

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 001 607**

(51) Int. Cl.:

**B22F 9/08** (2006.01)  
**B33Y 80/00** (2015.01)  
**C22C 1/04** (2013.01)  
**H05B 6/18** (2006.01)  
**H05B 6/36** (2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- (86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2020 PCT/EP2020/072635**  
(87) Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2021 WO21028476**  
(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2020 E 20754761 (3)**  
(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 3983154**

---

(54) Título: **Bobina EIGA con espiras anulares**

(30) Prioridad:

**15.08.2019 DE 102019121998**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.03.2025**

(73) Titular/es:

**ALD VACUUM TECHNOLOGIES GMBH (100.00%)  
Otto-von-Guericke-Platz 1  
63457 Hanau, DE**

(72) Inventor/es:

**SPITANS, SERGEJS;  
WINTON, MARKUS;  
PFAHLS, FRANZ;  
FRANZ, HENRIK y  
RADTKE, HANS-JÜRGEN**

(74) Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 3 001 607 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

### Bobina EIGA con espiras anulares

La presente invención se refiere a una bobina EIGA (EIGA, inglés: "Electrode Induction Melting (Inert) Gas Atomization") para fundir un electrodo para la producción de polvo de metal puro y de alta calidad. Una bobina EIGA se refiere a una bobina de inducción para un sistema EIGA para llevar a cabo un proceso EIGA. La presente invención se refiere además a un dispositivo para llevar a cabo un proceso EIGA y un proceso EIGA para producir polvo metálico de alta pureza.

### Antecedentes de la invención

El proceso EIGA para la producción libre de cerámica de polvos de metales o metales preciosos de alta pureza, como por ejemplo polvos de aleaciones de titanio, circonio, niobio y tantalio, se basa en la realización de un proceso de fundido por inducción de electrodos. Un electrodo giratorio suspendido verticalmente se alimenta continuamente bajo vacío o en una atmósfera de gas inerte a una bobina de inducción cónica dispuesta debajo (bobina EIGA) y se funde o se derrite sin contacto. El movimiento de rotación del electrodo alrededor de su propio eje longitudinal garantiza en este caso un fundido uniforme del electrodo. A continuación, un chorro de masa fundida generada por el fundido o derretimiento fluye a través de una tobera de gas inerte dispuesta debajo de la bobina de inducción (bobina EIGA) y aquí se atomiza y pulveriza. A continuación, la niebla de microgotas se solidifica en la torre de atomización situada detrás y forma un polvo de grano fino y forma esférica. El polvo formado se captura y recoge en un recipiente hermético sellado al vacío.

Para el proceso EIGA se pueden utilizar electrodos de barra fabricados del metal deseado o de una aleación especial. En particular, estos electrodos pueden tener un diámetro de hasta 150 mm y una longitud de hasta 1000 mm.

La forma cónica de la bobina EIGA (bobina de inducción) y una frecuencia del generador configurada están optimizadas para el fundido del electrodo y el goteo de la masa fundida desde un extremo del electrodo. Las bobinas EIGA convencionales están diseñadas en forma de hélice cónica o de línea helicoidal que transcurre de forma cónica. En la práctica, un tubo de cobre, que forma las espiras de la bobina EIGA, se enrolla sobre una forma predefinida.

Un proceso EIGA del tipo descrito y un sistema EIGA asociado se divultan, por ejemplo, en el documento DE 41 02 101 A1.

El documento WO 2015/092008 A1 se refiere al fundido de un material sin crisol y la atomización del material fundido para producir polvo. En una realización, una bobina de inducción utilizada para fundir una varilla de material comprende una pluralidad de espiras conectadas eléctricamente en paralelo en forma de manguitos, cuyas superficies interior y exterior forman cada una secciones de cono, y cada una de las cuales tiene una sección transversal en la forma de un paralelogramo y están equidistantes entre sí en la dirección del eje de la bobina.

El documento WO 2019/002122 A1 se refiere a la producción de un componente que contiene cobre mediante sinterización selectiva por láser.

Al realizar el proceso EIGA, en los sistemas EIGA conocidos puede ocurrir que gotas de metal fundido procedentes del electrodo no caigan exactamente a través de la tobera de gas inerte. En cambio, algunas gotas caen, por ejemplo, sobre el borde o un marco de la tobera de gas inerte frío, se solidifican allí y, en determinadas circunstancias, pueden bloquear parcial o completamente la tobera. Las gotas derretidas también pueden golpear la bobina de inducción y provocar un cortocircuito que interrumpe el proceso.

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es superar las desventajas de la técnica anterior. En particular, un objeto de la invención es proporcionar una bobina EIGA, un dispositivo para llevar a cabo un proceso EIGA y un método para producir polvo metálico de alta pureza, que eviten la contaminación y/o daño al sistema EIGA por gotas derretidas del electrodo.

Las tareas se resuelven mediante una bobina EIGA para fundir un electrodo, un dispositivo para llevar a cabo un proceso EIGA y un método para producir polvo metálico de alta pureza según las reivindicaciones de patente independientes. Otros desarrollos y formas de realización de la bobina EIGA, el dispositivo y el método son el objeto de las reivindicaciones subordinadas y de la descripción siguiente.

### Descripción de la invención

La invención está definida por las reivindicaciones independientes adjuntas. En las reivindicaciones subordinadas se definen configuraciones ventajosas de la invención.

La bobina EIGA según la invención para fundir y derretir un electrodo comprende varias espiras dispuestas coaxialmente entre sí y separadas axialmente entre sí con respecto a un eje central de la bobina EIGA. El eje central de la bobina EIGA es coaxial con un eje longitudinal del electrodo.

Para los fines de la presente invención, el término bobina EIGA se refiere a una bobina de inducción para un sistema

EIGA o para llevar a cabo un proceso EIGA. La bobina EIGA puede comprender al menos dos espiras, preferentemente al menos tres espiras o incluso más de tres espiras.

Según la invención, cada una de las varias espiras está configurada en forma de un anillo interrumpido por una ranura. La bobina EIGA comprende así un número de anillos correspondiente al número de espiras, estando cada uno de los anillos interrumpido por una ranura de pequeña anchura y por tanto no cerrado. Más específicamente, cada uno de los anillos es un segmento de anillo que tiene un primer extremo y un segundo extremo, estando la ranura asociada entre los dos extremos del segmento de anillo. Dado que cada segmento de anillo forma un anillo casi completo debido a la muy pequeña anchura de la ranura asociada, éste se extiende en el marco del plano perpendicular, mediante la bobina EIGA según la invención se pueden generar fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas, que actúan sobre el electrodo. Dado que estas fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas que actúan sobre el electrodo se equilibran entre sí, se evita la desviación lateral del electrodo y el electrodo permanece coaxial con el eje central de la bobina EIGA durante todo el proceso EIGA. De este modo se garantiza que una punta inferior del electrodo, que se funde con la bobina EIGA, permanece exactamente orientada sobre el centro de la tobera de gas inerte, de modo que un chorro de masa fundida generado o una gota de metal fundido siempre cae por el centro de la tobera, sin que el borde de la tobera se toque.

En la estructura helicoidal de la bobina EIGA conocida por el estado de la técnica, las secciones de espira opuestas presentan distancias diferentes al electrodo. Los inventores de la presente invención han reconocido que las fuerzas de Lorentz generadas por dichas bobinas EIGA y que actúan sobre el electrodo son, por tanto, azimutalmente asimétricas y desvían el electrodo de su orientación vertical. Esto crea un ángulo de desviación entre el eje central de la bobina EIGA y el eje longitudinal del electrodo. La punta inferior del electrodo ya no se encuentra centrada sobre la tobera de gas inerte. De este modo, las gotas fundidas del electrodo pueden golpear el borde o un marco de la tobera de gas inerte frío, solidificarse allí y, en determinadas circunstancias, bloquear parcial o completamente la tobera. Las gotas derretidas también pueden golpear la bobina de inducción y contaminarla o provocar un cortocircuito. También puede ocurrir que el propio electrodo entre en contacto con la bobina EIGA, lo que puede provocar un cortocircuito. Estos efectos negativos se intensifican aún más porque el electrodo gira continuamente alrededor del eje longitudinal desviado. Estos inconvenientes pueden reducirse mediante la bobina EIGA según la invención y las fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas que se pueden generar con ella y que actúan sobre el electrodo.

En un perfeccionamiento de la bobina EIGA, el tramo de conexión puede extenderse en un plano del eje central, es decir, en un plano en donde se encuentra el eje central vertical de la bobina EIGA. El tramo de conexión puede extenderse, por ejemplo, paralelo al eje central de la bobina EIGA. La sección de conexión puede extenderse en ángulo recto con respecto a los planos de las espiras. En particular, cada una de las secciones de conexión, que conectan respectivamente espiras adyacentes, puede extenderse con respecto al eje central de la bobina EIGA de la manera descrita anteriormente. En el estado montado, las espiras pueden extenderse, por ejemplo, en dirección horizontal y/o los tramos de unión, por ejemplo, en dirección vertical.

Según la invención, la ranura tiene una anchura de entre 0,5 mm y 30 mm, preferentemente entre 2 mm y 20 mm, más preferentemente entre 5 mm y 10 mm. La ranura puede tener una anchura de al menos 0,5 mm, en particular de al menos 2 mm, preferentemente de al menos 5 mm. La ranura es de 30 mm o menos, en particular de 20 mm o menos, preferiblemente de 10 mm o menos. La anchura de la ranura se refiere aquí a la distancia entre el primer extremo y el segundo extremo de la espira correspondiente o del anillo asociado. Los rangos anteriores de anchos de ranura se pueden aplicar al espacio de cada espira de la bobina EIGA. Las ranuras de las distintas espiras pueden tener la misma anchura o diferentes anchuras. Un ancho de ranura entre 0,5 mm y 30 mm, preferiblemente entre 2 mm y 20 mm, más preferiblemente entre 5 mm y 10 mm puede garantizar que la disposición general de la bobina EIGA sea suficientemente azimutalmente simétrica para garantizar la aplicación sustancial y suficientemente azimutalmente simétrica de las fuerzas de Lorentz sobre el electrodo.

Una espira de la pluralidad de espiras de la bobina EIGA que tenga el mayor diámetro interior puede tener un diámetro interior entre 40 mm y 300 mm. Las dimensiones de las espiras de la bobina EIGA, en particular las dimensiones de la espira superior de la bobina EIGA, es decir, la espira más cercana a la suspensión del electrodo, se pueden seleccionar dependiendo de las dimensiones del electrodo a fundir. Una espira de la pluralidad de espiras que tenga el diámetro interior más pequeño puede tener un diámetro interior entre 10 mm y 100 mm, preferiblemente entre 20 mm y 50 mm. La espira con el diámetro interior más pequeño puede tener un diámetro interior de al menos 10 mm, preferentemente de al menos 20 mm. La espira con el diámetro interior más pequeño puede tener un diámetro interior de 100 mm o menos, preferiblemente 50 mm o menos. Se entiende que las bobinas EIGA con espiras de diámetro interior comparativamente grande pueden tener anchos de ranura comparativamente grandes dentro de los rangos definidos anteriormente. Por consiguiente, las bobinas EIGA con espiras de diámetro interior comparativamente pequeño pueden tener anchuras de ranura comparativamente pequeñas dentro de los intervalos definidos anteriormente.

En un perfeccionamiento, la bobina EIGA puede presentar diferentes geometrías de sección transversal en cuanto a forma y/o dimensiones. Según la invención, la bobina EIGA presenta secciones con una sección transversal ovalada, circular, rectangular, cuadrada o de otro tipo. Por ejemplo, la geometría de la sección transversal de la bobina EIGA puede variar en forma y/o dimensiones dentro de la misma espira o entre diferentes espiras.

En particular, la bobina EIGA puede estar fabricada de material de cobre libre de cerámica.

La bobina EIGA se puede fabricar mediante un proceso de fabricación aditiva. En particular, la bobina EIGA se puede producir mediante un proceso de impresión 3D, por ejemplo, mediante un proceso de fundido por láser selectivo. Alternativamente, la bobina EIGA se puede fabricar usando un proceso de fundido por haz de electrones, inyección de aglutinante u otro proceso de fabricación aditiva. La fabricación de la bobina EIGA según la invención mediante un proceso de fabricación aditiva se manifiesta especialmente en el hecho de que se pueden conseguir anchuras de ranura de los anillos muy pequeñas. Además, utilizando un proceso de fabricación aditiva, se pueden formar secciones de conexión entre espiras adyacentes que se extienden perpendicularmente a las espiras. Ninguno de estos puede lograrse con los procesos de fabricación convencionales para bobinas EIGA. En los procesos de fabricación convencionales de bobinas EIGA, se doblan tubos de cobre rellenos de arena siguiendo una forma predefinida para formar las espiras de la bobina EIGA, lo que, sin embargo, limita gravemente la forma de las espiras. Un aspecto adicional de la invención se refiere a un dispositivo o sistema EIGA para llevar a cabo un proceso EIGA. El dispositivo comprende una bobina EIGA del tipo descrito anteriormente. El dispositivo comprende además un electrodo hecho de metal a fundir o de aleación de metal a fundir, que está dispuesto coaxialmente a la pluralidad de espiras y que se extiende en secciones dentro de la bobina EIGA y con respecto a un eje longitudinal del electrodo se puede desplazar a la bobina EIGA para fundirse usando la bobina EIGA. El electrodo también se puede girar alrededor de su eje longitudinal. Además, el dispositivo comprende una tobera o tobera de gas inerte dispuesta coaxialmente al electrodo y la pluralidad de espiras para pulverizar material de electrodo fundido.

El dispositivo puede comprender además una torre de atomización en donde el material del electrodo atomizado puede solidificarse para formar el polvo de grano fino, de forma esférica.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un proceso EIGA para producir polvo metálico de alta pureza. El procedimiento incluye los pasos:

- desplazar un electrodo con respecto a una bobina EIGA del tipo descrito anteriormente, mediante el cual el electrodo se introduce en secciones en el interior de la bobina EIGA;
- aplicar corriente alterna a la bobina EIGA para fundir el electrodo generando fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas con respecto a un eje longitudinal del electrodo; y
- pulverización de material de electrodo fundido mediante una tobera de gas inerte aguas abajo de la bobina EIGA.

El electrodo se puede girar alrededor de su eje longitudinal durante el procedimiento.

Aunque algunos aspectos y características sólo se han descrito en relación con la bobina EIGA, estos pueden valer en consecuencia para el dispositivo o sistema EIGA y/o el proceso EIGA, así como los desarrollos posteriores correspondientes y viceversa.

#### **Breve descripción de las figuras.**

A continuación se explican con más detalle formas de realización de la presente invención con referencia a las figuras esquemáticas adjuntas. Representan:

- 35 Fig. 1 una vista en perspectiva de una bobina EIGA según un ejemplo de realización.
- Fig. 2 una vista frontal de la bobina EIGA según el ejemplo de realización de la figura 1.
- Fig. 3 una vista lateral de la bobina EIGA según el ejemplo de realización de la figura 1.
- Fig. 4 una vista superior esquemática de la bobina EIGA según el ejemplo de realización de la figura 1.
- 40 Fig. 5 una representación esquemática de las secciones de conexión de una bobina EIGA según otro ejemplo de realización.
- Fig. 6 una representación en sección esquemática de una bobina EIGA según el ejemplo de realización de la fig. 1.
- Fig. 7 una representación en sección esquemática de un sistema EIGA según una realización ejemplar en un estado inicial.
- 45 Fig. 8 una representación esquemática en sección del sistema EIGA de la figura 9 en otro estado durante el funcionamiento.
- Fig. 9 una representación esquemática en sección de un sistema EIGA de la técnica anterior en un estado inicial.
- Fig. 10 una representación en sección esquemática del sistema EIGA de la figura 7 en estado desviado.

### Descripción de las figuras

Los mismos símbolos de referencia en las figuras indican elementos iguales, que actúan igual y/o análogos.

Las figuras 1 a 3 muestran un ejemplo de realización de la bobina EIGA 10 según la invención para fundir y derretir un electrodo en una vista en perspectiva (Fig. 1), una vista frontal (Fig. 2) y una vista lateral (Fig. 3). Además, la figura 5 4 también muestra una vista superior esquemática de la bobina EIGA 10.

La bobina EIGA 10, que es una bobina de inducción para un sistema EIGA para realizar un proceso EIGA, incluye una pluralidad de vueltas 12A, 12B, 12C. En la realización ejemplar mostrada, la bobina EIGA 10 comprende tres vueltas 12A, 12B, 12C. En otros ejemplos de realización, la bobina EIGA también puede comprender más de tres espiras.

10 Las espiras 12A, 12B, 12C están dispuestas coaxialmente con respecto a un eje central M de la bobina EIGA 10. Además, las espiras 12A, 12B, 12C están espaciadas axialmente entre sí cuando se ven en la dirección del eje central M. Cada una de las espiras 12A, 12B, 12C tiene diferentes diámetros interior y exterior, teniendo la espira más superior 12A en las figuras 1 a 3 el diámetro interior y exterior más grande de las tres espiras 12A, 12B, 12C y la espira más baja 12C en las figuras 1 a 3 tiene el diámetro interior y exterior más pequeño de los tres devanados 12A, 12B, 12C. Los diámetros interior y exterior de la espira media 12B dispuesta entre la espira superior 12A y la espira inferior 12C 15 están entre los diámetros interior y exterior de la espira superior 12A y la espira inferior 12C, respectivamente. Como resultado, la bobina EIGA 10 tiene una forma cónica vista en conjunto. Según la invención, al menos una de las espiras (12A, 12B, 12C) tiene en al menos una sección una sección transversal ovalada, circular, rectangular o cuadrada. En funcionamiento, la bobina EIGA 10 está dispuesta de modo que la espira superior 12A con el diámetro interior y exterior más grande esté orientada hacia una suspensión de electrodos (no mostrada) y la espira inferior 12B con el diámetro 20 interior y exterior más pequeño esté orientada hacia una tobera intergases (no mostrada). Los diámetros interiores a modo de ejemplo se cuantifican en relación con la fig. 6.

Cada una de las espiras 12A, 12B, 12C tiene la forma de un anillo, más precisamente de un toro anular, interrumpido por una ranura asociada 14A, 14B, 14C. En comparación con las dimensiones de la bobina EIGA 10, en particular con las dimensiones de las espiras 12A, 12B, 12C, las ranuras 14A, 14B, 14C tienen cada una una anchura B muy 25 pequeña. Cada una de las tres ranuras 14A, 14B, 14C puede tener, por ejemplo, una anchura B entre 0,5 mm y 30 mm. Preferiblemente, las ranuras 14A, 14B, 14C tienen cada uno al menos 2 mm de ancho para minimizar el riesgo de cortocircuitos y/o chispas. Dado que las ranuras 14A, 14B, 14C interrumpen los anillos 12A, 12B, 12C, éstos no 30 están cerrados, de modo que cada uno de los anillos 12A, 12B, 12C tiene un primer extremo 16A, 16B, 16C y un segundo extremo 18A, 18B, 18C. En el ejemplo de realización mostrado, las anchuras B de las tres ranuras 14A, 14B, 14C son iguales. Sin embargo, en ejemplos de realización alternativos las diferentes ranuras pueden tener también 35 diferentes anchuras.

Como se puede observar en las figuras 1 a 3 y en particular en la figura 4, cada uno de los anillos 12A, 12B, 12C es equidistante con respecto al eje central M de la bobina EIGA 10. En otras palabras, cada uno de los anillos 12A, 12B, 12C tiene sustancialmente la misma distancia desde el eje central M cuando se ve a lo largo de su superficie periférica 35 interior.

Además, se muestra en las figuras 1 a 4 que cada una de las espiras 12A, 12B, 12C o cada uno de los anillos 12A, 12B, 12C sólo está alineado en la dirección horizontal. Es decir, cada una de las espiras 12A, 12B, 12C se extiende 40 únicamente dentro de un plano perpendicular al eje central M, asociado a las respectivas espiras 12A, 12B, 12C, más precisamente en la misma orientación que este plano asociado. Las espiras 12A, 12B, 12C están alineadas paralelas entre sí. Esto representa una diferencia significativa con respecto a las bobinas EIGA convencionales con espiras helicoidales, donde las espiras se extienden helicoidalmente en las tres direcciones espaciales.

Dado que en la bobina EIGA 10 según la invención, cada una de las espiras 12A, 12B, 12C está alineada según un 45 plano asociado que es perpendicular al eje central M, y cada una de las espiras o cada uno de los anillos 12A, 12B, 12C es equidistante al eje central M, por medio de la bobina EIGA 10 según la invención se pueden generar fuerzas de Lorentz azimutales simétricas que actúan sobre los electrodos. Los efectos y ventajas resultantes se explican con más detalle a continuación en relación con las figuras 7 a 10.

Las espiras adyacentes 12A y 12B o 12B y 12C de la bobina EIGA 10 están conectadas entre sí a través de una 50 sección de conexión 20AB, 20BC. Más específicamente, la sección de conexión 20AB conecta el segundo extremo 18A de la espira 12A al primer extremo 16B de la espira 12B. En consecuencia, la sección de conexión 20BC conecta el segundo extremo 18B de la espira 12B al primer extremo 16C de la espira 12C. En el ejemplo de realización de la figura 1, las secciones de conexión 20AB, 20BC tienen una disposición que se extiende transversalmente con respecto al eje central M. Sin embargo, en otros ejemplos de realización se puede prever preferentemente otra orientación de las secciones de conexión, lo que se describe con más detalle en relación con la figura 5.

55 El primer extremo 16A de la espira superior 12A y el segundo extremo 18C de la espira inferior 12C están conectados cada uno a través de una sección de conexión 22A, 22C a una fuente de voltaje para aplicar un voltaje alterno a la bobina EIGA 10.

Las espiras 12A, 12B, 12C, las secciones de conexión 20AB, 20BC y las secciones de conexión 22A, 22C están

hechas de material de cobre libre de cerámica. En particular, las espiras 12A, 12B, 12C, las secciones de conexión 20AB, 20BC y las secciones de conexión 22A, 22C de la bobina EIGA 10 del ejemplo de realización mostrado son cilíndricos huecos.

5 Como puede verse en la fig. 1, las secciones de conexión 20AB, 20BC tienen una geometría de sección transversal diferente a la de las espiras 12A, 12B, 12C. Sin embargo, en otros ejemplos de realización las espiras y las secciones de conexión pueden presentar también la misma geometría de sección transversal.

10 La figura 5 muestra una representación esquemática de una sección ampliada de la bobina EIGA según otro ejemplo de realización. El detalle ampliado muestra una configuración especial de las secciones de conexión 120AB, 120BC, según la cual las secciones de conexión 120AB, 120BC se extienden cada una en el plano del eje central M y, por tanto, esencialmente perpendiculares a las espiras 12A, 12B, 12C. Por lo tanto, las espiras 12A, 12B, 12C se extienden horizontalmente en funcionamiento y como se muestra, mientras que las secciones de conexión 120AB, 120BC se extienden verticalmente. Este diseño estructural de las secciones de conexión 120AB, 120BC en una dirección perpendicular a las espiras 12A, 12B, 12C hace posible proporcionar una bobina EIGA con ranuras 14A, 14B, 14C de una anchura B particularmente pequeña. Al proporcionar una anchura B especialmente estrecha de la ranura 14A, 14B, 14C las espiras 12A, 12B, 12C pueden estar configuradas en forma de anillos sólo ligeramente interrumpidos y, por tanto, casi completos, lo que aumenta la simetría de la disposición global y mejora aún más la aplicación de fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas al electrodo.

15 La figura 6 muestra una vista en sección esquemática de una bobina EIGA 10 según los ejemplos de realización anteriores. En la bobina EIGA 10 de la fig. 6, la espira superior 12A tiene el diámetro interior L1 más grande de la pluralidad de espiras 12A, 12B, 12C con una cantidad de hasta 300 mm. La espira inferior 12C tiene el diámetro interior L3 más pequeño de la pluralidad de espiras 12A, 12B, 12C en una cantidad de al menos 10 mm.

20 La bobina EIGA 10 tiene una forma cónica en general debido a la disposición mostrada de las espiras coaxiales y espaciadas axialmente 12A, 12B, 12C con diferentes diámetros. Dos líneas K1 y K2 reflejadas en el eje central M, cada una de las cuales pasa por los centros P de las secciones transversales verticales de las espiras 12A, 12B, 12C, abarcan un ángulo  $\beta$  entre  $30^\circ$  y  $180^\circ$ , preferiblemente  $90^\circ$ . Los puntos medios P, por los que discurre la recta K1, están frente a los puntos medios P, a través de los cuales discurre la línea K2, en relación al eje central M.

25 La figura 7 muestra una representación en sección esquemática de un sistema EIGA 30 para llevar a cabo un proceso EIGA, que comprende una bobina EIGA 10, un electrodo 40 con un eje longitudinal A y una tobera de gas inerte 50. En la fig. 7, el sistema EIGA está en un estado inicial en un momento  $t = 0$ , que corresponde al momento en que la bobina EIGA 10 se enciende por primera vez. Para mejorar la representación de la alineación de los componentes del sistema EIGA entre sí, en las figs. 7 a 10 se muestra con líneas discontinuas un cono imaginario C formado por las espiras de la bobina EIGA.

30 El electrodo 40 es un electrodo de barra hecho de un metal o una aleación metálica que incluye una punta inferior 42. El electrodo 40 se extiende en el interior de la bobina EIGA 10 en la zona de la punta inferior 42 para ser fundido o derretido mediante la bobina EIGA 10 a la que se aplica corriente alterna. El electrodo 40 es coaxial con las espiras 12A, 12B, 12C de la bobina EIGA 10, es decir, el eje longitudinal A del electrodo 40 está alineado con el eje central M de la bobina EIGA. Durante el proceso EIGA, el electrodo 40 puede ser seguido continuamente a lo largo de su eje longitudinal A en la dirección de la tobera de gas inerte 50, según el volumen fundido, que está indicado por la flecha P1. Además, el electrodo 40 se puede girar alrededor de su eje longitudinal A durante el proceso EIGA para garantizar un fundido uniforme, lo que se indica con la flecha P2.

35 La tobera de gas inerte 50 se encuentra detrás de la bobina EIGA 10 y del electrodo 40, es decir, en la representación mostrada debajo de ella. La tobera de gas inerte 50 incluye una abertura 52 que también es coaxial con el electrodo 40 y las espiras 12A, 12B, 12C de la bobina EIGA 10. En otras palabras, el eje longitudinal A del electrodo 40 y el eje central M de la bobina EIGA 10 discurren exactamente a través del centro de la abertura 52 de la tobera de gas inerte 50.

40 45 Como puede verse en la fig. 7, la espira 12A tiene la misma distancia mínima  $h_l, h_r$  en todos los puntos de la espira 12A del electrodo 40. Esto se debe a la alineación coaxial del electrodo 40 y la bobina EIGA 10 así como a la extensión de las espiras 12A, 12B, 12C en un plano perpendicular al eje central M. Lo mismo se aplica también a la espira 12B y a la espira 12C de la bobina EIGA 10, que también se muestra en la figura 7, pero que no se ilustra mediante símbolos de referencia por razones de visión general.

50 55 Debido a la separación uniforme de las espiras 12A, 12B, 12C del electrodo 40, la bobina EIGA 10 genera fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas que actúan sobre el electrodo 40. Las fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas se ilustran con las flechas LK1 y LK2 de la misma longitud. Las asimetrías introducidas por la ranura son despreciables debido a la muy pequeña anchura de la ranura.

La figura 8 muestra el sistema EIGA 30 de la figura 7 en un momento posterior  $t = n$ , durante un proceso de fundido en donde una masa de fundida casi continuo de gotas 44 de material fundido gotea o fluye desde el electrodo 40 debido al fundido del electrodo 40. Dado que las fuerzas de Lorentz generadas por la bobina EIGA 10 son azimutalmente simétricas con respecto al electrodo 40, las fuerzas de Lorentz que actúan sobre el electrodo 40 se cancelan entre sí, de modo que el electrodo 40 continúa funcionando en el estado mostrado en la figura 8 está alineado

con el estado inicial. Por lo tanto, el electrodo 40 no se desvía con respecto al eje central M, sino que permanece alineado coaxialmente con la bobina EIGA durante todo el proceso EIGA. Por consiguiente, el electrodo 40 también permanece alineado coaxialmente con la tobera de gas inerte 50 durante el fundido. Por lo tanto, el chorro de masa fundida o las gotas 40 siempre caen centralmente a través de la abertura 52 de la tobera de gas inerte 50 en dirección vertical (a lo largo del eje longitudinal A o del eje central M) y por lo tanto no entran en contacto con la pared de la tobera de gas inerte 50 o las espiras 12A, 12B, 12C de la bobina EIGA 10. Esto aumenta la seguridad del proceso y reduce la posible contaminación o daño al sistema EIGA 30.

Las gotas 44 que caen a través de la tobera de gas inerte 50 se pulverizan mediante la tobera de gas inerte 50 y luego se solidifican en una torre de atomización conectada a continuación. Como resultado, las gotas solidificadas forman un polvo de grano fino, de forma esférica, que se recoge y se recolecta en un recipiente hermético al vacío.

Las ventajas de la bobina EIGA 10 según la invención en comparación con el estado de la técnica se pueden ver considerando las figuras 9 y 10, que muestran un sistema EIGA 70 convencional en los estados operativos mostrados en las figuras 7 y 8.

El sistema EIGA 70 de la técnica anterior incluye una bobina EIGA helicoidal 72, un electrodo 74 y una tobera de gas inerte 76. En el estado inicial t = 0 mostrado en la fig. 9, la bobina EIGA 72, el electrodo 74 y la tobera de gas inerte 76 están alineados coaxialmente entre sí. Es decir, un eje central V de la bobina EIGA 72 se encuentra con un eje longitudinal W del electrodo 74 en una línea que se extiende a través del centro de la tobera de gas inerte 76.

A diferencia de la disposición según la invención, las espiras de la bobina EIGA 72 del estado de la técnica tienen distancias diferentes al electrodo 74 debido a la estructura helicoidal de la bobina EIGA 72. Esto se ejemplifica mediante las distancias  $h_{0h}$  y  $h_p$  ejemplificado. Las diferentes distancias entre las espiras del electrodo 74 conducen a fuerzas de Lorentz que actúan sobre el electrodo 74 a diferentes intensidades, es decir, a una asimetría azimutal de las fuerzas de Lorentz. Esto se ilustra en las figuras 9 y 10 mediante las flechas LK3 y LK4 de diferentes longitudes.

La asimetría azimutal descrita de las fuerzas de Lorentz que actúan sobre el electrodo 74 conduce a una desviación del electrodo 74, más precisamente del eje longitudinal W del electrodo 74, en el ángulo  $\alpha$ . Esto se puede ver en la fig. 10, que muestra el sistema EIGA 70 de la fig. 9 en un momento posterior t = n durante un proceso de fundido.

En el estado mostrado, las gotas 78 de material fundido, formando una masa fundida, caen en dirección vertical desde el electrodo 74, que se desvía según el ángulo  $\alpha$ , en dirección a la tobera de gas inerte 76. Debido a la desviación, las gotas 78 o el chorro de masa fundida no caen centralmente a través de la abertura de la tobera de gas inerte 76, sino desviados del eje central V. Esto puede conducir a que las gotas 78 caigan sobre un borde de la tobera de gas inerte 76, solidifiquen allí y, en determinadas circunstancias, cierren total o parcialmente la abertura de la tobera de gas inerte 76. El efecto negativo puede intensificarse aún más mediante la rotación habitual del electrodo 74. Debido a la desviación del electrodo 74 también puede ocurrir que las gotas 78 o el propio electrodo 74 entren en contacto con las espiras de la bobina EIGA 72, lo que puede provocar cortocircuitos y daños en el sistema EIGA 70.

Estos inconvenientes se pueden reducir eficazmente mediante la bobina EIGA según la invención y las fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas que se pueden generar con ella y que actúan sobre el electrodo.

#### **Lista de símbolos de referencia**

10	bobina EIGA	70	sistema EIGA (Estado de la técnica)
12A, 12B, 12C	espira	72	bobina EIGA (Estado de la técnica)
14A, 14B, 14C	ranura	74	electrodo (Estado de la técnica)
16A, 16B, 16C	primer extremo de la espira	76	tobera de gas inerte (Estado de la técnica)
18A, 18B, 18C	segundo extremo de la espira	78	gotas (Estado de la técnica)
20AB, 20BC	sección de conexión	V	eje central (Estado de la técnica)
22A, 22B	sección de conexión	W	eje longitudinal (Estado de la técnica)
120AB, 120BC	sección de conexión	$\alpha$	Ángulo de deflexión (Estado de la técnica)
30	sistema EIGA	LK3, LK4	fuerzas de Lorentz (Estado de la técnica)
32	abertura de salida	$h_0, h_p$	distancias (Estado de la técnica)
40	electrodo		
42	punta del electrodo		
44	gotas		
50	tobera de gas inerte		

# ES 3 001 607 T3

52	abertura		
M	eje central		
B	ancho		
K1, K2	líneas		
P	punto central		
L1	diámetro interior más grande		
L3	diámetro interior más pequeño		
$\beta$	ángulo abarcado		
P1	movimiento de seguimiento de flecha		
P2	movimiento de rotación de flecha		
A	eje longitudinal		
C	cono imaginario		
LK1, LK2	fuerzas de Lorentz		
$h_i, h_r$	distancias		

**REIVINDICACIONES**

1. Bobina EIGA (10) para fundir un electrodo (40), que comprende una pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) dispuestas coaxialmente entre sí y espaciadas axialmente entre sí con respecto a un eje central (M), en donde
  - 5 cada una de la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) está formada en forma de un anillo interrumpido por una ranura (14A, 14B, 14C) que es equidistante con respecto al eje central (M) y se extiende en un plano perpendicular al eje central (M), y en donde
    - 10 las espiras adyacentes (12A, 12B, 12C) de la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) están conectadas entre sí respectivamente a través de una sección de conexión (20AB, 20BC; 120AB, 120BC), y
      - 15 caracterizada por que
        - 20 al menos una de las espiras (12A, 12B, 12C) presenta una sección transversal ovalada, circular, rectangular o cuadrada en al menos una sección, y la ranura (14A, 14B, 14C) tiene una anchura comprendida entre 0,5 mm y 30 mm.
        - 25 2. Bobina EIGA (10) según la reivindicación 1, en donde al menos dos espiras (12A, 12B, 12C) de la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) tienen diferentes diámetros internos (L1, L3).
        - 30 3. Bobina EIGA (10) según la reivindicación 1 o 2, en donde la sección de conexión (120AB, 120BC) se extiende paralela al eje central (M).
        - 35 4. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el hueco (14A, 14B, 14C) tiene un ancho comprendido entre 2 mm y 20 mm, preferiblemente entre 5 mm y 10 mm.
        - 40 5. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una espira (12A) de la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) que tiene el diámetro interior más grande (L1) tiene un diámetro interior entre 40 mm y 300 mm.
        - 45 6. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una espira (12C) de la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) que tiene el diámetro interior más pequeño (L3) tiene un diámetro interior entre 10 mm y 100 mm, preferiblemente entre 20 mm y 50 mm.
        - 50 7. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que presenta diferentes geometrías de sección transversal con respecto a la forma y/o dimensiones.
        - 55 8. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que está hecha de material de cobre libre de cerámica.
        - 60 9. Bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se fabrica mediante un proceso de fabricación aditiva, preferiblemente mediante un proceso de impresión 3D.
        - 65 10. Dispositivo (30) para realizar un proceso EIGA, que comprende:
          - una bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores;
          - un electrodo (40) que está dispuesto coaxialmente con la pluralidad de espiras (12A, 12B, 12C) y se extiende en secciones dentro de la bobina EIGA (10) y puede desplazarse a lo largo de un eje longitudinal (A) del electrodo (40) con respecto a la bobina EIGA (10) para fundirse por medio de la bobina EIGA (10); y
        - 70 11. Método de producción de polvo metálico de alta pureza, que comprende los pasos:
          - desplazar un electrodo (40) con respecto a una bobina EIGA (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
          - aplicar corriente alterna a la bobina EIGA (10) para fundir el electrodo (40) generando fuerzas de Lorentz azimutalmente simétricas (LK1, LK2) con respecto a un eje longitudinal (A) del electrodo (40); y
          - atomizar el material del electrodo fundido (44).

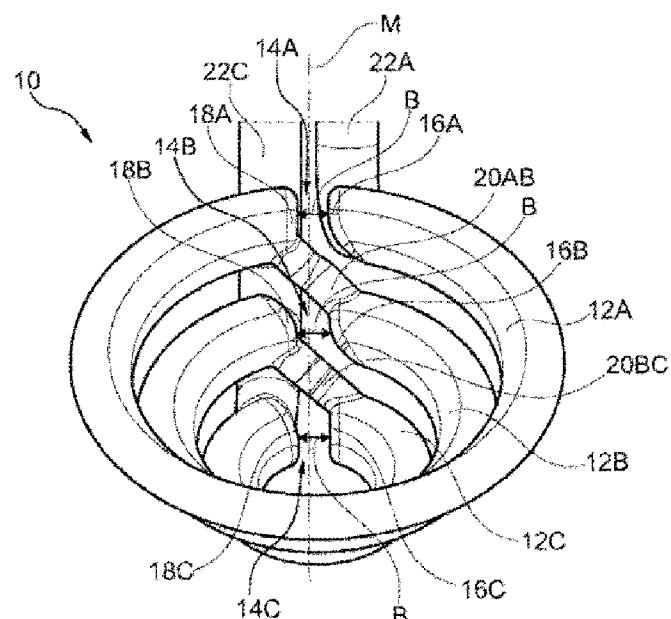


Fig. 1

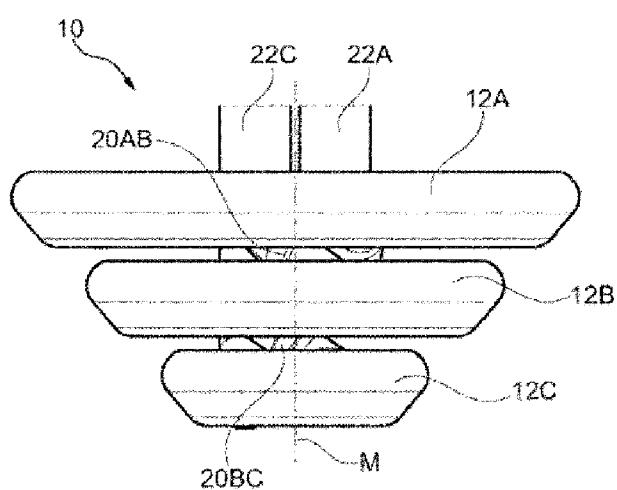


Fig. 2

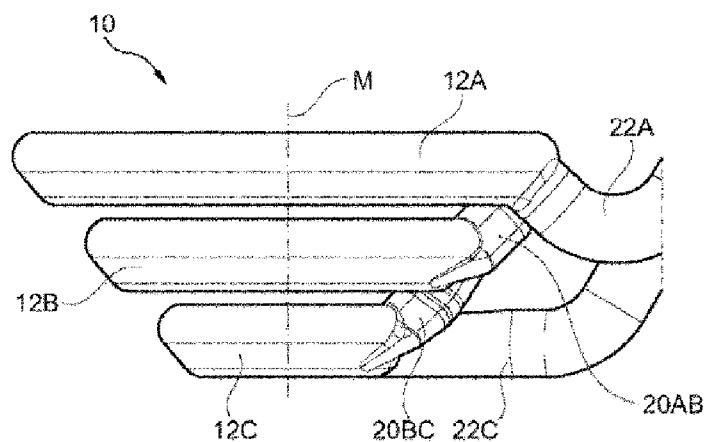


Fig. 3

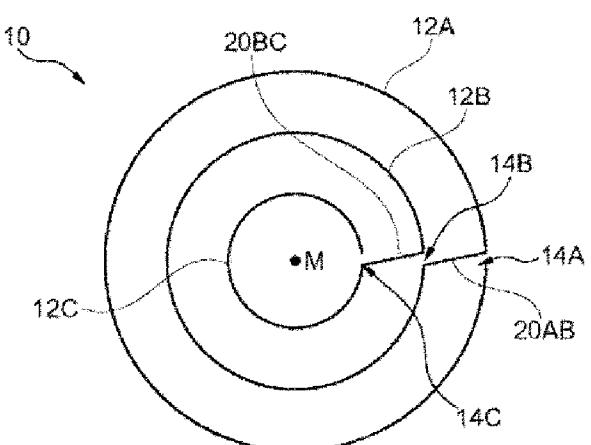


Fig. 4

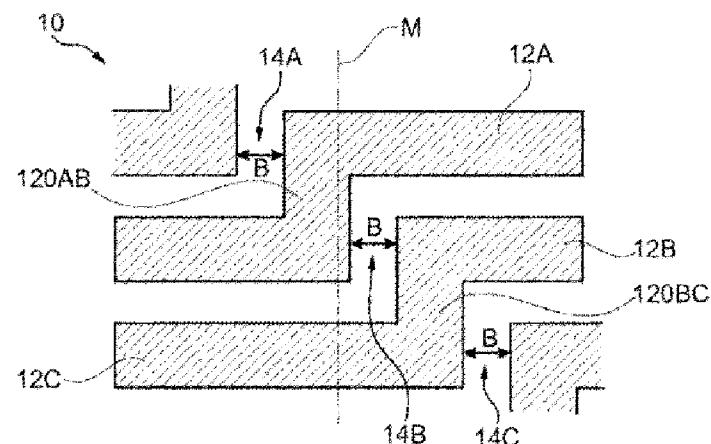


Fig. 5

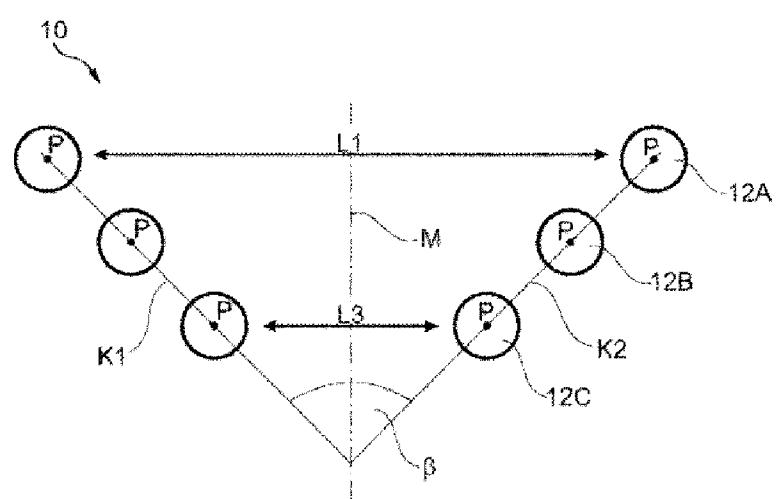


Fig. 6

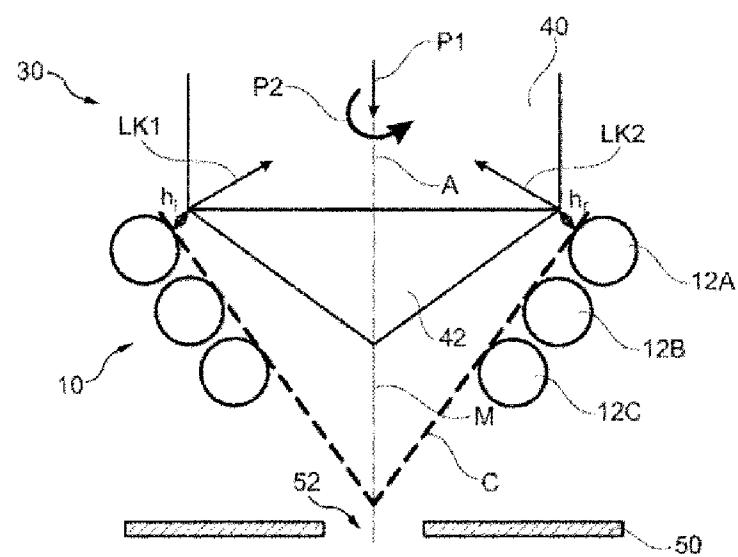


Fig. 7

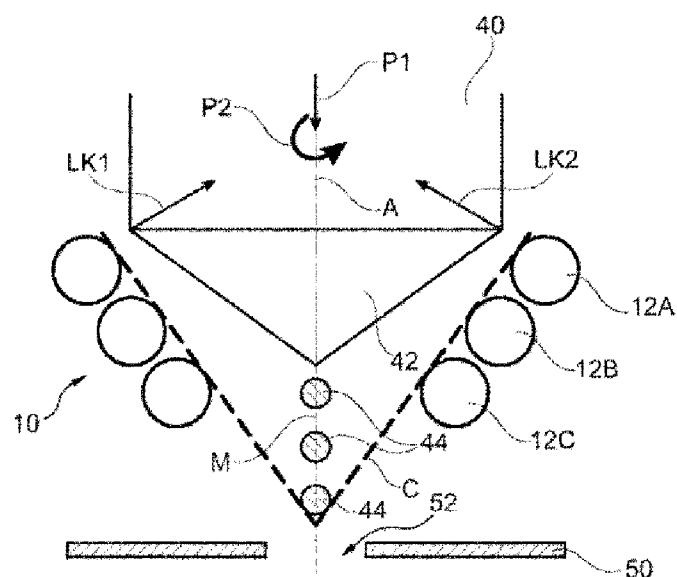


Fig. 8

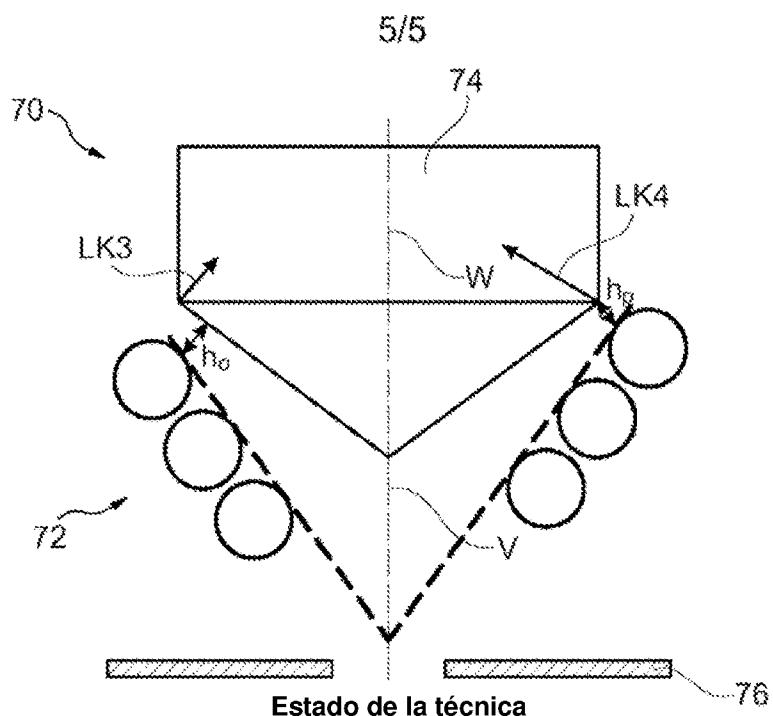


Fig. 9

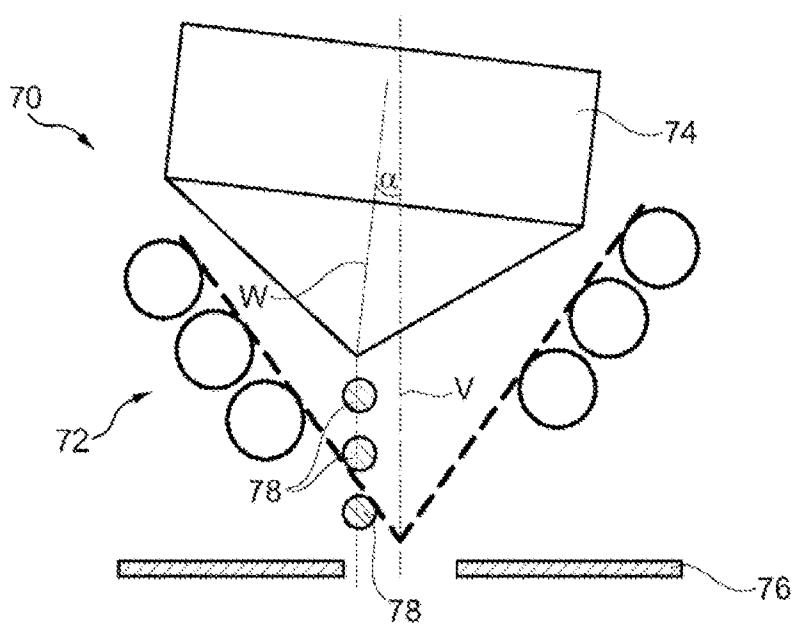


Fig. 10