

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 427 538**

51 Int. Cl.:

**C23C 4/02** (2006.01)

**C23C 4/12** (2006.01)

**C23C 28/04** (2006.01)

**C23C 8/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2007 E 07105570 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2013 EP 1852519**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de un revestimiento**

30 Prioridad:

**05.05.2006 EP 06405192**

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

**30.10.2013**

73 Titular/es:

**SULZER METCO AG (SWITZERLAND) (100.0%)  
RIGACKERSTR. 16  
5610 WOHLN, CH**

72 Inventor/es:

**REFKE, DR. ARNO y  
BEELE, DR. WOLFRAM**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 427 538 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

Procedimiento para la fabricación de un revestimiento

5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de un revestimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 así como a un sustrato revestido con este procedimiento.

10 El documento US-A-5 302 465 describe una capa calorífuga que comprende dos capas cerámicas de óxido de zirconio estabilizado con itrio sobre un sustrato de aleación intermetálica a base de NiAl. Antes de la aplicación por proyección de la capa calorífuga se oxida el sustrato con un pretratamiento térmico, de modo que se construye una capa de  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> protectora. La primera capa cerámica se aplica por medio de un procedimiento LPPS y la segunda capa cerámica por medio de un procedimiento APS (*"Atmospheric Pressure Plasma Spraying"*, pulverización de plasma a presión atmosférica).

15 El documento WO 92/05298 A describe un sustrato revestido con una capa calorífuga cerámica columnar exterior, donde el sustrato se dota en primer lugar con una capa de adherencia de MCrAlY+Hf+Si. La capa de adherencia se oxida en un tratamiento térmico en una atmósfera de hidrógeno, de modo que se construye una capa intermedia de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sobre esta capa intermedia se aplica por medio de un procedimiento CVD la capa calorífuga cerámica columnar.

20 Las grandes superficies pueden dotarse de manera uniforme de capas delgadas con un procedimiento LPPS especial (*"Low Pressure Plasma Spraying- Process"*, procedimiento de pulverización de plasma a baja presión), concretamente un procedimiento LPPS-TF (*"LPPS - ThinFilm - Process"*, procedimiento de película delgada LPPS), que se conoce por el documento US-A-5 853 815. Este procedimiento es un procedimiento térmico a baja presión, con el que pueden generarse espesores de capa en el intervalo de micrómetros. La fabricación de un revestimiento homogéneo se consigue mediante una pistola de pulverización que está configurada de manera geoméricamente adecuada, donde sin embargo es esencial también que en la pistola de pulverización impera una sobrepresión suficientemente grande. La superficie que va a revestirse se lleva a una cámara de procedimiento, en la que está establecida una presión inferior a 10 kPa, mientras que en la pistola de pulverización impera por ejemplo una presión de aproximadamente 100 kPa, o sea aproximadamente la presión ambiente. La gran diferencia de presión entre el interior de la pistola de pulverización y la cámara de procedimiento hace que el chorro térmico de procedimiento se expanda para dar un chorro amplio, en el que se distribuye uniformemente el material que va a pulverizarse. Se deposita un estrato delgado que es compacto gracias al chorro de procedimiento homogéneo. Mediante una aplicación múltiple de tales estratos puede generarse de manera dirigida un revestimiento más grueso con propiedades especiales.

35 Un revestimiento de este tipo puede usarse como capa funcional. Sobre un cuerpo base metálico que forma el sustrato que va a revestirse puede aplicarse una capa funcional que por regla general es un sistema de capa de múltiples estratos con capas parciales compuestas de manera distinta. Por ejemplo, para turbinas de gas (turbinas de gas estacionarias o mecanismo de accionamiento de aviones) que se activan con altas temperaturas de procedimiento se revisten los álabes con una primera capa parcial de uno o múltiples estratos, de modo que el sustrato se vuelve estable frente a la corrosión del gas caliente. Una segunda capa parcial (de material cerámico) forma una capa calorífuga. En el documento EP-A-1 260 602 se describe un procedimiento para la generación de un sistema de capa calorífuga de este tipo, con el que se aplica una multiplicidad de estratos (capa aislante, capa de protección, capa calorífuga, capa de alisado) mediante un ajuste variable de parámetros de procedimiento que pueden controlarse en un ciclo de trabajo.

40 En un procedimiento LPPS-TF especial se realiza con el chorro de procedimiento térmico un revestimiento híbrido. Este procedimiento que se conoce por el documento EP-A-1 034 843 o el documento EP-A-1 479 788, permite combinar una pulverización térmica con una deposición de fase vapor y así unir las posibilidades de los dos procedimientos. Las propiedades del chorro de procedimiento están determinadas por parámetros de procedimiento que pueden controlarse, en particular por los parámetros presión, entalpía, composición de una mezcla de gases de procedimiento y composición así como forma de aplicación del material que va a pulverizarse. El material de revestimiento se evapora parcialmente dependiendo de los parámetros que pueden controlarse. Las fases que se encuentran en forma de vapor y condensada, es decir en forma sólida o líquida, del material de revestimiento se depositan al menos parcialmente sobre el sustrato. Para el material transportado en el chorro de procedimiento se determina la proporción relativa de vapor y/o de fase condensada mediante un procedimiento de medición diagnóstico. Con datos de medición obtenidos de esta manera se ajustan los parámetros de procedimiento que pueden controlarse con respecto a valores teóricos. Con respecto a estos valores teóricos que corresponden a una proporción de vapor predeterminada o proporción de fase condensada se realiza una regulación para la fabricación dirigida del sistema de capa de múltiples estratos.

65 Con el procedimiento de revestimiento híbrido puede fabricarse una capa calorífuga con una microestructura columnar. Esta capa o estrato se compone aproximadamente de corpúsculos cilíndricos, cuyos ejes centrales están orientados perpendicularmente a la superficie de sustrato. Ciertas zonas de transición, en las que la densidad del material depositado es más pequeña que en los corpúsculos, limitan los corpúsculos lateralmente. Este estrato

columnar con microestructura anisótropa es tolerante a la expansión con respecto a tensiones variables que resultan debido a modificaciones de la temperatura que se producen repetidamente. El revestimiento reacciona ante las tensiones variables de manera ampliamente reversible, es decir sin una formación de fisuras, de modo que su vida útil se prolonga considerablemente en comparación con la vida útil de un revestimiento que no tiene una microestructura columnar.

Es objetivo de la invención crear un procedimiento para la fabricación de un revestimiento sobre un sustrato, donde el revestimiento debe estar constituido por una capa funcional de múltiples estratos cerámica y donde debe obtenerse una transición mejorada en comparación con capas funcionales conocidas entre el sustrato y el revestimiento. A este respecto debe aplicarse sobre el sustrato material de revestimiento cerámico con un procedimiento LPPS-TF como una capa funcional que comprende en particular una capa parcial columnar. Este objetivo se soluciona mediante el procedimiento definido en la reivindicación 1.

Con el procedimiento se fabrica un revestimiento sobre un sustrato que forma una superficie de un cuerpo base. El sustrato es en particular una capa de adherencia. En este procedimiento se aplica en una cámara de procedimiento usando un chorro de plasma y usando un procedimiento LPPS-TF un estrato con material de revestimiento cerámico sobre el sustrato. El sustrato contiene al menos un metal Me. A una temperatura de reacción ajustada del sustrato y en presencia de oxígeno se genera de manera reactiva un óxido que se obtiene con metal Me difundido en la superficie, como capa intermedia cerámica. Sobre esta capa intermedia se deposita el estrato cerámico.

Las reivindicaciones dependientes 2 a 12 se refieren a formas de realización ventajosas del procedimiento de acuerdo con la invención.

A continuación se explica la invención por medio de los dibujos. Muestran:

la figura 1 un corte de un revestimiento que se ha fabricado con el procedimiento de acuerdo con la invención,

la figura 2 una representación esquemática para la fabricación de una capa intermedia cerámica delgada,

la figura 3 la vista lateral de un chorro de procedimiento que está trazada según una imagen fotográfica, estando configuradas las zonas individuales con contorno discontinuo, y

la figura 4 una imagen inclinada esquemática para el chorro de procedimiento de la figura 3.

Una capa funcional, concretamente un revestimiento 1, tal como está representada en la figura 1 a modo de detalle, comprende sobre un sustrato 2 un estrato 3 de material de revestimiento cerámico y una capa intermedia cerámica 4, que está fabricada de acuerdo con la invención con el procedimiento ilustrado esquemáticamente en la figura 2. El sustrato 2 se encuentra en la superficie de un cuerpo base no representado.

El procedimiento de revestimiento de acuerdo con la invención se desarrolló para una capa funcional que comprendía un estrato columnar, donde este estrato columnar podía aplicarse sobre un sustrato especial 2 que contiene un metal Me oxidable en condiciones de reacción adecuadas. Las condiciones de reacción adecuadas comprenden una temperatura de reacción, a la que el metal Me difunde por la superficie del sustrato 2, donde puede oxidarse. Posteriormente se determinó que este procedimiento puede usarse generalmente, concretamente también sobre capas funcionales cerámicas, cuyos estrato no presenta ninguna estructura columnar.

El sustrato 2 es la superficie del cuerpo base; o es una capa de adherencia que está aplicada sobre el cuerpo base. Sobre el sustrato 2 se aplica en el ejemplo representado en la figura 1 un estrato cerámico 3 que es columnar, que sin embargo podría ser también no columnar. En la fabricación del revestimiento 1 se usa un procedimiento LPPS-TF, donde en una cámara de procedimiento 6 (véase también la figura 3) y usando un chorro de plasma 30 se aplica una multiplicidad de estratos uniformes y delgados sobre el cuerpo base. El estrato columnar se aplica con el procedimiento híbrido, en el que se aplican por proyección fases en forma de vapor y condensadas de un material de revestimiento cerámico. Antes de la aplicación del estrato columnar que está compuesto de material cerámico se fabrica la capa intermedia cerámica 4 como una capa TGO ("*Thermal Grown Oxide*", óxido de crecimiento térmico) sobre el sustrato 2: véase la figura 2.

El sustrato 2 contiene al menos el metal Me, al que está asignado en la figura 2 el número de referencia 24. En la formación de la capa TGO reacciona oxígeno O<sub>2</sub> (simbolizado por partículas 64) con el metal Me o también varios metales. El oxígeno 64 está presente con una presión parcial predeterminada en la cámara de procedimiento 6. Ésta se encuentra dependiendo de la presión de trabajo en la cámara de procedimiento 6 en el intervalo de 0,01 mbar - 20 mbar, donde el mantenimiento de un valor definido se controla por ejemplo mediante reguladores del flujo másico. La presión parcial de O<sub>2</sub> influye a este respecto en la velocidad de crecimiento y la estructura en la formación de la capa TGO. Para que se produzca esta oxidación debe llevarse el sustrato 2 mediante un aporte de energía hasta la temperatura de reacción mencionada anteriormente, por ejemplo mediante irradiación con infrarrojo, que está simbolizado por ondas 60. El metal 24 difunde a la temperatura de reacción del sustrato 2 por su superficie así como la superficie de la capa intermedia 4 que se forma. Esta capa 4 representa una base adecuada para el

estrato 3 que va a depositarse a continuación, dado que produce una transición de un material metálico a un material cerámico. La capa intermedia cerámica 4 presenta un espesor cuyo valor se encuentra en el intervalo de  $0,001 - 2 \mu\text{m}$ , en particular  $0,1 - 0,6 \mu\text{m}$ .

5 La temperatura de reacción del sustrato 2 necesaria para la oxidación depende de su composición. Ésta puede generarse por medio de un aporte de energía mediante el chorro de plasma o mediante una fuente adicional. La fuente adicional puede estar dispuesta dentro de la cámara de procedimiento 6 o fuera de ésta en una cámara de transferencia. Esta fuente en particular un emisor de radiación de infrarrojo, un láser o un generador de haces de electrones.

10 Ventajosamente, el metal Me es aluminio Al, pudiendo participar sin embargo también otros metales en la formación de la capa intermedia cerámica 4. La temperatura de reacción del sustrato 2 tiene en particular un valor en el intervalo de  $900 - 1150^\circ\text{C}$ . Este intervalo puede ser también más grande y puede encontrarse por ejemplo entre  $800$  y  $1200^\circ\text{C}$ .

15 El sustrato 2 está compuesto de una aleación metálica, en particular un material del grupo de las aleaciones  $\text{MCrAlY}$ , con  $\text{M} = \text{Ni}, \text{Co}, \text{CoNi}$  o  $\text{Fe}$ . Puede estar compuesta también de un aluminuro, por ejemplo  $\text{PtAl}$  o  $\text{PtNiAl}$ , o de una fase intermetálica, por ejemplo de un compuesto de  $\text{NiAl}$ .

20 La temperatura de reacción del sustrato 2 se mide y se ajusta usando al menos un detector. A este respecto, el detector puede ser un pirómetro de infrarrojo, una cámara térmica o una sonda térmica.

25 Si el sustrato 2 es una capa de adherencia, entonces puede introducirse el cuerpo base que va a revestirse, tras una fabricación de la capa de adherencia, en la cámara de procedimiento 6. El cuerpo base se reviste sin embargo ventajosamente en primer lugar en la cámara de procedimiento 6 con la capa de adherencia por medio del procedimiento LPPS, el procedimiento LPPS-TF o un procedimiento PVD. En el inicio del procedimiento de revestimiento puede limpiarse la superficie del cuerpo base con el chorro de plasma u otro medio que aporte energía, por ejemplo mediante un arco eléctrico transferido de la fuente de chorro de plasma ("*Transferred Arc Cleaning*", limpieza por arco transferido).

30 La figura 3 muestra la vista lateral de un chorro de procedimiento 30, que está trazada según una imagen fotográfica; éste sale de una boquilla 51 de una pistola de pulverización 5. El vapor del material de revestimiento y las partículas que dispersan y/o emiten luz hacen que el chorro de procesamiento 30 sea visible. En particular se distingue (cuando también mucho más débil que lo representado) una superficie exterior 30' que forma un límite frente al resto del espacio de la cámara de procedimiento 6. Dentro del chorro 30 pueden distinguirse zonas de núcleo 31, 34 y 35 que se producen periódicamente, en las que la densidad del material que va a pulverizarse es mayor que en una zona anexa 33 que limita con la superficie 30'. Entre las zonas de núcleo 31, 34 y 35 y la zona 33 existen zonas de transición 32, 32', 32'' con densidades promedio. El chorro de procedimiento 30 se difunde con velocidad de ultrasonido, formándose ondas de choque. En la salida 53 de la boquilla 51 es la presión mayor que en la atmósfera de la cámara de procedimiento 6 fuera del chorro de procedimiento 30. Mediante una interacción entre la atmósfera circundante y el chorro de procedimiento 30 resulta una superficie 30' en forma de onda. Esta interacción tiene también como consecuencia que en el procedimiento de revestimiento híbrido la proporción en forma de vapor del material que va a pulverizarse permanece atrapado dentro de la superficie 30'. Esto se explica en más detalle por medio de la figura 4:

45 Un anillo 53' marca el inicio del chorro de procedimiento 30 en la salida de la boquilla 53. Están indicadas tres secciones transversales a, c y d del chorro de procedimiento 30, que fluye en dirección del eje z, con anillos de puntos y rayas. La sección transversal circular del chorro de procedimiento 30 presenta un radio variable r. Una partícula de vapor (átomo o molécula) se encuentra en un primer momento en una posición A marcada mediante un pequeño círculo 13 en la sección transversal a y se mueve posteriormente por una curva 14 a través de una posición B en la superficie del chorro 30', a través de una posición C por la sección transversal c y a través de una posición D por la sección transversal d. Esta partícula de vapor tiene una componente de velocidad longitudinal  $V_z$  en dirección de flujo (ultrasonido) y una componente transversal o radial  $V_r$  que es más pequeña que  $V_z$ . En la posición A es  $V_r = V_r(A) > 0$ . Mediante la interacción con el gas del entorno 6 se reduce  $V_r$ , hasta que esta componente de velocidad en la posición B invierte la dirección. En la posición C es  $V_r < 0$ , y la partícula de vapor se aproxima al eje z. Tras un paso por el centro del chorro de procedimiento 30 se aplica en la posición D de nuevo  $V_r > 0$ . Mediante la interacción con el entorno 6, la partícula de vapor realiza por tanto un movimiento ondulatorio dentro de la superficie límite 30' del chorro de procedimiento 30. Esto se aplica ampliamente para todas las partículas de vapor: el material de revestimiento evaporado permanece retenido en el chorro de procedimiento 30, presentándose la superficie 30' como una barrera. La fase en forma de vapor puede realizar su aporte a la estructura del estrato columnar, dado que no abandona el chorro de procedimiento 30.

65 La formación del estrato columnar se realiza ventajosamente ajustando igualmente una presión parcial de  $\text{O}_2$  definida para garantizar una saturación suficiente de la capa con  $\text{O}_2$ , dado que esto influye tanto en la composición estequiométrica como en el crecimiento y la estructura del estrato columnar. La presión de trabajo en la cámara de procedimiento 6 se encuentra a este respecto en el intervalo de  $0,01 - 20 \text{ mbar}$ , preferentemente de  $0,05 - 5 \text{ mbar}$ , y

la presión parcial de O<sub>2</sub> en el intervalo de 0,01 - 2 mbar, preferentemente 0,05 - 1 mbar.

A continuación se describe un ejemplo de realización típico:

5 Sobre un componente (cuerpo base) se aplica una capa de adherencia metálica de PtAl (con procedimiento EB-PVD) o MCrAlY (con procedimiento LPPS), debiendo presentar la rugosidad de este revestimiento un valor inferior a de 1 a 2 μm.

10 En la cámara de procedimiento 6 se calienta el componente por medio del chorro de plasma del procedimiento LPPS (gas de procedimiento Ar con la adición de H<sub>2</sub> o He) con una presión de la atmósfera circundante de aproximadamente 100 mbar hasta la temperatura de inicio (en el intervalo de 900 -1150°C).

15 Una capa TGO de aproximadamente 0,1 - 0,5 μm de espesor se forma añadiendo O<sub>2</sub> al gas circundante con una presión parcial en el intervalo de 0,05 - 5 mbar durante aproximadamente 10-15 minutos. A este respecto se mantiene el componente por medio del chorro de plasma de procedimiento a la temperatura de mecanizado. La temperatura y la presión parcial de O<sub>2</sub> se mantienen a este respecto de manera controlada en valores que permanecen constantes.

20 Una capa columnar (TBC, "Thermal Barrier Coating", revestimiento de barrera térmica) - estrato 3 - con un espesor de aproximadamente 100 a 200 μm se aplica sobre el componente mediante el procedimiento LPPS-TF con aproximadamente 0,5 - 5 bar (de acuerdo con el documento EP-A-1 034 843), manteniéndose y controlándose la presión parcial de O<sub>2</sub> de aproximadamente 0,05 - 0,5 bar durante todo el procedimiento de revestimiento.

25 El componente revestido se enfría finalmente en una cámara de esclusa separada y de manera asistida por una atmósfera de Ar.

30 Con el procedimiento de acuerdo con la invención puede revestirse un cuerpo que se ha fabricado de un material metálico. El revestimiento 1 de un cuerpo de este tipo presenta un espesor de la capa intermedia cerámica 4 que se encuentra entre 0,001 - 2 μm. Ventajosamente se encuentra este espesor entre 0,1 - 0,6 μm. La capa intermedia cerámica 4 puede estar configurada de manera homogénea por una altura mayor de 0,05 μm.

El estrato cerámico 3 aplicado sobre la capa intermedia cerámica 4 está formado por ejemplo de acuerdo con una de las siguientes alternativas:

- 35 a) el estrato 3 tiene una estructura no columnar, aplicada por proyección térmicamente por medio del procedimiento LPPS-TF.  
b) En el estrato 3 se transforma una capa parcial columnar delgada en una capa parcial no columnar.  
c) El estrato 3 está constituido por una capa de múltiples estratos que comprende una combinación de  
40 capas parciales columnares y no columnares y que comprende de manera alterna en particular una capa parcial columnar delgada, una capa parcial no columnar y al menos otro estrato con estructura columnar.

45 En otra forma de realización, el estrato cerámico 3 comprende una combinación de dos óxidos metálicos que forman dos capas parciales columnares. El primer óxido metálico es en particular un óxido de zirconio parcialmente estabilizado y el segundo óxido metálico por ejemplo un óxido de zirconio completamente estabilizado con disprosio. El segundo óxido metálico puede ser también un zirconato de lantano o un A<sub>2</sub>E<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-pirocloro, siendo preferentemente A un elemento de la serie de los lantánidos, en particular gadolinio y E zirconio. Los óxidos metálicos pueden presentar una fase de perovskita o una fase de espinela. El estrato cerámico 3 puede estar formado también por una aplicación múltiple de la combinación de los dos óxidos metálicos.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de un revestimiento (1) sobre un sustrato (2), donde el revestimiento (1) está constituido por una capa funcional de múltiples estratos cerámica (3), la capa funcional cerámica (3) comprende una capa columnar y el sustrato (2) contiene al menos un metal (Me), procedimiento en el que la capa funcional cerámica (3) se aplica en una cámara de procedimiento (6) usando un chorro de plasma (30) y usando un procedimiento de película delgada LPPS, **caracterizado por que** el sustrato (2) está constituido por una capa de adherencia sobre un cuerpo base fabricada por medio de un procedimiento LPPS, de un procedimiento de película delgada LPPS o de un procedimiento PVD, de un material del grupo de las aleaciones MCrAlY, con M = Ni, Co, CoNi o Fe, o de un aluminuro, en particular PtAl o PtNiAl, o de una fase intermetálica, en particular de un compuesto de NiAl y el revestimiento (1) presenta una capa intermedia cerámica (4) que se encuentra entre el sustrato (2) y la capa funcional cerámica (3) y para la formación de la capa intermedia cerámica (4) se ajusta en la cámara de procedimiento (6) una presión parcial de oxígeno en el intervalo de 0,01 mbar a 20 mbar y **por que** a una temperatura de reacción ajustada del sustrato en el intervalo de 800°C a 1200°C y en presencia de oxígeno se genera de manera reactiva un óxido, que se obtiene con metal (Me) difundido en la superficie del sustrato (2) y la capa intermedia (4) que se forma, como capa intermedia cerámica (4) con un espesor en el intervalo de 0,001 a 2  $\mu\text{m}$  y **por que** sobre esta capa intermedia (4) se deposita la capa funcional cerámica (3), donde la capa funcional cerámica (3) se aplica con un procedimiento híbrido, con el que se aplican por proyección fases en forma de vapor y condensadas de un material de revestimiento cerámico.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el sustrato (2) es la superficie de un cuerpo base o una capa de adherencia aplicada sobre un cuerpo base y **por que** la temperatura de reacción del sustrato (2), que depende de su composición, se genera por medio de un aporte de energía (60) mediante el chorro de plasma (30) o mediante una fuente adicional.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por que** la fuente adicional está dispuesta dentro de la cámara de procedimiento (6) o fuera de ésta en una cámara de transferencia y **por que** esta fuente es un emisor de radiación de infrarrojo, un láser o un generador de haces de electrones.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la temperatura de reacción del sustrato (2) tiene un valor en el intervalo de 900 - 1150°C.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el metal (Me) es al menos parcialmente aluminio (Al) y el sustrato está compuesto de un compuesto que contiene aluminio.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la capa intermedia cerámica (4) está constituida en más del 90% por  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la capa funcional cerámica (3) es o comprende una capa parcial columnar, que se aplica por proyección con el procedimiento LPPS-TF mediante la aplicación de una multiplicidad de estratos delgados y uniformes sobre la capa intermedia (4), donde se usa un procedimiento híbrido, en el que se aplican fases en forma de vapor y condensadas del material de revestimiento cerámico.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** la temperatura de reacción del sustrato (2) se mide y se ajusta usando al menos un detector, donde el detector es un pirómetro de infrarrojo, una cámara térmica o una sonda térmica.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** la capa intermedia cerámica (4) se genera con un espesor de 0,1 a 0,6  $\mu\text{m}$ .
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** para la formación de la capa intermedia cerámica (4) se ajusta un valor para la presión parcial de oxígeno necesaria en la cámara de procedimiento (6) en el intervalo de 0,05 - 5 mbar y se controla durante todo el procedimiento.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** para la formación definida de la estructura de capa con la aplicación de la capa columnar se ajusta una presión parcial de oxígeno adecuada en la cámara de procedimiento en el intervalo de 0,01 mbar - 2 mbar, preferentemente en el intervalo de 0,05 mbar - 1 mbar y se controla durante todo el procedimiento.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado por que** la presión de trabajo en la cámara de procedimiento (6) se encuentra en el intervalo de 0,01 mbar a 20 mbar, preferentemente 0,05 mbar a 5 mbar.

Fig.1

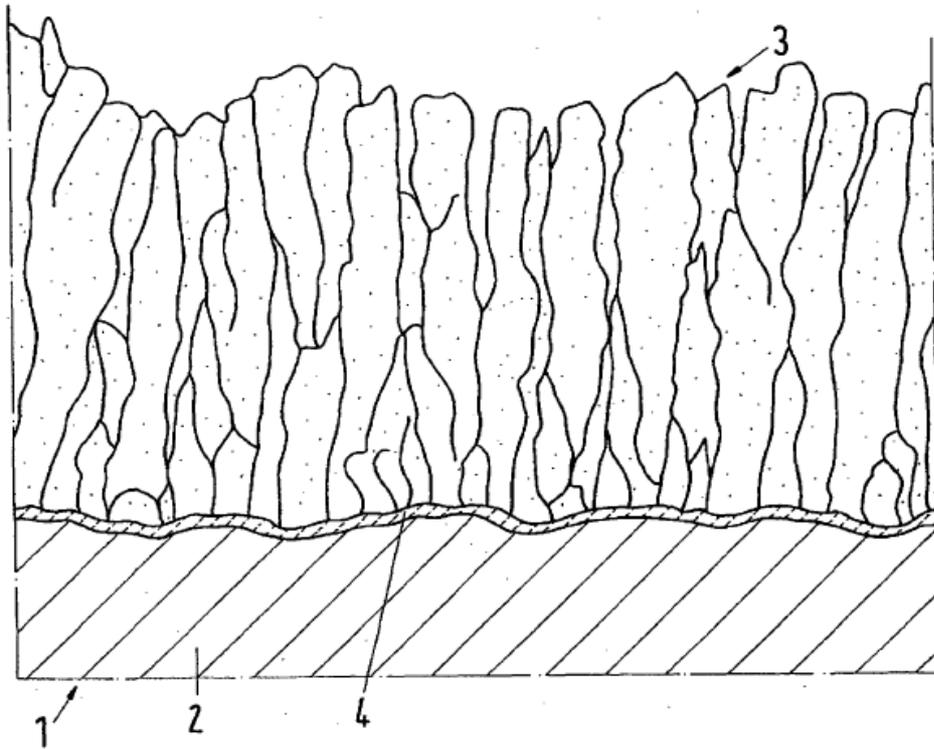


Fig.2

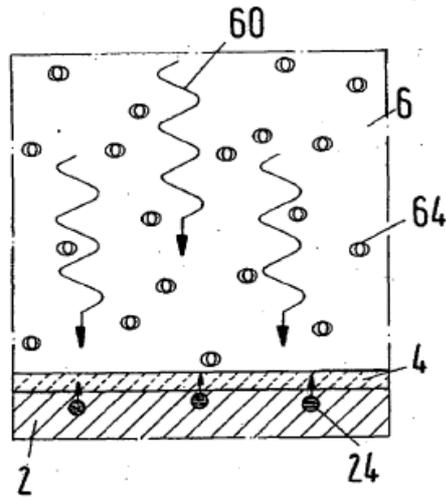


Fig.3

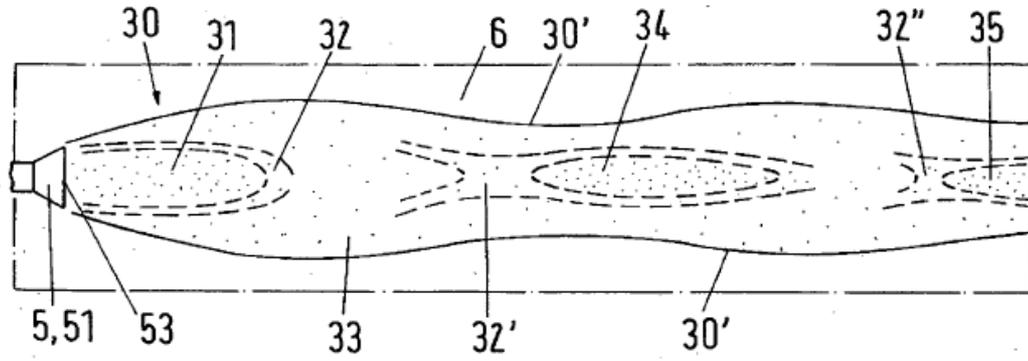


Fig.4

