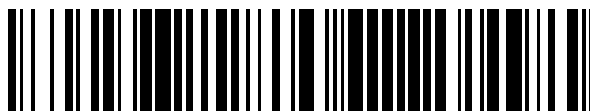


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 627**

51 Int. Cl.:

B22F 3/087 (2006.01)

B01J 19/08 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

B30B 11/00 (2006.01)

B22F 3/16 (2006.01)

C22C 21/00 (2006.01)

C22C 29/08 (2006.01)

C22C 29/10 (2006.01)

C22C 32/00 (2006.01)

C22C 14/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2016** **E 16382069 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019** **EP 3208015**

54 Título: **Método para sinterizar polvos eléctricamente conductores**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.01.2020

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN TECNALIA RESEARCH &
INNOVATION (50.0%)**
**Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, C/
Geldo, Edificio 700**
48160 Derio, ES y
UNIVERSIDAD DE SEVILLA (50.0%)

72 Inventor/es:

MONTES MARTOS, JUAN MANUEL;
CINTAS FÍSICO, JESÚS;
GALLARDO FUENTES, JOSÉ MARÍA;
DE PAULA GÓMEZ CUEVAS, FRANCISCO;
TORRES HERNÁNDEZ, YADIR;
AGOTE BELOQUI, ÍÑIGO;
LAGOS GÓMEZ, MIGUEL ÁNGEL y
IRAZUSTA ARRUTI, AITOR

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

Observaciones:

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o
Bemerkungen) en el folleto original publicado por
la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 738 627 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

Método para sinterizar polvos eléctricamente conductores

5 Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de los métodos para obtener piezas sinterizadas, que consisten en la aplicación de calor y presión a los polvos para obtener finalmente piezas densas, en particular en los que el calor se obtiene a través de corrientes eléctricas que se fuerzan a pasar a través de polvos conductores.

10 Estado de la técnica

La sinterización asistida por corriente eléctrica (ECAS, por sus siglas en inglés, electric current assisted sintering) reúne una familia de métodos de consolidación en los que la presión mecánica se combina con campos eléctricos y térmicos para mejorar la unión y densificación entre partículas. Los materiales de partida pueden estar en forma de polvos o de compactos en verde. El fin principal de las corrientes eléctricas impuestas es proporcionar la cantidad requerida de calor resistivo.

Las técnicas de ECAS pueden clasificarse con respecto al tiempo de descarga. Convencionalmente, puede asumirse un tiempo de descarga de 0,1 s como el umbral entre la ECAS rápida y la ultrarrápida. Sin embargo, debe evitarse la confusión entre el término rápido (fast en inglés) descrito en el presente documento y el acrónimo FAST (técnica de sinterización activada/asistida por campo) que se encuentra con frecuencia en la literatura científica. Aquí, rápido simplemente se refiere a una alta velocidad de procesamiento o a un bajo tiempo de procesamiento.

Por un lado, las técnicas de ECAS rápidas se conocen con diferentes acrónimos que dependen principalmente de la forma de onda de la corriente eléctrica: SPS (sinterización de plasma por chispa; SPS por sus siglas en inglés, spark plasma sintering), PECS (sinterización de corriente eléctrica pulsada; PECS, por sus siglas en inglés, pulsed electric current sintering), RS (sinterización por resistencia; RS por sus siglas en inglés resistance sintering), etc. Las bases del proceso fueron desarrolladas por INOUE (US3241956 A). La corriente eléctrica se aplica normalmente como pulsos y también se informó sobre la posibilidad de la aplicación de varias corrientes superpuestas con diferentes frecuencias y dos fases de presión para aumentar la densificación. La aplicación de la carga también se describió en la patente de Estados Unidos 3508029 A. Estos dos procesos se caracterizan por la baja intensidad de los pulsos eléctricos ($<1 \text{ kA/cm}^2$) y por la alta duración de los ciclos (de segundos a minutos). Además, la fabricación de equipos de ECAS rápida es compleja con la necesidad de atmósfera protectora (o vacío).

Por otro lado, las técnicas de ECAS ultrarrápidas suelen emplear una o hasta tres descargas (condensadores) repetidas. Cada descarga dura menos de 0,1 s. La densidad de pulso de corriente puede ser del orden de 10 kA/cm^2 . La ECAS ultrarrápida generalmente se denomina compactación de descarga eléctrica (EDC, por sus siglas en inglés, electric discharge compaction) o sinterización por electroforjado (EFS, por sus siglas en inglés, Electro Forging Sintering). Ejemplos representativos de estos métodos se explicaron en las siguientes patentes: EP 2198993 A1 de Fais, US4929415 y US4975412 de Okazaki. El principal problema de estos métodos es que los condensadores descargan la energía almacenada de manera repentina e incontrolada y, por lo tanto, no permitieron la adaptación de la potencia de entrada a la masa de polvo. El uso de alta corriente y alta tensión dio lugar a una densificación inconsistente y a la no homogeneidad de las piezas fabricadas usando estos procesos de consolidación, porque la resistencia de los polvos no es homogénea debido a la porosidad, oxidación de la superficie, compactación o unión entre las partículas, y se sabe bien que la corriente siempre sigue el camino resistivo más bajo. Otros problemas son el pequeño tamaño de las muestras que pueden producirse y las chispas en los electrodos producidas por la alta corriente y la alta tensión.

Otros procesos ultrarrápidos usaron equipos de baja tensión como las patentes desarrolladas por Cremer (US2355954), Knoess (US5529746) y Bauer (US7361301). Knoess y Bauer obtuvieron una buena densificación con polvos altamente conductores como el hierro y el cobre. Knoess usó diversos pulsos de corriente muy alta ($>100 \text{ kA/cm}^2$) y Bauer una intensidad inferior a 10 kA/cm^2 , tensión inferior a 10 V usando un tiempo de sinterización de aproximadamente 1 s. El problema puede ocurrir cuando se fabrican muestras de alta resistencia eléctrica (debido a la alta resistividad del polvo o debido al gran tamaño de las piezas), no será posible cerrar el circuito eléctrico para que la corriente pueda pasar todo el material de las piezas. Por esa razón, con estas técnicas no será posible obtener muestras más grandes o la consolidación de polvos con mayor resistividad debido a la baja tensión usada.

El documento JP H03 236402 divulga un aparato para llevar a cabo la sinterización de polvos eléctricamente conductores.

Descripción de la invención

Para superar los inconvenientes de la técnica anterior, la presente invención propone un método para sinterizar polvos eléctricamente conductores en una atmósfera de aire para obtener un producto sinterizado, que comprende

la siguiente secuencia de etapas:

- a) colocar los polvos en un molde eléctricamente aislante,
- b) aplicar una presión a los polvos entre 100 y 500 MPa,
- 5 c) aplicar a los polvos una densidad de corriente de sinterización a una tensión de sinterización durante un tiempo de sinterización, para sinterizar los polvos.

El método de la presente invención comprende, entre la etapa b) y la etapa c), aplicar a los polvos una densidad de corriente de activación inferior a la densidad de corriente de sinterización a una tensión de activación mayor que la tensión de sinterización durante un tiempo de activación inferior al tiempo de sinterización, para reducir la resistencia eléctrica de los polvos, siendo constantes la densidad de corriente de activación y la densidad de corriente de sinterización.

La aplicación de la densidad de corriente de activación y de la densidad de corriente de sinterización se lleva a cabo mientras se aplica presión a los polvos.

La densidad de corriente de activación aplicada a los polvos a una tensión mayor que la tensión usada para la sinterización en la etapa c) durante un tiempo inferior que en la etapa c) produce una descarga de corriente que rompe la capa de óxido en la superficie de los polvos y crea puentes entre las partículas de los polvos, obteniendo una superficie de partículas más uniforme y más limpia que reduce la resistencia eléctrica al flujo de la corriente a través de los polvos, de manera que la densidad de corriente de sinterización aplicada en la etapa c) se distribuye de manera más homogénea a través de los polvos en el molde. De este modo, es posible sinterizar piezas de gran tamaño y piezas de material con una alta resistividad eléctrica.

Preferentemente, la densidad de corriente de activación es superior a 0,5 kA/cm², la tensión de activación es superior a 10 V y el tiempo de activación es inferior a 300 ms, para generar una descarga de corriente de baja intensidad a alta tensión en un tiempo muy reducido, para asegurar una desoxidación superficial homogénea de los polvos y la formación de puentes entre las partículas.

De acuerdo con la invención, el tiempo entre la eliminación de la densidad de corriente de activación y la aplicación de la densidad de corriente de sinterización es inferior a 20 ms para asegurar una distribución óptima de la densidad de corriente de sinterización. Más preferentemente, la densidad de corriente de sinterización se aplica inmediatamente después de la aplicación de la densidad de corriente de activación, es decir, justo después de que se agote el tiempo de activación.

De acuerdo con un aspecto preferido de la invención:

- La densidad de corriente de activación se aplica empleando una primera unidad de potencia eléctrica.
- La densidad de corriente de sinterización se aplica empleando una segunda unidad de potencia eléctrica.
- 40 - Las unidades de potencia eléctrica primera y segunda se operan de forma independiente.

El método de la invención comprende el control de las dos unidades de potencia eléctrica que permite optimizar el tiempo de procesamiento y el consumo de energía, en conjunto con los costes de instalación.

Además, permite programar y monitorizar en todo momento la potencia que se está introduciendo en el polvo, permitiendo de este modo que el proceso se controle de manera muy precisa y repetitiva, tanto en la aplicación de la densidad de corriente de activación como en la aplicación de la densidad de corriente de sinterización.

Además, se ha descubierto que el control preciso habilitado por este método permite un aumento considerable del tamaño de las piezas, de su geometría y de los tipos de materiales que pueden sinterizarse.

De acuerdo con una realización preferida de la invención:

- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 0,5 a 5 kA/cm²;
- 55 - la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 10 a 100 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 50 a 300 ms;
- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 3 a 15 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 15 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido el intervalo que va de 500 a 1500 ms.

pero estos parámetros deben cumplir las condiciones de que los valores seleccionados para la densidad de corriente de sinterización aplicada a los polvos deben ser mayores que los valores seleccionados para la densidad de corriente de activación y los valores seleccionados para la tensión de activación siempre deben ser mayores que la tensión de sinterización aplicada.

De acuerdo con una realización más preferida de la invención:

- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 0,5 a 4 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 10 a 100 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 90 a 200 ms;
- 5 - la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 3 a 10 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 10 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo que va de 500 a 1500 ms.

10 pero estos parámetros deben cumplir las condiciones de que los valores seleccionados para la densidad de corriente de sinterización aplicada a los polvos deben ser mayores que los valores seleccionados para la densidad de corriente de activación y los valores seleccionados para la tensión de activación siempre deben ser mayores que la tensión de sinterización aplicada.

15 El experto seleccionará los valores precisos de estos parámetros para cada polvo conductor, pero siempre teniendo en cuenta que la densidad de corriente de activación aplicada a un polvo conductor debe ser menor que la densidad de corriente de sinterización aplicada y la tensión de activación mayor que la tensión de sinterización. Por lo tanto, no es posible elegir un valor de 4 kA/cm² para la densidad de corriente de activación y un valor de 3 kA/cm² para la densidad de corriente de sinterización. Lo mismo se aplica a las tensiones de activación y de sinterización donde no es posible aplicar una tensión de activación de 10 V y una tensión de sinterización de 15 V. Algunos ejemplos de
20 selecciones de parámetros se divulgan en la descripción de las realizaciones preferidas.

Breve descripción de los dibujos

25 Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman parte integrante de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debe interpretarse como que restringe el alcance de la invención, sino como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

- 30 La figura 1 es un diagrama de bloques de un aparato de acuerdo con una realización preferida.
- La figura 2 es un gráfico de tiempo de la presión y la tensión/corriente cuando se aplica el método de la invención a un polvo de WC-Co.

Descripción de una forma de llevar a cabo la invención

35 En la figura 2 se muestra el diagrama de tiempo-presión-corriente/tensión correspondiente a la implementación del método de acuerdo con la invención para obtener un sinterizado de WC-Co.

El proceso comienza con la etapa que consiste en colocar un polvo eléctricamente conductor en un molde eléctricamente aislante.

40 Posteriormente, se aplica una presión entre 100 y 500 MPa dentro del molde, preferentemente con dos pistones, en este caso aproximadamente 300 MPa.

45 A continuación se lleva a cabo una etapa de activación, que consiste en aplicar una densidad de corriente de activación a una tensión de activación durante un tiempo de activación y se lleva a cabo empleando una primera unidad de potencia eléctrica (2). Como se muestra, en esta etapa se aplican una baja densidad de corriente (aproximadamente 2 kA/cm²) y una alta tensión (aproximadamente 30 V). El pulso es de aproximadamente dos décimas de segundo.

50 Luego se lleva a cabo una etapa de espera en la que no se aplica corriente ni tensión. Esta etapa consiste en la conmutación de las unidades de potencia, es decir, conmutar de una unidad de potencia (2) a otra unidad de potencia (3). El tiempo de espera es el necesario para realizar dicha conmutación mediante la unidad de control (4), en el presente caso un PLC (controlador lógico programable). En la figura 2 el tiempo de conmutación es de aproximadamente 2 décimas de segundo. Una posibilidad técnica sería usar una sola unidad de potencia pero con
55 corriente y tensión variables de manera instantánea. Sin embargo, los requisitos de control para los niveles de corriente y tensión y los tiempos de descarga implicarían un equipo muy sofisticado que haría que el método no fuera rentable a nivel industrial.

60 Posteriormente, se realiza la etapa de sinterización adecuada, que consiste en aplicar una densidad de corriente de sinterización a una tensión de sinterización durante un tiempo de sinterización llevada a cabo empleando la segunda unidad de potencia eléctrica (3). En este caso, la intensidad es mayor (aproximadamente de 10 kA), pero la tensión se reduce a 5 V.

65 La densidad de corriente se aplica usando dos electrodos opuestos. En una realización, los pistones pueden usarse como electrodos opuestos.

Como se muestra en la figura 1, y de acuerdo con una realización preferida, la invención también se refiere a un aparato (1) para llevar a cabo el método de la invención.

El aparato comprende:

- 5
- medios para aplicar corriente y tensión a los polvos, representados por las unidades de potencia (2, 3);
 - un molde eléctricamente aislante (5) que contiene los polvos conductores (6), que está cerrado en sus extremos por dos pistones para aplicar presión mecánica y que también forman los electrodos (7).

- 10
- Como se muestra en la figura 1, el medio para proporcionar corriente y tensión para una etapa de activación es una primera unidad de potencia eléctrica (2) y el medio para proporcionar corriente y tensión para una etapa de sinterización es una segunda unidad de potencia eléctrica (3).

- 15
- La primera unidad de potencia (2) está dispuesta para proporcionar a través de los electrodos (7) una densidad de corriente de activación comprendida entre 0,5 y 5 kA/cm² y una tensión de activación comprendida entre 10 y 100 V, mientras que la segunda unidad de potencia (3) está dispuesta para proporcionar a través de los electrodos (7) una densidad de corriente de sinterización comprendida entre 3 y 15 kA/cm² y una tensión de sinterización inferior a 15 V. Estos intervalos permiten sinterizar la mayoría de los polvos conductores comercialmente interesantes para aplicaciones típicas, con una sola máquina, cuyos parámetros deben configurarse antes de la sinterización.

- 20
- El aparato comprende además:

- 25
- medios para conmutar entre la primera unidad de potencia eléctrica (2) y la segunda (3);
 - medios para controlar la duración de la densidad de corriente y la tensión proporcionadas por la primera unidad de potencia (2);
 - medios para controlar la duración de la densidad de corriente y la tensión proporcionadas por la segunda unidad de potencia (3);
 - conexiones (23, 33) entre cada una de las unidades de potencia (2, 3) y los electrodos (7) del molde (5);
 - medios para controlar los pistones que aplican presión en el molde.

- 30
- Los medios para controlar la duración de la densidad de corriente y de la tensión proporcionadas por la primera unidad de potencia (2) son capaces de controlar un tiempo de descarga predeterminado (tiempo de activación) comprendido en el intervalo que va de 50 a 300 ms y los medios para controlar la duración de la corriente y de la tensión proporcionadas por la segunda unidad de potencia (3) son capaces de controlar un tiempo de descarga predeterminado (tiempo de sinterización) comprendido en el intervalo que va de 500 a 1500 ms.

- 35
- Cada unidad de potencia (2, 3) comprende un transformador (21, 31) y un inversor (22, 32), y las dos unidades de potencia (2, 3) están controladas por una sola unidad de control (4), que es preferentemente un controlador lógico programable.

- 40
- Este PLC incluye:

- 45
- medios para conmutar entre la primera unidad de potencia eléctrica (2) y la segunda (3),
 - medios para controlar la duración de la corriente y de la tensión proporcionadas por la primera unidad de potencia (2),
 - medios para controlar la duración de la corriente y de la tensión proporcionadas por la segunda unidad de potencia (3); y
 - medios para controlar los pistones que aplican presión en el molde.

- 50
- A continuación, se describen ejemplos específicos de la aplicación del método de la invención a diferentes polvos metálicos.

EJEMPLO 1: WC-6Co/WC-10Co

- 55
- Se produce un disco de WC-6Co o de WC-10Co con el aparato divulgado con un espesor de 16 mm y un diámetro de 22 mm. El polvo aglomerado era esférico con un tamaño de aglomerado inferior a 100 micrómetros. En la etapa de activación se aplicó una densidad de corriente entre 2 y 4 kA/cm² durante 100-200 ms para activar el polvo. Se necesita una tensión entre 15 y 50 V para esta etapa de activación.

- 60
- En la fase de sinterización posterior, se aplicó una densidad de corriente entre 6-10 kA/cm² se aplicó para obtener una muestra densificada con una tensión inferior a 10 V durante 500-1000 ms. Entre las fases, activación y sinterización, se estableció un tiempo mínimo de 10 ms. Se aplicó una presión, de 100-500 MPa, desde el inicio del proceso.

- 65
- La densidad del disco final, medida por el método de Arquímedes, es de aproximadamente 13-14,8 g/cm³. Es posible obtener muestras completamente densas con una dureza de aproximadamente 1800-2100 HV30.

EJEMPLO 2: Titanio

Se produce un disco de titanio con el aparato divulgado con un espesor de 10 mm y un diámetro de 22 mm. La forma de las partículas del polvo era irregular con un tamaño máximo de partículas de aproximadamente 75 micrómetros.

En la etapa de activación se aplicó una densidad de corriente entre 1-3 kA/cm² durante 90-100 ms para activar el polvo. Se necesita una tensión entre 10 y 50 V para la fase de activación.

En la fase de sinterización se aplicó una densidad de corriente entre 4-7 kA/cm² durante 500-1000 ms para obtener una muestra densificada con una tensión inferior a 10 V. Entre las fases, activación y sinterización, se estableció un tiempo mínimo de 10 ms. Se aplicó una presión, de 100-500 MPa, desde el inicio del proceso.

La densidad del disco final, medida por el método de Arquímedes, es de aproximadamente 3,5-4,4 g/cm³. Es posible obtener muestras totalmente densas.

EJEMPLO 3: TiC-25Ni y TiC-25Fe

Se producen discos TiC-25Ni y TiC-25Fe con el aparato divulgado con un espesor de 16 mm y un diámetro de 22 mm. El polvo aglomerado era irregular con un tamaño de partícula inferior a 30 micrómetros.

En la etapa de activación se aplicó una densidad de corriente entre 1-3 kA/cm² durante 100-200 ms para activar el polvo. Se necesita una tensión entre 15 y 50 V para esta fase de activación.

En la etapa de sinterización posterior se aplicó una densidad de corriente entre 6-9 kA/cm² durante 500-1000 ms para obtener una muestra densificada con una tensión inferior a 10 V. Entre las fases, activación y sinterización, se estableció un tiempo mínimo de 10 ms. Se aplicó una presión, de 100-500 MPa, desde el inicio del proceso.

La densidad del disco final, medida por el método de Arquímedes, fue de aproximadamente 5,1-5,5 g/cm³ para TiC-25Ni y de aproximadamente 5,1-5,4 g/cm³ para TiC-25Fe. Es posible obtener muestras completamente densas con una dureza de aproximadamente 1600-2000 HV30.

EJEMPLO 4: Aluminio

Se produjo un disco de aluminio con el aparato divulgado con un espesor de 12 mm y un diámetro de 12 mm. El polvo era irregular con un tamaño de partícula inferior a 150 micrómetros.

En la etapa de activación se aplicó una densidad de corriente entre 0,5-2 kA/cm² durante 100-200 ms para activar el polvo. Se necesita una tensión entre 30 y 80 V para esta fase de activación.

En la etapa de sinterización posterior, una densidad de corriente entre 3-4 kA/cm² se aplicó durante 500-1000 ms para obtener una muestra densificada con una tensión inferior a 10 V. Entre etapas, activación y sinterización, se estableció un tiempo mínimo de 10 ms. La presión, desde 100-300 MPa, se aplicó desde el inicio del proceso.

La densidad del disco final, medida por el método de Arquímedes, fue de aproximadamente 2,5-2,7 g/cm³.

En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como una exclusión de la posibilidad de que lo que se describe y define puede incluir otros elementos, etapas, etc.

La invención obviamente no se limita a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que cualquier experto en la materia pueda considerar, dentro del alcance general de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para sinterizar polvos eléctricamente conductores en una atmósfera de aire para obtener un producto sinterizado, que comprende la siguiente secuencia de etapas:

- a) colocar los polvos en un molde eléctricamente aislante,
- b) aplicar a los polvos una presión de entre 100 y 500 MPa,
- c) aplicar a los polvos una corriente de sinterización a una tensión de sinterización durante un tiempo de sinterización, para sinterizar los polvos,

caracterizado por aplicar a los polvos, entre la etapa b) y la etapa c), una densidad de corriente de activación inferior a la densidad de corriente de sinterización a una tensión de activación mayor que la tensión de sinterización durante un tiempo de activación inferior al tiempo de sinterización, para reducir la resistencia eléctrica de los polvos, siendo constantes la densidad de corriente de activación y la densidad de corriente de sinterización.

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la densidad de corriente de activación es superior a 0,5 kA/cm², la tensión de activación es superior a 10 V y el tiempo de activación es inferior a 300 ms.

3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:

- la aplicación de la densidad de corriente de sinterización y de la tensión de sinterización se lleva a cabo empleando una primera unidad de potencia eléctrica (2);
- la aplicación de la densidad de corriente de activación y de la tensión de activación se lleva a cabo empleando una segunda unidad de potencia eléctrica (3);
- las unidades de potencia eléctrica primera y segunda (2, 3) funcionan de manera independiente.

4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:

- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 0,5 a 5 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 10 a 100 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 50 a 300 ms;
- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 3 a 15 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 15 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo que va de 500 a 1500 ms,

y en el que la densidad de corriente de activación es menor que la densidad de corriente de sinterización y la tensión de activación es mayor que la tensión de sinterización.

5. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

- los polvos son polvos de WC-6Co o de WC-10Co;
- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 2 a 4 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 15 a 50 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 100 a 200 ms;
- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 6 a 10 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 10 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo que va de 500 a 1000 ms.

6. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

- los polvos son polvos de titanio;
- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 1 a 3 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 10 a 50 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 90 a 110 ms;
- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 4 a 7 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 10 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo de 500 a 1000 ms.

7. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

- los polvos son una mezcla de polvos de TiC-25Ni y polvos de TiC-25Fe;
- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 1 a 3 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 15 a 50 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 100 a 200 ms;
- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 6 a 9 kA/cm²;

- la tensión de sinterización es inferior a 10 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo que va de 500 a 1000 ms.

8. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

5

- los polvos son unos polvos de aluminio;
- la densidad de corriente de activación está comprendida en el intervalo que va de 0,5 a 2 kA/cm²;
- la tensión de activación está comprendida en el intervalo que va de 30 a 80 V;
- el tiempo de activación está comprendido en el intervalo que va de 100 a 200 ms;

10

- la densidad de corriente de sinterización está comprendida en el intervalo que va de 3 a 4 kA/cm²;
- la tensión de sinterización es inferior a 10 V;
- el tiempo de sinterización está comprendido en el intervalo que va de 500 a 1000 ms.

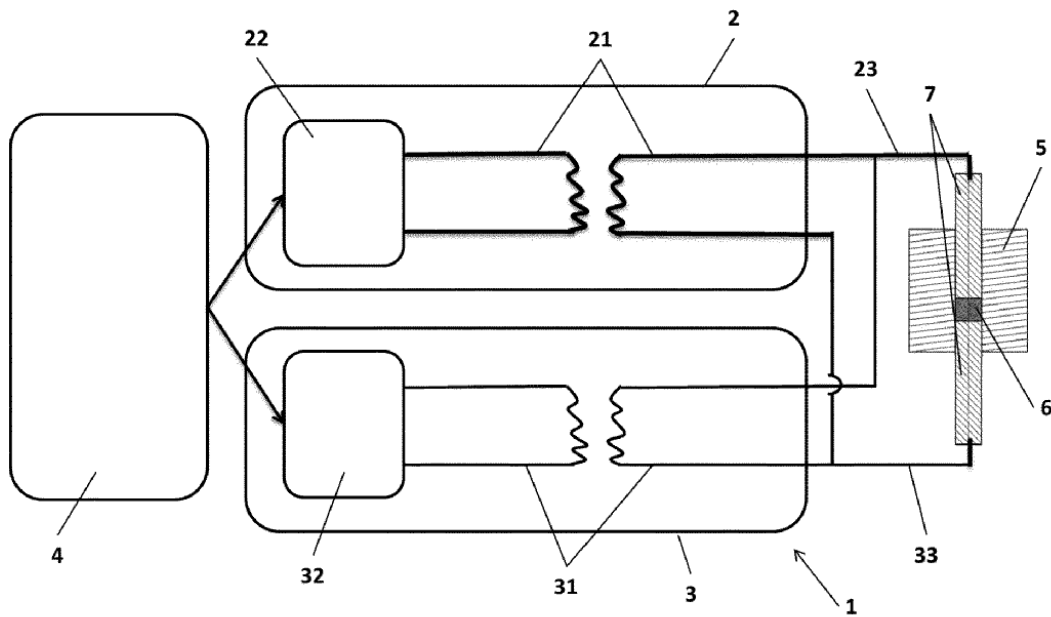


FIG.1

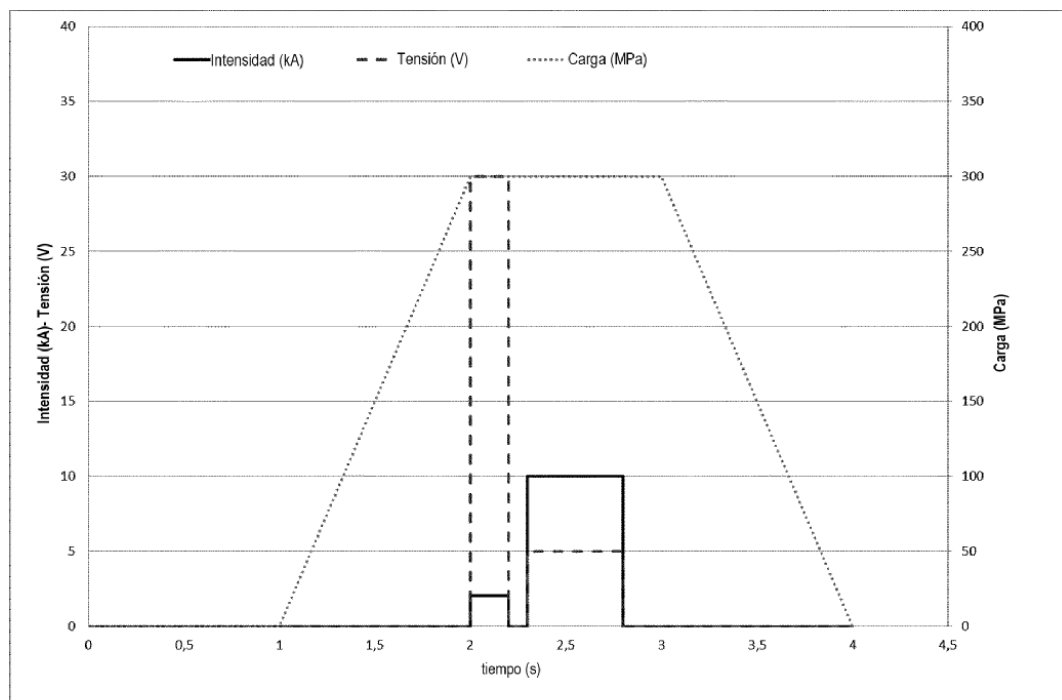


FIG.2