

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 505**

51 Int. Cl.:

**B22F 3/24** (2006.01)  
**B22F 3/14** (2006.01)  
**B22F 7/08** (2006.01)  
**C22C 1/05** (2006.01)  
**B32B 15/04** (2006.01)  
**B32B 15/16** (2006.01)  
**B32B 15/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2005 E 05844819 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 1837103**

54 Título: **Método para producir un material compuesto de aluminio**

30 Prioridad:

**28.12.2004 JP 2004378938**

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

**28.05.2013**

73 Titular/es:

**NIPPON LIGHT METAL COMPANY, LTD. (50.0%)**  
**2-20, Higashi-Shinagawa 2-chome, Shinagawa-ku**  
**Tokyo 140-8628, JP y**  
**NIKKEIKIN ALUMINIUM CORE TECHNOLOGY**  
**COMPANY, LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**OKANIWA, SHIGERU;**  
**AOYAMA, SHIGEKI;**  
**NISHIYAMA, TOSHIMASA y**  
**KITA, HIROAKI**

74 Agente/Representante:

**URÍZAR ANASAGASTI, José Antonio**

**ES 2 404 505 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**

Metodo para producir un material compuesto de aluminio

**Campo técnico**

5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a un método para producir un material compuesto de aluminio, y más específicamente se refiere a la producción de un material compuesto de aluminio excelente en al menos una propiedad tal como, trabajabilidad plástica, conductividad térmica, resistencia a la temperatura ambiente o temperaturas elevadas, alta rigidez, capacidad de absorción de neutrones, resistencia al desgaste o baja expansión térmica.

**10 Antecedentes de la técnica**

**[0002]** Cuando se utiliza la metalurgia del polvo para producir un material compuesto de aluminio que tiene como fase matriz, se mezclan partículas cerámicas de  $Al_2O_3$ , SiC o  $B_4C$ , BN, nitruro de aluminio y nitruro de silicio como materiales de refuerzo en un aluminio en polvo que forma la fase matriz; a continuación, esta mezcla en polvo se carga en una cápsula y se prensa en frío o similar, y a continuación se desgasifica o sinteriza para formar la configuración deseada. Los métodos de sinterización incluyen métodos de simple calentamiento, métodos de calentamiento mientras se comprime, como prensado en caliente, métodos de sinterización a presión por deformación plástica en caliente como extrusión en caliente, forjado en caliente, laminado en caliente, métodos de sinterización por paso de electricidad mientras se comprime, y combinaciones de estos métodos. Además, la sinterización se puede realizar junto con la desgasificación.

20 Documento de Patente 1: JP 2001-329302 A

**Divulgación de la invención****Problemas a ser resueltos por la invención**

25 **[0003]** En los últimos años, se han desarrollado materiales compuestos de aluminio, no sólo por su resistencia, sino por otros usos que requieren un alto módulo de Young, resistencia al desgaste, baja expansión térmica, y capacidad de absorción de radiación. En general, cada función se puede potenciar aumentando la cantidad de material cerámico que tiene la función requerida, pero simplemente aumentar las cantidades puede causar que la trabajabilidad plástica, como la capacidad de sinterización, la capacidad de extrusión, capacidad de laminado y capacidad de forjado se reduzca en gran medida. Por lo tanto, se han considerado métodos de preformar los materiales cerámicos, impregnar con una masa fundida de aleación de aluminio, y luego dispersar uniformemente

30 materiales cerámicos de alta concentración en la fase de matriz; pero esto conlleva el inconveniente de posibles defectos producidos como consecuencia de una penetración inadecuada de la masa fundida y que se forme contracción durante la solidificación.

35 **[0004]** La presente invención se realizó en consideración de la situación anterior, y tiene el objeto de ofrecer un método que permita producir fácilmente un material compuesto de aluminio con un alto contenido de material cerámico, tal como 10% en masa. Otro objeto de la presente invención es ofrecer un método de producción de un material compuesto de aluminio que se somete más fácilmente a trabajo en estado plástico revistiendo un material compuesto aluminio-cerámico con una chapa metálica.

40 **[0005]** Un objeto adicional de la presente invención es ofrecer un método de producción de un material compuesto de aluminio capaz de impedir fiablemente la generación de grietas o similares al someter un compuesto aluminio-cerámico revestido a laminación. Otro objeto adicional de la presente invención es ofrecer un método de producción de un material compuesto de aluminio capaz de lograr una productividad alta.

45 **[0006]** A los fines de la presente memoria, el aluminio se referirá a aleaciones de aluminio, así como aluminio puro. Además, el método de producción de la presente invención no se limita a la producción de materiales compuestos de aluminio con un alto contenido de material de refuerzo, y puede igualmente aplicarse a la producción de aleaciones de aluminio compuestas que tienen un bajo contenido de material de refuerzo, como 0,5% en masa.

**Medios para resolver los problemas**

50 **[0007]** El método para producir un material compuesto de aluminio según la presente invención se caracteriza porque comprende (a) una etapa de mezclar un polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un material mixto, (b) una etapa de sinterización por corriente eléctrica bajo presión de dicho material mixto junto con un material de chapa metálica para formar un material revestido en el que un aglomerado sinterizado está cubierto por una material de chapa metálica, y (c) una etapa de someter dicho material revestido a trabajo en estado plástico para obtener un material compuesto de aluminio.

55 En general, las partículas cerámicas son mucho más duras que el aluminio. Por lo tanto, cuando un aglomerado sinterizado de un polvo de aluminio que contiene grandes cantidades de partículas cerámicas se trabaja plásticamente, las partículas cerámicas en la superficie pueden ser puntos de origen de daños y hacer que aparezcan grietas en el material trabajado plásticamente. Además, pueden causar desgaste en boquillas de extrusión, molinos de cilindros, matrices de forja y similares. Sin embargo, en la presente invención, la etapa de

## ES 2 404 505 T3

trabajo plástico está precedida por una etapa de cubrir el material mezclado de polvo de aluminio y partículas cerámicas con un material de chapa metálica, sinterizar por corriente eléctrica bajo presión, a continuación, revestir la superficie del aglomerado de aluminio sinterizado que contiene partículas cerámicas plástico con un material de chapa metálica, y realizar trabajo plástico en ese estado. Con este método, no habrá partículas cerámicas en la superficie que puedan ser el punto de origen de daños o desgaste de boquillas o similares, lo que da materiales de buen trabajo plástico. Además, el polvo de aluminio que contiene material cerámico está revestido por un material de chapa metálica por medio de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, por lo que hay un contacto íntimo entre el material de aluminio que contiene material cerámico y el material de chapa metálica, proporcionando así excelente conductividad térmica y conductividad eléctrica entre el material de aluminio que contiene material cerámico y el material de chapa metálica. Además, incluso si se somete a trabajo plástico en caliente, no se producirán defectos entre el material de chapa metálica y el material de aluminio que contiene material cerámico, por lo que no hay necesidad de separar el material de chapa metálica después de un trabajo plástico en caliente.

**[0008]** En una realización preferida de la presente invención, la anteriormente mencionada etapa (b) incluye cargar el mencionado material mixto en una matriz de conformación, junto con un material de chapa metálica en un estado de contacto con el material de chapa metálica, y someter a sinterización por corriente eléctrica bajo presión mientras se comprime con un punzón y se aplica tensión. Aquí, esto puede implicar intercalar el material mezclado entre un par de materiales de chapa metálica, cargar en una matriz de conformado presionando un material de chapa metálica por un punzón, y comprimir el material mezclado junto con el material de chapa metálica, o como un método alternativo, colocar la mezcla en polvo en un recipiente metálico con una tapa de material de chapa opuesto a un fondo de material de chapa, cargar en una matriz de conformado con el material de chapa de fondo y el material de chapa de tapa presionados por un punzón, y comprimir el material mezclado junto con el recipiente.

**[0009]** En una realización preferida adicional de la presente invención, la etapa (b) antes mencionada puede implicar preparar al menos dos conjuntos de un material mezclado y materiales de chapa metálica y realizar la sinterización por corriente eléctrica bajo presión con los citados al menos dos conjuntos cargados en una matriz de conformado en un estado apilado, para formar simultáneamente al menos dos materiales revestidos, y este método puede mejorar enormemente la productividad. Aquí, un espacio de recepción en el interior de la matriz de conformación puede estar dividido por al menos un elemento de partición perpendicular a la dirección de movimiento del punzón para delimitar al menos dos compartimentos, los citados al menos dos conjuntos siendo cargados en los citados al menos dos compartimentos para llevar a cabo la sinterización por corriente eléctrica bajo presión.

**[0010]** En otra realización preferida de la presente invención, el material anteriormente mencionado de chapa metálica se compone de aluminio o acero inoxidable. Además, en la etapa (a) antes mencionada, el procedimiento usual sería mezclar un polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un material mixto que consiste en un polvo mezclado, pero el material mixto puede consistir en un material compacto formado por compresión formando por compresión un polvo mixto de un polvo de aluminio y partículas cerámicas, por ejemplo, por una prensa isostática en frío (CIP), prensa uniaxial en frío o prensa de vibración, y puede ser sometido previamente a sinterización por corriente eléctrica bajo presión, debido a lo cual es más fácil sinterizar durante la sinterización por corriente eléctrica bajo presión y más fácil de manejar, como durante el transporte. Adicionalmente, puede formarse por compresión con un polvo mixto cargado en un recipiente metálico o un polvo mixto entre materiales de chapa metálica. En otra realización de la presente invención, en la etapa antes mencionada (a), el polvo de aluminio puede ser un polvo de aleación, puro con una pureza de al menos 99,0% o un polvo de aleación que contiene Al y 0,2 a 2% en masa de al menos uno de Mg, Si, Mn y Cr, y las partículas cerámicas puede sumar hasta 0,5- 60% de la masa total del material mixto.

**[0011]** En una realización preferida adicional de la presente invención, la etapa antes mencionada (b) puede implicar la formación de un material revestido con porciones periféricas cubiertas por un bastidor metálico. Más preferiblemente, la etapa antes mencionada (b) puede implicar cubrir el material revestido con un bastidor metálico después de la sinterización por corriente eléctrica bajo presión. En un método alternativo, las partes periféricas de los materiales de chapa metálica y / o el material mixto pueden estar cubiertos por un bastidor metálico antes de la sinterización por corriente eléctrica bajo presión. Aquí, el antes mencionado bastidor metálico puede estar formado por soldadura, soldadura por fricción (soldadura FSW) o similar de una pluralidad de elementos de bastidor, o puede ser de una sola pieza. Preferentemente, el material metálico de bastidor en una sola pieza obtenido cortando la porción central de un material de chapa de aluminio por corte con hilo o prensado, o un material extruido hueco cortado a una longitud apropiada.

**[0012]** En una realización adicional de la presente invención, la etapa antes mencionada (c) puede implicar cubrir la superficie del material revestido antes mencionado con una chapa protectora metálica antes de someter a trabajo plástico. Aquí, la mencionada chapa de protección se compone preferiblemente de un material que es maleable, tiene una buena resistencia a alta temperatura, y baja conductividad térmica. Por ejemplo, puede usarse acero inoxidable, cobre, hierro dulce o similar, entre los cuales el hierro dulce es más preferible. Además, la etapa antes mencionada (c), implica más preferiblemente cubrir el material revestido antes mencionado con la chapa protectora mencionada en el lado frontal en la dirección de movimiento y sobre las superficies superior e inferior. Además, preferiblemente se realiza lubricación entre el material revestido citado y la chapa de revestimiento protectora tal como por lubricación sólida utilizando un lubricante basado en BN. Un material compuesto de aluminio puede ser producido por uno de los anteriormente descritos métodos de producción de un material compuesto de aluminio.

**Efectos de la invención**

5 [0013] El método de producción de un material compuesto de aluminio según la presente invención resuelve parcial o completamente los inconvenientes antes mencionados de los métodos convencionales de producción de materiales compuestos de aluminio. En particular, con el método de producción de un material compuesto de aluminio según la presente invención, un material de chapa metálica y un material mezclado de un polvo de aluminio y partículas cerámicas se someten conjuntamente a sinterización por corriente eléctrica bajo presión antes de realizar trabajo plástico, revistiendo en consecuencia un compacto sinterizado de aluminio que contiene partículas cerámicas con el material de chapa metálica, como resultado de lo cual no hay partículas cerámicas en la superficie que puedan ser puntos de origen de daños o desgastar troqueles o similares, resultando en un material de buen trabajo plástico. Además, el material de aluminio que contiene material cerámico está revestido por un material de chapa metálica mediante sinterización por corriente eléctrica bajo presión, por lo que hay un contacto íntimo entre el material cerámico que contiene aluminio y el material de chapa metálica, y excelente conductividad térmica y la conductividad eléctrica entre el material de aluminio que contiene material cerámico y el material de chapa metálica. Adicionalmente, no se producirán defectos entre el material de chapa metálica y el material de aluminio que contiene material cerámico, incluso si se realiza trabajo plástico.

15 [0014] Además, en una realización preferida del método de producción de un material compuesto de aluminio según la presente invención, al menos dos conjuntos de un material mixto y materiales de chapa metálica se cargan simultáneamente en una matriz de conformado, y se someten a sinterización por corriente eléctrica bajo presión, facilitando así que aumente la eficiencia de la etapa de sinterización y mejorando considerablemente la productividad del material compuesto de aluminio. En otras realizaciones preferidas, las porciones periféricas del material revestido está cubiertas por un bastidor metálico o la superficie del material revestido está cubierta por una chapa metálica protectora antes de realizar el procedimiento de laminación, logrando por ello el efecto de evitar fiablemente que se produzcan grietas, fisuras y similares en la superficie, interior o lados del material compuesto debido al trabajo plástico. Además, la sinterización multi-apilada tiene el efecto de permitir que el espesor de la chapa sea libremente controlado por el uso de un espaciador.

25 **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

[0015]

[Fig. 1] Una vista esquemática en sección que muestra las partes esenciales de un dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión utilizado para trabajar la presente invención.

30 [Fig. 2] Una vista esquemática de una realización del método de la presente invención, en el que un polvo mezclado es recibido entre un par de materiales de chapa metálica en la parte superior e inferior, luego se cargan en un dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión.

[Fig. 3] Una vista esquemática de otra realización de la presente invención, en la que el polvo mezclado se recibe en un recipiente metálico cargado en el dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión.

35 [Fig. 4] Una vista en sección esquemática de un dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión que muestra otra realización del método de la presente invención, que muestra un ejemplo de sinterización en dos etapas.

40 [Fig. 5] Una vista parcial en sección que muestra otra realización del método de la presente invención, en el que un bastidor metálico está unido a la porción de borde de un recipiente que comprende un elemento en forma de caja y un elemento de tapa.

[Fig. 6] Una vista en planta que muestra la totalidad del recipiente de la figura.5 que tiene un material de bastidor unido a la parte de borde del mismo.

[Fig. 7] Una vista en sección parcial similar a la figura. 5, que muestra otro ejemplo de unión de un bastidor metálico a la parte de borde de un recipiente.

45 [Fig. 8] Una vista en planta que muestra la totalidad del recipiente de la figura.7 con un material de bastidor unido a la parte de borde del mismo.

[Fig. 9] Una vista en sección parcial similar a la figura. 5, que muestra otro ejemplo de unión de un bastidor metálico a la porción de borde de un recipiente.

50 [Fig. 10] Una vista en sección parcial similar a la figura. 5, que muestra otro ejemplo de unión de un bastidor metálico a la parte de borde de un recipiente.

[Fig. 11] Una vista en planta de la totalidad de un recipiente similar a la figura. 6, en el que las esquinas del bastidor metálico se han soldado.

[Fig. 12] Una vista en planta de la totalidad de un recipiente que tiene un bastidor metálico de tipo de corte con hilo unido al mismo.

## ES 2 404 505 T3

[Fig. 13] Una vista esquemática en sección de otra realización de la presente invención, que muestra cómo un bastidor metálico se une a las porciones de borde de un material mixto para sinterizar simultáneamente el material mixto y el material de bastidor.

5 [Fig. 14] Una vista esquemática que muestra otra realización del método de la presente invención, en el que la superficie del material revestido está cubierta por una chapa protectora antes del trabajo plástico.

[Fig. 15] Fotografías de microscopio de un compacto sinterizado que ha sido sinterizado por corriente eléctrica bajo presión según el método descrito en el Ejemplo 1 de la presente invención, usando recipientes rectangulares de aleación de aluminio JIS5052 y JIS1050.

10 [Fig. 16] Fotografías de microscopio de la superficie límite entre un compacto sinterizado y un recipiente metálico del material sinterizado que se ha sometido a sinterización por corriente eléctrica bajo presión según el método descrito en el Ejemplo 1 de la presente invención, utilizando recipientes rectangulares de aleación de aluminio JIS5052 y JIS1050.

[Fig. 17] Un diagrama que muestra un análisis de línea de Mg en los compactos sinterizados de las Figs. 15 y 16.

15 [Fig. 18] Una fotografía de un material laminado obtenido laminando en frío un compacto sinterizado por corriente eléctrica bajo presión que contiene un compacto sinterizado según las Figs. 15 y 16.

[Fig. 19] Una fotografía microscópica de estructura de un material extruido producido por el método descrito en el Ejemplo 2.

### [0016]

- 20 1 matriz de formación  
2 elemento superior de punzón  
3 elemento inferior de punzón  
A porción de recepción de material  
4, 5 material de chapa metálica  
25 6 Elemento de fondo de chapa  
9 elemento de tapa de chapa  
10 chapas apiladas  
11 conjunto  
12 espaciador  
30 13 elemento de partición  
14 recipiente  
15 material de bastidor  
16, 18 parte soldadas  
17 porción de holgura  
35 21 chapa protectora  
24 rodillo de laminación

### MEJORES MODOS DE LLEVAR A CABO LA INVENCION

40 [0017] El método de producción de la presente invención se caracteriza por una etapa de mezclar un polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un material mixto, (b) una etapa de sinterización por corriente eléctrica bajo presión que sinteriza dicho material mixto junto con un material de chapa metálica para formar un material revestido en donde un compacto sinterizado se recubre por una chapa de material metálico, y (c) una etapa de trabajar plásticamente dicho material revestido para obtener un material compuesto de aluminio. En lo que sigue, se explican las materias primas utilizadas, seguido por una explicación detallada de los pasos respectivos en el orden de las etapas (a) a (c).

#### 45 (1) Explicación de las materias primas

[Polvo de aluminio de material de matriz]

## ES 2 404 505 T3

5 **[0018]** Mientras que la composición del polvo de aluminio para formar el material de matriz de la parte de cuerpo principal no está particularmente restringida, es posible utilizar varios tipos de polvos de aleación tales como aluminio puro (JIS1050, 1070, etc), aleaciones Al-Cu (JIS2017 etc), aleaciones Al-Mg (JIS5052 etc), aleaciones Al-Mg-Si (JIS6061 etc), aleaciones Al-Zn-Mg (JIS7075 etc) y aleaciones Al-Mn, ya sea solas o como una mezcla de dos o más. La composición del polvo de aleación de aluminio a seleccionar se puede determinar considerando las propiedades deseadas, resistencia a la deformación en las posteriores etapas de conformación, cantidad de partículas cerámicas mezcladas, y costes de las materias primas. Por ejemplo, cuando se desea aumentar la trabajabilidad o disipación de calor del material compuesto de aluminio, es preferible un polvo de aluminio puro. Un polvo de aluminio puro es también ventajoso en términos de costes de materias primas en comparación con el caso de polvos de aleación de aluminio. Como el polvo de aluminio puro, es preferible utilizar uno con una pureza de al menos 99,5% en masa (los polvos puros de aluminio disponibles en el mercado tienen usualmente una pureza de al menos 99,7% en masa).

15 **[0019]** Además, cuando se desee obtener capacidad de absorción de neutrones, se utiliza un compuesto de boro como las partículas cerámicas que se describen a continuación, pero cuando se desee aumentar aún más la capacidad de absorción de neutrones resultante, es preferible añadir 1-50% en masa de un tipo de elemento que proporcione capacidad de absorción de neutrones, tales como hafnio (Hf), samario (Sm) o gadolinio (Gd) al polvo de aluminio. Además, cuando es necesaria resistencia a alta temperatura, es posible añadir al menos un elemento elegido entre titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), molibdeno (Mo), niobio (Nb), circonio (Zr) y estroncio (Sr), y cuando se requiere resistencia a temperatura ambiente, es posible añadir al menos un elemento seleccionado entre silicio (Si), cobre (Cu), magnesio (Mg) y zinc (Zn), en una proporción de 2% o inferior en masa de cada elemento, y un total de 15% o menos en masa.

20 **[0020]** Además, aunque la capacidad de sinterización debe aumentarse en la presente invención, es preferible incluir al menos 0,2% en masa de al menos uno de Mg (magnesio), Cu (cobre) o Zn (zinc) con el fin de conseguir este propósito. En los polvos de aleación de aluminio antes descritos, el equilibrio distinto de los ingredientes especificados consta básicamente de aluminio e impurezas inevitables.

25 **[0021]** Mientras que el tamaño medio de partícula del polvo de aluminio no está particularmente restringido, el polvo debería tener generalmente un límite superior de 500  $\mu\text{m}$  o menos, preferiblemente 150  $\mu\text{m}$  o menos y más preferiblemente 60  $\mu\text{m}$  o menos. Mientras que el límite inferior del tamaño medio de partícula no está particularmente limitado en la medida en que sea producible, por lo general debe ser de 1  $\mu\text{m}$  o más, preferiblemente 20  $\mu\text{m}$  o más. Además, si la distribución del tamaño de partícula del polvo de aluminio se hace 100  $\mu\text{m}$  o menos y el tamaño de partícula medio de las partículas del material de refuerzo se hace 10  $\mu\text{m}$  o menos, entonces las partículas del material de refuerzo se dispersan de modo uniforme, reduciendo así en gran medida las porciones en las que las partículas de material de refuerzo son delgadas, y proporcionando un efecto de propiedad estabilizadora. Puesto que tienden a producirse grietas si se realiza trabajo plástico tal como extrusión o laminación con una gran diferencia entre el tamaño medio de partícula del polvo de aleación de aluminio y el tamaño medio de partícula de las partículas cerámicas discutidas más adelante, la diferencia en el tamaño medio de partícula debería ser preferentemente pequeña. Si el tamaño medio de partícula es demasiado grande, se hace difícil lograr una mezcla homogénea con partículas cerámicas cuyo tamaño medio de partícula no se puede hacer demasiado grande, y si el tamaño medio de partícula es demasiado pequeño, el polvo fino de aleación de aluminio se puede agrupar, haciendo extremadamente difícil obtener una mezcla homogénea con las partículas de cerámica. Además, al poner el tamaño medio de partícula en este intervalo, es posible lograr una mayor trabajabilidad, conformabilidad y propiedades mecánicas. Para los fines de la presente invención, el tamaño medio de partícula se refiere al valor medido por medición de distribución de tamaño de partícula por difracción láser. La forma del polvo tampoco está limitada, y puede ser cualquiera de forma de lágrima, esférica, elipsoidal, en forma de escamas o irregular.

35 **[0022]** El método de producción del polvo de aluminio no está limitado, y puede ser producido por métodos públicamente conocidos de producción de polvos metálicos. El método de producción puede, por ejemplo, ser por atomización, hilado por fusión, disco giratorio, electrodo giratorio u otro método de solidificación de enfriamiento rápido, pero es preferible un método de atomización, en particular un método de atomización de gas en el que se obtiene un polvo por atomización de una masa fundida para producción industrial. En el método de atomización, la anterior masa fundida debe generalmente calentarse a 700-1200°C, y luego atomizarse. Al establecer la temperatura en esta gama, es posible llevar a cabo la atomización más eficazmente. Además, el líquido de pulverización / atmósfera para la atomización puede ser aire, nitrógeno, argón, helio, dióxido de carbono, agua o un gas mixto de los mismos, el líquido de pulverización debe ser preferiblemente aire, gas nitrógeno o gas argón en función de factores económicos.

45 [Partículas de cerámica]

50 **[0023]** Ejemplos de material cerámico a mezclar con el polvo de aluminio para formar la porción de cuerpo principal incluyen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC o  $\text{B}_4\text{C}$ , BN, nitruro de aluminio y nitruro de silicio. Estos se pueden usar solos o como una mezcla, y se seleccionan en función del uso previsto del material compuesto. Aquí, el boro (B) tiene la capacidad de absorber neutrones, de modo que el material compuesto de aluminio puede ser usado como un material de absorción de neutrones si se usan partículas cerámicas que contienen boro,. En ese caso, los materiales cerámicos que contiene boro pueden ser, por ejemplo,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{TiB}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ , FeB o  $\text{FeB}_2$ , usados bien solos o como una mezcla. En particular, es preferible utilizar carburo de boro  $\text{B}_4\text{C}$  que contiene grandes cantidades de  $^{10}\text{B}$  que es un isótopo de B que absorbe bien neutrones.

5 [0024] Las partículas cerámicas deben ser contenidas en el polvo de aleación de aluminio antes mencionado en una cantidad de 0,5% a 60% en masa, más preferiblemente de 5% a 45% en masa. La razón de que el contenido debe ser al menos 0,5% en masa es que a menos de 0,5% en masa, no es posible reforzar adecuadamente el material compuesto. Además, la razón por la que el contenido debe ser 60% en masa o inferior es porque si es superior a 60% en masa, entonces la sinterización se hace difícil, la resistencia a deformación para trabajo plástico se hace alta, la trabajabilidad plástica se hace difícil, y el artículo formado se vuelve quebradizo y fácil de romper. Además, la adherencia entre el aluminio y las partículas cerámicas se vuelve pobre, y pueden ocurrir holguras, no permitiendo así que se obtengan las funciones deseadas y de reduciendo la resistencia y conductividad térmica. Además, la capacidad de corte también se reduce.

10 [0025] Mientras que el tamaño medio de partícula de las partículas cerámicas de  $B_4C$  o  $Al_2O_3$  es arbitraria, es preferiblemente 1-20  $\mu m$ . Como se ha explicado en relación con el tamaño medio de partícula de la aleación de aluminio, la diferencia de tamaño de partícula entre estos dos tipos de polvos es preferiblemente pequeña. Por lo tanto, el tamaño de partícula debe ser más preferiblemente al menos 5  $\mu m$  y 20  $\mu m$  como máximo. Si el tamaño medio de partícula es mayor que 20  $\mu m$ , entonces los dientes de la sierra puede desgastarse rápidamente durante el corte, y si el tamaño medio de partícula es menor que 1  $\mu m$  (preferentemente 3  $\mu m$ ), entonces estos polvos finos pueden agruparse, haciendo extremadamente difícil conseguir una mezcla homogénea con el polvo de aluminio. Para los fines de la presente invención, el tamaño medio de partícula se refiere al valor medido por medición de distribución de tamaño de partícula por difracción láser. La forma del polvo tampoco está limitada, y puede ser cualquiera de forma de lágrima, esférica, elipsoidal, en forma de escamas o irregular.

20 [Material de chapa metálica]

25 [0026] Mientras que el material de chapa metálica utilizado en el método de producción de la presente invención puede consistir en cualquier metal, ya que el metal supera en adherencia al material en polvo y es adecuado para trabajo plástico, debería ser preferentemente aluminio o acero inoxidable. Por ejemplo, en el caso del aluminio, se puede utilizar preferentemente aluminio puro (JIS1050, 1070, etc), así como varios tipos de materiales de aleación, tales como aleación de Al-Cu (JIS2017 etc), aleación de Al-Mg (JIS5052 etc.), aleación Al-Mg-Si de (JIS6061 etc), aleación Al-Zn-Mg (JIS7075 etc) y aleación de Al-Mn. La composición del aluminio seleccionada debe determinarse considerando las propiedades deseadas, el coste y similares. Por ejemplo, cuando se desea mejorar la trabajabilidad y la capacidad de disipación de calor, es preferible aluminio puro. El aluminio puro es también preferible en términos de coste de materia prima en comparación con aleaciones de aluminio. Además, cuando se desea mejorar la resistencia o facilidad de trabajo, una aleación de Al-Mg (JIS5052 etc) es preferible. Además, cuando se desea mejorar aún más la capacidad de absorción de neutrones, es posible añadir preferiblemente 1-50% en masa de al menos un elemento que tiene capacidad de absorción de neutrones, tales como Hf, Sm o Gd.

30 [0027] Además, como se describirá en detalle en relación con la etapa de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, el material de chapa metálica puede ser un par de chapas metálicas, o un recipiente en el que un material de chapa de tapa se combina con un elemento de caja que comprende un material de chapa de fondo y materiales de la chapa laterales. En el caso de un recipiente, se puede formar una parte escalonada de acoplamiento en las partes de borde superior del elemento de caja a fin de acoplarse con las porciones periféricas del elemento de chapa de tapa.

## (2) Etapa (a) (etapa de producción de mezcla aluminio-cerámica)

40 [0028] Se preparan un polvo de aluminio y partículas cerámicas, y estos polvos se mezclan uniformemente. El polvo de aluminio puede ser de un solo tipo, o puede ser una mezcla de una pluralidad de tipos, y las partículas cerámicas pueden igualmente consistir en un solo tipo o una pluralidad de tipos, tales como mediante la mezcla de  $B_4C$  y  $Al_2O_3$ . El método de mezcla puede ser un método públicamente conocido, por ejemplo, utilizando un mezclador tal como un mezclador en V o un mezclador giratorio transversal o un molino vibratorio o un molino planetario, durante un tiempo designado (por ejemplo, 10 minutos a 10 horas). Adicionalmente, la mezcla se puede realizar en condiciones secas o húmedas. Además, se pueden añadir medios, tales como bolas de alúmina o similares a efectos de aplastamiento durante la mezcla.

50 [0029] La etapa (a) sólo se refiere a la preparación de una mezcla de polvo, y el proceso básico implica enviar la mezcla de polvo al siguiente paso de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, pero en algunos casos, es posible conformar por compresión el polvo de aluminio mixto mediante una prensa isostática en frío (CIP), prensado uniaxial en frío o prensado por vibración antes de la posterior etapa de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, y puede además ser sometido a sinterización por corriente eléctrica bajo presión de antemano. Mediante la formación de un material conformado por compresión en lugar de utilizar un polvo mixto como está, el material se vuelve más fácil de sinterizar durante la sinterización por corriente eléctrica bajo presión, así como más fácil de manejar durante el transporte o similar. Además, el material conformado por compresión puede ser calentado a 200-600°C y desgasificado en una atmósfera de presión reducida, una atmósfera inerte o una atmósfera reductora.

## (3) Etapa (b) (etapa de sinterización por corriente eléctrica bajo presión)

60 [0030] En la etapa (b), la mezcla (compacto de polvo mezclado o compacto mixto conformado por compresión) producido en la etapa (a) se carga en un dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión y se somete a sinterización por corriente eléctrica bajo presión. El propio dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión puede ser de cualquier tipo, siempre que sea capaz de realizar la sinterización por corriente eléctrica bajo presión diseñada, siendo un ejemplo el dispositivo que se muestra en el diagrama esquemático de la figura. 1. Este dispositivo está provisto en el interior de un horno de sinterización (no mostrado) alojado en el interior de un

## ES 2 404 505 T3

recipiente de vacío (tampoco se muestra), y comprende una matriz de conformado 1 compuesta de un material conductor tal como un material de metal duro, aleación dura o material a base de carbono que tiene un orificio pasante que pasa en dirección arriba-abajo, y un elemento de punzón superior 2 y un elemento de punzón inferior 3 compuestos de un material conductor tal como un metal duro, aleación dura o de material a base de carbono en las partes superior e inferior de la matriz de conformado 1 con partes de punzón insertadas de forma móvil en el mencionado orificio pasante, el espacio delimitado por el elemento de punzón superior 2 y el elemento de punzón inferior 2 del anterior orificio pasante formando la parte receptora de material A. Generalmente, un material en polvo se carga en esta parte receptora de material A, se activan un mecanismo de accionamiento de elemento de punzón superior y un mecanismo de accionamiento de elemento de punzón inferior (no mostrado) para comprimir el material en polvo por medio del elemento de punzón superior 2 y el elemento de punzón inferior 3 para preparar un compacto en verde, y se aplica una tensión a un mecanismo de impulso de corriente CC (no mostrado) para pasar un pulso de corriente continua de corriente entre el elemento de punzón superior 2 y el elemento de punzón inferior 3, realizando así sinterización por corriente eléctrica bajo presión. Si bien este método de sinterización por corriente eléctrica bajo presión en sí se conoce públicamente, la presente invención se caracteriza porque el material en polvo no se carga directamente en la parte receptora de material A, sino que se carga en la matriz de conformado 1 junto con un material de chapa metálica en tal estado que el material en polvo está en contacto con el material de chapa metálica, se comprime con los elementos de perforación superior e inferior 2, 3 y se aplica una tensión para llevar a cabo la sinterización por corriente eléctrica bajo presión.

**[0031]** Es decir, en la presente invención, el material en polvo y el material de chapa metálica se cargan en la parte receptora de material A en un estado de contacto mutuo con el fin de realizar sinterización por corriente eléctrica bajo presión para formar un material revestido en el que un compacto sinterizado se cubre con un material de chapa metálica. La sinterización por corriente eléctrica bajo presión puede realizarse por métodos conocidos convencionalmente, tales como sellando el recipiente de vacío, poniendo el interior del horno de sinterización en un estado de presión reducida por medio de una bomba de vacío o similar, cargando el recipiente de vacío con un gas inerte si es necesario, activando el elemento de punzón superior 2 y el elemento inferior punzón 3 para comprimir el material en la matriz de conformado 1 con una presión designada, pasando luego un impulso de corriente continua a través del comprimido resultante de alta densidad mediante el elemento superior de punzón 2 y el elemento inferior de punzón 3, para calentar y sinterizar el material. Las condiciones de sinterización por corriente eléctrica bajo presión deben seleccionarse de manera que se logren los resultados deseados de sinterización, y se determinan según el tipo de polvo que se utiliza y el grado de sinterización deseado. Cuando se considera la adherencia entre el material de chapa metálica y el compacto sinterizado, y la facilidad de trabajo plástico del material revestido que son los requisitos básicos de la presente invención, es posible la sinterización por corriente eléctrica bajo presión, pero se puede realizar, por ejemplo, en una atmósfera de vacío de 0,1 Torr o menos, con una corriente eléctrica de 5000-30000 A, una velocidad de aumento de temperatura de 10-300°C/minuto, una temperatura de sinterización de 500-650°C, un tiempo de retención de al menos 5 minutos y una presión de 5-10 MPa. Con una temperatura de sinterización de menos de 500°C, es difícil lograr la sinterización adecuada, y a más de 650°C, el polvo de aluminio o material de la chapa de aluminio pueden fundirse (es preferible 530 - 580°C o menos).

**[0032]** Aquí, en la presente invención, el material en polvo y el material de chapa metálica se colocan en un estado de contacto mutuo para formar un material revestido en el que el compacto sinterizado está cubierto por una chapa de material metálico, para lo cual las siguientes dos realizaciones se contemplan y prefieren.

Esto es, en una primera realización como se muestra en la figura. 2, un material de chapa metálica 4 de aluminio o de acero inoxidable se carga primero en la parte receptora de material en polvo de la matriz de conformación 1 en contacto con la superficie de punzón de la parte inferior del material de punzón 3, luego se carga la mezcla de polvo M (o compacto conformado por compresión) obtenido en la etapa (a), y se cubre desde arriba por un material de chapa metálica 5. En este estado, la sinterización por corriente eléctrica bajo presión se lleva a cabo bajo las condiciones mencionadas.

En una segunda realización, como se muestra en la figura. 3, la mezcla de polvo M (o compacto conformado por compresión) obtenido en la etapa (a) se carga en un elemento de caja 8 que consiste en un material de chapa inferior 6 y materiales de chapa laterales 7, a continuación, una chapa de tapa 9 se provee desde arriba. Este recipiente se recibe en la parte receptora de material en polvo de la matriz de conformación 1, y se lleva a cabo la sinterización por corriente eléctrica bajo presión bajo las condiciones mencionadas en este estado. Mientras que el elemento de caja 8 en la figura. 3 es rectangular, se utiliza un elemento de caja cilíndrica 8 en el caso de extrusión.

Una mezcla consistente en un polvo de aluminio mezclado o un compacto conformado por compresión del mismo se puede sinterizar por sinterización por corriente eléctrica bajo presión según cualquiera de los métodos anteriores, y al mismo tiempo estar en contacto cercano con los materiales metálicos de chapa superior e inferior 4, 5, o la parte inferior de chapa 6 y el material de chapa de tapa 9 del recipiente, formando de esta manera un material de revestimiento.

**[0033]** Además, en la presente invención, la etapa de sinterización puede ser sinterización multi-apilada, tales como sinterización de dos apilados o sinterización de tres apilados. La figura. 4 muestra una realización de sinterización de dos apilados, y la sinterización puede realizarse en disposiciones de tres o más apilados usando construcciones similares. En la fig. 4, 13 denota al menos un elemento de partición que se cruza perpendicularmente con la dirección de movimiento de punzón, como resultado de lo cual se delimitan dos espacios de partición en el espacio de recepción de la matriz de conformado. Mientras la sinterización por corriente eléctrica de a presión se lleva a cabo después de cargar un conjunto 11 de materiales de la mezcla y de chapa metálica en cada espacio de partición, un par de chapas apiladas 10 se proporcionan por encima y por debajo, entre los conjuntos respectivos 11

## ES 2 404 505 T3

y el molde de formación 1, y entre los respectivos conjuntos 11 y el elemento de partición 13, de modo que los elementos de punzón o los elementos de partición no se unirán a los conjuntos. Además, en la proximidad de las porciones periféricas de las chapas apiladas entre cada par de chapas apiladas 10, se provee un espaciador 12 rectangular en forma de bastidor que se extiende a lo largo de la periferia exterior de las chapas apiladas, con superficies superior e inferior que enfrentan las superficies opuestas de la pareja de chapas apiladas de arriba y debajo. Este espaciador 12 impide la deformación de las porciones de contacto de los materiales de chapa laterales 7 y los materiales de chapa de tapa 9 durante la sinterización por corriente eléctrica bajo presión, haciendo así que el elemento de caja 8 y el material de chapa de tapa 9 menos susceptibles de separarse.

**[0034]** Además, en una realización preferida de la presente invención, un material revestido cuya porciones periféricas están cubiertas por un bastidor metálico, tal como un material de aluminio en bloque se forma en la etapa (b), de modo que la carga al laminar se aplica al material de bastidor metálico, evitando así la aparición de grietas y fisuras principalmente en las direcciones laterales del material de revestimiento. La protección del material revestido debido a este bastidor metálico se puede lograr después de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión, o antes de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión. Si el ancho  $a$  del material de bastidor 15 se hace mayor, el material de bastidor 15 es capaz de recibir más de la carga de laminado, evitando mejor así grietas o fisuras en el material de revestimiento, por lo que la anchura  $a$  de el material de bastidor 15 debe ser preferiblemente al menos 5 mm. Más preferiblemente debería ser al menos 20 mm. Además, si el material de bastidor 15 está formado por el mismo metal que los materiales de chapa metálica y el recipiente metálico, se unirán mejor, y habrá menos diferencia en la cantidad de deformación de la composición durante el laminado.

**[0035]** Las figs. 5 y 6 muestran un ejemplo de fijación de un elemento de bastidor metálico 15 a las porciones periféricas de un conjunto representado por el recipiente 14 que consta de un elemento de caja y un elemento de tapa, en el que un material de bastidor 15 que consiste en bloques de aluminio se fija en el momento de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, y la periferia exterior del material de bastidor 15 está soldada o soldada por fricción-agitación después de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión. En la fig. 5, el número de referencia 16 denota el relleno de soldadura. Como puede entenderse de la figura. 5, si el recipiente 14 (o el conjunto, en lo sucesivo denominado recipiente 14) está formado de manera que las esquinas entre la parte inferior y la parte superior y las partes laterales son suavemente curvas, y se forman huecos 17 entre las porciones de esquina del recipiente 14 y el material de bastidor 15, los bloques de aluminio del material de bastidor 15 se fundirán en estos huecos 17 durante la sinterización, lo que garantiza que el material de bastidor 15 y el recipiente 14 están integrados, y mejora el coeficiente de fricción del material de bastidor 15. Puesto que la compresión del polvo se produce en el recipiente, el espesor del material de bastidor 15 de los bloques de aluminio debe ser menor que el espesor del recipiente 14. Si el material de bastidor 15 de los bloques de aluminio es aproximadamente el mismo o más grueso que el recipiente 14, entonces el material de bastidor 15 recibirá la mayor parte de la fuerza de compresión durante la sinterización por corriente eléctrica bajo presión, como resultado de lo cual no es mucha la fuerza de compresión que será aplicada al recipiente 14 y al polvo del interior. A la inversa, si el espesor del material de bastidor 15 es insuficiente, entonces la presión no se aplica al material de bastidor 15 en las etapas iniciales de laminado, por lo que debe ser preferiblemente al menos 90% del espesor del recipiente 14.

**[0036]** Las figs. 7 y 8 muestran otra realización de la unión del material de bastidor metálico 15 al recipiente 14, en la que después de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, un material de bastidor 15 que consiste en bloques de aluminio se une a las porciones periféricas del recipiente 14 formando un material revestido por soldadura 16 o soldadura por fricción. Este método es fácil de realizar y al hacer el material de bastidor 15 de bloques de aluminio ligeramente más gruesos que el recipiente 14, la presión se puede aplicar al material de bastidor 15 desde las etapas iniciales. Si se aplica presión al material de bastidor 15 en las primeras etapas, no es tan probable que ocurran grietas y fisuras en el material de revestimiento. Además, puesto que no hay necesidad de colocar el material de bastidor 15 en el dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, el compacto sinterizado por corriente eléctrica bajo presión se puede hacer mucho más grande.

Además, la figura. 9 muestra otra forma de realización, en la que la forma externa de las partes periféricas del recipiente 14 que constituyen las porciones exteriores del material revestido se estrechan haciendo el recipiente gradualmente más delgado en la dirección hacia fuera, permitiendo así que la carga de laminado sea dirigida al material de bastidor 15. Debido a tal estructura, la carga se aplica más a la parte gradual cuando se une el material de bastidor 15 del bloque de aluminio. Además, el recipiente 14 para revestimiento se puede producir con relativa facilidad, de modo que el trabajo de llenado con polvo en el caso de la formación por compresión tal como CIP antes del proceso de sinterización por corriente eléctrica bajo presión puede ser más fácil.

**[0037]** La figura 10 muestra una realización adicional, en la que el material de bastidor 15 de bloques de aluminio se sinteriza simultáneamente con el recipiente 14 en el momento de sinterización por corriente eléctrica bajo presión, y después de la sinterización, el material de bastidor 15 y el recipiente 14 se sueldan o se sueldan mediante batido por fricción en sus porciones periféricas exteriores. Al doblar los extremos de las partes de pestaña del recipiente 14 hacia fuera unos 90°, el área de sección transversal de la porción de pestaña se puede aumentar, y las partes curvadas centrales están soldadas o soldadas mediante batido por fricción en sus periferias enteras. Este método tiene la ventaja de ser capaz de aumentar la resistencia a tracción de las pestañas.

Además, como se muestra en la figura. 11, el bastidor metálico 15 puede estar formado por fusión de una pluralidad de elementos de bastidor 15 mediante soldadura o soldadura por fricción, pero una gran fuerza es aplicada a las porciones de esquina 18 durante el laminado, de manera que las porciones de esquina 18 se pueden soldar para elevar la resistencia. Además, con el fin de aumentar aún más la resistencia de las porciones de esquina del material de bastidor 15, puede usarse un bastidor de metal integral 15 hecho cortando la porción central de un material de

## ES 2 404 505 T3

chapa de aluminio por corte por hilo o por una prensa como se muestra en la figura 13. Además, un material de aluminio hueco extruido cortado a dimensiones apropiadas puede utilizarse como el bastidor metálico 15.

5 [0038] La figura. 13 muestra otra forma de realización, en la que 19 indica el material de chapa metálica y 20 denota la mezcla. En este ejemplo, un material de bastidor metálico 15 de aluminio o similar está fijado a las porciones periféricas de la mezcla 20 antes de la sinterización por corriente eléctrica bajo presión, y la mezcla 20 y el material de bastidor 15 son sinterizados simultáneamente. Puesto que el aluminio en la mezcla y el material de bastidor son sinterizados en estado fundido, se puede conseguir un compacto sinterizado más integrado. Mientras el elemento de bastidor metálico 15 puede consistir en una pluralidad de materiales de bloque de aluminio o similar, cuando se considera la resistencia de las partes de esquina, es preferible usar un cuerpo integrado obtenido por corte de la porción central de un material de chapa de aluminio por hilo de corte o mediante una prensa, o un material extruido de aluminio hueco cortado a las dimensiones apropiadas. En este caso, el material de bastidor 15 también entra en la parte receptora de material A, por lo que el compacto sinterizado será pequeño si la anchura  $a$  del material de bastidor es grande. Por lo tanto, puede usarse un material delgado de bastidor 15, y un material de bastidor adicional añadirse fuera el material de bastidor 15 después de sinterización por corriente eléctrica bajo presión.

### 15 (4) Etapa (c) (etapa de trabajo plástico)

20 [0039] El compacto sinterizado por corriente eléctrica bajo presión se somete generalmente a trabajo plástico en caliente, tal como extrusión en caliente, laminado en caliente o forjado en caliente, mejorando así la sinterización a presión logrando al mismo tiempo la forma deseada. Cuando se prepara un material revestido en forma de chapa, es posible obtener un material de chapa de revestimiento con una relación designada de revestimiento con un material de chapa de Al o un recipiente de Al mediante laminado en frío sólo. El trabajo plástico en caliente puede consistir en un solo procedimiento, o puede ser una combinación de una pluralidad de procedimientos. Además, puede realizarse trabajo plástico en frío después de un trabajo plástico en caliente. En el caso del trabajo plástico en frío, el material se puede hacer más fácil de trabajar por recocido a 100-530°C (preferiblemente 400-520°C) antes de trabajarlo.

25 Dado que el compacto sinterizado está revestido por un material de chapa metálica, la superficie no tiene ninguna partícula cerámica que de otro modo podrían ser un punto de origen de daños durante el trabajo plástico o desgastar los troqueles o similares. Como resultado, es posible obtener un material compuesto de aluminio con buena trabajabilidad plástica, sobresaliendo en resistencia y propiedades superficiales. Además, el material resultante que ha sido sometido a trabajo plástico en caliente tendrá una superficie revestida con un metal, con una buena adherencia entre el metal en la superficie y el compacto de aluminio sinterizado interior, teniendo por ello resistencia a corrosión, resistencia a impacto y conductividad térmica superior a materiales compuestos de aluminio cuyas superficies no están revestidas con un material metálico.

35 [0040] En una realización preferida del proceso de laminación, la superficie del material revestido está cubierta por una chapa metálica protectora tal como una chapa delgada de acero inoxidable, Cu o hierro dulce antes de la laminación. Como resultado, es posible evitar la separación entre el material sinterizado y el material de chapa metálica que puede producirse debido a la fricción entre el rodillo y el material de chapa metálica durante la laminación (especialmente las etapas iniciales).

40 La figura. 14 es una vista esquemática de un ejemplo de esta realización, en el que el material revestido 23 está cubierto por la chapa protectora 21 en el lado frontal en la dirección de movimiento y las superficies superior e inferior. Además, se realiza lubricación entre el material revestido 23 y la chapa de protección 21. Esta lubricación reduce la fricción entre la chapa protectora y el material de chapa metálica, por lo que es menos probable que se produzca una separación entre el compacto sinterizado y el material de chapa metálica. Más específicamente, por ejemplo, el compacto sinterizado por corriente eléctrica bajo presión puede ser cubierto por una chapa delgada de hierro dulce (0,5 mm de grosor), los interiores del compacto sinterizado y la chapa fina de hierro dulce se proveen con lubricación sólida por un lubricante basado en BN, y laminado en caliente (diámetro de rodillo 340 mm, longitud superficial 400 mm, velocidad 15,2 m/min). Con el fin de mejorar el mordiente, el rodillo 24 se puede dejar sin lubricación, o la superficie delantera de la chapa de hierro dulce puede ser rugosa (por ejemplo, utilizando papel de lija # 120). No hay necesidad de utilizar las chapas de protección hasta que la laminación se ha completado, y su uso puede ser interrumpido una vez que la laminación ha progresado hasta un cierto grado y el enlace entre el material de chapa metálica y el compacto sinterizado se hace fuerte. Además, la laminación repetida de la chapa de protección puede causar endurecimiento por deformación. Una chapa protectora endurecida por deformación puede rayar el material de revestimiento. Dado que los arañazos en el material revestido pueden ser el punto de origen de un daño adicional, la chapa de protección debe ser reemplazada por una nueva después de estar sometida a laminación una serie de veces.

### 55 Ejemplos

[0041] En adelante, el método de producción de la presente invención se describirá en detalle con referencia a los ejemplos. Los métodos para medir los valores físicos respectivos descritos en los ejemplos son como sigue.

(1) Composición

[0042] Se realizó un análisis por espectrometría de emisión ICP.

60 (2) Tamaño medio de las partículas

## ES 2 404 505 T3

[0043] Se utilizó un Microtrac (Nikkiso) para realizar medición de la distribución de tamaño de partícula por difracción láser tipo. El tamaño medio de partícula fue la mediana basada en volumen.

(3) Capacidad de laminación

5 [0044] Las muestras se evaluaron respecto a la presencia de grietas y las propiedades de superficiales al laminar. Las que tienen grietas superficiales en la superficie de la chapa se calificaron como "X", las que no tienen grietas en la superficie, sino irregularidades de arrugas fueron calificadas como "O" y las que no tienen grietas superficiales ni irregularidades fueron calificadas como "OO".

(4) Observación de Estructura

10 [0045] Una pequeña pieza cortada de una muestra se implantó en una resina, pulida por esmeril y disco de paño, luego se observó su estructura con un microscopio óptico.

(5) Análisis de Línea

[0046] Se utilizó un dispositivo de EPMA para estudiar la distribución de Mg en la muestra utilizada para observación de la estructura.

### [Ejemplo 1]

15 [0047] Un polvo cerámico  $B_4C$  se mezcló uniformemente con un polvo de aleación de aluminio con la composición mostrada en la Tabla 1, hasta tener 35% en masa. Entonces, se prepararon recipientes de longitud 100 mm x anchura 100 mm x altura 5 mm consistentes en aleaciones de aluminio JIS 5052 y JIS 1050 con un espesor de chapa de 0,5 mm y se cargaron en un dispositivo de sinterización por corriente eléctrica bajo presión con el polvo mixto antes mencionado dentro de los recipientes, luego se llevó a cabo la sinterización por corriente eléctrica bajo presión aplicando una tensión (intensidad eléctrica 7000 A) en una atmósfera de vacío (0,1 torr). Aquí, la temperatura de sinterización era 520-550°C, el tiempo de retención fue de 20 minutos, la velocidad de aumento de temperatura fue de 20°C/minuto, y la presión de 7 MPa.

[Tabla 1]

Composición de Polvo de Aleación de Aluminio formando Material de Matriz (unidades:% en masa)

Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Cr	Ni	Al
0.05	0.1	0.1	0.05	0.02	0.02	0.01	resto
Resto Al incluye impurezas inevitables							

25 [0048] Las piezas de ensayo se tomaron del material sinterizado resultante, y su estructura metálica se observó con un microscopio óptico. Las fotografías de microscopio se muestran en las Figs. 15 y 16. Esta fotografía muestra que las piezas de ensayo se sinterizaron a una densidad adecuadamente alta. Además, la figura. 16 muestra que las aleaciones de aluminio en polvo del recipiente y el interior estaban unidas fuertemente.

30 Además, la pieza de ensayo utilizado en la observación de estructura se sometió a análisis lineal para el contenido de Mg usando un dispositivo EPMA. Los resultados se muestran en la figura. 17. La figura. 17 muestra que el Mg en el material 5052 disminuye en la proximidad del plano de unión, y se detecta Mg dentro del compacto sinterizado cuyo material de matriz es aluminio puro. Es decir, el Mg del material 5052 se ha extendido dentro del compacto sinterizado. Esto también muestra que el material 5052 y el material sinterizado están firmemente unidos.

35 [0049] A continuación, el compacto sinterizado obtenido fue laminado en frío hasta un espesor de chapa de 2 mm. La figura. 18 es una fotografía que muestra el aspecto del material laminado en frío. La figura. 18 muestra que no existen defectos exteriores, y de laminación se logra. Además, fueron estudiadas la resistencia y la resistencia a corrosión (ensayo de esterilización salina: aspecto estudiado después de 500 horas de inmersión en solución salina a temperatura ambiente) del material laminado en frío. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

40 [0050] Como ejemplo comparativo, se laminó una muestra obtenida por sinterización por corriente eléctrica bajo presión de un polvo sin colocar en un recipiente (la composición y condiciones de producción restantes fueron las mismas). Sin embargo, se produjeron grietas y agujeros en la superficie, por lo que no pudo obtenerse un material laminado. Por tanto, se estudiaron la resistencia y la resistencia a la corrosión del material sinterizado. Los resultados también se muestran en la siguiente Tabla 2.

45 La Tabla 2 muestra que mientras los ejemplos del material laminado en frío obtenido en el párrafo [0044] sobresalen en resistencia y resistencia a la corrosión, teniendo también buena capacidad de laminación, el ejemplo comparativo es inferior a los ejemplos del material laminado en frío obtenido en el párrafo [0044] para todas las propiedades, y se agrieta durante la laminación.

[Tabla 2]

	Resistencia (MPa)	Resistencia a la Corrosión	Capacidad de laminación <i>Superficie Grietas</i>	
Material laminado en frío (1050)	120	Pequeñas picaduras superficiales	O	Ausente
Material laminado en frío (5052)	190	Sin corrosión superficial	OO	Ausente
Ejemplo comparativo (sin recipiente)	110	Muchas picaduras	X	Presente

## [Ejemplo 2]

5 [0051] se mezcló polvo cerámico B<sub>4</sub>C con un polvo de aleación de aluminio de la composición mostrada en la Tabla 1, a fin de ser 43% en masa. A continuación, el polvo mezclado se colocó en un recipiente cilíndrico (Φ100 mm; espesor de chapa 2 mm) de aluminio puro (JIS 1050) y se realizó sinterización por corriente eléctrica bajo presión en las condiciones descritas en Ejemplo 1.

10 A continuación, el material sinterizado resultante se calentó a 480°C, y se extruyó en caliente en forma de chapa plana de espesor 6 mm x 40 mm. La figura. 19 muestra una fotografía de microscopio de la estructura metálica. La figura. 19 muestra que el material extruido se sinterizó, y el recipiente y el material extruido están bien unidos.

**REIVINDICACIONES**

- 5 **1.** Un método para producir un material compuesto de aluminio, **caracterizado porque** comprende (a) una etapa de mezclar un polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un material mixto, (b) una etapa de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión dicho material mixto junto con un material de chapa metálica para formar un material revestido en la que un compacto sinterizado se recubre con una chapa de material metálico, y (c) una etapa de someter dicho material revestido a trabajo plástico para obtener un material compuesto de aluminio.
- 10 **2.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 1, en el que dicha etapa (b) incluye cargar dicho material mixto en una matriz de conformado, junto con un material de chapa metálica en un estado de contacto con el material de chapa metálica, y someter a sinterización por corriente eléctrica bajo presión mientras se comprime con un punzón y se aplica tensión eléctrica.
- 15 **3.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 2, en el que dicha etapa (b) incluye intercalar el material mixto entre un par de materiales de chapa metálica, cargar en una matriz de conformado con un material de chapa metálica siendo presionado por un punzón, y comprimir el material mixto junto con el material de chapa metálica.
- 20 **4.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 2, en el que dicha etapa (b) incluye colocar el polvo mixto en un recipiente metálico con un material de chapa de tapa opuesto a un material de chapa de fondo, cargar en una matriz de conformado con el material de chapa de fondo y el material de chapa de tapa prensados por un punzón, y comprimir el material mixto junto con el recipiente.
- 25 **5.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que dicha etapa (b) incluye preparar al menos dos conjuntos de un material mixto y materiales de chapa metálica y realizar la sinterización por corriente eléctrica bajo presión con dichos al menos dos conjuntos cargados en una matriz de conformado en un estado apilado, para formar simultáneamente al menos dos materiales revestidos.
- 30 **6.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 5, en el que un espacio de recepción en el interior de la matriz de conformado está dividido por al menos un elemento de partición perpendicular a la dirección de movimiento del punzón para delimitar al menos dos compartimentos, dichos al menos dos conjuntos se cargan en dichos al menos dos compartimentos para llevar a cabo la sinterización por corriente eléctrica bajo presión.
- 35 **7.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 6, en el que un par de chapas apiladas se disponen entre dichos conjuntos y la matriz de conformado y dichos conjuntos y el elemento de partición para realizar la sinterización por corriente eléctrica bajo presión.
- 40 **8.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que dichos materiales de chapa metálica están compuestos de aluminio o acero inoxidable.
- 45 **9.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicha etapa (a) incluye mezclar el polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un material mixto que consiste en un polvo mixto.
- 50 **10.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que dicha etapa (a) incluye mezclar el polvo de aluminio y partículas cerámicas para preparar un polvo mixto, y someter dicho polvo mixto a compresión para preparar un material mixto consistente en un compacto formado por compresión.
- 55 **11.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que en dicha etapa (a), el polvo de aluminio es un polvo de Al puro con una pureza de al menos 99,0% o un polvo de aleación que contiene Al y 0,2 -2% en masa de al menos uno de Mg, Si, Mn y Cr, y las partículas cerámicas son hasta 0.5-60% de la masa total del material mixto.
- 12.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que dicha etapa (b) incluye la formación de un material revestido cuya porciones periférica están cubiertas por un material de bastidor metálico, y, en dicha etapa (c), el trabajo plástico es un proceso de laminación.
- 13.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 12, en el que dicha etapa (b) incluye cubrir las porciones periféricas del material revestido con un material de bastidor metálico después de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión.
- 14.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 12, en el que dicha etapa (b) incluye cubrir las porciones periféricas del material de chapa metálica y/o el material mixto con un material de bastidor metálico antes de sinterizar por corriente eléctrica bajo presión.
- 15.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el material de bastidor metálico se forma uniendo una pluralidad de elementos de bastidor mediante soldadura o soldadura por fricción.

## ES 2 404 505 T3

- 16.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el material de bastidor metálico se compone de una sola pieza.
- 17.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, en el que dicho material de bastidor metálico es un material de aluminio.
- 5** **18.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en el que dicha etapa (c) incluye cubrir la superficie de dicho material revestido con una chapa metálica de protección antes de realizar el proceso de laminación.
- 10** **19.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 18, en el que dicha etapa (c) incluye cubrir dicho material revestido con dicha chapa protectora en un lado delantero en una dirección de movimiento y en las superficies superior e inferior.
- 20.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según la reivindicación 18 o 19, en el que se realiza lubricación entre dichos material revestido y chapa protectora.
- 21.** Un método para producir un material compuesto de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, en el que dicha chapa de protección es una chapa delgada compuesta de acero inoxidable, Cu o hierro dulce.

Figura 1

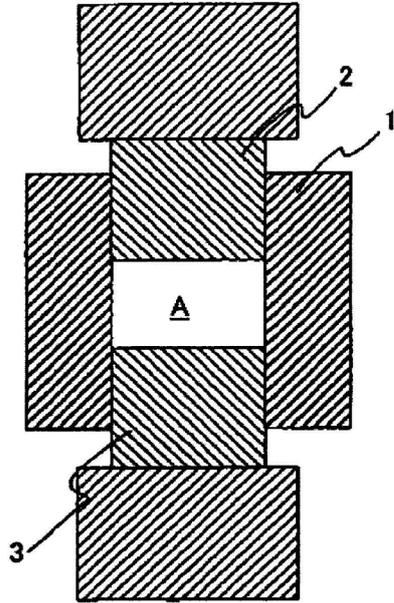


Figura 2

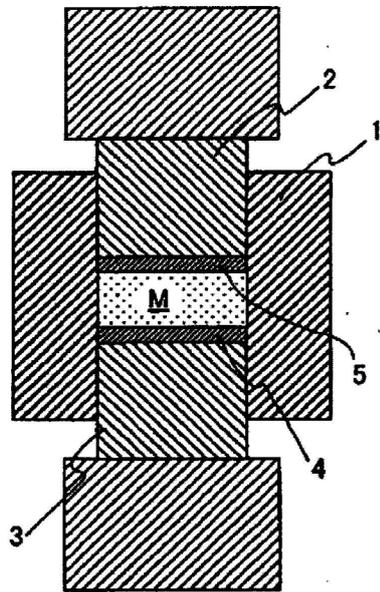


Figura 3

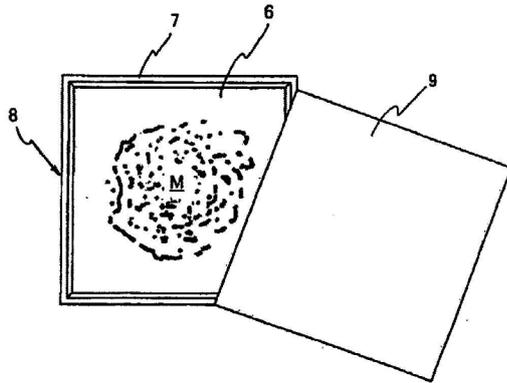


Figura 4

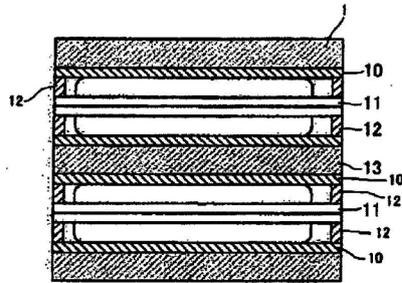


Figura 5

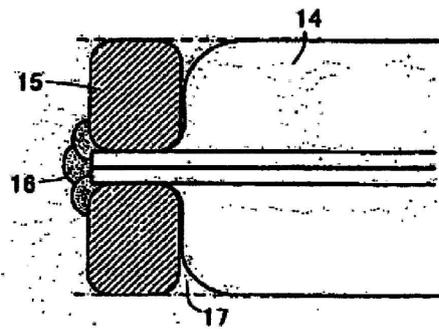


Figura 6

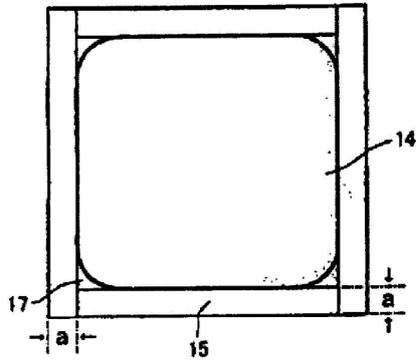


Figura 7

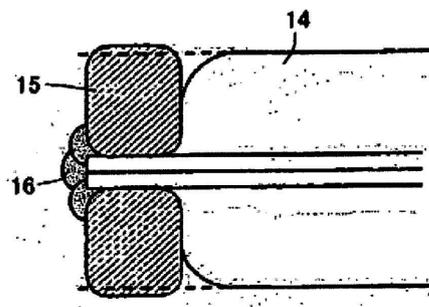


Figura 8

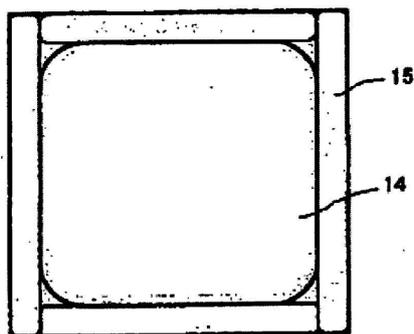


Figura 9

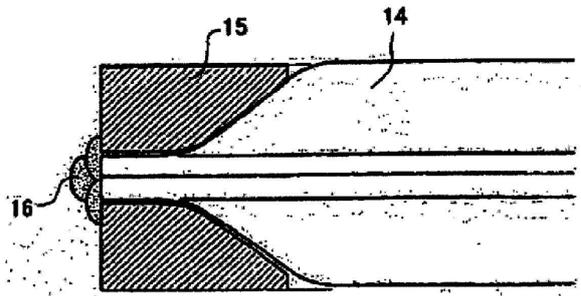


Figura 10

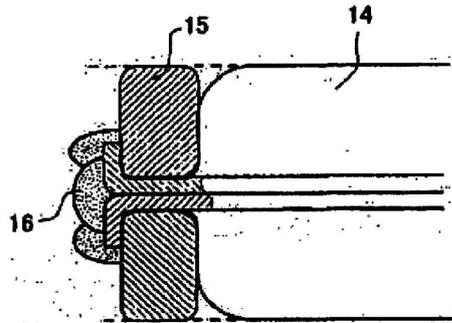


Figura 11

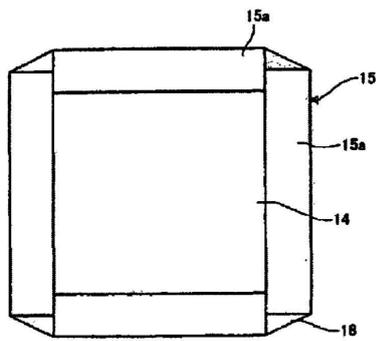


Figura 12

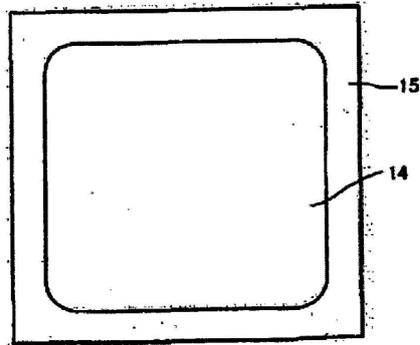


Figura 13

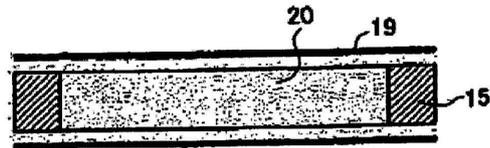


Figura 14

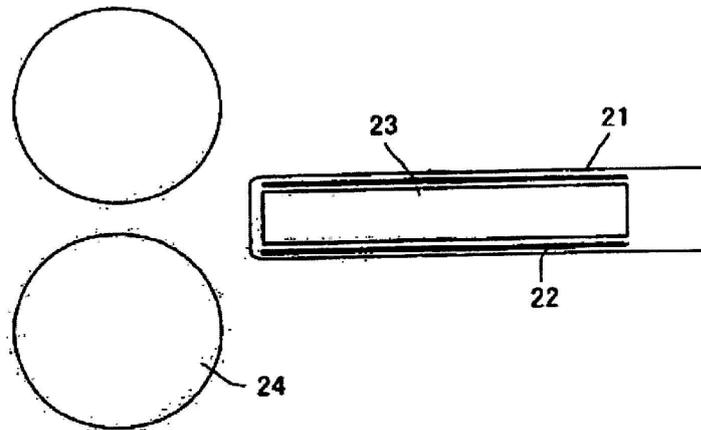
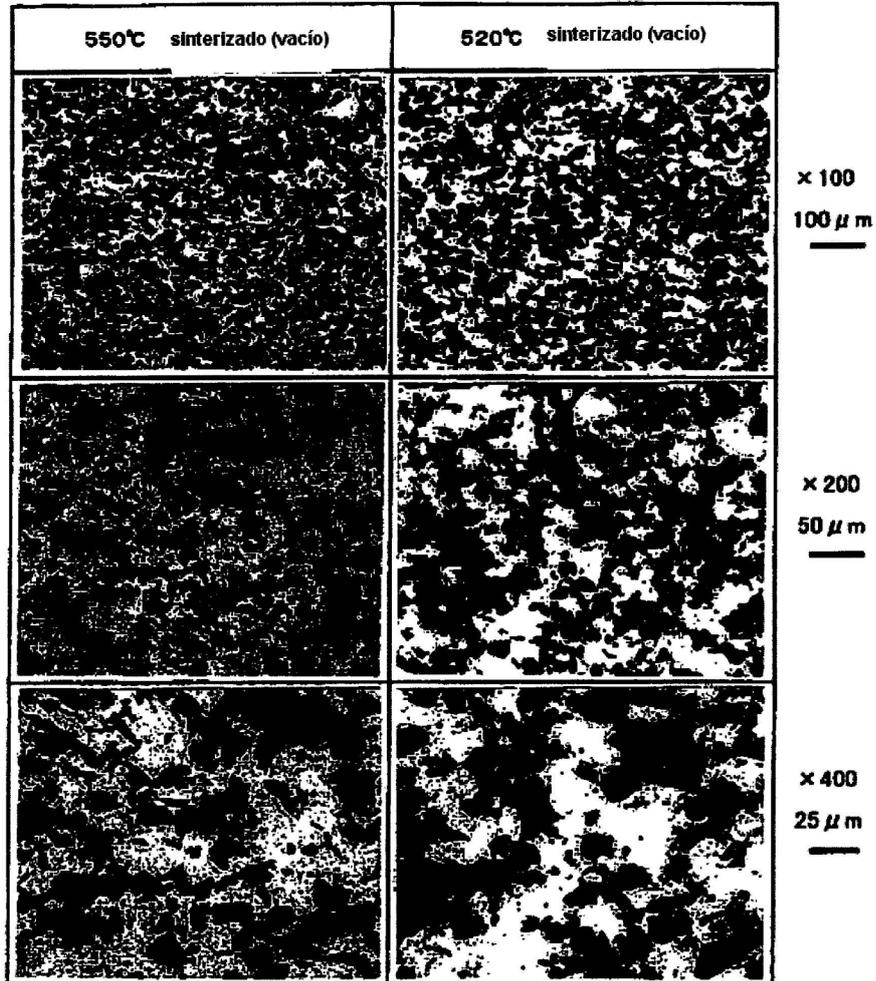


Figura 15



Microestructura sección de SPS compacto sinterizado (contenedor 1050) (LT sección transversal)

Figura 16

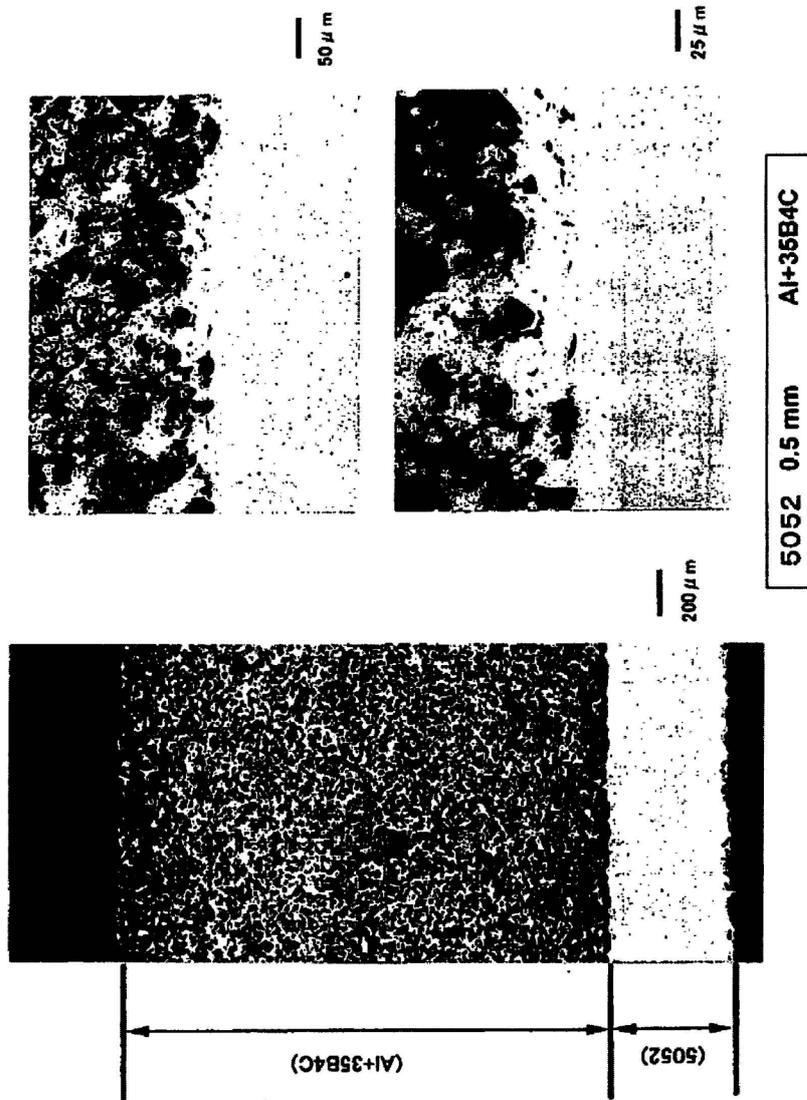


Figura 17

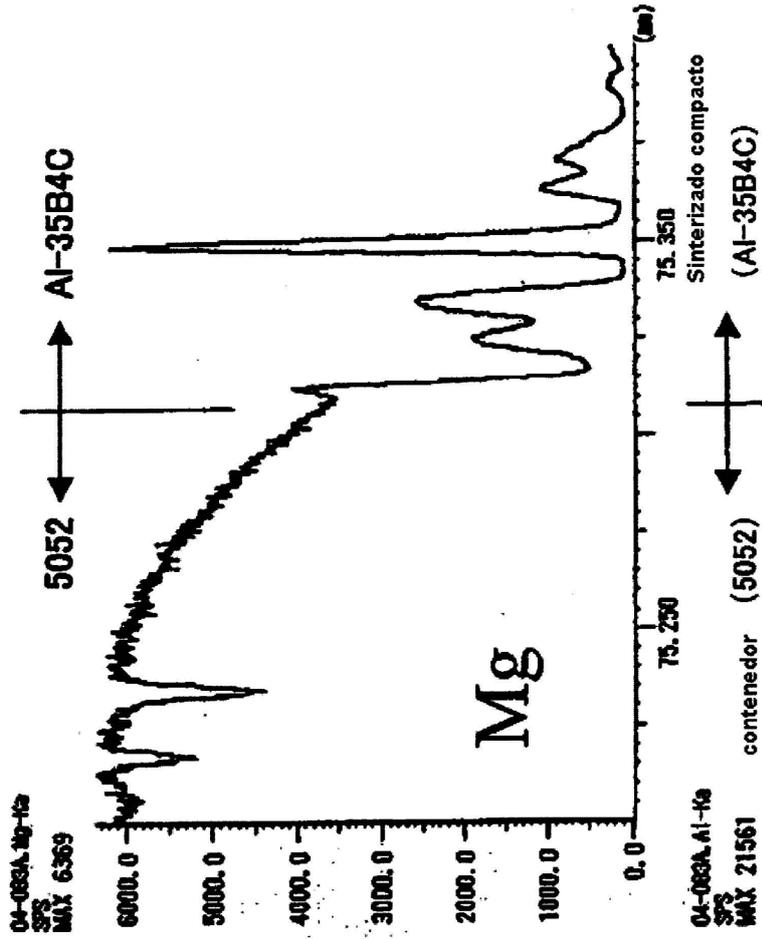
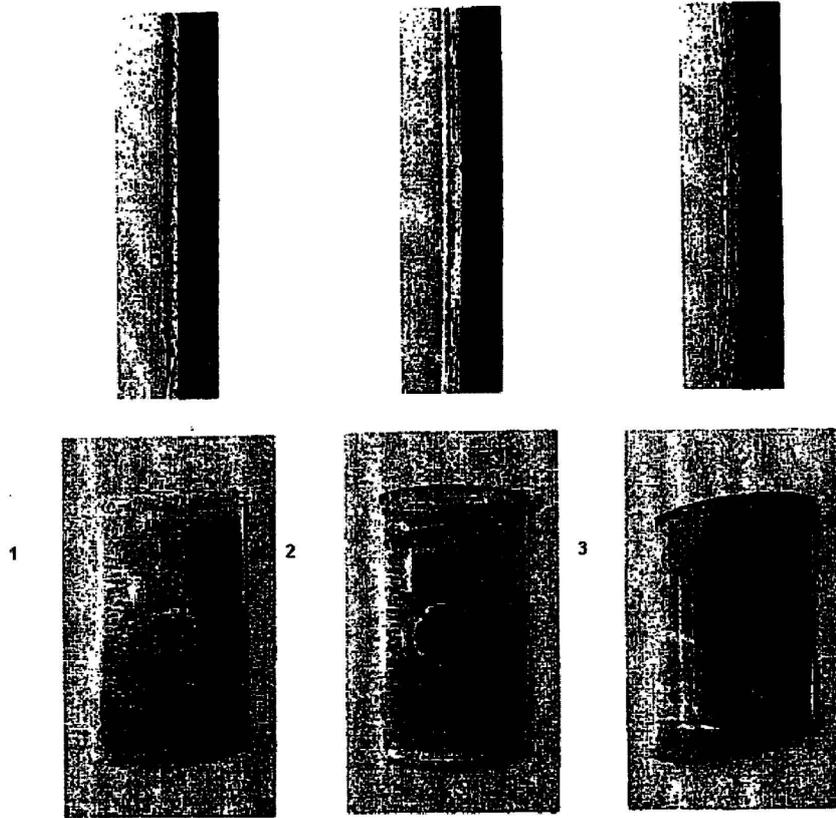


Figura 18



1. Recipiente de 1050, 550 de sinterización
2. Recipiente de 1050, 520 de sinterización
3. Recipiente de 1050, 550 de sinterización

Figura 19

