

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 720**

51 Int. Cl.:
C23C 24/04 (2006.01)
B05B 7/14 (2006.01)
C23C 4/12 (2006.01)
B05B 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09180869 .1**
96 Fecha de presentación: **29.12.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2202332**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2010**

54 Título: **Procedimiento de aceleración gasodinámica de materiales en polvo y dispositivo para su realización.**

30 Prioridad:
29.12.2008 RU 2008152548

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.06.2012

73 Titular/es:
**ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE SAINT
ETIENNE
58 RUE JEAN PAROT
42000 SAINT ETIENNE, FR y
ETABLISSEMENT DE L'ACADÉMIE DES
SCIENCES DE RUSSIE "INSTITUT DE
MÉCANIQUE RU THÉORIQUE ET APPLIQUÉE
S.A. KHRISTIANOVICH"**

72 Inventor/es:
**Kosarev, Vladimir Federovich;
Klinkov, Sergey Vladimirovich;
Laget, Bernard;
Bertrand, Philippe y
Smurov, Igor**

74 Agente/Representante:
Curell Aguilá, Mireia

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 382 720 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de aceleración gasodinámica de materiales en polvo y dispositivo para su realización.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de aceleración gasodinámica de materiales en polvo con vistas a la utilización en mecánica y en otros campos industriales para formar revestimientos funcionales que aportan diferentes propiedades sobre las superficies tratadas. Además, la presente invención se puede poner en práctica en procedimientos que utilizan los impactos a alta velocidad entre partículas de polvo y una superficie de sustrato tales como el lijado de superficies, la partición/granulación de partículas de polvo, etc.

10

Ya se conocen sistemas de proyección gasodinámica de los materiales en polvo.

15 El documento RU nº 2257423 describe así un sistema que comprende un módulo de proyección compuesto por un calentador eléctrico de gas comprimido y por una boquilla supersónica conectada al orificio de salida de dicho calentador y que comprende un módulo de inyección de polvo en dicha boquilla, un módulo de control conectado al calentador eléctrico de gas comprimido por un conducto flexible y por un cable eléctrico, un contenedor de alimentación de polvo cuyo orificio de salida está conectado al módulo de inyección de polvo en la boquilla. Para proteger el funcionamiento del sistema disminuyendo la temperatura de los componentes exteriores del calentador eléctrico de gas comprimido, dicho calentador comprende una funda de cuero que envuelve un armazón metálico dejando un espacio libre entre la misma y dicho armazón, estando el espacio libre lleno de un material calorífugo y comprendiendo dicho armazón un intercambiador de calor y presentando unos orificios de aireación que permiten la circulación de un gas de refrigeración en el interior de la funda. El módulo de inyección de polvo en la boquilla prevé, según una forma de realización preferida, la inyección del polvo en la zona supercrítica de la boquilla supersónica de manera oblicua con respecto al eje longitudinal de la boquilla con el fin de aumentar la eficacia del procedimiento de proyección gracias a un reparto más uniforme del material en polvo en la sección transversal de la boquilla. El dispositivo prevé la utilización de las boquillas que presentan la sección transversal redonda o rectangular en función de las formas geométricas de las superficies tratadas de una pieza. En función de la composición del material utilizado, la proporción entre la longitud de la parte supersónica de la boquilla y la dimensión de la sección transversal mínima de dicha boquilla puede variar entre 20 y 100.

30

El inconveniente de este dispositivo es que las dimensiones de la boquilla supersónica que forma parte integrante no están relacionadas en absoluto con el tamaño de diámetro y la densidad del material de las partículas proyectadas. Debido a ello, utilizando este dispositivo, es imposible comunicar a las partículas durante su movimiento en la parte supersónica de la boquilla la aceleración óptima para alcanzar la velocidad de impacto en la superficie de la pieza tratada máxima susceptible de ser alcanzada por las partículas proyectadas teniendo en cuenta sus características de tamaño y de densidad y, por consiguiente, garantizar la calidad máxima de los revestimientos resultantes.

35

40 El documento RU nº 2288970 describe un sistema de proyección gasodinámica en frío de los materiales en polvo que comprende un calentador eléctrico de gas comprimido, una boquilla supersónica (denominada de Laval) conectada por un orificio de salida a dicho calentador y que comprende una garganta situada entre las partes convergente y divergente de dicha boquilla, un módulo de inyección de polvo en la boquilla que comprende unos puntos de inyección destinados a la inyección de polvo en la boquilla y situados aguas arriba de la boquilla después de la garganta, comprendiendo dicho módulo de inyección al menos un contenedor de alimentación de polvo conectado mediante unos conductos a dichos puntos de inyección de al menos un material en polvo, y correspondiendo las características geométricas de la parte de la boquilla situada aguas arriba de los puntos de inyección de polvo y destinada a acelerar las partículas de polvo inyectadas en la boquilla a las siguientes condiciones: $0,015 < B(\text{Sout}/\text{Sinj}-1)/L < 0,03$, donde Sout es el área de la sección transversal de la boquilla en su extremo de salida, Sinj es el área de la sección transversal de la boquilla en el lugar de la posición de los puntos de inyección de polvo, L es la longitud de la parte de la boquilla destinada a acelerar las partículas de polvo inyectadas en la boquilla, B es la dimensión mínima de la sección transversal de la boquilla en el lugar de la posición de los puntos de inyección de polvo. El dispositivo prevé la utilización de las boquillas que presentan la sección transversal redonda o rectangular en función de las formas geométricas y de la composición de las superficies tratadas de una pieza así como de los objetivos pretendidos y de las características del revestimiento resultante deseadas.

50

55 Tal como en el caso anterior, el inconveniente de este dispositivo es que las dimensiones de la boquilla supersónica que forma parte integrante no están relacionadas en absoluto con el tamaño de diámetro y la densidad del material de las partículas proyectadas. Debido a ello, utilizando este dispositivo, es imposible comunicar a las partículas durante su movimiento en la parte supersónica de la boquilla la aceleración óptima para alcanzar la velocidad de impacto en la superficie de la pieza tratada máxima susceptible de ser alcanzada por las partículas proyectadas teniendo en cuenta sus características de tamaño y de densidad y, por consiguiente, garantizar la calidad máxima de los revestimientos resultantes. Ahora bien, al ser la proporción típica de las áreas Sout y Sinj, $\text{Sout}/\text{Sinj} \approx 2 - 4$, la fórmula $0,015 < B(\text{Sout}/\text{Sinj}-1)/L < 0,03$ utilizada por ese procedimiento y ese dispositivo, en efecto, sólo determina la proporción entre la longitud de la parte de la boquilla destinada a acelerar las partículas de polvo y la dimensión mínima de la sección transversal en el lugar de la posición de los puntos de inyección de polvo. Por ejemplo, una boquilla que presenta $B = 0,1$ mm, $L = 5$ mm y $\text{Sout}/\text{Sinj} = 2$ y, por ello, que satisface la fórmula propuesta no permitirá realizar un revestimiento a partir de las partículas que presentan unos tamaños comprendidos en el

60

65

intervalo indicado porque el recorrido de aceleración será demasiado corto para que las partículas puedan alcanzar la velocidad necesaria para realizar una deposición.

El documento US nº 6.743.468 considerado como el estado de la técnica más próximo describe un procedimiento y un dispositivo para la deposición de revestimientos sobre la superficie de una pieza mediante proyección cinética y proyección térmica utilizando una única boquilla. El dispositivo según esta invención comprende un calentador de gas que permite que el usuario pase del modo de proyección cinética que se realiza sin ablandamiento térmico de partículas al modo de proyección térmica con ablandamiento térmico de partículas antes de la proyección. Con una construcción de boquilla de este tipo se amplía el espectro de aplicaciones del procedimiento en la proyección cinética. El procedimiento según esta invención utiliza partículas que presentan un tamaño de diámetro $d_p = 50 - 250 \mu\text{m}$ y boquillas que presentan dimensiones tal como sigue: la longitud de la parte supersónica es $L = 60 - 400 \text{ mm}$, el diámetro de la sección crítica de la boquilla axisimétrica es $d_{cr} = 1,5 - 3,5 \text{ mm}$.

El inconveniente de este procedimiento y de este dispositivo es que las dimensiones de la boquilla supersónica que forma parte integrante se optimizan teniendo en cuenta únicamente la utilización de las partículas que presentan unos tamaños en el intervalo reivindicado en la patente ($d_p = 50 - 250 \mu\text{m}$) y no están relacionadas en absoluto con la densidad del material de las partículas. Debido a ello, es imposible, poniendo en práctica esta invención, comunicar a las partículas proyectadas durante su movimiento en la parte supersónica de la boquilla la aceleración óptima para alcanzar la velocidad de impacto en la superficie de la pieza tratada máxima susceptible de ser alcanzada si presentan un tamaño distinto al de las reivindicadas. Por ejemplo, este dispositivo no puede garantizar una alta velocidad de impacto en la superficie de una pieza tratada con las partículas que presentan un tamaño de diámetro inferior a $1 \mu\text{m}$ debido al hecho de que las partículas de tales dimensiones se ralentizarán de manera considerable en una capa límite compresible formada por un chorro supersónico que impacta en una diana.

En este contexto técnico, el objetivo de la presente invención es comunicar a las partículas durante su movimiento en la parte supersónica de la boquilla la aceleración óptima para alcanzar la velocidad de impacto en la superficie de la pieza tratada máxima susceptible de ser alcanzada con los parámetros de gas dados (composición, temperatura y presión de estancamiento) por medio del desarrollo y de la aplicación de las boquillas que presentan los parámetros geométricos óptimos, concretamente, la proporción entre la longitud de la parte supersónica y la sección crítica, calculados especialmente para la utilización de las partículas que presentan un tamaño y una densidad del material que las constituye concretos.

La presente invención ofrece las siguientes mejoras con respecto al estado de la técnica actual:

- el aumento del rendimiento de deposición y de la calidad de los revestimientos depositados mediante la proyección gasodinámica en frío;
- la posibilidad de utilizar en la proyección gasodinámica en frío y el lijado de las superficies, según una realización preferida, las partículas que presentan un tamaño inferior a $1 \mu\text{m}$ y de obtener una resolución espacial inferior a 1 mm ;
- el aumento del rendimiento de los procedimientos de lijado de las superficies y de partición/granulación de partículas.

Véase un ejemplo. Se desea depositar un revestimiento a partir de un material en polvo con las partículas que presentan un diámetro de aproximadamente 100 nm (nanopartículas). No se formará ninguna deposición si se utiliza una boquilla de proyección gasodinámica tradicional, es decir, con la longitud de la parte supersónica de aproximadamente 100 mm y el diámetro de la sección crítica de aproximadamente 3 mm . Esto se explica por el hecho de que las partículas de dimensiones tan pequeñas no alcanzarán grandes velocidades de impacto en la superficie de diana a causa de una ralentización considerable que experimentarán en una capa límite compresible formada por un chorro supersónico que impacta en una diana.

Todavía hay un aspecto que se debe considerar. Si se desea obtener una alta resolución espacial del procedimiento puesto en práctica, tal como, por ejemplo, la deposición de cordones de menos de 1 mm de anchura o la fabricación directa de objetos tridimensionales mediante proyección de polvos, el orificio de salida de la boquilla utilizada debe presentar unas dimensiones previstas especialmente para ello. La parte supersónica de dicha boquilla se debe acortar. En función de las dimensiones elegidas de una boquilla, las partículas que se van a proyectar se deben seleccionar para presentar un tamaño que les permita alcanzar la velocidad máxima de impacto en la superficie de diana susceptible de ser alcanzada. Ahora bien, las partículas de pequeñas dimensiones se aceleran correctamente en la boquilla, pero se ralentizan fuertemente en la capa límite compresible. Las partículas grandes, por el contrario, no experimentan casi ninguna ralentización en la capa límite compresible, pero al mismo tiempo, su aceleración en la boquilla es difícil. Por ello se trata de optar por un tamaño de partículas que permitirá que las partículas proyectadas alcancen la velocidad máxima de impacto en la superficie de diana y, debido a ello, obtener el rendimiento de deposición y la calidad de los revestimientos depositados máximos u otras características de rendimiento propias al procedimiento puesto en práctica (lijado de las superficies, partición/granulación de partículas).

La presente invención resuelve ventajosamente los problemas mencionados anteriormente proponiendo un procedimiento de aceleración gasodinámica en frío de al menos un material en polvo que comprende la alimentación de dicho material en polvo en una boquilla supersónica a través de un punto de inyección, su aceleración por un flujo de gas supersónico y su deposición mediante impacto sobre la superficie de una pieza, teniendo en cuenta el procedimiento el tamaño de las partículas y la densidad del material que las constituye así como los parámetros del gas con el fin de conferir a las partículas de polvo arrastradas por el flujo de gas la velocidad máxima susceptible de ser alcanzada en su impacto en la superficie de la pieza tratada gracias a la aceleración del flujo de gas y de polvo en la parte supersónica de la boquilla cuya longitud y dimensión transversal corresponden a las siguientes condiciones:

$$L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%; \quad b = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\% ,$$

en las que L es la longitud de la parte supersónica de la boquilla, ρ_p es la densidad de una partícula de dicho material, d_p es el diámetro de una partícula, $b = h$ es la altura de la boquilla, $b = d_{cr}$ es el diámetro de la sección crítica de la boquilla axisimétrica.

Los valores anteriores se obtienen por medio de la modelización matemática realizada para un gran intervalo de dimensiones de partículas y de boquilla, de presiones y de temperaturas de gas (aire, nitrógeno, helio) y en comparación con mediciones experimentales de la velocidad de las partículas de diferentes tamaños y de su densidad en el orificio de salida de la boquilla.

El procedimiento según la invención puede utilizar, como gas comprimido portador: el aire comprimido, el nitrógeno comprimido, el helio comprimido o una mezcla de estos gases.

Según una forma de realización posible, el gas comprimido se calienta hasta temperaturas de entre 300 y 9.800 K.

Los materiales en polvo utilizados están constituidos por ejemplo por partículas que presentan un tamaño comprendido entre 0,1 y 1.000 μm .

El procedimiento puede utilizar: materiales en polvo metálicos, materiales en polvo no metálicos, mezclas de polvos metálicos que presentan valores de $\rho_p d_p$ parecidos, mezclas de polvos no metálicos que presentan valores de $\rho_p d_p$ parecidos o mezclas de polvos metálicos y no metálicos que presentan valores de $\rho_p d_p$ parecidos.

El presente procedimiento se pone en práctica por un dispositivo de aceleración gasodinámica en frío de al menos un material en polvo que comprende una boquilla supersónica conectada a un inyector de polvo, y un dosificador de polvo conectado por un orificio de salida a dicho inyector de polvo. Este dispositivo prevé la utilización de boquillas planas o axisimétricas desmontables e intercambiables, correspondiendo la longitud de la parte supersónica y la dimensión típica de la sección crítica de dichas boquillas a las siguientes condiciones:

$$L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%, \quad b = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\% ,$$

en las que L es la longitud de la parte supersónica de la boquilla, ρ_p es la densidad de una partícula de dicho material, d_p es el diámetro de una partícula, $b = h$ es la altura de la boquilla, y $b = d_{cr}$ es el diámetro de la sección crítica de la boquilla axisimétrica.

Una de las ventajas del procedimiento y del dispositivo de proyección gasodinámica de materiales en polvo propuestos es que en función del tamaño de las partículas y de la densidad del material que las constituye seleccionados con vistas a una operación tecnológica diferenciada así como de la presión y de la temperatura de gas (por ejemplo, aire, nitrógeno, helio o la mezcla de al menos dos de estos gases), se pueden calcular las dimensiones de la parte supersónica de la boquilla utilizada de manera que se garantiza la velocidad máxima de impacto de las partículas en la superficie diana susceptible de ser alcanzada, y, debido a ello, se mejora ventajosamente la calidad de la deposición, el rendimiento y la calidad del procedimiento de limpieza de las superficies, el rendimiento del procedimiento de partición/granulación de partículas. Al mismo tiempo, para garantizar la resolución espacial deseada del procedimiento de proyección o de lijado de las superficies, es posible variar la granulometría del polvo eligiendo el tamaño de las partículas del material en polvo deseado de manera que se garantice un alto rendimiento de deposición y una alta calidad del revestimiento resultante, y la correcta realización del procedimiento de lijado de una superficie que presenta una estructura de granos finos correspondiente a los tamaños de las partículas proyectadas.

Para su correcta comprensión, la invención se describe haciendo referencia a la figura única del dibujo adjunto que representa a modo de ejemplo no limitativo una forma de realización de un dispositivo según la invención.

El dispositivo de aceleración gasodinámica en frío de los materiales en polvo comprende una boquilla 1 supersónica desmontable e intercambiable conectada al orificio de salida de un calentador 2 eléctrico y a un inyector 3 de polvo en dicha boquilla, un dosificador 4 de polvo cuyo orificio de salida está conectado a dicho inyector de polvo. La parte supersónica de dicha boquilla puede ser, según una forma de realización preferida, de forma plana o axisimétrica, presentando la boquilla la longitud de la parte supersónica y la dimensión típica de la sección crítica correspondiente a las siguientes condiciones:

$$L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%, \quad b = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\% ,$$

en las que L es la longitud de la parte supersónica de la boquilla, ρ_p es la densidad de una partícula de dicho material, d_p es el diámetro de una partícula, $b = h$ es la altura de la boquilla, y $b = d_{cr}$ es el diámetro de la sección crítica de la boquilla axisimétrica.

El procedimiento se pone en práctica como sigue.

En función del procedimiento de proyección/lijado/granulación de partículas y de la elección, para ello, de polvo (densidad del material de las partículas y su tamaño medio) y de presión y de temperaturas de gas (por ejemplo, aire, nitrógeno, helio o la mezcla de al menos dos de estos gases), se utilizan las proporciones simuladas presentadas anteriormente para calcular las dimensiones principales de la boquilla: la longitud de la parte supersónica y la sección crítica (la altura para una boquilla plana y el diámetro de la sección crítica para una boquilla axisimétrica). A las partículas arrastradas por un flujo de gas en una boquilla de este tipo calculada especialmente les confiere la velocidad máxima susceptible de ser alcanzada en su impacto en la superficie de la pieza tratada gracias a la aceleración del flujo de gas y de polvo en la parte supersónica de dicha boquilla, plana o axisimétrica.

La utilización de las boquillas especialmente diseñadas para un tamaño de diámetro concreto de partículas de un material en polvo deseado permite obtener la velocidad máxima de impacto de las partículas proyectadas en la superficie de la pieza tratada.

Se describen a continuación, a modo de ejemplos no limitativos, unas variantes de utilización de la presente invención con las partículas de diferentes tamaños.

1. Se proyectan partículas de polvo de cobre de 1 μm de diámetro medio mediante el procedimiento gasodinámico en frío. La presión de estancamiento del nitrógeno o del aire, según una forma de realización preferida, es de 2,0 MPa, y la temperatura de estancamiento es de 700 K. Las razones simuladas para una boquilla plana son $L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%$, $h = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\%$. Se introduce $\rho_p = 8.940 \text{ kg/m}^3$ y $d_p = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ y se obtienen las dimensiones óptimas de la boquilla $L = 20 - 60 \text{ mm}$ y $h = 0,29 - 0,87 \text{ mm}$ que garantizarán la velocidad máxima de impacto de las partículas proyectadas en la superficie diana.

2. Para las partículas de aluminio ($\rho_p = 2.700 \text{ kg/m}^3$) del mismo tamaño proyectadas por una boquilla axisimétrica, se obtiene $L = 6 - 18 \text{ mm}$ y $d_{cr} = 0,09 - 0,26 \text{ mm}$. La presión de estancamiento del nitrógeno o del aire es de 2,0 MPa, y la temperatura de estancamiento es de 500 K.

3. Se desea obtener una resolución espacial de 0,5 mm durante la proyección de partículas de cobre. Se elige una boquilla con 0,5 mm de diámetro de orificio de salida y, en consecuencia, de aproximadamente 0,3 mm de diámetro de sección crítica. La presión de estancamiento del helio es de 2,0 MPa, y la temperatura de estancamiento es de 300 K. Según la fórmula $d_{cr} = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\%$, se obtiene el tamaño necesario de las partículas de cobre y, según la fórmula $L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%$, se calcula la longitud de la parte supersónica de la boquilla necesaria para comunicar a las partículas la aceleración óptima. En este caso, se obtiene $d_p = (0,34 - 1,03) \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,34 - 1,03 \mu\text{m}$ y $L = 13,2 - 40 \text{ mm}$.

4. Para el lijado de una superficie, se toma el polvo de Al_2O_3 con 10 μm de diámetro medio de partículas. La presión de estancamiento del aire es de 0,6 MPa, y la temperatura de estancamiento es de 300 K. Las proporciones simuladas para una boquilla plana son $L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%$, $h = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\%$. Se introduce $\rho_p \approx 4.000 \text{ kg/m}^3$ y $d_p = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ y se obtienen las dimensiones óptimas de la boquilla $L \approx 90 - 270 \text{ mm}$ y $h \approx 1,2 - 3,7 \text{ mm}$ que garantizarán la velocidad máxima de impacto de las partículas proyectadas en la superficie de diana.

Se desea obtener una resolución espacial de 1,0 mm durante el lijado de una superficie mediante proyección del polvo de SiC. Se elige una boquilla con 0,1 mm de diámetro de orificio de salida y, en consecuencia, de aproximadamente 0,5 mm de diámetro de sección crítica. La presión de estancamiento del aire es de 1,0 MPa, y la temperatura de estancamiento es de 300 K. Según la fórmula $d_{cr} = 0,065 \rho_p d_p \pm 50\%$, se obtiene el tamaño necesario de las partículas de carburo de silicio y, según la fórmula $L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50\%$, se calcula la longitud de la parte supersónica de la boquilla necesaria para comunicar a las partículas la aceleración óptima. En este caso, se obtiene:

$$d_p = (1,2 - 3,6) \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,2 - 3,6 \mu\text{m} \text{ y } L = 16,7 - 50,1 \text{ mm}.$$

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de aceleración gasodinámica en frío de al menos un material en polvo que comprende la alimentación de dicho material en polvo en una boquilla supersónica a través de un punto de inyección, su aceleración mediante un flujo de gas supersónico y su deposición mediante impacto sobre la superficie de una pieza, caracterizado porque tiene en cuenta el tamaño de las partículas y la densidad de dicho material que las constituye así como los parámetros del gas con el fin de conferir a las partículas de polvo arrastradas por el flujo de gas la velocidad máxima susceptible de ser alcanzada en su impacto con la superficie de la pieza tratada gracias a la aceleración del flujo de gas y de polvo en la parte supersónica de la boquilla cuya longitud y dimensión transversal de la sección crítica corresponden a las siguientes condiciones:

$$L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50 \% ; b = 0,065 \rho_p d_p \pm 50 \%,$$

en las que L es la longitud de la parte supersónica de la boquilla, ρ_p es la densidad de una partícula de dicho material, d_p es el diámetro de una partícula, $b = h$ es la altura de la sección crítica de la boquilla en el caso de una boquilla plana, y $b = d_{cr}$ es el diámetro de la sección crítica de la boquilla en el caso de una boquilla axisimétrica.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque utiliza aire comprimido como gas comprimido portador.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque utiliza nitrógeno comprimido como gas comprimido portador.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque utiliza helio comprimido como gas comprimido portador.

5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque utiliza como gas comprimido portador una mezcla de aire comprimido, de nitrógeno comprimido y/o de helio comprimido.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el gas comprimido se calienta hasta unas temperaturas de entre 300 y 9.800 K.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque utiliza materiales en polvo constituidos por partículas que presentan un tamaño comprendido entre 0,1 y 1.000 μm .

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque utiliza materiales en polvo metálicos.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque utiliza materiales en polvo no metálicos.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque utiliza mezclas de polvos metálicos que presentan valores de ρ_p , d_p parecidos.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque utiliza mezclas de polvos no metálicos que presentan valores de ρ_p , d_p parecidos.

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque utiliza mezclas de polvos metálicos y no metálicos que presentan valores de ρ_p , d_p parecidos.

13. Dispositivo de aceleración gasodinámica en frío de al menos un material en polvo que comprende una boquilla supersónica conectada a un inyector de polvo, un dosificador de polvo conectado por un orificio de salida a dicho inyector de polvo, caracterizado porque prevé la utilización de boquillas planas o axisimétricas desmontables e intercambiables, correspondiendo la longitud de la parte supersónica y la dimensión típica de la sección crítica de dichas boquillas a las siguientes condiciones:

$$L = 4,35 \rho_p d_p \pm 50 \% ; b = 0,065 \rho_p d_p \pm 50 \%,$$

en las que L es la longitud de la parte supersónica de la boquilla, ρ_p es la densidad de una partícula de dicho material, d_p es el diámetro de una partícula, $b = h$ es la altura de la sección crítica de la boquilla en el caso de una boquilla plana, y $b = d_{cr}$ es el diámetro de la sección crítica de la boquilla en el caso de una boquilla axisimétrica.

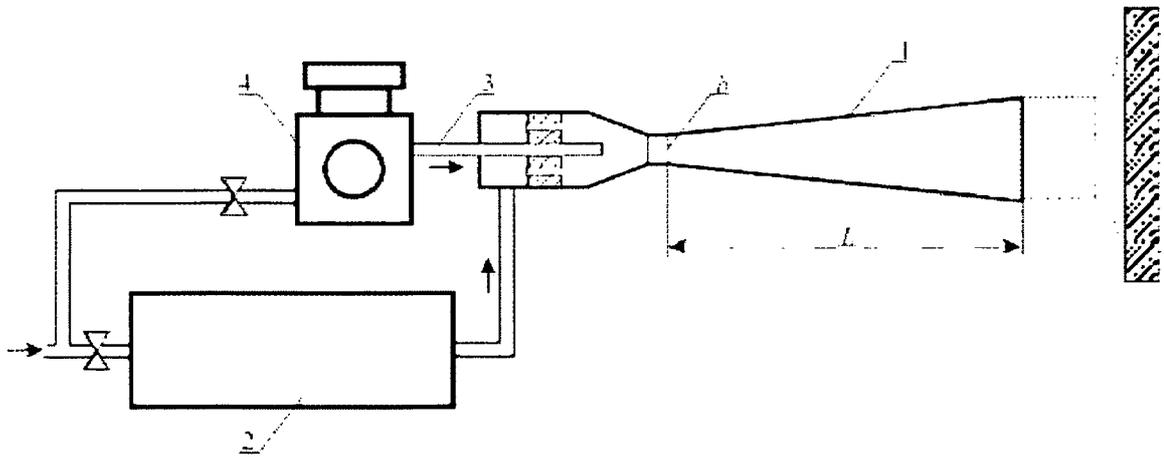


FIG. 1