

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 356**

51 Int. Cl.:  
**C04B 35/111** (2006.01)  
**C04B 35/80** (2006.01)  
**C04B 35/628** (2006.01)  
**C04B 41/50** (2006.01)  
**B29C 41/16** (2006.01)  
**B29C 70/30** (2006.01)  
**B29B 11/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08425701 .3**  
96 Fecha de presentación: **31.10.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2181974**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.05.2010**

54 Título: **Método para la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**04.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**04.07.2012**

73 Titular/es:  
**AVIO S.P.A.**  
**STRADA DEL DROSSO, 145**  
**TORINO, IT**

72 Inventor/es:  
**Pasquero, Giuseppe;**  
**Zanon, Giovanni Paolo;**  
**Petrachi, Maria Rita;**  
**Licciulli, Antonio;**  
**Chiechi, Antonio y**  
**Fersini, Maurizio**

74 Agente/Representante:  
**Ungría López, Javier**

ES 2 384 356 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 la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica

5 La presente invención se refiere a un método para la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica. El método se ha de usar en los campos siguientes:

- producción de componentes para motores aeroespaciales; y

10 - producción de componentes de turbina y componentes de sistemas de turbina y plantas (por ejemplo, del tipo denominado "aeroderivado" y para la producción de energía eléctrica).

15 Como es conocido, los componentes hechos de material cerámico de un tipo monolítico, por ejemplo, hechos de carburo de silicio o nitruro de silicio, tienen una alta resistencia mecánica y buena resistencia a la fatiga térmica, pero son relativamente quebradizos y no toleran gradientes térmicos pronunciados. Para superar dicho inconveniente, en los pocos últimos años la tendencia ha sido producir materiales compuestos que tienen una matriz cerámica y refuerzos hechos de fibras cerámicas. En este tipo de materiales, es ventajoso recubrir la superficie de las fibras con un material que sea heterogéneo tanto con respecto a la matriz como con respecto a las fibras con el fin de aumentar la tenacidad por medio del mecanismo de deflexión de propagación de la fisura de perpendicular a paralela con respecto a la superficie de interfaz entre la matriz y las fibras, garantizando al mismo tiempo una adecuada transferencia de las cargas.

20 Además, se ha consolidado la tendencia a usar óxidos cerámicos en la medida en que los materiales no óxidos no presentan una buena resistencia a la oxidación a altas temperaturas (por ejemplo, temperaturas de aproximadamente 1250°C) y están sujetos a fenómenos de fluencia y fenómenos de corrosión debido a entornos agresivos.

25 Por desgracia, los procesos de producción conocidos para hacer materiales compuestos con una matriz cerámica y una base de óxidos cerámicos implican tiempos largos y costos altos.

30 La Solicitud de Patente de Estados Unidos número US 2006-0280940 A1 describe un método de producción que deberá permitir la reducción de los tiempos de producción y, simultáneamente, obtener componentes con características mecánicas satisfactorias. Tal proceso de producción incluye los pasos de: preparar una suspensión de polvos cerámicos fluidos y vertibles; impregnar fibras continuas hechas de óxido cerámico usando dicha suspensión; usar las fibras impregnadas para formar un cuerpo hecho de material compuesto no sinterizado, denominado "cuerpo verde"; eliminar el agua del cuerpo verde mediante secado; y finalmente sinterizar el cuerpo verde.

35 Sin embargo, también este proceso de producción resulta insatisfactorio en la medida en que los compuestos obtenidos tienen valores de porosidad muy altos (incluidos entre 45% y 75%).

40 La Patente de Estados Unidos número 5.436.042 corresponde al preámbulo de la reivindicación 1 y describe poner una pluralidad de segmentos de preforma sinterizados en un molde poroso e infiltrar tales segmentos de preforma con un material de baño de matriz cerámica.

45 La finalidad de la presente invención es proporcionar, en los campos indicados anteriormente, un método para la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica, que permitirá una solución simple y económicamente ventajoso de los problemas expuestos anteriormente.

50 Según la presente invención se facilita un método para la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica, como el definido en la reivindicación 1, a usar en los campos indicados anteriormente.

55 Para una mejor comprensión de la presente invención, ahora se describe una realización preferida, puramente a modo de ejemplo no limitador, con referencia a los dibujos anexos, donde:

La figura 1 representa un componente de turbina, hecho de material compuesto de matriz cerámica según una realización preferida del método de la presente invención.

60 La figura 2 es un diagrama de bloques que representa los pasos de una realización preferida del método para producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica según la presente invención.

Y las figuras 3 a 6 son vistas en perspectiva que representan algunos pasos del método de la figura 2.

65 Con 1 se designa en la figura 1 un álabe de estator para una planta de turbina, en particular para aplicaciones aeronáuticas. El álabe 1 se extiende a lo largo de un eje 2 y se define por una pared anular, que tiene una cavidad

axial 3, y se hace de un material compuesto que consta totalmente de óxidos cerámicos.

5 En particular, el material compuesto incluye una matriz hecha de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y una fase de refuerzo definida por fibras de óxido cerámico a base de alúmina provista de un recubrimiento de circonia ( $\text{ZrO}_2$ ). Dicho recubrimiento tiene la función de interfaz para desacoplar las fibras de la matriz y por lo tanto mejorar la tenacidad del material compuesto, y, preferiblemente, tiene un grosor de aproximadamente  $1 \mu\text{m}$ .

10 El álabe 1 se obtiene mediante un proceso, cuyos pasos se representan esquemáticamente en la figura 2 y se describen a continuación.

15 Las fibras del material compuesto tienen inicialmente forma de tejido. Por ejemplo, es posible utilizar el tejido Nextel fabricado por la compañía 3M (marcas comerciales registradas) con una textura satén de dureza 8. Las fibras del tejido adquirido por el fabricante tienen un recubrimiento orgánico denominado "apresto", que se aplica para mejorar la manejabilidad de las fibras y reducir la degradación del tejido. Para eliminar este recubrimiento, siguiendo las instrucciones que facilita el fabricante, las fibras del tejido se deben someter primero a un tratamiento térmico (bloque 110), que permite completar la degradación y volatilización del recubrimiento orgánico.

20 A continuación se corta el tejido (bloque 120) con el fin de obtener piezas de tejido, por ejemplo, piezas que tengan una forma rectangular de manera que sean capaces de formar más fácilmente una pluralidad de capas de tejido, como se describirá más claramente en lo que sigue.

25 Las piezas de tejido cortadas y privadas del recubrimiento orgánico son tratadas con el fin de aplicar de forma homogénea el recubrimiento hecho de circonia sobre la superficie de las fibras. En particular, el recubrimiento de circonia se aplica usando la tecnología de sol-gel: las piezas de tejido son sumergidas en una sol (bloque 130), es decir, en una solución coloidal de circonia y son extraídas a una tasa controlada con el fin de obtener una película homogénea.

30 Preferiblemente, la solución coloidal de circonia contiene: una fase coloidal obtenida a partir de precursores metaloorgánicos de circonia; y polvos submicrométricos de circonia suspendidos en la fase coloidal.

35 Después de la extracción de la suspensión coloidal de circonia, las fibras cerámicas se secan primero (bloque 140) en aire a temperatura ambiente, y/o en un horno ventilado. Finalmente, se lleva a cabo un tratamiento térmico en temperatura alta en las fibras así recubiertas (bloque 150), en particular a una temperatura de hasta  $500^\circ\text{C}$ , con el fin de consolidar la película de circonia y hacer que se adhiera firmemente sobre la superficie de las fibras.

40 Una vez terminada la aplicación del recubrimiento de circonia, éste último posee una estructura policristalina muy fina, es decir, con dimensiones del grano cristalino inferiores a una micra, y uniforme. La provisión de al menos dos tamaños de grano diferentes para las partículas dispersadas en la sol permite obtener un recubrimiento con un grosor mayor, por ejemplo de aproximadamente  $1 \mu\text{m}$ , como se ha mencionado anteriormente.

45 Las fibras cerámicas así preparadas se impregnan con una suspensión de polvos cerámicos (bloque 160), en particular una suspensión acuosa de polvos de alúmina. La suspensión es vertible y fluida, y también se denomina "pasta" o "baño".

50 Con referencia a la figura 3, las piezas de tejido impregnado se designan con el número de referencia 5 y se ponen una encima de otra (bloque 170 en la figura 2) con el fin de formar una pluralidad de capas y con el fin de obtener una preforma 6, que tiene una forma similar a la del componente acabado a producir. Para dar a la preforma 6 la forma deseada, preferiblemente las capas de tejido 5 se ponen en núcleos desechables y/o en troqueles de formación, que tienen una forma que es complementaria, es decir, el negativo, de la forma a obtener. La superficie del molde de formación y/o del núcleo desechable, en la que se ponen las capas de tejido 5, está constituida por un material sin drenaje, es decir, un material que no absorbe por capilaridad la parte líquida de la mezcla que impregna las fibras.

55 La superposición de las capas de tejido 5 se lleva a cabo preferiblemente de forma manual, pero también se podría automatizar.

60 Según una variante (no mostrada), un procedimiento para formar de forma automatizada una preforma que tenga fibras continuas o largas es, por ejemplo, la técnica denominada "devanado de filamentos". En esta técnica, las fibras cerámicas son enrolladas alrededor de un husillo de formación puesto en rotación, con el resultado de obtener un entretejido o en otro caso una textura tridimensional de las fibras. La sección transversal del husillo puede ser circular o tener alguna otra forma.

65 La impregnación de las fibras con la suspensión de polvos cerámicos se puede llevar a cabo sumergiendo las fibras en la suspensión antes de que lleguen al husillo, o de otro modo sumergiendo toda la preforma seca de fibras después de haber sido formada en el husillo.

Como una alternativa a las capas de tejido y a la técnica de devanado de filamentos, para obtener la preforma 5 es posible utilizar un denominado "malla" de fibras cerámicas, es decir, una esterilla de fibras no tejidas, entrecruzadas de forma aleatoria. Dicha esterilla se conforma en la forma del componente a hacer y se impregna en la suspensión de polvos cerámicos.

5 En el ejemplo particular representado en la figura 3, las piezas de tejido 5 se aplican sobre la superficie lateral 7 de un núcleo desechable 8, cuya forma define el negativo de la cavidad 3. El núcleo desechable 8 tiene cavidades internas 9, que se abren tanto a lo largo del eje 2 como lateralmente para mantener las cavidades 9 en comunicación con las piezas de tejido 5 puestas sobre la superficie lateral 7.

10 Preferiblemente, durante la producción de la preforma 6, se disponen capas adicionales en zonas correspondientes a los dos extremos axiales del núcleo desechable 8 para impedir desprendimiento de la preforma 6 de tales extremos.

15 Después de la formación, los bordes de extremo 11 de la preforma 6 se cortan (bloque 180 en la figura 2), por ejemplo manualmente con tijeras, para quitar los posibles bordes o extremos deshilachados que tienden a formarse en las operaciones anteriores de corte del tejido y colocación de las piezas de tejido 5, y para dar la longitud axial deseada a la preforma 6.

20 Con referencia a la figura 4, la preforma 6 se pone en un molde de drenaje 12, es decir, un molde capaz de absorber por capilaridad la parte líquida de la suspensión cerámica presente entre las fibras (bloque 190 en la figura 2). Por ejemplo, el molde 12 es un molde hecho de yeso o escayola. En el ejemplo particular representado, el molde 12 está constituido por dos mitades de molde 12a y 12b y tiene un asiento 13, cuya forma es sustancialmente el negativo de la forma externa del álabe 1. El asiento 13 se define por una superficie lateral 14 conformada según el intradós y el

25 extradós del álabe 1, tiene un agujero 16 en el extremo superior, y en el extremo inferior está cerrado por una porción 17 de las mitades de molde 12a y 12b.

30 Antes o durante la colocación de la preforma 6 en el molde 12, la superficie lateral 14 se recubre con una película 18 de material impermeable, de un tipo extraíble. La película 18 está constituida preferiblemente por un número de piezas distintas colocadas una al lado de otra.

35 Con referencia a la figura 5, una vez que las mitades de molde 12a y 12b se han cerrado alrededor de la preforma 6, el molde 12 se pone en una posición vertical. El agujero 16 se usa para verter a las cavidades 9 una cantidad de suspensión 20 de polvos cerámicos (bloque 200 en la figura 2). El material cerámico se define, en particular, por alúmina. El agujero 16 se usa entonces para quitar la película 18 (bloque 210), que, en particular, se desliza en una dirección paralela a la superficie lateral 14. Solamente en este punto el yeso del molde 12 empieza a drenar la parte líquida de la mezcla que impregna la preforma 6 (bloque 220).

40 Al mismo tiempo, la extracción de líquido producido por el material de drenaje del molde 12 hace que la preforma 6 absorba la suspensión 20, poniéndose ésta última en contacto con la superficie de la preforma 6 que está enfrente de la superficie lateral 14, como si el drenaje generase un espacio vacío, que se llena progresivamente con la llegada de nueva suspensión.

45 Con referencia a la figura 6, la suspensión 20, que pasa a través de los agujeros laterales del núcleo desechable 8, se infiltra entre las fibras de la preforma 6. En consecuencia, simultáneamente al drenaje de líquido, se infiltra nuevo material cerámico entre las fibras de la preforma 6: por lo tanto, las cavidades 9 son un depósito o una acumulación para la suspensión 20, que es absorbida por la preforma 6. Durante los pasos de drenaje/infiltración, el nivel de la suspensión 20 en las cavidades 9 tiende a caer de modo que se restablece progresivamente, por ejemplo

50 manualmente. Manteniendo las cavidades 9 siempre llenas, la suspensión 20 es absorbida de forma homogénea durante todo la altura axial de la preforma 6, y no solamente en las partes inferiores.

Gracias al drenaje continuo de la parte líquida, comenzando en la superficie lateral 14, el material entre las fibras de la preforma 6 tiende a solidificar progresivamente y a formar una matriz porosa, que es más compacta que la de la preforma 6. El cuerpo que se está formando se denomina "cuerpo verde" y se designa con el número de referencia

55 21 en la figura 6. Dado que dicha matriz es porosa, en cualquier caso deja pasar líquido al molde 12.

Los pasos de drenaje/infiltración se terminan cuando se detecta, por ejemplo visualmente, que en una zona correspondiente a la superficie lateral 7 empieza a formarse un depósito sólido, es decir, que la formación de la matriz porosa del cuerpo 21 ha llegado a la superficie lateral 7: este fenómeno indica que la capacidad de absorción de los polvos cerámicos de la suspensión 20 se ha agotado, y que en consecuencia solamente se infiltra líquido al

60 cuerpo 21.

Con referencia a la figura 2, el cuerpo 21 se saca del molde (bloque 230) abriendo las mitades de molde 12a y 12b, y luego se seca (bloque 240), dejándolo al aire a temperatura ambiente durante 24 horas. Como una alternativa o en sucesión con respecto al secado a temperatura ambiente, el secado se lleva a cabo en un horno ventilado con circulación forzada de aire o circulación de aire por convección natural.

65

5 El núcleo desechable 8 se hace de material orgánico de modo que, durante el tratamiento térmico al aire, se degrade y descomponga, y finalmente se elimina gracias a la reacción de oxidación entre el oxígeno atmosférico y el residuo de carbono que deriva de la descomposición. Típicamente, dicha reacción de oxidación se activa a temperaturas superiores a 400°C.

10 Luego se sinteriza el cuerpo 21 (bloque 250) para obtener una cohesión efectiva entre los polvos de la matriz y las fibras. La temperatura debe ser suficientemente alta para producir la reacción de los polvos cerámicos que definen la matriz entre las fibras cerámicas de refuerzo y, al mismo tiempo, inferior a la temperatura a la que dichas fibras experimentan daño. De hecho, la mayoría de las fibras cerámicas (y todas las fibras cerámicas con una base de óxidos policristalinos) experimentan modificaciones microestructurales a temperaturas superiores a aproximadamente 1300-1350°C: dichas modificaciones microestructurales implican una disminución significativa de la resistencia mecánica y una acritud alta.

15 Finalmente, si fuese necesario, se realizan las operaciones de maquinado de acabado (bloque 260), seguidas de una operación de cocción, que completa la consolidación obtenida por sinterización.

El método de la presente invención se ha de usar en los campos siguientes:

20 - producción de componentes para motores aeroespaciales; y  
 - producción de componentes de turbina y componentes de sistemas de turbina y plantas (por ejemplo, del denominado tipo "aeroderivado" y para la producción de energía eléctrica).

25 A modo de ejemplo, estos campos incluyen, además de los álabes ya mencionados, los componentes siguientes:

30 - piezas de combustores;  
 - piezas de post-quemadores;  
 - piezas de estabilizadores de llama; y  
 - soportes para sensores y termopares, para mediciones en gases.

35 Para cada componente a realizar, la forma del molde de drenaje debe ser determinada de forma específica. La posición de la superficie de contacto con la preforma de fibras impregnadas debe ser tal que haga prácticamente unidireccional el flujo de líquido drenado en el molde de drenaje (en el ejemplo del álabe 1, dicho flujo es radial hacia el exterior con respecto al eje 2). Además, la forma del molde de drenaje debe ser preferiblemente de tipo abierto, para hacer que la suspensión 20 entre en contacto con la preforma de fibras impregnadas en un lado opuesto a la superficie de contacto con el molde de drenaje.

45 Según una realización no representada, la preforma hecha de fibras cerámicas se obtiene poniendo las capas de tejido 5 una encima de otra en el molde de drenaje, haciendo descansar dichas capas sobre una porción impermeable, por ejemplo una película, que se quita cuando se haya de iniciar el drenaje.

50 La calidad del material compuesto hecho con el método descrito anteriormente depende también de las características de la suspensión 20. En particular, la suspensión 20 tiene un contenido de polvos cerámicos incluido típicamente entre 40% en volumen y 60% en volumen. Para obtener cualidades de compacidad óptimas del material compuesto final, el contenido en volumen de polvos deberá ser superior a 50% en volumen.

55 Además, es ventajoso que la suspensión 20 no presente valores de viscosidad excesivamente altos de modo que no haya dificultad de penetración en la preforma 6. El valor límite de viscosidad no deberá exceder de 10 Pas (Pascal x segundo). En particular, la suspensión no deberá exceder del valor de 2 Pas con el fin de mostrar unos tiempos de infiltración satisfactorios.

60 Con el fin de lograr dicho resultado, es decir, con el fin de mejorar la fluidez y vertibilidad de la suspensión cerámica, se puede usar agentes dispersantes y fluidificantes apropiados. Agentes dispersantes típicos son los de la familia de polielectrolitos aniónicos. Estos son polímeros solubles en agua capaces de atraer y unir electrolitos en solución y en consecuencia cargarse electrostáticamente. Los polielectrolitos aniónicos, por deposición sobre los polvos cerámicos, tienen el efecto de dar a los polvos propiamente dichos una carga electrostática negativa, que da lugar a su repulsión mutua evitando su agregación y floculación. Un ejemplo de un agente dispersante de polielectrolito aniónico efectivo es Dolapix 85 perteneciente a la familia de Dolapix (marca comercial registrada) producido por la compañía Serva de Heidelberg (Alemania).

65 Al elegir polvos de alúmina cerámica, es conveniente que el grado de pureza sea superior a 99%, y que los porcentajes de SiO<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>O sean sumamente bajos con el fin de evitar la posible fluencia a temperatura alta o

degradación, a las temperaturas presentes durante la sinterización o en las condiciones de operación del componente. Por ejemplo, es posible utilizar alúmina AES-23 producida por la compañía Sumitomo (Japón).

5 Además, el líquido de la suspensión 20 se elige de manera que sea compatible con el material cerámico de los polvos y se obtenga una dispersión homogénea de los polvos propiamente dichos. Como líquido, para los polvos de óxidos cerámicos se prefiere agua desmineralizada. En el caso de usar materiales cerámicos no óxidos, es posible utilizar como líquido disolventes orgánicos, por ejemplo alcohol, benceno, tolueno, etc.

10 Preferiblemente, la suspensión o mezcla con la que se impregnan las fibras que forman la preforma 6 antes del paso de drenaje, es la misma que la suspensión 20 que se usa para el paso de infiltración.

15 Como se ha mencionado anteriormente, durante la sinterización, los polvos cerámicos reaccionan con el fin de hacer que la matriz del material compuesto adquiera una cohesión, dureza y resistencia mecánica apropiadas. Al mismo tiempo, la reactividad de los polvos no debe ser tan alta que comporte un excesivo encogimiento dimensional. De hecho, dado que las fibras no experimentan contracción, un encogimiento dimensional alto de los polvos daría lugar a que la matriz tenga esfuerzos residuales y fisuras y que comprima las fibras. En particular, el encogimiento dimensional de los polvos durante la sinterización no debe exceder de 2%. Se logran resultados óptimos con un encogimiento dimensional inferior a 0,8%.

20 En particular, los polvos cerámicos de la suspensión 20 se definen por una mezcla con al menos dos tamaños de grano diferentes, por ejemplo 1  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ . En particular, la distribución granulométrica es de tipo multimodal; es decir, la distribución alrededor de los valores medios de tamaño de grano tiene una dispersión relativamente grande. La mezcla de polvos con tamaños de grano diferentes permite obtener una mejor compactación o "empaquetado" de los polvos entre las fibras durante los pasos de drenaje/infiltración y obtener el grado de reactividad correcto durante el paso de sinterización posterior. De hecho, los polvos cerámicos de mayor tamaño de grano poseen una mayor refractividad y estabilidad térmica, mientras que los polvos más finos reaccionan más fácilmente a la temperatura, contribuyendo a determinar la cohesión también de los polvos de tamaño más grande. A su vez, un buen "empaquetado" de los polvos asegura que el material compuesto poseerá valores de porosidad bajos y valores de encogimiento dimensional bajos durante la sinterización. De hecho, la parte de polvos que tiene un tamaño de grano más fino presenta una reactividad más alta, debido a la alta contribución de la energía superficial libre, y por lo tanto favorece la consolidación de la matriz durante la sinterización; en cambio, la parte que tiene un tamaño de grano más basto funciona como inhibidor.

35 Por lo anterior parece claro cómo el método según la presente invención permite producir, en los campos indicados anteriormente, componentes hechos de material compuesto que tienen una matriz cerámica con porosidad relativamente baja. Por ejemplo, eligiendo alúmina como material cerámico y agua como líquido de la suspensión 20, se obtiene una porosidad homogénea de aproximadamente 25%, con diámetros de poro medios de 0,7  $\mu\text{m}$ .

40 Se optimizan los procedimientos de infiltración de los polvos cerámicos en la preforma. De hecho, los tiempos del proceso son relativamente cortos, sobre todo porque la mayoría de los polvos cerámicos que constituyen la matriz del compuesto son infiltrados simultáneamente con drenaje de líquido. Calibrando apropiadamente la cantidad de los polvos y la viscosidad de la suspensión 20, es posible optimizar la velocidad del proceso de forma relativamente simple, sin recurrir, como tiene lugar en otros métodos, a ciclos reiterados de infiltración y sinterización.

45 El material compuesto obtenido se caracteriza por alta tenacidad después de la sinterización y, por lo tanto, tiene la capacidad de absorber energía antes del fallo, evitando un fallo quebradizo y catastrófico. En particular, a pesar de una temperatura de sinterización relativamente baja para evitar la degradación de las fibras (por ejemplo, una temperatura de 1330°C), es posible obtener una matriz con buenas propiedades mecánicas (aproximadamente 130 MPa) y con un encogimiento dimensional muy bajo (inferior a 0,8%), que limita la aparición de esfuerzos residuales en el material compuesto final, también debido a las características de tamaño de grano de los polvos usado en la suspensión 20.

50 La impregnación de las fibras antes de producción de la preforma 6 es relativamente simple. Sin embargo, no es estrictamente necesario impregnar las fibras antes de la formación, sino que es posible invertir la secuencia de estos dos pasos. Por ejemplo, es posible formar una preforma de fibras secas y luego poner dicha preforma en un molde de drenaje usando una porción impermeable extraíble (por ejemplo, la película 18), que recubre la superficie del molde de drenaje. Luego se vierte la misma suspensión 20 para formar un depósito o acumulación, desde el que impregna progresivamente las fibras de la preforma antes de quitar la porción impermeable, es decir, antes del inicio del paso de drenaje y, por lo tanto, de la infiltración propiamente dicha.

60 Como se ha mencionado anteriormente, dado que la película 18 se pone a lo largo de la superficie de contacto entre la preforma 6 y el molde 12, evita que el molde poroso 12 comience inmediatamente a drenar la parte líquida de la mezcla que impregna las fibras de la preforma. Además, dado que tiene un grosor despreciable, se puede quitar fácilmente y simplifica las operaciones del proceso. El hecho de tener un molde de drenaje de tipo montable formado por un número de piezas hace que la extracción del cuerpo verde 21 del molde sea fácil.

65

5 Además, el uso de óxidos cerámicos para proporcionar todas las partes del compuesto evita cualquier tipo de problema de oxidación química y degradación química a temperatura alta y en entornos oxidantes. La circonia y la alúmina son completamente insolubles o no mezclables una con otra en el estado sólido de modo que la circonia represente una interfaz ideal entre las fibras y la matriz. Además, la circonia permite obtener resistencia mecánica y, ante todo, una resistencia a la oxidación a alta temperatura que son iguales o más altas que las de otros materiales cerámicos. La tecnología de sol-gel usada para aplicar el recubrimiento a las fibras es económicamente más ventajosa que otros procesos, tales como deposición química al vapor (CVD) usada para compuestos no óxidos.

10 Además de ser económicamente ventajoso, el método descrito anteriormente también permite la producción de componentes con geometría compleja, tal como el álabe 1 descrito anteriormente. Además, después de la sinterización, se obtiene un producto cuya forma y dimensiones son sumamente próximas a las del componente a realizar de modo que normalmente no haya que contemplar un sobredimensionamiento antes de la sinterización, y es suficiente una operación de acabado para obtener el componente final. Además, el producto sinterizado puede ser maquinado con máquinas herramienta, usando herramientas de maquinado y en baño de agua, de modo que  
15 también es adecuado para ser modificado, si es necesario.

Finalmente, es claro que se puede hacer modificaciones y variaciones en el método aquí descrito con referencia a las figuras adjuntas, sin apartarse por ello del ámbito de protección de la presente invención, definido en las reivindicaciones anexas.  
20

Por ejemplo, el molde de drenaje podría coincidir con un núcleo en el que se ponga la preforma, y la suspensión 20 se podría poner, en cambio, alrededor de la preforma con el fin de producir una dirección radial de flujo hacia el interior con respecto al eje 2. Además, la suspensión 20 podría presentar una carga hidrostática encima de la preforma o podría experimentar de otro modo una compresión de manera que se le fuerce a penetrar en la preforma simultáneamente con el drenaje. Con el fin de decidir el final de los pasos de drenaje/infiltración, se podrían utilizar  
25 indicadores diferentes de los depósitos sólidos en las cavidades, por ejemplo, la duración de dichos pasos podría estar predeterminada.

La preforma podría estar formada por fibras del tipo denominado "cortado", o en otro caso por esterillas de fibras no tejidas largas, entrecruzadas aleatoriamente, como ya se ha mencionado anteriormente, o en otro caso por una sola pieza de tejido enrollada y/o plegada para formar capas colocadas una encima de otra.  
30

La porción impermeable que se puede quitar del molde de drenaje podría ser diferente de la película 18.

35 Finalmente, el molde de drenaje se podría hacer de un material de drenaje o poroso diferente del yeso.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método para la producción de componentes hechos de material compuesto de matriz cerámica (1); incluyendo el método los pasos de:
- conformar una preforma (6) de fibras cerámicas;
  - poner dicha preforma (6) en un molde de drenaje (12);
- 10 - impregnar dichas fibras cerámicas con una primera suspensión de polvos cerámicos:
- a) antes de conformar dicha preforma (6), o
  - 15 b) después de haber conformado dicha preforma (6) y antes de poner dicha preforma (6) en dicho molde de drenaje (12), o
  - c) después de haber puesto dicha preforma (6) en dicho molde de drenaje (12);
- 20 - drenar por capilaridad el líquido que está presente entre las fibras impregnadas de la preforma (6) en dicho molde de drenaje (12);
- caracterizado** el método porque la impregnación con dicha primera suspensión se lleva a cabo antes de iniciar el paso de drenaje, y **caracterizado** porque incluye los pasos adicionales de:
- 25 - infiltrar una segunda suspensión (20) de polvos cerámicos entre las fibras de la preforma (6) simultáneamente al paso de drenaje;
- sacar de dicho molde de drenaje (12) el cuerpo (21) obtenido al final de los pasos de drenaje e infiltración; y
- 30 - sinterizar dicho cuerpo (21).
2. El método según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la infiltración de dicha segunda suspensión es inducida por drenaje.
- 35 3. El método según la reivindicación 2, **caracterizado** porque incluye el paso de formar una acumulación de dicha segunda suspensión (20) en una superficie de la preforma que está enfrente de una superficie de contacto entre dicho molde de drenaje (12) y dicha preforma (6).
- 40 4. El método según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicha acumulación se forma vertiendo dicha segunda suspensión a una cavidad (9) a través de un agujero superior (16) de dicho molde de drenaje (12).
5. El método según la reivindicación 4, **caracterizado** porque dicha cavidad (9) se obtiene en una posición intermedia en dicha preforma (6).
- 45 6. El método según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizado** porque dicho paso de infiltración se termina cuando se forma un depósito sólido en dicha acumulación.
7. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque incluye los pasos de proporcionar una porción impermeable (18) a lo largo de una superficie de contacto entre dicho molde de drenaje
- 50 (12) y dicha preforma (6), y de sacar dicha porción impermeable (18) para iniciar dicho paso de drenaje.
8. El método según la reivindicación 7, **caracterizado** porque dicha porción impermeable (18) es una película que, para quitarla, se desliza en una dirección paralela a dicha superficie de contacto.
- 55 9. El método según la reivindicación 7 o la reivindicación 8, **caracterizado** porque dicha preforma se conforma en un núcleo desechable (8) y/o en un molde de formación definido por dicho molde de drenaje y provisto de dicha porción impermeable (18) para soportar las fibras de dicha preforma.
- 60 10. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por proporcionar un recubrimiento hecho de material cerámico en dichas fibras, y porque los materiales cerámicos de dichas fibras, de los polvos de dichas suspensiones primera y segunda, y de dicho recubrimiento son óxidos cerámicos; siendo los óxidos cerámicos de los polvos y de dicho recubrimiento insolubles uno con otro en el estado sólido.
- 65 11. El método según la reivindicación 10, **caracterizado** porque el óxido cerámico de dichas fibras y de los polvos de dichas suspensiones primera y segunda es alúmina, y porque el óxido cerámico de dicho recubrimiento es circonia.



12. El método según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, **caracterizado** porque dicho recubrimiento se aplica en dichas fibras usando tecnología de sol-gel.
- 5 13. El método según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la sol incluye partículas que tienen al menos dos tamaños de grano diferentes.
14. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicha preforma se conforma poniendo capas de tejido una encima de otra.
- 10 15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque dicha preforma se conforma entretejiendo las fibras cerámicas mediante devanado de filamentos.
16. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque dicha preforma está constituida por una esterilla de fibras no tejidas, que se conforma en forma del componente a hacer.
- 15 17. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicho molde de drenaje está constituido por al menos dos piezas montadas (12a, 12b), y porque dicho cuerpo (21) se saca de dicho molde de drenaje abriendo dichas piezas (12a, 12b).
- 20 18. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicha segunda suspensión (20) incluye una mezcla de polvos cerámicos con al menos dos tamaños de grano diferentes.
19. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicha segunda suspensión tiene un contenido de polvos incluido entre 40 y 60% en volumen.
- 25 20. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque dicha segunda suspensión tiene una viscosidad de menos de 10 Pas.
- 30 21. El método según alguna de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la distribución granulométrica de los polvos de dicha segunda suspensión es de un tipo multimodal.

FIG. 1

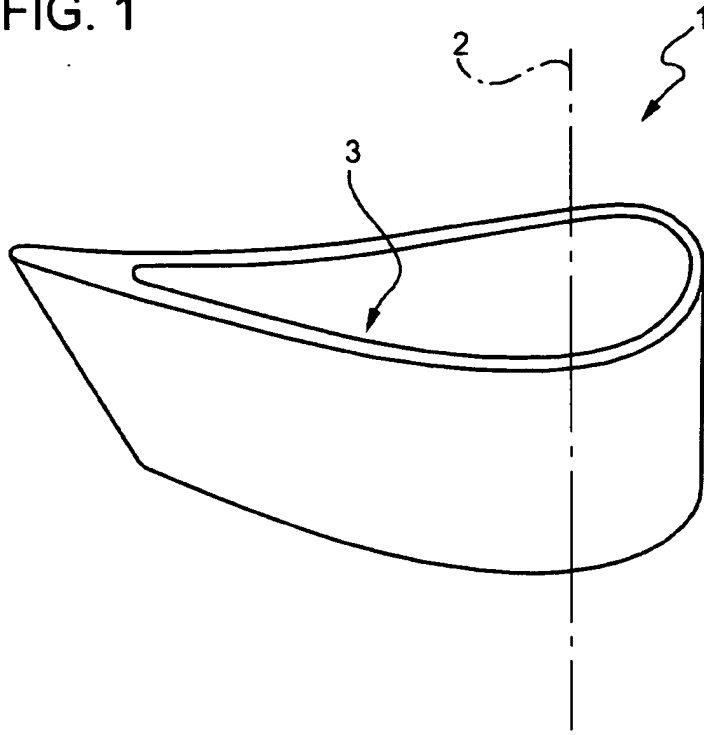


FIG. 2

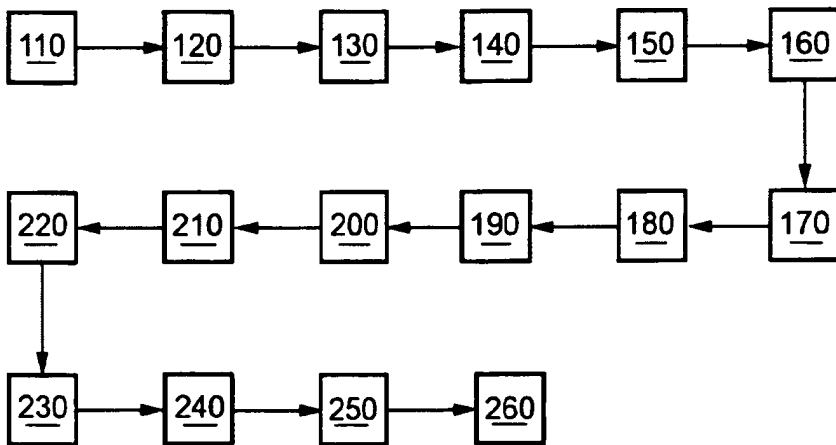


FIG. 3

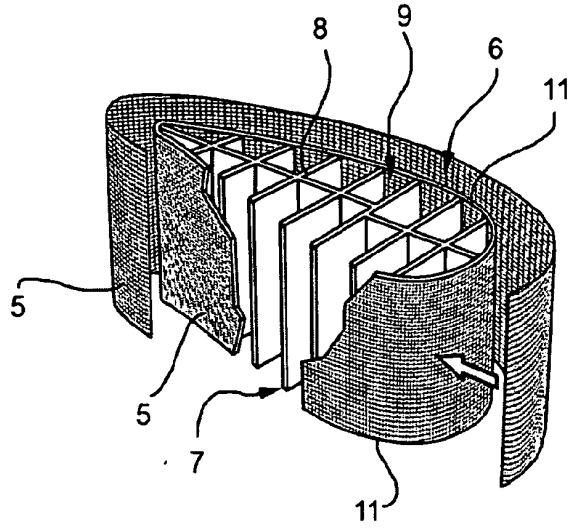


FIG. 4

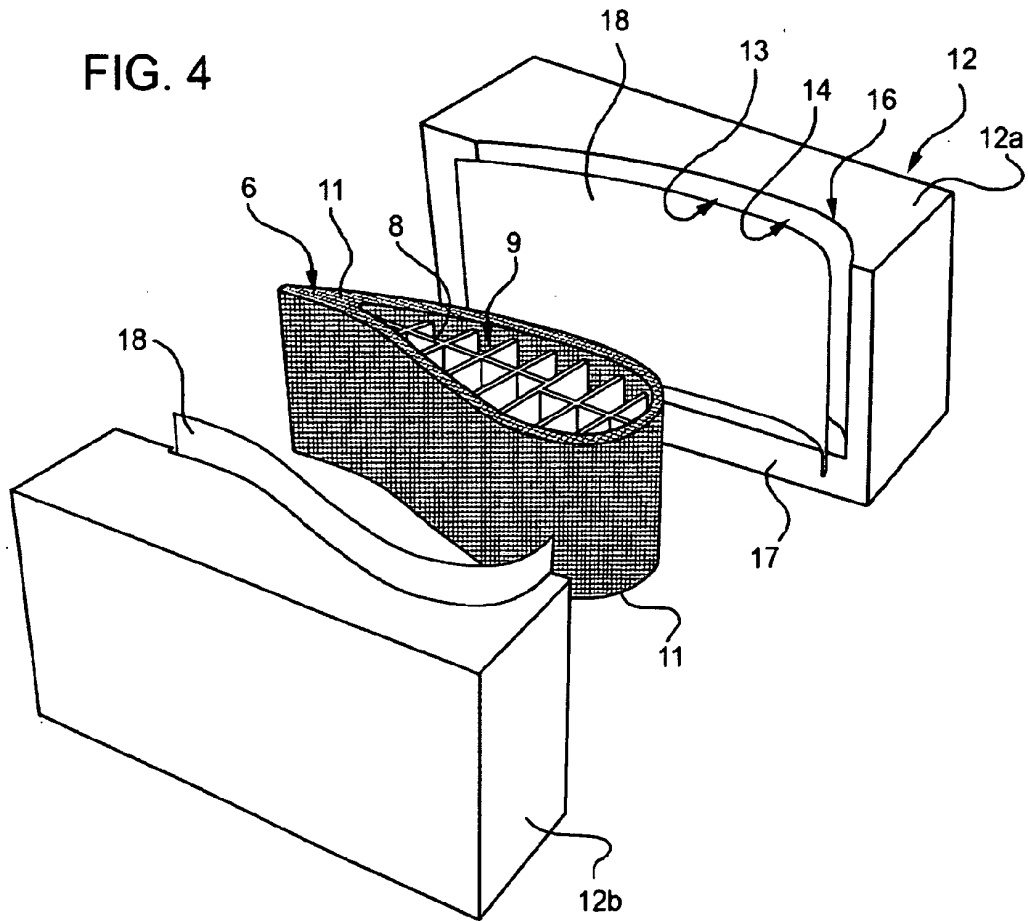


FIG. 5

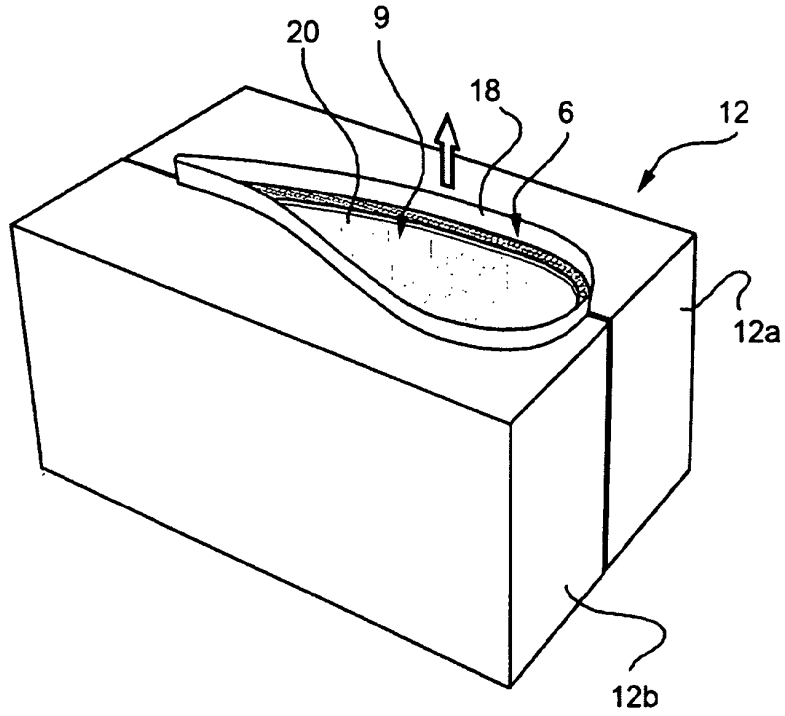


FIG. 6

