

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 386**

51 Int. Cl.:

B05B 7/14 (2006.01)

C23C 24/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.04.2004 E 04010236 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2013 EP 1506816**

54 Título: **Tobera de Laval para pulverización térmica o cinética**

30 Prioridad:

30.04.2003 DE 10319481
06.04.2004 EP 04008360

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.03.2013

73 Titular/es:

SULZER METCO AG (100.0%)
Rigackerstrasse 16
5610 Wohien , CH

72 Inventor/es:

HEINRICH, PETER;
KREYE, HEINRICH, PROF. DR. y
STOLTENHOFF, THORSTEN

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 398 386 T3

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).

DESCRIPCIÓN

Tobera de Laval para pulverización térmica o cinética

5 La invención se refiere a un dispositivo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 con una tobera de Laval para la pulverización térmica y la pulverización cinética, particularmente para la pulverización de gas frío, con una sección convergente y una divergente. Tales toberas se usan durante la pulverización de gas frío y sirven para la producción de revestimientos o piezas de moldeo. Para esto se inyectan partículas de pulverizado en forma de polvo en un chorro de gas, para el cual un gas comprimido y calentado se relaja a través de la tobera de Laval, mediante un tubo de polvo. Las partículas de pulverizado al relajarse el chorro de gas en la parte divergente de la tobera de Laval se aceleran a altas velocidades por encima de la velocidad del sonido. Entonces, las partículas de pulverizado inciden sobre el sustrato y se sueldan debido a su alta energía cinética hasta dar una capa extremadamente densa. Sin embargo, la tobera, además de para la pulverización de gas frío, también es adecuada para los demás procedimientos de la pulverización térmica, tales como la pulverización a la llama o la pulverización a la llama de alta velocidad con componentes de pulverizado inertes o reactivos.

Es conocido al aplicar sobre materiales del más diverso tipo revestimientos mediante pulverización térmica. Son procedimientos conocidos para esto, por ejemplo, pulverización a la llama, pulverización de arco voltaico, pulverización de plasma o pulverización a la llama de alta velocidad. En los últimos tiempos, se ha desarrollado un procedimiento, la denominada pulverización de gas frío, en el que las partículas de pulverizado se aceleran en un chorro de gas "frío" a altas velocidades. Las partículas de pulverizado se añaden como polvo, comprendiendo el polvo habitualmente al menos parcialmente partículas con un tamaño de 1-50 μm . Después de la inyección de las partículas de pulverizado en el chorro de gas se relaja el gas en una tobera, acelerándose el gas y las partículas a velocidades por encima de la velocidad del sonido. Al chocar con alta velocidad, las partículas que no se funden en el chorro de gas "frío" forman una capa densa y firmemente adherida, aportando la deformación plástica y a partir de esto la liberación local de calor resultante para cohesión y adherencia de la capa de pulverizado sobre la pieza de trabajo. Un calentamiento del chorro de gas aumenta la velocidad de circulación del gas y, por tanto, también la velocidad de las partículas. Además, calienta las partículas y, por ello, favorece su deformación plástica durante el choque. La temperatura del gas puede ascender hasta a 800 °C, sin embargo, se encuentra claramente por debajo de la temperatura de fusión del material de revestimiento, de tal manera que no tiene lugar una fusión de las partículas en el chorro de gas. Con ello se pueden evitar en gran parte una oxidación y cambios de fases del material de revestimiento.

Un procedimiento de este tipo y un dispositivo para la pulverización de gas frío están descritos con detalle en el documento de Patente europeo EP 0 484 533 B1. A este respecto, se utiliza como tobera una tobera laval, denominada en lo sucesivo de forma abreviada tobera de Laval. Las toberas de Laval están compuestas de una sección convergente y una divergente que se une a esto en dirección de la corriente. Las toberas de Laval están caracterizadas por el contorno y la longitud de la sección divergente y además por la proporción al corte transversal más estrecho (= proporción de expansión). El corte transversal más estrecho de la tobera de Laval se llama cuello de tobera. Como gas de proceso se usan nitrógeno, helio, argón, aire o sus mezclas. Se consiguen mayores velocidades de partícula con helio o mezclas de helio-nitrógeno, sin embargo, la mayoría de las veces se usa nitrógeno.

La tobera descrita en el documento y tiene actualmente la forma de un cono doble con una longitud total de aproximadamente 100 mm. Tiene una proporción de expansión de aproximadamente 9, además se usa también una variante con una proporción de expansión de 6. La longitud de la sección convergente asciende aproximadamente 1/3, de la sección divergente 2/3 de la longitud de la tobera. El cuello de la tobera tiene un diámetro de aproximadamente 2,7 mm.

Actualmente, los dispositivos para la pulverización de gas frío están diseñados para presiones de aproximadamente 1 MPa hasta una presión máxima de 3,5 MPa y temperaturas de gas hasta aproximadamente 800 °C. El gas calentado se relaja junto con las partículas de pulverizado en la tobera de Laval. Mientras que la presión disminuye en la tobera de Laval, la velocidad del gas asciende hasta valores hasta 3000 m/s y la velocidad de las partículas hasta valores hasta 2000 m/s.

Por el documento DE 101 26 100 A1 se conoce un dispositivo para la pulverización de gas frío de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. La tobera mostrada en el documento tiene – sin tener en cuenta la tobera de inyector para el polvo – una forma de cono pura en la zona divergente de las realizaciones de las Figuras 1 y 2c. La realización de la Figura 2a tiene una forma de cilindro, la de la Figura 2b una curvatura hacia el exterior. "Curvatura hacia el exterior" quiere decir que la línea de limitación en la Figura 2b abajo en dirección del flujo de gas presenta una curvatura hacia la derecha, es decir, hacia el exterior. La línea de limitación superior presenta una curvatura hacia la izquierda, es decir, también hacia el exterior. Las superficies de corte transversal de la tobera aumentan al ir más hacia el exterior por tanto más rápidamente que en un cono correspondiente.

En un ámbito de la técnica muy diferente, a saber, el de los propulsores de cohete se usan también toberas de Laval como toberas de propulsión. Las toberas de ese documento tienen una proporción de expansión considerablemente

mayor. En este caso solamente es importante acelerar el gas (o el producto de combustión) lo más intensamente posible en el tramo más corto posible. A este respecto, un problema de las toberas de cohetes es la reducción de propulsión por divergencia de chorro en la salida de la tobera. Esto se describe en el libro de texto "Gas Dynamics, Vol. 1", páginas 232 y 233. Por este motivo, las toberas de cohete optimizadas en cuanto a propulsión poseen un contorno con forma de campana que sirve para que el gas abandone la tobera fluyendo lo más paralelamente posible (= tobera de chorro paralelo). El comportamiento de flujo de partículas que están contenidas en los productos de combustión del cohete y que abandonan con los mismos la tobera es de importancia menor para la optimización de la tobera. En la pulverización térmica y particularmente en la pulverización de gas frío, por el contrario, el comportamiento de las partículas en el chorro libre detrás de la tobera tiene una importancia prioritaria.

Es objetivo de la invención mejorar una tobera para la pulverización térmica y cinética en el sentido de que se aumente el efecto de aplicación y a este respecto disminuya la tendencia de las partículas a depositarse en la pared de la tobera.

Este objetivo se resuelve de acuerdo con la invención por una tobera en la que toda la sección divergente o al menos una parte de la sección divergente presenta un contorno con forma de campana. Una tobera de este tipo que tiene dimensiones comparables a la tobera convencional que se ha descrito anteriormente con respecto a longitud de tobera, proporción de longitudes de sección convergente a divergente, proporción de expansión, diámetro del cuello de tobera, etc., sin embargo, de acuerdo con la invención tiene un contorno con forma de campana de la sección divergente de la tobera, muestra un comportamiento de aplicación considerablemente mejor. En un ensayo comparativo entre una tobera convencional y una tobera con forma de campana, con el uso del mismo polvo de cobre con granulación de 5 a 25 μm y parámetros del proceso por lo demás iguales con respecto a presión de gas, temperatura de gas, flujo de gas, velocidad de transporte de polvo, separación de pulverización, etc. se produjo un aumento del grado de efecto de aplicación del 50 hasta 55% al 60 hasta 65%. Solo la pequeña modificación – casi no reconocible a la vista – de la parte divergente de una forma de cono a una forma de campana, es decir, un ensanchamiento en primer lugar por encima de la proporción, después por debajo de la proporción en comparación con una forma de cono, produce este claro aumento del efecto de aplicación. Como grado de efecto de aplicación se denomina la cantidad del polvo adherido con respecto a la cantidad de polvo pulverizada en el mismo periodo de tiempo por unidad de superficie.

Es adecuado que toda la sección divergente esté diseñada con forma de campana. Sin embargo, también es suficiente que solo una parte de la sección divergente tenga forma de campana y el resto esté diseñado de otro modo, por ejemplo, como cono o como cilindro. Preferentemente, el comienzo de la sección divergente tiene forma de campana. Esta se prolonga entonces a lo largo de un tercio o la mitad de la longitud de la sección divergente. Después, la tobera puede pasar a otra forma, siendo adecuado que la tobera no presente irregularidades o "dobles" en su recorrido. Debe evitarse una transición brusca de forma de campana a cono o de cono a cilindro, ya que las transiciones bruscas alteran la uniformidad del flujo de gas.

En una realización, el contorno con forma de campana está diseñada de tal manera que existe una tobera de chorro paralelo, es decir, el chorro abandona la tobera en paralelo, sin ensanchamiento. Esta segunda variante de la invención con mismo diámetro en el cuello de tobera, sin embargo, una sección divergente más larga, cuyo contorno con forma de campana se diseñó de tal manera que se obtiene un flujo de gas paralelo, con parámetros del proceso por lo demás iguales produce incluso un grado de efecto de aplicación del 75 al 80%.

En una realización de la invención, la longitud total de la tobera está entre 60 y 300 mm, usándose preferentemente toberas con longitudes totales de 100 a 200 mm.

También es preferente que la superficie del corte transversal en el cuello de la tobera sea de 3 a 25 mm^2 , de forma particularmente preferente de 5 a 10 mm^2 .

Se han obtenido resultados adecuados en toberas cuya proporción de ensanchamiento se encuentra entre 1 y 25.

También son adecuadas toberas en las que un número de Mach de salida se encuentra entre 1 a 5, de forma particularmente adecuada entre 2,5 y 4.

La velocidad de las partículas depende del tipo y las magnitudes de estado del gas (presión, temperatura), del tamaño de partícula y de la densidad física del material de partículas (artículo de T. Stoltenhoff *et al* del volumen del congreso para el 5. coloquio de HVOF, 16. y 17.11.2000 en Erding, fórmula en la página 31 abajo). Por tanto, es posible ajustar el contorno de la tobera especialmente a los gases de proceso nitrógeno, aire y helio así como el material de pulverizado.

En una realización de la invención está previsto un tubo de polvo en la tobera que sirve para el suministro de las partículas de pulverizado y que termina en la sección divergente de la tobera. Tales tubos de polvo y geometrías de tobera están mostrados en el documento DE 101 26 100 A1. La sección divergente de la tobera presenta sin embargo siempre al menos una sección con forma de campana.

5 En otra variante, en la que el contorno se ajustó aún mejor a nitrógeno como gas de proceso y cobre como material de pulverizado, se consiguió un grado de efecto de aplicación de más del 80%. La optimización se realizó entonces mediante variación del contorno de la tobera y cálculo de las velocidades de partícula que se podían conseguir después de esto. El aumento significativo del grado de eficacia de aplicación mediante la invención se debe a que más o también mayores partículas de polvo superan la velocidad mínima necesaria para la adherencia de las partículas.

10 La mejor aceleración de las partículas a través de la nueva tobera permite también el uso de un polvo más grueso. De este modo, se pueden usar ahora polvos con granulaciones entre 5 y 106 μm en lugar de los polvos utilizados hasta ahora de 5 a 25 μm , pudiéndose continuar utilizando evidentemente los polvos conocidos. Los polvos más gruesos son considerablemente más económicos. Una ventaja adicional de los polvos más gruesos consiste en que durante la pulverización con estos polvos se producen deposiciones en la pared de la tobera solo a mayores temperaturas de gas. Una mayor temperatura de gas da lugar a una mayor velocidad de circulación del gas y un menor consumo de gas, en total, por tanto, ahorros de costes en polvo y gas durante la producción de las capas.

15 En la tobera de Laval de la invención, la longitud de la sección convergente es considerablemente menor que la longitud de la sección divergente y la sección divergente en total tiene una forma de campana, a diferencia de la tobera de la Figura 2b del documento DE 101 26 100 A1. La sección convergente está diseñada de forma cónica a lo largo de toda su longitud. Gracias a la forma de campana se consigue que el chorro abandone la tobera prácticamente en paralelo y disminuyan claramente efectos desventajosos tales como golpes de compactación en la salida de la tobera o nudos de presión en el chorro libre.

20 Forma de campana quiere decir que a partir del estrechamiento, es decir, a partir del cuello de la tobera se realiza un recorrido curvado de tipo convexo cóncavo, aumentando constantemente el corte transversal atravesado o permaneciendo al menos igual, sin embargo, no haciéndose nunca menor.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para la pulverización de gas frío o para la pulverización a la llama de alta velocidad, en el que se inyectan partículas de pulverizado en un chorro de gas, con una tobera de Laval que relaja el gas junto con las partículas de pulverizado, presentando la tobera de Laval una sección convergente y una divergente y generando un número de Mach de salida entre 2,5 y 5, **caracterizado por que** al menos una parte de la sección divergente posee un contorno con forma de campana.
- 10 2. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el contorno está diseñado de tal manera que existe una tobera de chorro paralelo.
3. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la longitud total de la tobera se encuentra entre 60 y 300 mm, preferentemente entre 100 y 200 mm.
- 15 4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la superficie de corte transversal en el cuello de la tobera es de 3-25 mm², preferentemente de 5 a 10 mm².
- 20 5. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por que** la proporción de ensanchamiento es de entre 1 y 25.
6. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el número de Mach de salida se encuentra entre 2,5 y 4.