

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 589**

51 Int. Cl.:

**C04B 35/624** (2006.01)

**C04B 35/80** (2006.01)

**C04B 35/18** (2006.01)

**C04B 35/185** (2006.01)

**A61K 6/08** (2006.01)

**A61K 6/02** (2006.01)

**A61K 6/00** (2006.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

**A61C 13/083** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2007 E 07111834 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 1880984**

54 Título: **Materiales compuestos de matriz cerámica basados en óxidos**

30 Prioridad:

**21.07.2006 US 491359**

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

**16.10.2013**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 NORTH RIVERSIDE PLAZA  
CHICAGO, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**HENG, VANN;  
DICHIARA, ROBERT A.;  
SARAGOSA, SUSAN;  
CHU, ELIZABETH;  
LEVI, CARLOS G. y  
ZOK, FRANK W.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 425 589 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

Materiales compuestos de matriz cerámica basados en óxidos

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION1. Campo de la invención

Esta invención se refiere a materiales compuestos de matriz cerámica basados en óxidos (CMC) y a un método para fabricar materiales compuestos de matriz cerámica basados en óxidos (CMC).

10

2. Antecedentes

Los materiales compuestos (en inglés "composite" denominado también "composite material") están hechos de dos o más materiales constituyentes que permanecen separados y distintos a un nivel macroscópico mientras forman un único componente. Dos constituyentes principales de los materiales compuestos son la Matriz (o "aglutinante") y el/los refuerzo(s). La matriz sujeta el refuerzo en un patrón ordenado.

15

El refuerzo es más fuerte y rígido que la matriz, y da al material compuesto sus propiedades características. Los refuerzos dan propiedades físicas especiales (mecánicas y eléctricas) para mejorar las propiedades de la matriz. El material de la matriz rodea y soporta los materiales de refuerzo manteniendo sus posiciones relativas. La sinergia resultante produce propiedades materiales inalcanzables para materiales de procedencia natural.

20

Algunos de los tipos comunes de materiales compuestos son el plástico reforzado con fibra de carbono (CRP); el plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP o "fibra de vidrio"); materiales compuestos termoplásticos; materiales compuestos de matriz de metal ("MMCs") y materiales compuestos de matriz cerámica (CMC).

25

El CMC está formado de una matriz cerámica con fibras como refuerzos. El CMC tiene relativamente alta resistencia mecánica a altas temperaturas. Estos materiales soportan condiciones físicas exigentes como alta temperatura, condiciones corrosivas, oxidación y ambientes de alta acústica.

30

El CMC de vidrio, el CMC organometálico y el CMC sin óxidos son algunos de los materiales compuestos más comúnmente conocidos. Estos materiales compuestos tienen uso restringido debido a varias limitaciones. El CMC de vidrio tiene aplicaciones restringidas porque es difícil fabricar formas complejas con CMC de vidrio. Las cerámicas organometálicas son costosas, tienen alta constante dieléctrica y son susceptibles a oxidación. El CMC sin óxidos encuentra un uso limitado ya que su matriz empieza a romperse típicamente sobre 70MPa (10 ksi).

35

En años recientes, se han fabricado matrices cerámicas basadas en óxidos (también referidas como "CMC con óxidos") capaces de soportar altas temperaturas. Uno de estos CMC con óxidos tiene fosfato de aluminio enlazado con CMC con óxidos de alúmina como matriz y como refuerzo tejido satén Nicalon 8 de tipo 8 harness satén. Sin embargo, esta matriz sufría inversiones de fase en la matriz sobre temperaturas de aproximadamente 760° C (1400° F). Otros CMC con óxidos muestran propiedades deseables por encima de los 760° C (1400° F) pero fallan a temperaturas por encima de 1100° C (2000° F). Son deseables CMC con óxidos operativos por encima de 1100° C (2000° F) (p.ej. en lanzaderas espaciales).

40

Se están realizando continuas mejoras para formar CMC basado en óxidos que muestren mejor estabilidad térmica y estructural a temperaturas hasta al menos de 1300° C (2400° F).

45

En consecuencia, se desea fabricar CMCs de varias formas y tamaños, que puedan soportar temperaturas por encima de 1100° C (2000° F) sin degradarse. También es deseable proveer un método barato para fabricar CMC que tenga varios tamaños y formas.

50

El documento WO 2007/061398 A1 expone un método de formación de un artículo de CMC o un artículo de material compuesto. Una presión P aplicada contra una superficie del artículo durante un proceso de sinterizado se controla para ser lo suficientemente alto como para resistir una fuerza de separación entre las capas del material CMC causado por encogimiento anisotrópico del material y/o para resistir una fuerza de separación causada por un encogimiento diferencial entre el material CIVIC y un material cerámico monolítico contiguo.

55

El documento US N° 2005/0084665 A1 expone una baldosa de cerámica que incluye un núcleo de material cerámico y un CMC con óxido, donde el núcleo de material cerámico tiene al menos una superficie cubierta con CMC con óxido.

60

El documento EP N° 1 281 697 A1 expone un CMC que comprende una matriz de sol gel con partículas de alúmina mixtas o mezcladas.

65

El documento WO N° 02/085618 A1 expone un material compuesto de matriz con óxido y métodos para fabricar el CMC, que incluyen métodos de fabricación de laminado húmedo, preimpregnado y bobinado de filamentos.

El documento de Jurf, A et al, "Advances in Oxide-Oxide CMC" expone avances recientes en materiales CMC óxido con óxido de composite Optics, Inc. (COI's) incluyendo pasos básicos de procesado, propiedades materiales y técnicas de fabricación actualizadas.

5 El documento WO N° 2007/014005 A1 expone un material CMC obtenido mediante infusión de una capa de barrera de difusión en una matriz porosa existente de CMC para revestir la primera fase matricial y las fibras expuestas, y luego densificar la matriz con ciclos repetidos de infiltraciones de una segunda fase matricial.

10 El documento US N° 7081 294 B2 expone un material compuesto cerámico que tiene una red de fibras de refuerzo y una matriz que substancialmente incrusta la red después de una fase de cocción.

COMPENDIO DE LA PRESENTE INVENCION

15 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona una mezcla para formar la matriz de un artículo de material compuesto de matriz cerámica, la mezcla de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de fabricación de un artículo de material compuesto de matriz cerámica, el método de acuerdo con la reivindicación 8.

20 Este breve resumen se ha proporcionado para que la naturaleza de la invención se entienda rápido. Se puede obtener una comprensión más completa de la invención por referencia a la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la misma en relación con los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS QUE SE ACOMPAÑAN

25 Las características anteriores y otras características de la presente invención se describirán ahora con referencia a los dibujos de una realización preferida. En los dibujos, los mismos componentes tienen los mismos números de referencia. La forma de realización ilustrada está destinada a ilustrar, pero no para limitar la invención. Los dibujos incluyen las siguientes figuras.

30 La Figura 1 muestra los pasos del proceso para la preparación material compuesto de matriz cerámica basado en óxidos, de acuerdo con un aspecto de la presente invención;  
 La Figura 2A muestra un diagrama de flujo para la preparación de la matriz cerámica de mullita y alúmina basada en óxidos, de acuerdo con un aspecto de la presente invención; y  
 La Figura 2B muestra un diagrama de flujo para la preparación de CMC con óxido, de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE VARIAS REALIZACIONES

40 En un aspecto de la presente invención, se proporciona un CMC basado en óxidos (también referido como "CMC con óxido"). El CMC con óxido de la presente invención exhibe estabilidad térmica y estructural a temperaturas más allá de 1100° C (2000° F). El CMC con óxido de la presente invención tiene una mayor capacidad de resistencia térmica, resistencia mejorada a daños y menos susceptibilidad a ser frágil a temperaturas superiores a 1100° C (2000° F).

45 Para facilitar la comprensión de la base del CMC basado en óxidos, sus componentes, y el método de preparación de CMC basado en óxidos, se describirá una visión general de los pasos para formar el CMC basado en óxidos. Los pasos específicos y los componentes para formar el CMC basado en óxidos se describirán con referencia al método general de la formación de CMC basado en óxidos.

50 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de nivel superior para la formación de un CMC basado en óxidos. En el paso S10, se selecciona una fibra cerámica. En el paso S12, la fibra cerámica se impregna con suspensión de polvo de cerámica. En el paso S14, la fibra impregnada se coloca sobre una herramienta. En el paso S16, la fibra impregnada revestida se cura. En el paso S18, se realiza cocción sin ayuda para formar el CMC basado en óxidos.

55 En una disposición se forma una suspensión en polvo de cerámica se forma a partir de una matriz cerámica de mullita y alúmina (también llamado, "matriz cerámica"). La matriz cerámica comprende una solución de precursor de alúmina combinada con una mezcla de la matriz cerámica. La mezcla de matriz cerámica comprende alrededor de 10-70% en peso de una mezcla de mullita, y alúmina en polvo, hasta 25% en peso de aglutinante, hasta 20% en peso de agentes de emisividad y hasta un 1% en peso de antiespumante. Preferiblemente, se utilizan polvos de alúmina y mullita submicrométricos. En la mezcla en polvo de mullita y alúmina, la relación mullita a alúmina varía de 5/95 a 95/5, preferiblemente la mezcla en polvo tiene 73,5% en peso de mullita y 26,5% en peso de alúmina. El aglutinante es preferentemente un aglutinante orgánico, Polivinilpirrolidona (PVP).

60 Se pueden incorporar agentes de emisividad tales como el carburo de silicio (SiC) encapsulado, tetraboruro de silicio (SiB<sub>4</sub>) o hexaboruro de silicio (SiB<sub>6</sub>) en la suspensión en polvo para aumentar la emisividad de la superficie. También se pueden añadir a la matriz cerámica otros agentes de emisividad tales como disiliciuro de molibdeno (MoSi<sub>2</sub>) y fosfato de aluminio que contiene carbono. En una realización preferida, los agentes de emisividad tienen un tamaño de partícula entre 1-50 micras. Se prefiere el antiespumante Dow Corning 1410.

En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de preparación de matriz cerámica de mullita y alúmina. La Figura 2A muestra un diagrama de flujo para el método de fabricación de la matriz cerámica de mullita y alúmina. En la etapa S100, se prepara una solución de precursor de alúmina que tiene una densidad de alrededor de 0,5 a 5,00 g/cm<sup>3</sup>. Para la preparación de la solución de precursor de alúmina, se disuelve de 50 a 500 g de cloruro de aluminio hexahidratado en 50 a 1500 g de agua desionizada. La mezcla se calienta en un recipiente de reacción con un condensador de reflujo refrigerado a 40-45°C. Se añade a la solución polvo de aluminio de tamaño de malla -40 a 325, que van desde 20 a 400 g, de al menos 99% de pureza. La temperatura de la solución se mantiene a 65-75 ° C durante aproximadamente 12-15 horas. Después se filtra la Solución. Se concentra a continuación la solución de precursor de alúmina para ajustar la densidad de la solución a 0,5-2 g/cm<sup>3</sup>.

En la etapa S102, la solución de precursor de alúmina se combina con la mezcla de matriz cerámica para formar suspensión en polvo. Preferiblemente, se combina la solución de precursor de alúmina de densidad 1,3 g/cm<sup>3</sup> con la mezcla de matriz cerámica. La mezcla de la matriz cerámica comprende 10-70% en peso de mezcla de mullita y alúmina en polvo, de 0 a 25% en peso de PVP, de 0 a 20% en peso de agente de emisividad y 0-1% en peso de antiespumante.

En el paso S104, la suspensión de polvo de cerámica se transforma en una suspensión homogénea mediante la ruptura de los aglomerados de polvo suave. Los métodos para la creación de una suspensión homogénea son bien conocidos en la técnica. Algunos ejemplos incluyen bolas de molienda, molienda de atrición, mezcla de alta cizalladura y fresadora sonic . En una realización preferida, la mezcla se muele en un molino de bolas con un medio de alúmina. Preferiblemente, la mezcla se muele en un molino de bolas durante cuatro horas para producir una suspensión homogénea no aglomerada de matriz cerámica de mullita y alúmina.

La Figura 2B muestra un diagrama de flujo de un método para formar un material compuesto de cerámica basado en óxidos, de acuerdo con un aspecto de la presente invención. En el paso S200, se preparó una solución de precursor de alúmina de una densidad deseada. En el paso S202, la solución de precursor de alúmina se combina con la mezcla de cerámica de mullita y alúmina para formar suspensión en polvo. En el paso S204, la suspensión en polvo de cerámica se muele en molino de bolas durante aproximadamente 4 horas para formar una suspensión homogénea de matriz cerámica de mullita y alúmina.

En el paso S206, se impregna la suspensión en polvo de cerámica en varios tejidos de fibras de cerámica tejidas usando cualquiera de los métodos de infiltración comúnmente usados para formar un preimpregnado. Para una infiltración completa y uniforme, se usa una raqueta o una configuración de rodillo de arrastre para formar el preimpregnado. Se escogen las fibras cerámicas de tipo 4-harness satin, 8-harness satin o tejido sencillo de fibras de óxido como Nextel 312, Nextel 550, Nextel 610, Nextel 620, Nextel 650, Nextel 720, Altex o Almax Quartz, y fibras de sin óxidos como fibras de SiC como Nicalon (CG, HiNicalon o Syramic) y Tyranno (SA o ZMI). Las fibras preferidas para uso a alta temperatura son, pero no limitadas a, Nextel 720 o Tyranno SA.

En el paso S208, el tejido preimpregnado se seca para desarrollar pegajosidad y luego se envuelve en una herramienta compleja deseada en el paso S210 para formar un tejido preimpregnado de espesor y forma deseados. La herramienta y el tejido preimpregnado después se cura y se convierte en rígida en el paso S212. El curado se realiza preferiblemente a 177° C (350° F) en una bolsa de vacío. El curado puede llevarse a cabo con la presión, de aproximadamente 210-690kPa (30-100 psi), o sin presión, mediante el uso de una prensa o un autoclave. El curado a 177° C (350° F) ayuda en la eliminación de los componentes volátiles y la matriz empieza a ser rígida. El precursor de alúmina une la mullita y los polvos de alúmina juntos. La selección del proceso para el secado y el curado depende del tamaño y forma de la herramienta.

En el paso S214, se retira la herramienta después del curado a 177° C (350° F) y la parte infiltrada seca conserva su forma deseada. En el paso S216, se sinteriza la parte infiltrada independiente entre 820-1300° C (1500-2400 ° F), preferiblemente a 1200° C (2200° F), durante unas dos horas, formando CMC con óxido en el paso S218. La sinterización de la parte independiente no utiliza ninguna herramienta especial. Esto reduce el coste de fabricación. La sinterización a altas temperaturas facilita la reacción entre el precursor de alúmina seca con la mullita y la mezcla de polvo de alúmina, mientras se volatilizan completamente los componentes orgánicos. Esto le da al CMC su alta resistencia.

En una realización adicional, las etapas de infiltración, secado y curado se pueden repetir para lograr la densidad deseada del CMC. La purga del material compuesto se puede hacer con capas de purga si es necesario para reducir la porosidad de la matriz y la acumulación en las superficies.

Los polvos de mullita y alúmina son ambos materiales de alta de temperatura que no sinterizan fácilmente a temperaturas por encima de 1100° C (2000° F), evitando de este modo una fuerte unión a las fibras o incluso a sí mismos.

En los CMC a base de óxido de la presente invención, la matriz a base de mullita y alúmina es porosa y por lo tanto, las fibras y matriz tienen una interfaz débil. Esta interfaz débil desvía las grietas y distribuye la carga a otras fibras,

causando que las grietas absorban energía. Este es el mecanismo de fractura ideal necesario para que los CMC alcancen una mayor dureza y para mejorar la estabilidad de resistencia.

5 El material CMC de la presente invención tiene muchas aplicaciones potenciales, especialmente para entornos difíciles, como naves espaciales, aviones y misiles. Las aplicaciones potenciales incluyen el X-37, X-43, X-45, la lanzadera, nuevos vehículos de reentrada espacial, aviones y misiles y turbinas terrestres y otros equipos que utilizan entornos extremos.

10 Los anteriores y otros aspectos de las enseñanzas se pueden entender mejor en relación con los siguientes ejemplos, que se presentan con fines ilustrativos y no a modo de limitación.

Ejemplo 1: Preparar un precursor de alúmina

15 La solución de precursor de alúmina se hace mediante la disolución de 202,80 gramos de cloruro de aluminio hexahidratado ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) de grado reactivo en 800 g de agua desionizada. La solución se calienta en un recipiente de reacción con un condensador de reflujo refrigerado a 40-45° C. Se añaden aproximadamente se añaden 113,28 gramos de polvo de aluminio de -40 a +325 de malla con al menos 99,8% de pureza lentamente a la solución. Según reacciona el polvo de aluminio, ocurre una reacción exotérmica. Después de finalizar la reacción, la solución se mantiene a 65-75° C durante aproximadamente 12-15 horas. La solución se filtra y se ajusta la concentración a una densidad de aproximadamente 1,3-2,0 g/cm<sup>3</sup>.

Ejemplo 2: Preparar la suspensión

25 Para hacer suspensión en polvo de cerámica para el proceso de preimpregnado del CMC, la solución de precursor de alúmina a una densidad de 0,5 a 5,0 g/cm<sup>3</sup> preferiblemente de 1,3 a 2,0 g/cm<sup>3</sup>, se combina con polvo de alúmina (AKP-50 de Sumitomo Chemical Co. LTD) y polvo de mullita (KM101 de KyOritsu Ceramic Materials o MU107 de Sowa Denko) a una concentración de 10-70% en peso de polvo, preferiblemente 50% en peso. La relación mullita a polvo de alúmina varía de 5/95 a 95/5, preferiblemente 73,5% en peso de mullita y 26,5% en peso de alúmina. Esta mezcla se combina con 0 a 25% en peso, preferiblemente 15% en peso de PVP (de Sigma Aldrich), 0-20% de agente de emisividad (preferiblemente 4-8% en peso), y de 0 a 1% en peso de Dow Corning 1410 (antiespumante) .

Ejemplo 3: Preparar el preimpregnado

30 Preimpregnado: La suspensión de polvo de cerámica se impregna en tejido con óxido tejido (4 u 8 harness satin) como Nextel 312, Nextel 440, Nextel 550, Nextel 720, Nextel 610 o un paño tejido no óxido de Tyranno SA o Nicalon CG. La impregnación del tejido se lleva a cabo utilizando una configuración de raqueta produciendo un preimpregnado húmedo.

Ejemplo 4: Preparar el material compuesto de matriz cerámica de mullita y alúmina

35 Se combinan 364,8 gramos de solución de precursor de alúmina (densidad 1,3 g/cm<sup>3</sup>) con 111,8 gramos de polvos de alúmina (AKP-50), 316,8 gramos de polvos de mullita (MU107), 66,6 gramos de PVP (PVP-10), 40 gramos de polvos de SiC, 140,0 gramos de agua desionizada y 5 gotas de antiespumante Dow Corning 1410 y luego se muele en un molino de bolas durante 4 horas para formar una suspensión en polvo de cerámica.

40 La mezcla se infiltra a través de un tejido de óxido tejido (4 u 8 harness satin) como Nextel 312, Nextel 440, Nextel 550, Nextel 720, Nextel 610 o un tejido sin óxido tejido como Tyranno SA o Nicalon CG, usando una raqueta o una configuración de rodillo de arrastre para formar un preimpregnado húmedo. Las múltiples capas de preimpregnado de CMC se cubren o depositan en herramientas complejas, en bolsas de vacío que tienen purgadores estándar y respiradores utilizados en la industria de los compuestos orgánicos y en autoclave a 350 ° F (177 ° C). Después de la exposición de la matriz a calor para fijar la matriz, se quitan las herramientas y la bolsa de vacío. La pieza resultante se cura posteriormente independientemente entre 820° C (1500° F) y 1300° C (2400° F), preferiblemente 1200 ° C (2200° F).

Ejemplo 5: Preparar el material compuesto de matriz cerámica de mullita y alúmina

45 Se combinan 137 gramos de solución de precursor de alúmina (densidad 1,3 g/cm<sup>3</sup>) con 42 gramos de polvo de alúmina (AKP-50), 119 gramos de polvo de mullita (MU107) y 25 gramos de PVP (PVP-10) y luego se muele en molino de bolas durante 4 horas para formar una suspensión en polvo de cerámica. El tejido se infiltra por el mismo método que se describe en el Ejemplo 1.

50 Los expertos en la técnica pueden apreciar ahora a partir de la descripción anterior que las amplias enseñanzas se pueden implementar en una variedad de formas. Por lo tanto, mientras que las enseñanzas se han descrito en relación con ejemplos particulares de la misma, el verdadero alcance de las enseñanzas no debe ser tan limitado, ya que otras modificaciones serán evidentes para el experto en la materia tras el estudio de la memoria descriptiva, ejemplos y reivindicaciones siguientes.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una mezcla para la formación de la matriz de un artículo de material compuesto de matriz cerámica, comprendiendo la mezcla una mezcla de polvo cerámico y una solución de precursor de alúmina, donde la mezcla de polvo cerámico comprende:
- entre 10% en peso y 70% en peso de mezcla de polvo de mullita y alúmina; y hasta 25% en peso de aglutinante, siendo el aglutinante polivinilpirrolidona.
- 10 2. Una mezcla según la reivindicación 1, en donde la solución de precursor de alúmina comprende el producto de una reacción de cloruro de aluminio hexahidratado con el polvo de aluminio en un ambiente acuoso calentado.
- 15 3. Una mezcla según la reivindicación 1, en donde la mezcla en polvo de mullita y alúmina comprende mullita y alúmina en una relación entre 5/95 y 95/5.
- 20 4. Una mezcla según la reivindicación 1, en donde la mezcla de polvo cerámico comprende además hasta 20 % en peso de agente de emisividad.
5. Una mezcla según la reivindicación 1, en donde la mezcla de polvo cerámico comprende además hasta 1 % en peso de antiespumante.
6. Una mezcla según la reivindicación 1, en donde la solución de precursor de alúmina tiene una densidad entre 0,5 g/cm<sup>3</sup> y 5,0 g/cm<sup>3</sup>.
- 25 7. Un preimpregnado de material compuesto de matriz cerámica que comprende material de fibras de cerámica impregnadas con una mezcla como la reivindicada en cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
8. Un método de fabricación de un artículo de material compuesto de matriz cerámica, comprendiendo el método:
- 30 preparar una solución de precursor de alúmina;  
tratar la solución de precursor de alúmina con una mezcla de polvos cerámico para formar una mezcla como la reivindicada en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6;  
formar una suspensión homogénea de la mezcla;
- 35 infiltrar la suspensión homogénea en material de fibra cerámica para formar un preimpregnado; y curar y sinterizar el preimpregnado para formar el artículo de material compuesto de matriz cerámica.
9. Un método según en la reivindicación 8, en donde el curado ocurre a aproximadamente 177° C (350° F) en una bolsa de vacío.
- 40 10. Un método según en la reivindicación 8, en donde la sinterización ocurre entre 816° C (1500° F) y 1316° C (2400° F).

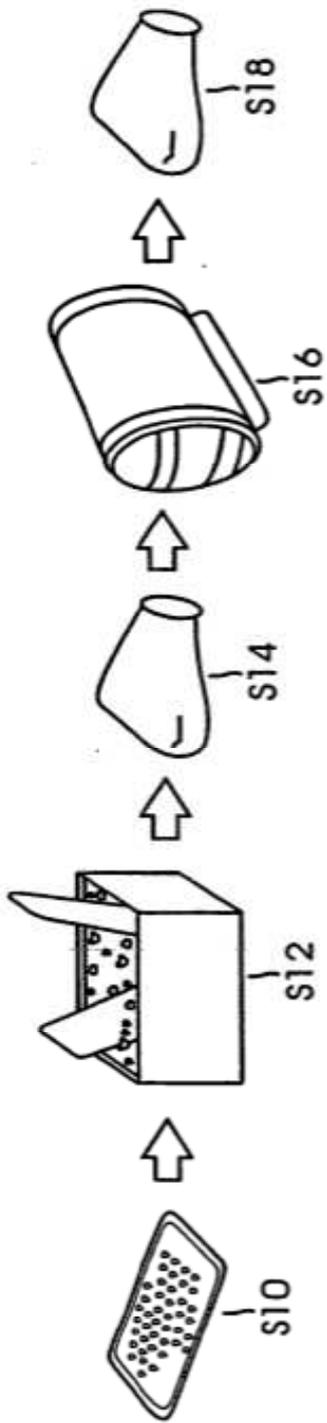


FIG. 1

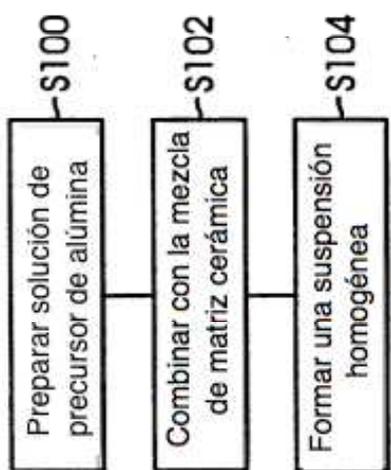


FIG. 2A

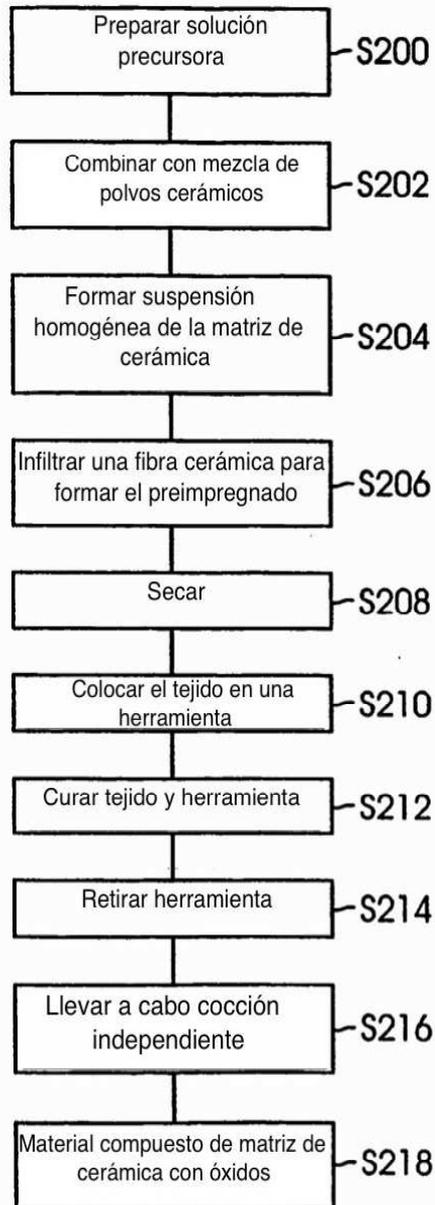


FIG. 2B