

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 633**

51 Int. Cl.:

B22F 3/02 (2006.01)
B22F 3/17 (2006.01)
B22F 3/18 (2006.01)
B22F 3/20 (2006.01)
B22F 7/08 (2006.01)
C22C 32/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2015 PCT/US2015/015548**
87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15123380**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2015 E 15749700 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 3104995**

54 Título: **Método para fabricar un material compuesto de matriz de metal**

30 Prioridad:

13.02.2014 US 201461939357 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.07.2020

73 Titular/es:

**CERADYNE INC. (100.0%)
3169 Red Hill Avenue
Costa Mesa, California 92626, US**

72 Inventor/es:

**LANDRY-DÉSY, ÉTIENNE;
GIASSON, GENEVIÈVE y
NAWAZ, MUHAMMAD ZUBAIR**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 773 633 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 fabricar un material compuesto de matriz de metal

5 **Campo técnico**

Se describe un proceso para fabricar un material compuesto de matriz de metal. En una realización, el material compuesto de matriz de metal se usa como un material de blindaje de neutrones.

10 **Antecedentes**

Los materiales Metal matrix composite (Materiales compuestos de matriz de metal - MMC), que comprenden un metal y una cerámica, se han usado cada vez más como materiales absorbentes de neutrones en la industria nuclear para el almacenamiento y transporte de combustible fresco y agotado.

15 El documento WO 2009/054075 describe un método para producir un material compuesto de matriz de aluminio que comprende las etapas de mezclar un polvo de aluminio y un polvo de cerámica para preparar un polvo mezclado; proporcionar una carcasa inferior hecha de aluminio y en forma de paralelepípedo rectangular hueco con una parte superior abierta, y un elemento de cierre hecho de aluminio y con una forma adaptada para cerrar herméticamente la parte superior abierta de la carcasa inferior; compactar el polvo mezclado en la carcasa inferior; cerrar la parte superior abierta de la carcasa inferior llena del polvo mezclado mediante el elemento de cierre para preparar una unidad de prelamina-
20 ción teniendo el polvo mezclado encerrado herméticamente en su interior; precalentar la unidad de prelamina-
ción y laminar la unidad precalentada para obtener el material compuesto de matriz de aluminio, en donde el material compuesto de matriz de aluminio incluye un par de placas de metal que tienen el polvo mezclado entre las mismas.

25 **Resumen**

Hay una demanda de artículos de MMC que tengan una mayor densidad final y/o mayor contenido de cerámica, lo que da como resultado un rendimiento mejorado, en al menos una realización. También existe la necesidad de un procesamiento mejorado y/o reducción de los costes de fabricación.

En un aspecto, se proporciona un método para fabricar un material compuesto de matriz de metal que comprende:
35 (a) formar una caja de metal que comprende una placa que forma la parte inferior que tiene una longitud y una anchura, un primer par de placas que forman lados que tienen una longitud y una altura, y un segundo par de placas que forman lados que tienen una longitud y una altura;
(b) mezclar un polvo de metal y un polvo de cerámica para preparar un polvo mezclado;
(c) llenar en exceso la caja de metal con el polvo mezclado, en donde antes de dicho llenado en exceso se coloca un marco o una manga de mazarotaje sobre y/o alrededor de la caja de metal para contener el sobrante de polvo mezclado;
40 (d) después de dicho llenado en exceso, compactar el polvo mezclado en la caja de metal aplicando presión o fuerza de al menos 13,8 MPa (1 T/in²) para proporcionar la caja de metal que comprende una preforma de polvo compactado, en donde el polvo mezclado no se somete a sinterización y la preforma de polvo compactado tiene una relación de densidad de al menos 0,65, donde la relación de densidad se calcula dividiendo el peso del polvo mezclado por el volumen de la caja de metal y a continuación dividiendo por la densidad teórica del polvo mezclado asumiendo un material totalmente denso;
45 (e) retirar el marco o la manga de mazarotaje y a continuación apoyar firmemente una placa que forma la parte superior sobre la caja de metal contra la caja de metal que comprende la preforma de polvo compactado, y sellarla alrededor de sus bordes para producir una unidad de prelamina-
ción; y
(f) realizar un mecanizado en caliente sobre la unidad de prelamina-
50 ción para obtener el material compuesto de matriz de metal con un revestimiento de metal.

El resumen anterior no pretende describir cada realización. Los detalles de una o más realizaciones de la invención se exponen también en la siguiente descripción.

55 Otras características, objetos y ventajas resultarán evidentes a partir de la descripción y de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos:

60 la Figura 1 es una vista en perspectiva de la unidad 10 de prelamina-
ción

la Figura 2 es una vista en perspectiva de una caja 20 de metal, representando la longitud (l), la anchura (w) y la altura (h);

65 la Figura 3 es una vista lateral de la unidad 30 de compactación; y

la Figura 4 son micrográficas de material compuesto de matriz de metal compactado a (A) 0 T/in², (B) 3 T/in² y (C) 7 T/in².

Descripción detallada

- 5 Como se usa en la presente memoria, los términos “un”, “una” y “el”, “la” se usan indistintamente y significan uno o más; y “y/o” se usa para indicar que uno o ambos casos expuestos pueden darse, por ejemplo, A y/o B incluye (A y B) y (A o B).
- 10 También en la presente memoria, la mención de intervalos por sus puntos extremos incluye todos los números incluidos dentro de ese intervalo (p. ej., 1 a 10 incluye 1,4, 1,9, 2,33, 5,75, 9,98, etc.).
- También en la presente memoria, la mención de “al menos un/una” incluye todos los números de uno y mayores (p. ej., al menos 2, al menos 4, al menos 6, al menos 8, al menos 10, al menos 25, al menos 50, al menos 100, etc.).
- 15 En los últimos años, se han desarrollado materiales compuestos de aluminio, no solo por su resistencia y baja densidad, sino también por otros usos que requieren un alto módulo de Young, resistencia al desgaste, disipación de calor, resistencia a la corrosión, poca dilatación térmica, y capacidad de absorción de neutrones. En general, cada función se puede aumentar aumentando la cantidad de cerámicas que tengan la función requerida, pero aumentar simplemente las cantidades puede reducir en gran medida la maleabilidad, la capacidad de extrusión, la capacidad de laminación, la ductilidad y la capacidad de forjado.
- 20 Por lo tanto, se han contemplado métodos para preformar los materiales cerámicos, impregnando con una fusión de aluminio y dispersando a continuación de forma uniforme los materiales cerámicos con una alta concentración en la fase de matriz, pero esto conlleva el inconveniente de que se produzcan posibles defectos por la inadecuada penetración de la fusión y el encogimiento durante la solidificación. Además, en el aluminio se suele presentar aglomeración y separación de la cerámica.
- 25 La patente US-7.998.401 (Okaniwa y col.) describe un método alternativo para aumentar el contenido de cerámica en un MMC, del que se dice que es fácil de producir. Okaniwa y col. describen la sinterización por presión eléctrica de una mezcla de polvo de aluminio/cerámica dentro de una lámina de metal y, a continuación, el sometimiento de este material de revestimiento metálico a una etapa de mecanizado plástico.
- 30 En la presente descripción se ha descubierto que, al compactar un polvo mezclado que comprenda polvo de metal y polvo de cerámica, se pueden lograr densidades altas de polvo a la vez que se minimiza la deformación del material y su dispersión durante la conformación en caliente, dando como resultado, por ejemplo, un material que presenta una mayor eficacia de rendimiento.
- 35 La presente descripción puede entenderse con referencia a la Figura 1. En la Figura 1 se muestra una unidad 10 de prelamina que comprende una caja 12 de metal, una preforma 15 de polvo compactado y una placa 18 que forma la parte superior. Posteriormente, la unidad de prelamina se lamina para formar un material compuesto de matriz de metal recubierta.
- 40
- Caja de metal
- 45 La caja de metal comprende 5 caras de metal: una placa que forma la parte inferior, un primer par de placas que forman lados y un segundo par de placas que forman lados. La caja de metal se puede fabricar de cinco piezas metálicas individuales o menos. Por ejemplo, la caja de metal se podría fabricar de 2 piezas metálicas: una sola pieza que forma las paredes laterales y una pieza inferior.
- 50 Las placas de conformación se hacen de metal. No hay ninguna limitación particular en cuanto al metal usado, siempre y cuando el metal supere en adherencia al material en polvo y sea adecuado para el laminado en caliente; estos metales incluyen: aluminio, magnesio y acero inoxidable. Ejemplos de metales incluyen, por ejemplo, aluminio puro (AA1100, AA1050, AA 1070, etc.); materiales de aleación de aluminio tales como aleación de Al—Cu (AA2017 etc.), aleación de Al—Mg (AA5052 etc.), aleación de Al—Mg—Si (AA6061 etc.), aleación de Al—Zn—Mg (AA7075 etc.) y aleación de Al—Mn; materiales de aleación de magnesio tales como Mg-Al-Zn-Mn (AZ31, AZ61, etc.); y un material de aleación de acero inoxidable tal como Fe-Cr (SAE 304, 316, 316L, etc.).
- 55
- 60 La caja de metal funciona principalmente como un recipiente para contener el polvo compactado a medida que se mecaniza. El metal seleccionado debería determinarse teniendo en cuenta las propiedades deseadas, el coste y similar. Por ejemplo, cuando se desea mejorar la maleabilidad y la capacidad de disipación de calor, es preferible el aluminio puro. También es preferible el aluminio puro en términos de control de la contaminación para aplicación nuclear y por el coste de la materia prima en comparación con las aleaciones de aluminio. Cuando se desea mejorar la resistencia o maleabilidad, es preferible una aleación de Al—Mg (AA5052 etc.).

Polvo de metal

Dentro de la caja de metal se contiene un polvo mezclado que comprende un polvo de metal y un polvo de cerámica. De forma típica, el polvo de metal es aluminio, sin embargo se pueden usar otros polvos de metal, incluido magnesio o acero inoxidable. Los tipos ilustrativos de polvos de metal incluyen aluminio puro (polvo de aluminio de una pureza de al menos el 99,0 %, p. ej., AA1100, AA1050, AA1070, etc.), o una aleación de aluminio que contenga aluminio y un 0,2 a 2 % en masa de otro metal. Tales aleaciones incluyen: Aleaciones de Al—Cu (AA2017 etc.), aleaciones de Al—Mg (AA5052 etc.), aleaciones de Al—Mg—Si (AA6061 etc.), aleaciones de Al—Zn—Mg (AA7075 etc.) y aleaciones de Al—Mn, bien solas o como una mezcla de dos o más.

La composición del polvo de metal que seleccionar se puede determinar teniendo en cuenta, por ejemplo, las propiedades deseadas, resistencia a la corrosión, control de la contaminación, resistencia a la deformación en el mecanizado en caliente, cantidad de partículas de cerámica mezcladas y costes de la materia prima. Por ejemplo, cuando se desea aumentar la maleabilidad o la disipación de calor, es preferible un polvo de aluminio puro (como un aluminio serie AA1XXX donde X es un número). Un polvo de aluminio puro también es ventajoso en términos de costes de materia prima en comparación con el caso de polvos de aleación de aluminio. Como polvo de aluminio puro es preferible usar uno de una pureza de al menos un 99,0 % en masa (los polvos de aluminio puro comerciales tienen, normalmente, una pureza de al menos un 99,7 % en masa).

Cuando se desea obtener capacidad de absorción de neutrones, se usa un compuesto de boro como partículas de cerámica, que se describen más adelante, pero cuando se desea aumentar aún más la capacidad resultante de absorción de neutrones, es preferible añadir al polvo de aluminio un 1-50 % en masa de un tipo de elemento que proporcione capacidad de absorción de neutrones como el hafnio (Hf), el samario (Sm) o el gadolinio (Gd). De forma adicional, cuando se requiere resistencia a altas temperaturas, es posible añadir al menos un elemento seleccionado de titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni), molibdeno (Mo), niobio (Nb), zirconio (Zr) y estroncio (Sr), y cuando se requiere resistencia a temperatura ambiente es posible añadir al menos un elemento seleccionado de silicio (Si), cobre (Cu), magnesio (Mg) y zinc (Zn) en una proporción del 2 % en masa o menos para cada elemento, y un total de un 15 % en masa o menos.

Aunque el tamaño medio de partículas del polvo de metal no está especialmente restringido, el polvo de metal debería ser, generalmente, como máximo de aproximadamente 500 µm (micrómetros), 150 µm, o incluso 60 µm o menos. Aunque el límite inferior del tamaño medio de partículas no está especialmente limitado siempre que se pueda producir, el polvo debería ser, generalmente, de al menos 1 µm, 5 µm, 10 µm o incluso 20 µm. Para los propósitos de la presente descripción, el tamaño medio de partículas se referirá al valor D₅₀ medido por distribución de tamaño de partículas por difracción láser. La forma del polvo de metal tampoco está limitada, y puede ser en forma de lágrima, esférica, elipsoide, en forma de escama o irregular.

En una realización de la presente descripción, el polvo de metal tiene una distribución de tamaño de partículas monomodal. En otra realización de la presente descripción, el polvo de metal tiene una distribución de tamaño de partículas multimodal (p. ej., bimodal, trimodal, etc.). En una realización, el polvo de metal tiene una distribución bimodal, en donde la relación de la partícula media del primer modo (que comprende las partículas más pequeñas) al segundo modo (que comprende las partículas más grandes) es al menos 1:2, 1:3, 1:5, 1:7, 1:11 o incluso 1:20. Las amplitudes de los modos pueden ser anchas o estrechas.

El método de producción del polvo de metal no está limitado, y se puede producir mediante métodos de producción de polvos de metal públicamente conocidos. El método de producción puede, por ejemplo, ser mediante atomización, hilado de fusión, disco giratorio, electrodo giratorio u otro método de solidificación de rápido enfriamiento, pero un método de atomización, especialmente un método de atomización de gas inerte, en donde se produce un polvo por atomización de una fusión, es preferible para la producción industrial.

Polvo de cerámica

El polvo de cerámica se mezcla con el polvo de metal para formar eventualmente el material compuesto de matriz de metal. Los polvos de cerámica ilustrativos incluyen Al₂O₃, SiC o B₄C, BN, nitruro de aluminio y nitruro de silicio. Estos se pueden usar solos o como una mezcla, y se pueden seleccionar en función del uso previsto del material compuesto.

La composición del polvo de cerámica que seleccionar puede determinarse teniendo en cuenta, por ejemplo, las propiedades deseadas, la cantidad de partículas de cerámica usada y el coste. Cuando se desea conseguir la capacidad de absorción de neutrones se usa, de forma típica, un compuesto de boro para la partícula de cerámica.

El boro (B) tiene la capacidad de absorber neutrones, de manera que el MMC de la presente descripción se puede usar como un material absorbente de neutrones si se usan partículas de cerámica que contienen boro. En ese caso, la cerámica que contiene boro puede ser, por ejemplo, B₄C, TiB₂, B₂O₃, BN FeB o FeB₂, usados bien solos o en una mezcla. En particular, es preferible usar carburo de boro B₄C que contiene grandes cantidades de ¹⁰B, que es un isótopo de B que absorbe bien los neutrones.

El método de producción del polvo de cerámica no está limitado, y se puede producir mediante métodos de producción de polvos de cerámica públicamente conocidos. Después de la síntesis de la cerámica, se puede emplear un proceso de acabado (como molienda por chorro o molienda de bolas) para ajustar el tamaño de las partículas. Se prefiere un proceso de acabado que lleve a una partícula de forma elipsoide o partículas de forma esférica.

5 Aunque el tamaño medio de partículas de las partículas cerámicas no está especialmente restringido, el polvo de cerámica debería ser, generalmente, como máximo de aproximadamente 60 μm , 40 μm o incluso 20 μm , y al menos 1 μm , 3 μm o incluso 5 μm . Si el tamaño de partículas medio es superior a 60 μm , las partículas gruesas hacen más frágil el material compuesto de matriz de metal afectando a las propiedades mecánicas. Si el tamaño de partículas promedio es menor que 1 μm , entonces estos polvos finos pueden aglomerarse entre sí, dificultando la obtención de una mezcla uniforme con el polvo de metal. Para los propósitos de la presente invención, el tamaño medio de partículas se referirá al valor D_{50} medido por la distribución de tamaños de partículas por difracción láser. La forma del polvo tampoco está limitada, y puede ser esférica, elipsoide, en forma de escama o irregular.

15 En una realización de la presente descripción, el polvo de cerámica tiene una distribución de tamaños de partículas monomodal. En otra realización de la presente descripción, el polvo de cerámica tiene una distribución de tamaños de partículas multimodal (p. ej., bimodal, trimodal, etc.). En una realización, el polvo de cerámica tiene una distribución bimodal, en donde la partícula media del primer modo (que comprende las partículas más pequeñas) al segundo modo (que comprende las partículas más grandes) es al menos 1:2, 1:3, 1:5, 1:7, 1:11 o incluso 1:20. Las amplitudes de los modos pueden ser anchas o estrechas.

Métodos de fabricación

25 El método para producir un material compuesto de matriz de metal según la presente descripción comprende (a) formar una caja de metal que comprende una placa que forma la parte inferior que tiene una longitud y una anchura, un primer par de placas que forman lados que tienen una longitud y una altura, y un segundo par de placas que forman lados que tienen una anchura y una altura; (b) mezclar un polvo de metal y un polvo de cerámica para preparar un polvo mezclado; (c) llenar en exceso la caja de metal con el polvo mezclado, en donde antes de dicho llenado en exceso se coloca un marco o una manga de mazarotaje sobre y/o alrededor de la caja de metal para contener el sobrante de polvo mezclado; (d) después de dicho llenado en exceso, compactar el polvo mezclado en la caja de metal aplicando presión o fuerza de al menos 13,8 MPa (1 T/in²) para proporcionar la caja de metal que comprende una preforma de polvo compactado, en donde el polvo mezclado no se somete a sinterización y la preforma de polvo compactado tiene una relación de densidad de al menos 0,65, donde la relación de densidad se calcula dividiendo el peso del polvo mezclado por el volumen de la caja de metal y a continuación dividiendo por la densidad teórica del polvo mezclado asumiendo un material totalmente denso; (e) retirar el marco o la manga de mazarotaje y a continuación apoyar firmemente una placa que forme una parte superior sobre la caja de metal contra la caja de metal que comprende la preforma de polvo compactado, y sellarla alrededor de sus bordes para producir una unidad; y (f) realizar un mecanizado en caliente sobre la unidad de para obtener el material compuesto de matriz de metal con un revestimiento de metal.

40 Fabricación de la caja

45 La caja de metal puede estar formada por una pluralidad de elementos que formen placas, o puede ser de una sola pieza. En una realización, la caja de metal se hace de una sola pieza metálica obtenida (i) cortando la parte central de un material de placa metálico, o (ii) de un material extruido hueco cortado a una longitud apropiada, y luego adaptando una placa inferior a la única pieza metálica formando una caja.

50 En la Figura 2 se muestra un esquema de una caja 20 de metal que comprende una placa 21 que forma la parte inferior, un primer par de placas, 23a y 23b, que están opuestas entre sí, y un segundo par de placas, 25a y 25b, que forman lados que también están opuestas entre sí. La placa inferior tiene un primer espesor, una longitud y una anchura. El primer par de placas que forman lados tiene un segundo espesor, una longitud y una altura. El segundo par de placas que forman lados tiene un tercer espesor, una anchura y una altura.

55 Las placas metálicas que forman lados pueden sellarse juntas para formar una caja de metal. El sellado de la caja de metal puede ser continuo o discontinuo siempre y cuando la caja se mantenga unida, permitiéndole contener el polvo mezclado descrito más adelante, incluso cuando la unidad se somete a la laminación en caliente. De forma típica, estos materiales de sellado incluyen: un metal (p. ej., soldadura de metal con gas inerte tal como soldadura de tungsteno con gas inerte; o soldadura por fricción-agitación). En una realización, se proporciona una unión soldada lisa entre los bordes de las piezas. La soldadura puede formarse por un flujo continuo, puro y uniforme. 60 En una realización, no se permiten vacíos en la soldadura, ya que esto significa una debilidad estructural en la caja o lingote y hace que se rompa y se abra durante la laminación posterior.

65 La caja de metal tiene una longitud (l), una anchura (w) y una altura (h), como se muestra en la Figura 2. La longitud y la anchura de la caja de metal son mayores que la altura. Se entenderá que se pueden emplear cajas de diferentes tamaños y que las operaciones posteriores puedan producir artículos terminados con diferentes espesores.

De forma típica, la longitud de la caja no está especialmente limitada, ya que la etapa de mecanizado en caliente se lleva a cabo a lo largo del eje longitudinal. De forma típica, la anchura de la caja está limitada por la longitud de la maquinaria utilizada (p. ej., rodillos, tamaño del extrusor), que se utilizan para aplanar el artículo en la etapa de mecanizado en caliente. En una realización, la longitud y la anchura de la caja no son iguales. En una realización, la longitud y la anchura de la caja son iguales. Las longitudes ilustrativas incluyen: al menos 10 cm (centímetros), 15 cm, 25 cm o incluso 50 cm; y no más de 1 m (metro), 2 m, 5 m o incluso 10 m. Las anchuras ilustrativas incluyen: al menos 5 cm, 10 cm, 15 cm, 25 cm o incluso 50 cm; y como máximo 50 cm, 100 cm o incluso 200 cm.

La altura de la caja de metal está limitada de forma típica por las dimensiones de la maquinaria de mecanizado en caliente (p. ej., los rodillos). Las alturas ilustrativas incluyen: como máximo 600 mm (milímetros), 400 mm, 200 mm, 80 mm o incluso 50 mm; y al menos 10 mm, 20 mm o incluso 30 mm.

En una realización, la altura de la caja de metal es menor que la longitud y la anchura de la caja de metal. Esto es especialmente preferible cuando se realiza una compactación en frío debido a la fricción generada entre el polvo mezclado y los lados de la caja de metal. En una realización, la relación de la altura y la anchura de la caja de metal es de al menos 1:2, 1: 2,5 o incluso 1:5; y no más de 1:100 o incluso 1:200.

Cada placa tendrá un espesor, de forma típica, inferior a 1 pulgada (2,5 cm). Las placas deberían ser lo suficientemente espesas para resistir la compactación y el esfuerzo del mecanizado en caliente, pero lo suficientemente finas para minimizar el espesor del revestimiento y reducir el coste, peso y volumen del artículo acabado resultante; en una realización, la placa que forma la parte superior y la placa que forma la parte inferior tienen el mismo espesor. En una realización, la placa que forma la parte superior y la placa que forma la parte inferior son de diferente espesor. En una realización, la placa que forma la parte inferior y la parte superior opuesta son más finas que los pares de placas que forman lados. En una realización, la placa inferior y la superior opuesta son iguales o más gruesas que los pares de placas que forman lados. El espesor ilustrativo para cada una de las placas incluye al menos 1 mm, 2 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm o incluso 20 mm; y no más de 50 mm, 100 mm, 125 mm o incluso 200 mm.

Mezclado

El polvo de metal y el polvo de cerámica se mezclan uniformemente. En una realización, el polvo mezclado comprende al menos un 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 20 o incluso 30 %, y como máximo un 40, 50, 55 o incluso 60 % en masa del polvo de cerámica. En el caso de blindaje de neutrones, dado que el material activo es carburo de boro, cuanto más carburo de boro haya, mejor. Sin embargo, a medida que aumenta el contenido del polvo de cerámica, aumenta la resistencia a la deformación para el mecanizado en caliente, la maleabilidad se hace más difícil, y el artículo formado se vuelve más quebradizo. De forma adicional, la adherencia entre las partículas de metal y de cerámica se vuelve deficiente y pueden aparecer huecos, no permitiendo de este modo que se obtengan las funciones deseadas y reduciendo la densidad, resistencia y conductividad térmica del MMC resultante. Además, la capacidad de corte también se reduce a medida que aumenta el contenido de cerámica.

El polvo de metal puede ser de un tipo solo o puede ser una mezcla de una pluralidad de tipos, y las partículas de cerámica pueden asimismo consistir en un solo tipo o una pluralidad de tipos, como al mezclar B₄C y Al₂O₃. Asimismo, los polvos pueden comprender una distribución de tamaños de partículas monomodal o multimodal (p. ej., bimodal).

De forma típica, el tamaño de partículas medio del polvo de metal y del polvo de cerámica se seleccionará de manera que quede uniforme en el material final y facilite al máximo el procesamiento (p. ej., aumente la compresibilidad). Por ejemplo, si el polvo de metal y de cerámica tienen una densidad similar, es preferible hacer coincidir la distribución del tamaño de partículas del polvo de metal con el tamaño de partículas de cerámica. Esto permitiría que las partículas de polvo de cerámica se distribuyan de forma más uniforme en el MMC resultante, lo que tiene un efecto de estabilización de las propiedades. Si el tamaño de partículas medio se vuelve demasiado grande, resulta difícil conseguir una mezcla uniforme con partículas de cerámica cuyo tamaño de partículas medio no puede ser demasiado grande debido a una tendencia a la rotura, y si el tamaño de partículas medio se vuelve demasiado pequeño, el polvo fino de metal puede aglomerarse entre sí, haciendo que sea extremadamente difícil obtener una mezcla uniforme con el polvo de cerámica.

El material en polvo se mezcla completamente para asegurar una uniformidad prácticamente absoluta. Con este fin, se prefiere colocar las cantidades necesarias de material en polvo en un mezclador de polvo y agitar hasta que se haya producido una distribución uniforme de un material en el otro. El método de mezclado como es conocido en la técnica se puede usar, por ejemplo, usando un mezclador como un mezclador en V de flujo transversal, un mezclador en V o mezclador rotativo transversal, o un molino vibratorio o molino planetario, durante un tiempo determinado (p. ej., de 5 minutos a 10 horas). De forma adicional, se pueden añadir medios tales como bolas de alúmina o similares para triturar durante la mezcla. Además, el mezclado se puede realizar bajo condiciones secas o húmedas. Por ejemplo, para facilitar la compactación o el control del polvo se puede usar un material como agua, aceite, solventes, disolventes u otros compuestos orgánicos o inorgánicos.

Compactación

5 El polvo completamente mezclado, que es un polvo mezclado suelto con una primera densidad, se introduce a continuación en la caja de metal llenando en exceso la caja de metal con el polvo mezclado, en donde antes de dicho llenado en exceso se coloca un marco o una manga de mazarotaje sobre y/o alrededor de la caja de metal para contener el sobrante de polvo mezclado, y se compacta con presión de al menos 13,8 MPa (1 T/in²) para generar un polvo mezclado con una segunda densidad, en donde el polvo mezclado no se somete a sinterización.

10 Después de la compactación, la preforma de polvo compactado tiene una relación de densidad (o densidad relativa) de al menos 0,65, 0,68, 0,70, 0,73, 0,75, 0,78 o incluso 0,80; y no mayor que 1,00. En la presente memoria, la relación de densidad se refiere a la densidad real del polvo mezclado en comparación con la densidad del mismo material totalmente exento de porosidad (es decir, asumiendo un material totalmente denso).

15 La caja de metal se coloca dentro de una matriz y la caja de metal se llena completamente con el polvo mezclado. Para garantizar que el material en polvo se deposite y para eliminar cualquier inclusión sustancial de aire, los lados de la caja pueden golpearse con un mazo o martillo, o puede hacerse vibrar vigorosamente el recipiente lleno para lograr el mismo propósito. Se usa una cantidad calculada de polvo mezclado de manera que, tras la compactación y de forma ideal, el polvo mezclado compactado se nivele con la superficie superior de la caja de metal. Como la caja inicialmente está llena en exceso, se coloca un marco (o manga) de mazarotaje sobre la caja de metal, que se ubica dentro de una matriz, para contener el sobrante de polvo mezclado que tiene una primera densidad. Véase la Figura 3. El polvo mezclado se compacta dentro de la caja de metal. En la presente memoria, compactación se refiere al uso de presión (o fuerza) para compactar el polvo, lo que aumenta la densidad del material, mientras permite que el polvo permanezca en estado sólido. En otras palabras, la compactación no solo reordena las partículas dentro de la caja de metal para compactarlas de forma más apretada, sino que también deforma las partículas posibilitando una compactación más apretada. Las partículas se compactan de forma apretada evitando su desplazamiento en su posterior manipulación y procesamiento. Sin embargo, no se produce ninguna fusión sustancial del polvo de metal durante la etapa de compactación. Se puede usar cualquier método de compactación (es decir, aplicación de presión o fuerza) incluidas, por ejemplo, compactación sólida o una prensa uniaxial en frío. En una realización, se puede introducir un punzón en la matriz para compactar el polvo mezclado.

20 Aunque en teoría no se quieren limitaciones, se cree que la compactación no solo densifica el material sino que también “asienta” las partículas, evitando su movimiento o flujo durante la posterior manipulación y procesamiento, lo que da como resultado un compuesto de matriz de metal uniforme. Por lo tanto, en una realización, la presión (o fuerza) debe ser lo suficientemente sustancial como para asentar el polvo mezclado, evitando la precipitación o movimiento de las partículas en la manipulación y/o procesamiento. De forma típica, los materiales pueden hacerse más densos cuanto más presión se aplique.

25 En algunas aplicaciones, la partícula de cerámica puede triturarse bajo la presión de la compactación, lo que puede disminuir el rendimiento resultante del MMC. Las presiones típicas aplicadas son al menos 1 T/in² (tonelada por pulgada cuadrada), 3 T/in², 5 T/in², 7 T/in² o incluso 9 T/in², dependiendo de la naturaleza de los polvos utilizados. En algunas realizaciones la presión aplicada no es más de 10 T/in², 15 T/in² o incluso 20 T/in², dependiendo de la naturaleza de los polvos utilizados.

30 En una realización, la vibración se usa junto con la compactación. Según la invención, el polvo mezclado no se somete a sinterización.

35 En la Figura 3 se muestra una vista lateral de la unidad 30 de compactación que muestra una caja 31 de metal, polvo mezclado 32, una placa 33 inferior de la matriz y un marco 35 de la matriz. La manga 34 sirve como mazarota para el llenado en exceso de polvo mezclado que se compacta con el punzón superior 36.

40 La compactación del polvo mezclado maximiza la cantidad de material activo en una parte determinada, mejorando la funcionalidad del material resultante. La compactación de los polvos puede asentar también los polvos antes de mecanizar en caliente, forzar la compactación y limitar la deformación durante la etapa del mecanizado en caliente.

45 La caja de metal llena que comprende el polvo mezclado compactado se cierra a continuación mediante una placa que forma la parte superior, que se corta a las dimensiones requeridas. La placa que forma la parte superior se apoya firmemente contra la placa que forma la parte inferior opuesta de la caja. La placa que forma la parte superior puede ser de los mismos materiales descritos para la caja de metal. La placa que forma la parte superior se sella en su lugar de manera similar al sellado de la parte inferior y de los elementos laterales de la caja de metal descrito anteriormente para formar una unidad de prelaminaación.

50 En una realización, se proporcionan pequeñas aberturas en los lados de la unidad de prelaminaación para ventilar. Por ejemplo, se perforan tres orificios de ¼ de pulgada (6 mm), y luego se cierran temporalmente mediante la inserción de remaches de aluminio de ¼ de pulgada (6 mm). Estos remaches funcionan como clavijas y mantienen el material en la unidad de prelaminaación hasta que se prelamina. Cuando la unidad de prelaminaación debe laminarse, las clavijas se retiran de los orificios perforados para permitir el escape de aire atrapado.

Mecanizado en caliente

La unidad de prelaminaación se somete a un mecanizado en caliente, como laminación en caliente, extrusión en caliente o forjado en caliente, mejorando así además la densidad del polvo mezclado mientras se logra simultáneamente la forma deseada. Cuando se prepara un material de revestimiento en forma de placa, es posible obtener un material de revestimiento de placa con una relación designada de revestimiento con un material de placa metálica. El trabajo en caliente puede consistir en un solo procedimiento, o puede ser una combinación de una pluralidad de procedimientos. De forma adicional, se puede realizar mecanizado en frío después del mecanizado en caliente. En el caso de mecanizado en frío, el material puede ser más fácil de trabajar mediante recocido a 100-530 °C (preferiblemente 400-520 °C) antes de trabajarlo.

En el caso de laminación en caliente, de forma típica la unidad de prelaminaación se precalienta primero para ablandar el metal antes de la etapa de mecanizado en caliente (p. ej., laminación en caliente). La temperatura usada puede variar dependiendo de la composición del polvo mezclado y de la caja de metal. Por ejemplo, cuando el polvo mezclado comprende más del 22 % en peso de polvo de cerámica, el precalentamiento debería ser tal que las temperaturas usadas deberían ser al menos el 90 %, 92 %, 94 % o incluso 96 % de la temperatura de fusión del polvo de metal pero no mayor que el punto de fusión de la caja de metal. En una realización, la unidad de prelaminaación para aluminio (serie AA1XXX) se calienta para bajar la resistencia del material, esta temperatura incluye: al menos 400 °C, 450 °C o incluso 500 °C; y como máximo 600 °C, 620 °C o incluso 630 °C.

En una realización, la unidad de prelaminaación fabricada se carga apilada en un horno de termodifusión, y preferiblemente se proporcionan separadores de 1 pulgada entre las unidades de prelaminaación para permitir un calentamiento uniforme desde todos los lados. Por ejemplo, cuando se usa aluminio, la temperatura del horno se mantiene a 400 °C, o preferiblemente a 500 °C, o incluso a 600 °C, pero no a más de 700 °C, y se calienta hasta que la unidad de prelaminaación esté caliente a la temperatura requerida para el mecanizado en caliente.

Dado que la unidad de prelaminaación está revestida por un material de placa metálica, la superficie no tendrá ninguna partícula de cerámica que, de lo contrario, podría ser un punto de origen de daños durante el mecanizado en caliente o de desgaste de las matrices, los rodillos o cualquier otro equipamiento que toque el material. Como resultado, es posible obtener un material compuesto de matriz de metal con buena maleabilidad, destacando en resistencia y propiedades de la superficie. De forma adicional, el material resultante que ha sido sometido a un mecanizado en caliente tendrá un revestimiento de superficie con un metal, con buena adherencia entre el metal sobre la superficie y el material de la matriz de metal dentro, siendo por lo tanto resistente a la corrosión, resistente a impactos y teniendo una conductividad térmica superior a la de los materiales compuestos de aluminio cuyas superficies no están revestidas con un material metálico.

Se entenderá que la operación del mecanizado en caliente reduce no solo el espesor de la mezcla del polvo de cerámica y el polvo de metal, sino que también reduce el espesor de las placas que constituyen cubiertas exteriores opuestas sobre el material acabado. La relación de revestimiento de acabado al núcleo depende de la relación de espesor inicial de la placa superior e inferior de metal con respecto al polvo compactado. El recubrimiento metálico en lados opuestos del núcleo del MMC varía del 5 al 75 % del espesor total final obtenido. El núcleo del MMC se forma, por supuesto, a partir de las partículas unidas molecularmente de polvo de cerámica y polvo de metal, y se une molecularmente de forma permanente a las superficies internas del recubrimiento externo.

Aunque las dimensiones exactas pueden variarse según se requiera, es deseable reducir el espesor de la unidad de prelaminaación, a través de la etapa de mecanizado en caliente, a no más de 1/4 hasta 1/60 de su espesor original, y reducir el recubrimiento metálico en las caras opuestas del material laminado hasta un espesor no más fino de 0,003 pulgadas (0,07 mm).

En una realización, después de la etapa de mecanizado en caliente, el material de MMC se aplanar. Para este fin, se puede aplanar térmicamente bajo pesas o se puede aplanar utilizando un dispositivo que elimine combas, un nivelador de rodillo o cualquier proceso similar. En una realización, se prefiere el aplanamiento térmico en un horno. Para lograr esto, el material de MMC se coloca apilado bajo pesas pesadas en un horno a una temperatura de aproximadamente 400 °C. Si no se aplanar todo el material al final del ciclo, se retiran aquellas piezas que están planas, y el resto se devuelve para aplanar. En algunos casos, el material de MMC estará plano después de la laminación y no se someterá a un tratamiento de aplanamiento.

En una realización, el material de MMC con el revestimiento metálico tiene un espesor de al menos 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm o incluso 20 mm; y como máximo 50 mm, 100 mm o incluso 200 mm.

Se puede utilizar una cizalla de guillotina, corte por chorro de agua o cualquier otro proceso de corte de metal para cortar el material de MMC al tamaño requerido para su uso.

En una realización, el MMC se elimina del revestimiento metálico.

ES 2 773 633 T3

Ejemplos

Se ilustran ventajas y realizaciones de esta descripción mediante los siguientes ejemplos.

- 5 En estos ejemplos, todos los porcentajes, proporciones y relaciones son en peso (p) salvo que se indique lo contrario.

Materiales

Material	Fuente
Aluminio fino	Atomizado, esférico D50 = 16 micrómetros, distribución normal, Aluminium Powder Company, Ltd., Reino Unido.
Aluminio en bruto	Atomizado, esférico, D50 = 30 micrómetros, distribución normal, Aluminium Powder Company, Ltd.
Carburo de boro fino	Molido con bolas, F320(S), D50 = 11 micrómetros, distribución normal, ESK Ceramics, Adrian, MI
Carburo de boro en bruto	Molido con bolas, F320(S), D50 = 40 micrómetros, distribución normal, ESK Ceramics, Adrian, MI
Placas superior e inferior	Aluminio (puro comercial) laminado en caliente AA1100 (de 0,250 pulgadas de espesor (6 mm)), O-temper, Zhengzhou Mingtai Industry Co., Zhengzhou Henan, China
Placas laterales	Aluminio (puro comercial) laminado en caliente AA1100 (de 0,500 pulgadas de espesor (12 mm)), O-temper, Alcoa Inc. Battendorf, IA

10 Ejemplo

Se fabricó una caja de metal (dimensiones internas de 6 pulgadas (152 mm) de ancho x 10 pulgadas (254 mm) de largo x 2 pulgadas (50,8 mm) de alto) por soldadura de metal inert gas (metal con gas inerte - MIG), 4 placas laterales y una placa inferior. El material base es achaflanado 45°, 3/8 pulgadas (9,5 mm) de profundidad para optimizar la resistencia de la soldadura. La soldadura se realiza usando alambre de soldadura AA1100 de 1/16 pulgadas (1,6 mm).

El polvo de aluminio comprendía un 30 % en peso de aluminio fino y un 70 % en peso de aluminio en bruto. El polvo de carburo de boro comprendía un 30 % en peso de carburo de boro fino y un 70 % en peso de carburo de boro en bruto. Se mezcló un 64 % en peso del polvo de aluminio con un 36 % en peso del polvo de carburo de boro durante 10 minutos en un mezclador en V de flujo transversal de Patterson Kelley (Buflovak LLC, Buffalo, NY) en una atmósfera de nitrógeno. El polvo mezclado comprendía un 19,2 % en peso de aluminio fino, un 44,8 % en peso de aluminio en bruto, un 10,8 % en peso de carburo de boro fino y un 25,2 % en peso de carburo de boro en bruto. Se colocó una cantidad predeterminada del polvo mezclado en la caja de metal, en donde el polvo mezclado no está sometido a sinterización. (7,30 libras/caja para no prensar (0 toneladas por pulgada cuadrada, T/in²), 8,15 libras/caja a 3 T/in² y 8,80 libras/caja a 7 T/in².) Nota: cuando se realiza la compactación, el polvo mezclado suelto llena en exceso la caja de metal, por lo tanto se coloca una manga alrededor de la caja de metal para contener polvo suelto. El polvo mezclado se compacta entonces, si se indica, a una presión dada utilizando una prensa de compactación nominal de 470T (Accudyne Engineering & Equipment Co., Bell Gardens, CA). La caja de metal se coloca en una matriz de acero de 7 pulgadas x 11 pulgadas, encima se colocó un punzón de acero de 6 pulgadas x 10 pulgadas. Si se llevó a cabo la compactación, la fuerza aplicada fue de 180 toneladas (3 T/in²) o 420 toneladas (7 T/in²). A continuación se retiró la manga, en caso de que se utilizara, y se colocó una placa superior encima de la caja, y se realizó una soldadura MIG con alambre de metal de aportación AA1100 para hacer una unidad de prelaminaación. Se perforaron orificios de ventilación (4 x orificios con un diámetro de ¼ de pulgada) en lados opuestos de la caja de metal. La unidad de prelaminaación se calentó durante 16 horas a 600 °C ± 5 °C en un horno de convección. A continuación, la unidad de prelaminaación calentada se laminó utilizando un laminador reversible Fenn de dos alturas (fuerza de separación de 800 toneladas). Se hizo pasar la unidad de prelaminaación 13 veces a una reducción del 22 %, reduciendo el espesor de 2,5 pulgadas (63,5 mm) a 0,100 pulgadas (2,5 mm). Se aplica un refrigerante de laminación en los rodillos de acero de 30 pulgadas de diámetro entre cada pasada. En las pasadas 3 y 4 se realizan dos laminaciones transversales (laminación a lo ancho). Los artículos resultantes se dejan enfriar a temperatura ambiente.

En la Tabla 1 abajo se muestran los resultados de los artículos de MMC resultantes. Para cada presión aplicada, se prepararon y se midieron 2 o 3 muestras como se describe a continuación, y la media se indica en la Tabla 1. La relación de densidad antes del laminado en caliente se calcula dividiendo el peso del polvo mezclado usado por el volumen de la caja de metal y a continuación dividiendo por la densidad teórica del polvo mezclado, asumiendo un material totalmente denso (que es 2,63 g/cm³). La fracción del núcleo medida se determina a partir de una micrografía del artículo resultante al dividir el área del MMC por el área total del artículo y multiplicar por 100 para dar un porcentaje. La densidad de área del isótopo ¹⁰B se calculó en base a la cantidad de carburo de boro usada frente al espesor del MMC utilizando la ecuación (adaptada de Turner & Thomas, Nuclear Technology, Vol. 169 (2010)):

$$50 \quad {}^{10}\text{B}_{\text{AD}} = \text{FB}_4\text{C} \times \rho_{\text{core}} \times \text{FB} \times \text{F}^{10}\text{B} \times \text{T}_{\text{material}} \times (1 - \text{F}_{\text{clad}})$$

Donde ¹⁰B_{AD} es la densidad de área del isótopo ¹⁰B;

FB_4C es la cantidad de carburo de boro usada (0,36);
 ρ_{core} es la densidad del núcleo (2632 mg/cm³);
 FB es la proporción de boro en el carburo de boro (0,7826);
 $F^{10}B$ es la fracción de ¹⁰B en boro puro (0,184);
 $T_{material}$ es el espesor del material (2,60 cm); y
 F_{clad} es la proporción de revestimiento (fracción de núcleo medida).

5

Tabla 1

Presión aplicada	Número de muestras	Relación de densidad antes del laminado en caliente	Fracción de núcleo medida	Densidad de área del isótopo ¹⁰ B (mg/cm ²)
0 T/in ²	3	0,63*	72,6 %	25,8
3 T/in ²	3	0,70	76,1 %	27,0
7 T/in ²	2	0,76	78,0 %	27,7

10 * la relación de densidad del polvo mezclado cuando, en primer lugar, se deja caer en la caja de metal es de aproximadamente 0,45, sin embargo, durante la manipulación, el polvo mezclado se deposita antes de la etapa de mecanizado en caliente

15 En la Figura 4 se presenta una micrografía del material resultante, en donde (A) es el material compuesto de matriz de metal no compactado (0 T/in²), (B) es el material compuesto de matriz de metal compactado a 3 T/in², y (C) es el material de matriz de metal compactado a 7 T/in². En las micrografías, las partículas (de cerámica) de carburo de boro están en gris oscuro mientras que el metal (aluminio) es blanco. En la Figura 4A se observan unos patrones estrechos oscuros curvados orientados horizontalmente que se consideran que son patrones de flujo atribuidos al movimiento del polvo suelto durante la laminación en caliente. También se observa en la Figura
 20 4C que algunas de las partículas de carburo de boro están aglomeradas entre sí y/o rotas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un material compuesto de matriz de metal que comprende:
 - 5 (a) formar una caja de metal que comprende una placa que forma la parte inferior que tiene una longitud y una anchura, un primer par de placas que forman lados que tienen una longitud y una altura, y un segundo par de placas que forman lados que tienen una longitud y una altura;
 - (b) mezclar un polvo de metal y un polvo de cerámica para preparar un polvo mezclado;
 - 10 (c) llenar en exceso la caja de metal con el polvo mezclado, en donde antes de dicho llenado en exceso se coloca un marco o una manga de mazarotaje sobre y/o alrededor de la caja de metal para contener el sobrante de polvo mezclado;
 - (d) después de dicho llenado en exceso, compactar el polvo mezclado en la caja de metal aplicando presión o fuerza de al menos 13,8 MPa (1 T/in²) para proporcionar la caja de metal que comprende una preforma de polvo compactado, en donde el polvo mezclado no se somete a sinterización y la preforma de polvo compactado tiene una relación de densidad de al menos 0,65 donde la relación de densidad se calcula dividiendo el peso del polvo mezclado por el volumen de la caja de metal y a continuación dividiendo por la densidad teórica del polvo mezclado asumiendo un material totalmente denso;
 - 15 (e) retirar el marco o la manga de mazarotaje y a continuación apoyar firmemente una placa que forma una parte superior sobre la caja de metal contra la caja de metal que comprende la preforma de polvo compactado y sellarla alrededor de sus bordes para producir una unidad; y
 - 20 (f) realizar un mecanizado en caliente sobre la unidad para obtener el material compuesto de matriz de metal con un revestimiento de metal.
- 25 2. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de compactación se realiza usando al menos uno de: compactación sólida con presión o fuerza, y una prensa uniaxial en frío.
3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la relación entre la altura y la anchura de la caja de metal es de al menos 1:2,5.
- 30 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la caja de metal se selecciona de al menos una de aluminio, magnesio, y acero inoxidable.
5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo de metal se selecciona entre al menos aluminio, magnesio, y acero inoxidable.
- 35 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo de cerámica comprende carburo de boro.
- 40 7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la placa que forma la parte inferior, la placa que forma la parte superior, y las placas que forman lados tienen un espesor de al menos 2 mm.
8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el espesor de la unidad se reduce por laminación hasta al menos 1/4 de su espesor original.
- 45 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad se calienta al menos al 90 % de la temperatura de fusión del polvo de metal.
- 50 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad se precalienta antes del mecanizado en caliente.
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el mecanizado en caliente se selecciona entre al menos laminación en caliente, extrusión en caliente, y forjado en caliente.
- 55 12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el polvo mezclado comprende al menos 20 % y como máximo 60 % en masa del polvo de cerámica.

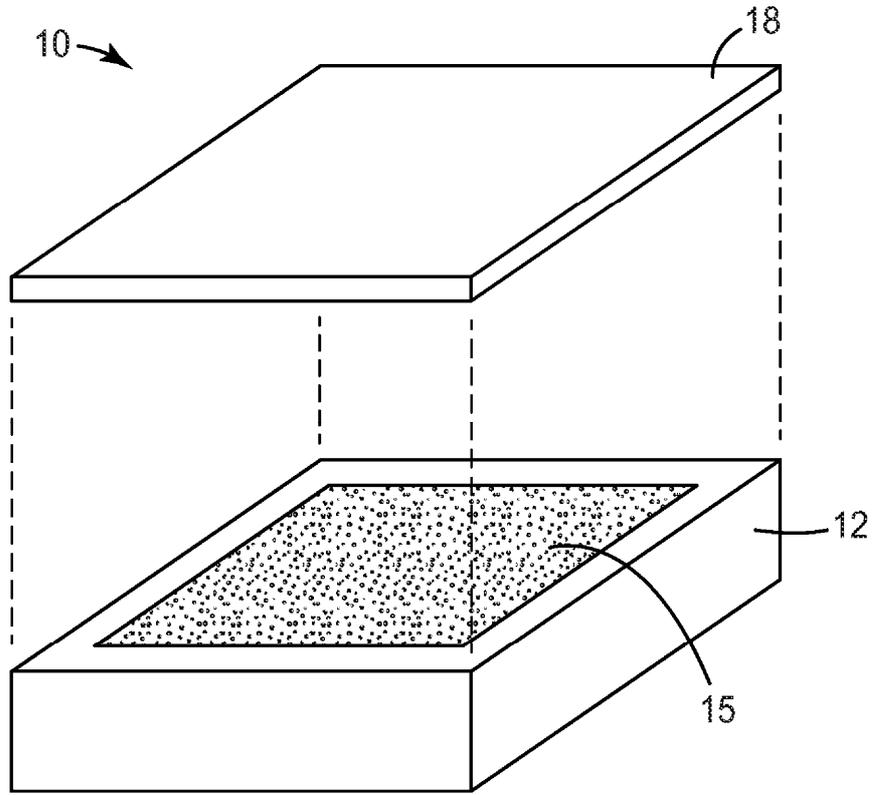


FIG. 1

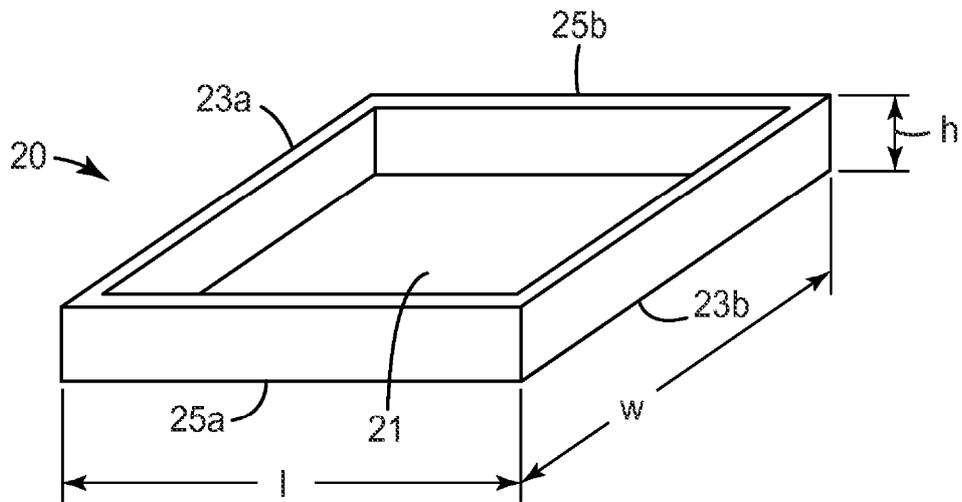


FIG. 2

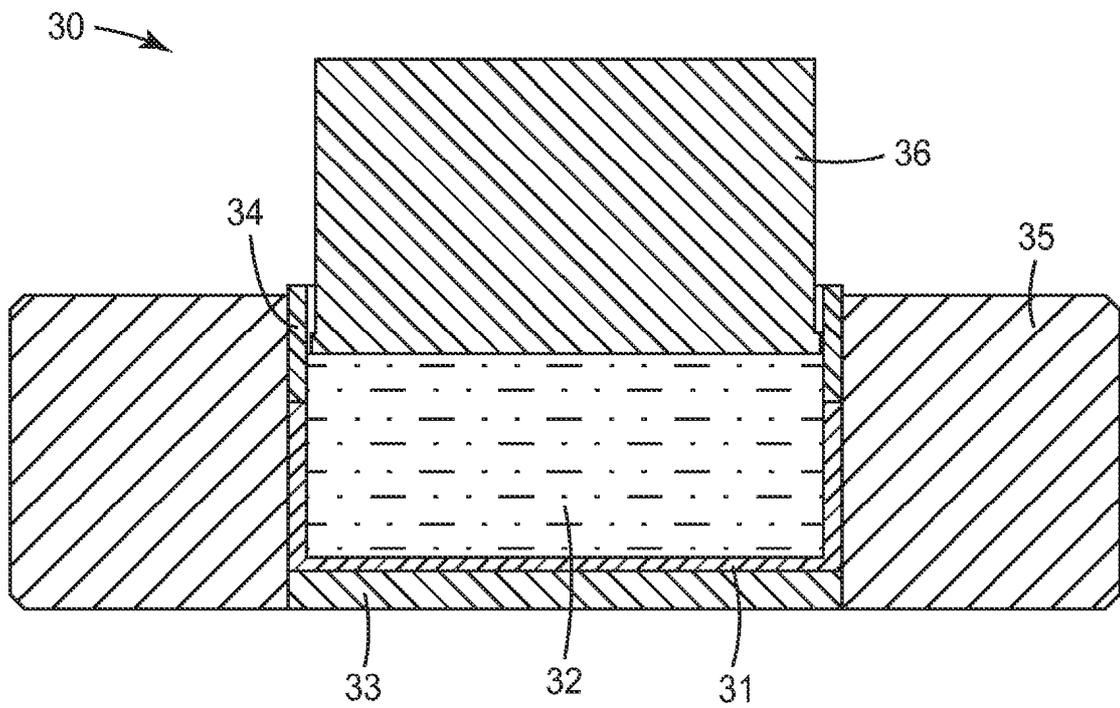


FIG. 3

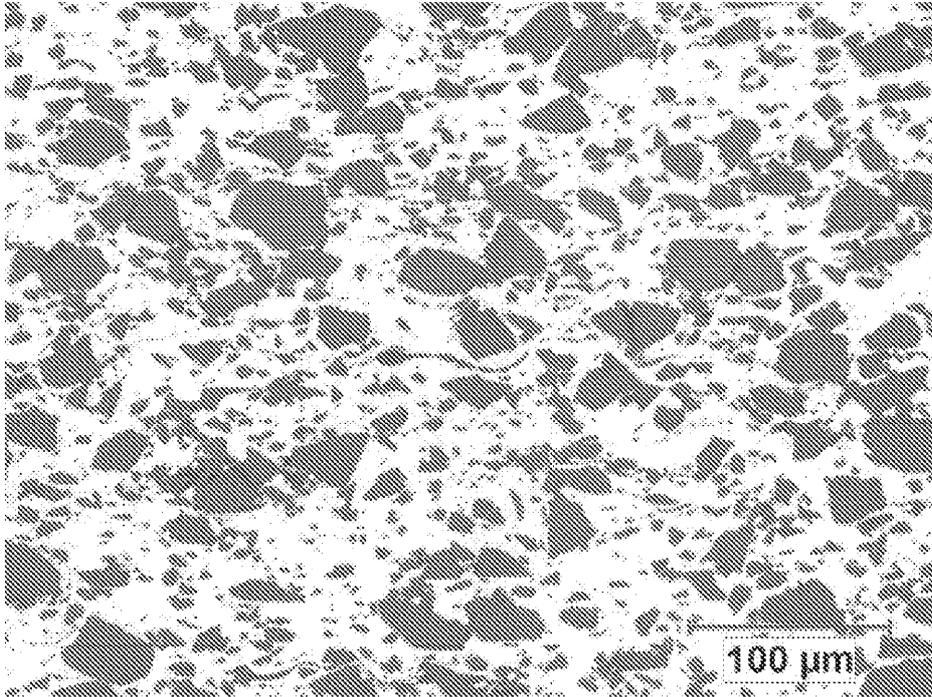


FIG. 4A

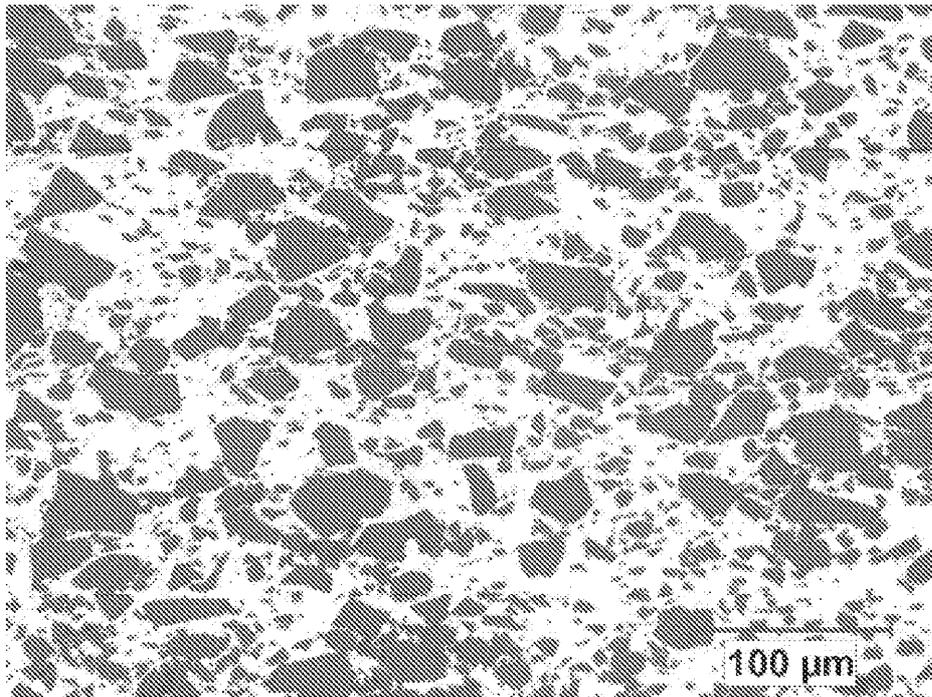


FIG. 4B

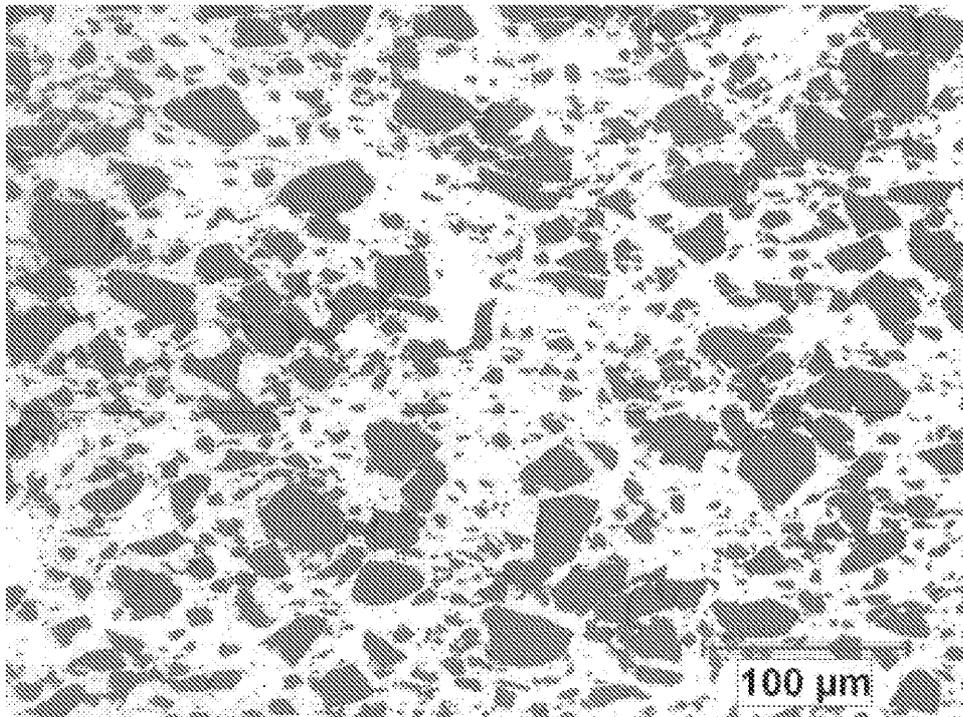


FIG. 4C