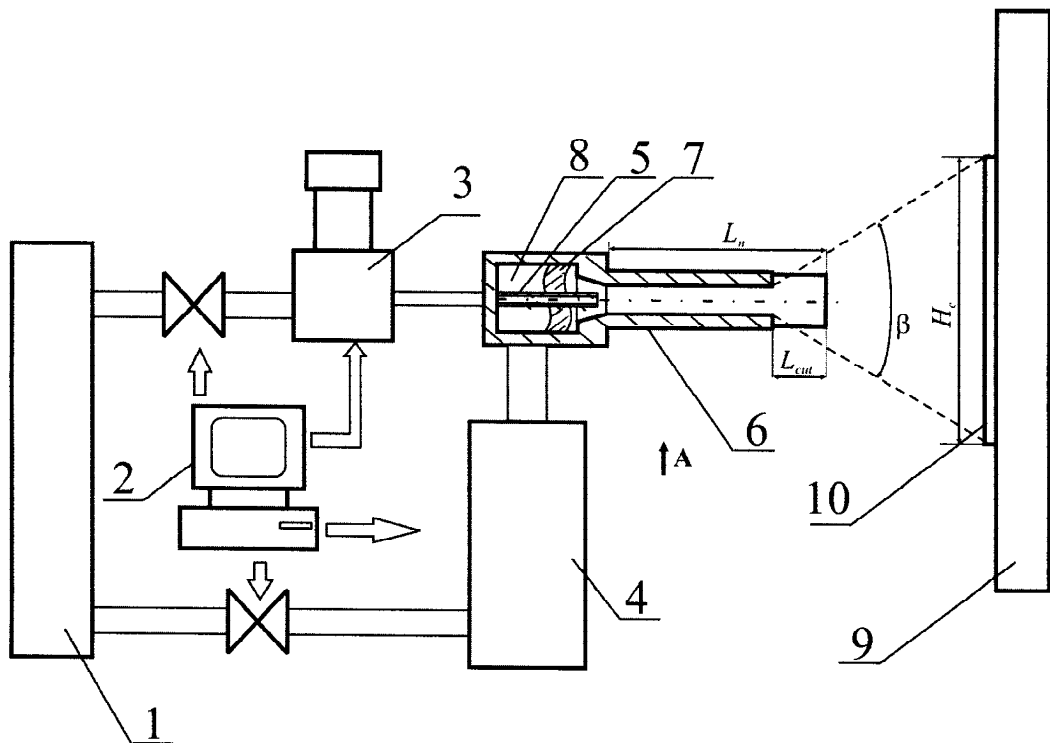
Фиг. 4



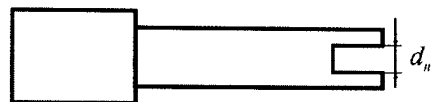
Фиг. 5



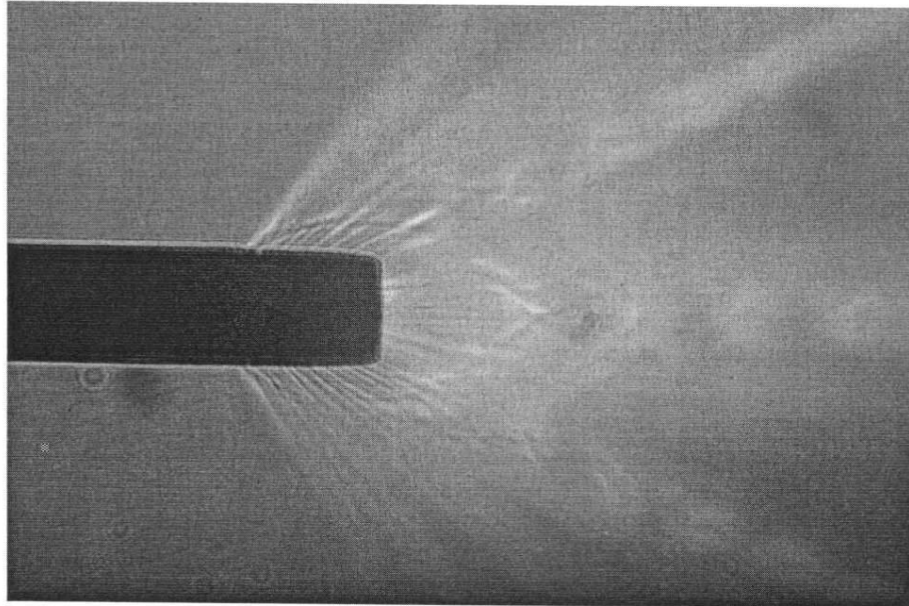
Фиг. 7



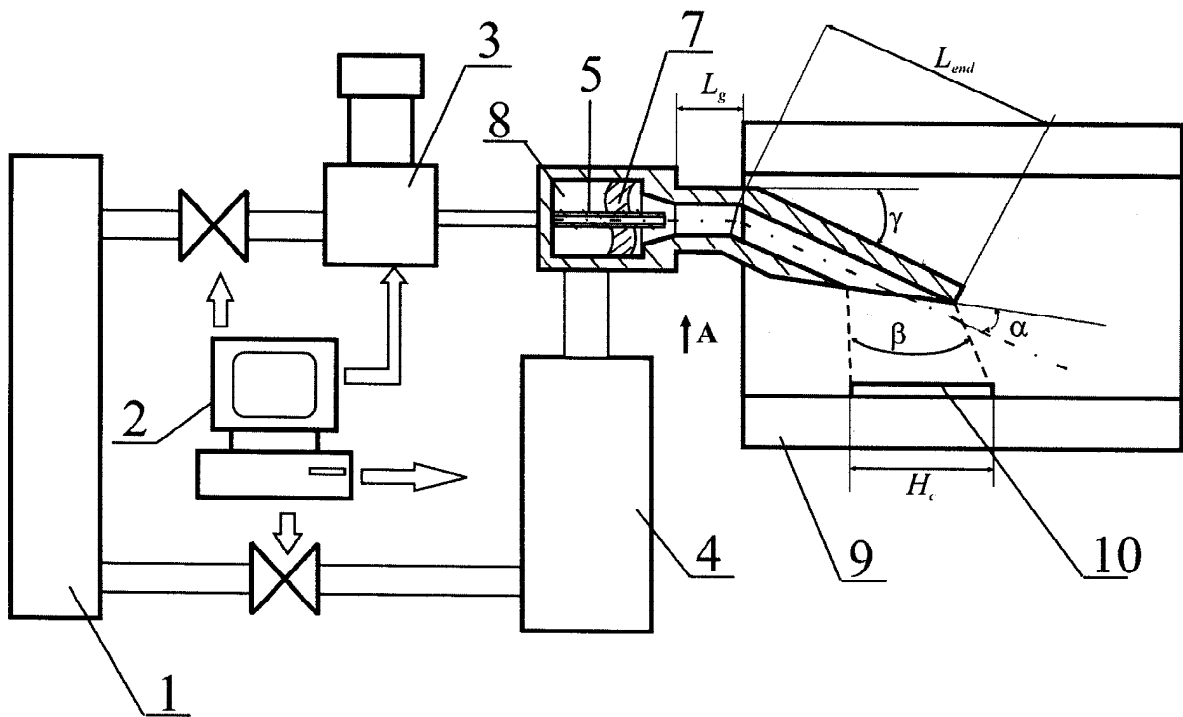
Вид А



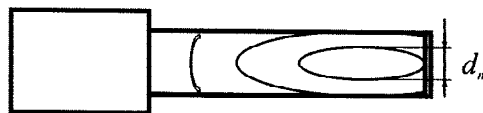
Фиг. 8



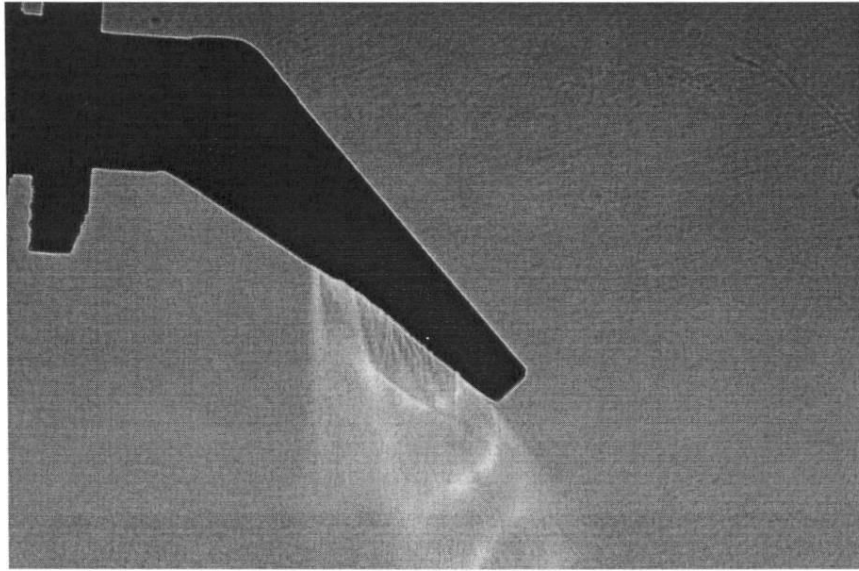
Фиг. 9



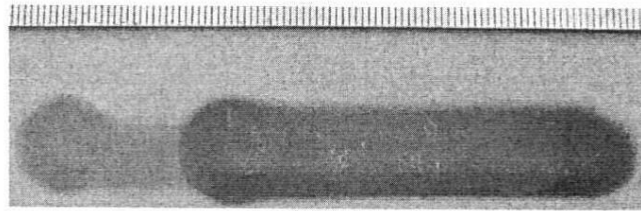
Вид А



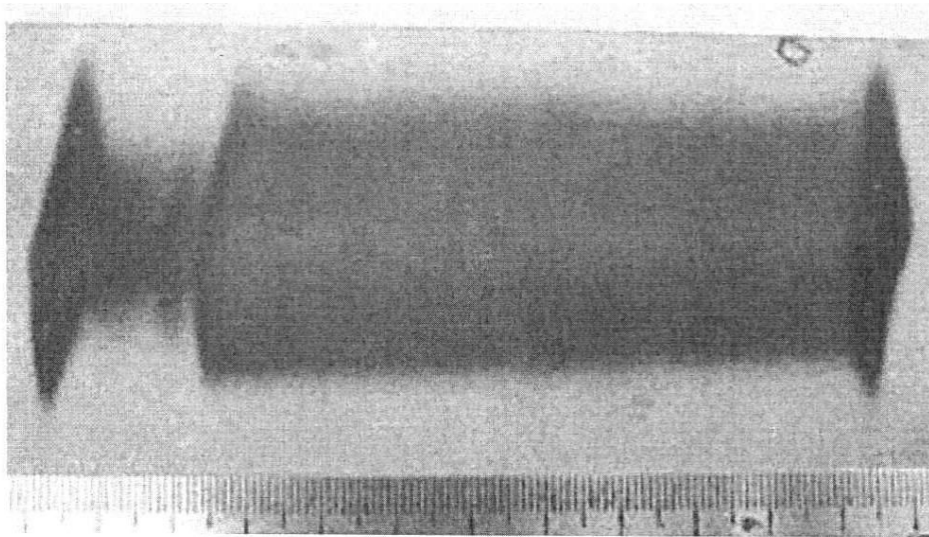
Фиг. 10



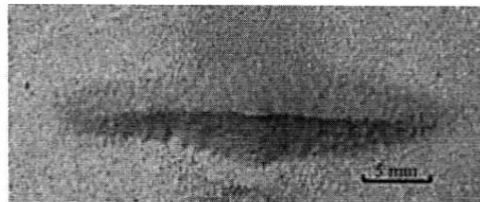
Фиг. 11

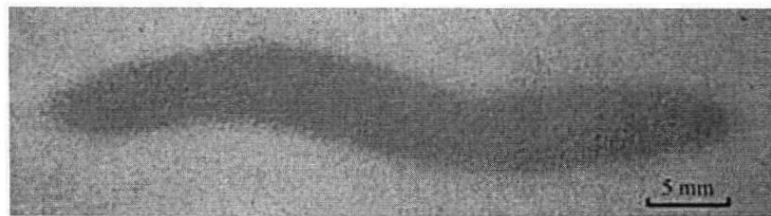
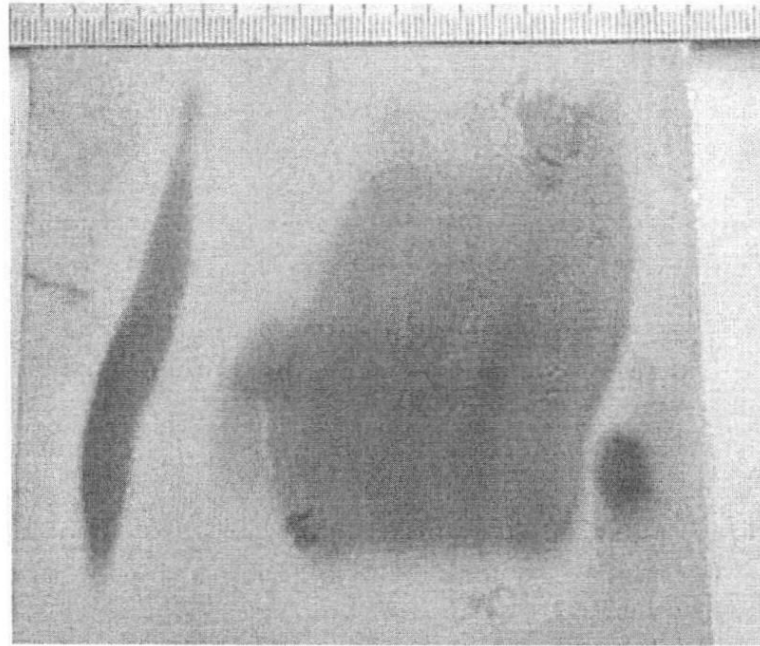


Фиг. 12



Фиг. 13





Фиг. 14



Фиг. 15