

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 244**

51 Int. Cl.:

**B32B 18/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2015** E 15196462 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2018** EP 3042763

54 Título: **Material compuesto híbrido de matriz cerámica en sándwich**

30 Prioridad:

**09.01.2015 US 201514593682**

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

**25.04.2018**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**KEITH, WILLIAM P.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**Observaciones :**

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

**ES 2 665 244 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**

Material compuesto híbrido de matriz cerámica en sándwich

Campo

5 La presente descripción se refiere en general a materiales compuestos de matriz cerámica, y más específicamente, se refiere a estructuras de materiales compuestos de matriz cerámica en sándwich híbridos que son expuestas a gradientes térmicos.

Antecedentes

10 Los materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) son materiales compuestos que consisten una matriz cerámica que tiene materiales de refuerzo (por ejemplo, partículas, filamentos, fibras no tejidas, fibras tejidas) incrustados en ella. Los CMC son materiales atractivos para uso en aplicaciones aeroespaciales porque son relativamente livianos y pueden soportar altas temperaturas de operación. Por ejemplo, los CMC pueden ser beneficiosos para la construcción de componentes del sistema de escape porque son más livianos y pueden soportar exposiciones más largas a las temperaturas de escape que algunas estructuras basadas en metal (por ejemplo, aleaciones basadas en titanio y níquel) usadas actualmente.

15 Las estructuras en sándwich de CMC, que incluyen un núcleo de transferencia de carga unido a y entre dos láminas de superficie idénticas, se han explorado como componentes de escape para aplicaciones de aeronaves (véase la Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos Número 2009/0004425). Aunque efectivos, los componentes en sándwich CMC pueden estar sujetos a tensiones cuando existe un gradiente térmico alto a través de la estructura en sándwich, particularmente cuando las láminas de superficie están restringidas, tal como en una estructura cilíndrica en sándwich. Específicamente, la lámina de superficie que está expuesta a un entorno de temperatura más alta (la "lámina de superficie más caliente") se expande o trata de expandirse, pero es resistida por la lámina opuesta que está expuesta a un entorno más frío (la "lámina de superficie más fría"). Como resultado, la lámina de superficie más caliente puede ser sometida a esfuerzos de compresión debido a la resistencia de expansión de la lámina de superficie más fría, mientras que la lámina de superficie más fría puede someterse a compresión de tensión causada por la resistencia a la contracción de la lámina de superficie más caliente. Bajo algunas condiciones extremas, tales fuerzas competidoras pueden empujar el componente en sándwich CMC a sus límites estructurales, y pueden ocurrir daños estructurales.

20 Por lo tanto, hay desafíos y limitaciones del arte existente que deben superarse. En particular, existe la necesidad de diseños de estructura en sándwich de CMC más robustos con resiliencia mejorada bajo condiciones de gradiente térmico.

25 El documento US2009/0252907A1 se refiere a una estructura cerámica híbrida con disposiciones internas de refrigeración.

Resumen

35 La presente invención proporciona un material compuesto de matriz de cerámica en sándwich híbrido (CMC) de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, se divulga un método para fabricar un material compuesto de matriz de cerámica en sándwich (CMC) de acuerdo con la reivindicación 8.

40 Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden conseguir de forma independiente en diversas realizaciones o se pueden combinar en otras formas de realización adicionales cuyos detalles se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de un material compuesto de matriz de cerámica en sándwich híbrido (CMC), construido de acuerdo con la presente divulgación.

45 La FIG. 2 es una vista en sección transversal a través de la sección 2-2 de la FIG. 1, construido de acuerdo con la presente divulgación.

La FIG. 3 es una vista ampliada del detalle 3 de la FIG. 2, que ilustra una primera lámina de superficie del CMC en sándwich híbrido, construida de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación.

La FIG. 4 es una vista ampliada del detalle 4 de la FIG. 2, que ilustra una segunda lámina de superficie del CMC en sándwich híbrido, construida de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación.

La FIG. 5 es una vista en perspectiva, que ilustra esquemáticamente una disposición ortotrópica de capas de filamentos de preimpregnación para proporcionar la primera lámina de superficie, de acuerdo con un método de la presente divulgación.

5 La FIG. 6 es una vista en perspectiva, que ilustra esquemáticamente una disposición casi isotrópica de capas de filamentos de preimpregnación para proporcionar la segunda lámina de superficie, de acuerdo con un método de la presente divulgación.

La FIG. 7 es una vista ampliada del detalle 7 de la FIG. 2, que ilustra una estructura de núcleo de panel de la CMC en sándwich híbrido, construida de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación.

10 La FIG. 8 es una vista ampliada similar a la FIG. 7, pero que muestra una estructura de núcleo de espuma, construida de acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación.

La FIG. 9 es una vista ampliada similar a la FIG. 7, pero que muestra una estructura central de armadura, construida de acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación.

La FIG. 10 es una vista en perspectiva de una aeronave que tiene un sistema de escape que puede tener componentes formados a partir del CMC en sándwich híbrido de la presente descripción.

15 La FIG. 11 es una vista en sección transversal a través de la sección 11-11 de la FIG. 10, que representa un cuerpo central y una boquilla de escape formada a partir del CMC en sándwich híbrido de la presente descripción.

La FIG. 12 es un diagrama de flujo que representa una serie de etapas que pueden usarse para fabricar el CMC en sándwich híbrido, de acuerdo con un método de la presente divulgación.

20 Debe entenderse que los dibujos no están necesariamente dibujados a escala y que las realizaciones descritas se ilustran a veces esquemáticamente. Se apreciará además que la siguiente descripción detallada tiene meramente naturaleza de ejemplo y no pretende limitar la invención o la aplicación y usos de la misma. Por lo tanto, aunque la presente divulgación, por conveniencia de la explicación, está representada y descrita como ciertas realizaciones ilustrativas, se apreciará que puede implementarse en diversos otros tipos de realizaciones y en diversos otros sistemas y entornos.

25 Descripción detallada

Con referencia ahora a los dibujos, y con referencia específica a las FIG. 1-2, se muestra un material 10 compuesto de matriz de cerámica en sándwich híbrido (CMC). Como se usa en el presente documento, el término "CMC" se refiere a un material que consiste en uno o más materiales de refuerzo incrustados en una matriz cerámica. Además, el término "CMC en sándwich híbrido" se refiere a un material CMC que tiene un núcleo entre dos láminas de superficie CMC, en el que las dos láminas de superficie difieren en al menos una propiedad física. Como un ejemplo no limitativo, el CMC 10 en sándwich híbrido puede ser un componente de un sistema de escape de un motor de aeronave, como se describirá con más detalle a continuación. El CMC 10 en sándwich híbrido puede incluir un núcleo 12 unido a y entre una primera lámina 14 de superficie y una segunda lámina 16 de superficie. Tanto la primera lámina 14 de superficie como la segunda lámina 16 de superficie pueden estar formadas a partir de un material de CMC. En un aspecto de la presente divulgación, la primera lámina 14 de superficie, la segunda lámina 16 de superficie y el núcleo 12 pueden formar cada uno una estructura cilíndrica tal que la forma general del CMC 10 en sándwich híbrido es cilíndrica con un centro 18 abierto, como se muestra. Alternativamente, el CMC 10 en sándwich híbrido puede tener otro tipo de configuración cerrada, o puede estar restringido de forma tal que la flexión de las láminas 14 y 16 de superficie no puede aliviar completamente las tensiones en las dos láminas 14 y 16 de superficie. Por consiguiente, el CMC 10 en sándwich híbrido puede tener otras formas tridimensionales tales como, pero no limitadas a, formas cúbicas, esféricas o cónicas.

Bajo algunas condiciones operativas, el CMC 10 en sándwich híbrido puede exponerse a un alto gradiente térmico de manera que la primera lámina 14 de superficie (la lámina de superficie "más caliente") quede expuesta a un entorno de temperatura más alta (por ejemplo, gases de escape calientes) que la segunda lámina 16 de superficie (la lámina de superficie "más fría"). Como se usa en el presente documento, un "gradiente térmico alto" se refiere a una condición en la que la diferencia de temperatura entre la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie es al menos 93°C (200°F) o más. Además, dependiendo de su aplicación, el CMC 10 en sándwich híbrido puede ser tratado acústicamente para reducir o absorber el sonido. Por ejemplo, la lámina de superficie configurada para exposición al entorno de temperatura más alta (por ejemplo, la primera lámina 14 de superficie) puede tener perforaciones 20 formadas a través de la misma para permitir que el sonido entre en y humedezca dentro del núcleo 12. Aunque la primera lámina 14 de superficie se representa como lámina de superficie interior en la FIG. 2, se observa que, en algunas aplicaciones, la lámina de superficie expuesta al entorno de temperatura más alta puede ser la lámina de superficie exterior.

55 En condiciones de alto gradiente térmico, la lámina 14 de la superficie más caliente puede intentar expandirse más que la lámina 16 de superficie más fría en las direcciones axial, radial y circunferencial. Estas tendencias de expansión pueden causar la acumulación de tensiones de compresión en la primera lámina 14 (más caliente) y tensiones de

tracción en la segunda lámina 16 (más fría). Para soportar las tensiones sobre el CMC 10 en sándwich híbrido bajo tales condiciones, el material CMC de la primera lámina 14 de superficie se puede adaptar de manera que la primera lámina 14 de superficie presente una resistencia a la compresión mayor que su resistencia a la tracción. Como una posibilidad no limitativa, la resistencia a la compresión de la primera lámina 14 de superficie (más caliente) puede exceder su resistencia a la tracción en aproximadamente 1.5 veces o más. Tal adaptación puede permitir que la lámina 5 14 de superficie consiga una mayor resistencia a la compresión de la que podría ser posible si el material se construyera con el objetivo de conseguir resistencia a la tracción y a la compresión casi equivalentes. Del mismo modo, el material de CMC de la segunda lámina 16 de superficie (más fría) está construido de manera que la segunda lámina de superficie exhibe una mayor resistencia a la tracción que su resistencia a la compresión. Como una posibilidad no limitativa, la resistencia a la tracción de la segunda lámina 16 de superficie puede exceder su resistencia a la compresión en aproximadamente 1.5 veces o más. Tal adaptación puede permitir que se consiga una mayor resistencia a la tracción en la segunda lámina 16 de superficie que la que podría ser posible si el material se construyera con el objetivo de conseguir resistencia a la tracción y a la compresión equivalentes. Como se usa en el presente documento, el término "resistencia a la compresión" se refiere a la capacidad de la lámina de superficie de soportar fuerzas cuando se comprime principalmente en las direcciones circunferencial y axial, y el término "resistencia a la tracción" se refiere a la capacidad de la lámina de superficie principalmente en las direcciones circunferencial y axial. Estas resistencias pueden ser para el material en su estado prístino o cuando el material tiene agujeros o daños presentes. Como un ejemplo no limitativo, la primera lámina 14 de superficie puede tener una resistencia a la compresión mayor que aproximadamente 172 MPa (25 kilolibras por pulgada cuadrada (ksi)) y una resistencia a la tracción mayor que aproximadamente 34 MPa (5 ksi), mientras que la segunda lámina 16 de superficie puede tener una resistencia a la tracción superior a aproximadamente 172 MPa (25 ksi) y una resistencia a la compresión superior a aproximadamente 34 MPa (5 ksi). Como resultado de dicho diseño, el CMC 10 en sándwich híbrido puede exhibir una robustez y resistencia estructural mejoradas en condiciones de alto gradiente térmico en comparación con los CMC en sándwich no híbridos de la técnica anterior que usan dos láminas con resistencia a la tracción y resistencia a compresión casi idénticas.

Pasando ahora a las FIG. 3-4, la composición de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie se muestra con más detalle. La primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden consistir cada una en filamentos 22 incrustados en una matriz 24 cerámica. Además, la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden formarse a partir de una o más capas 26 de preimpregnación curadas de los filamentos 22 preimpregnados con la matriz 24 cerámica (véanse las FIG. 5-6 y más detalles a continuación). Los filamentos 22 pueden ser fibras continuas que tienen una relación de longitud de fibra a diámetro de 200 o más, y las fibras continuas pueden estar en forma de cinta no tejida unidireccional o telas tejidas. Las fibras continuas pueden ser fibras cerámicas, aunque en algunos casos también se pueden usar fibras metálicas y/o fibras de carbono recubiertas con un recubrimiento no oxidable. Sin embargo, los filamentos 22 también pueden ser otros tipos de materiales de refuerzo tales como, entre otros, fibras cortas/discontinuas, filamentos o partículas. Además, la matriz 24 cerámica puede incluir cerámicas de óxido tales como alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) y cerámicas sin óxido tales como carburo de silicio ( $\text{SiC}$ ), nitruro de boro ( $\text{BN}$ ) y carbono ( $\text{C}$ ), aunque también se pueden usar muchos otros tipos de matrices cerámicas.

La primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden formarse ambas a partir de un material de CMC que tenga coeficientes de expansión térmica coincidentes o por lo menos coincidentes, para que el CMC 10 en sándwich híbrido pueda resistir los pasos de sinterización a alta temperatura utilizados durante su fabricación. Tal como se usa en el presente documento, "CTE que se corresponden cercanamente" se refiere a CTE que están dentro de aproximadamente  $0.9 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/ $^{\circ}\text{C}$  ( $0.5 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/ $^{\circ}\text{F}$ ) entre sí. En algunos casos, tales pequeñas variaciones en los CTE (del orden de  $0.9 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/ $^{\circ}\text{C}$  ( $0.5 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/ $^{\circ}\text{F}$ )) pueden ser aceptables e incluso beneficiosos. Por ejemplo, si la lámina 14 de superficie expuesta a temperaturas más altas durante la operación tiene un CET ligeramente inferior que la lámina 16 de superficie, entonces el enfriamiento desde la temperatura de sinterización durante la fabricación puede crear tensiones de tracción residuales en la primera lámina 14 de superficie y tensiones de compresión residuales en la lámina 16 de superficie. Estas tensiones residuales pueden compensar parcialmente las tensiones opuestas inducidas durante el funcionamiento al exponerlas a un gradiente térmico, permitiendo así que el CMC 10 híbrido soporte mejor los gradientes térmicos altos en funcionamiento.

Con el fin de proporcionar CTE coincidentes o que coincidan cercanamente, la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden tener composiciones químicas iguales o similares (es decir, la misma composición de filamentos y la misma composición de matriz cerámica) y pueden tener la misma fracción de volumen o similar de los filamentos 22 en la matriz 24. También se observa que las láminas 14 y 16 de superficie pueden diferir en la composición química de los filamentos 22 y/o la matriz 24 cerámica en algunos casos, siempre que los CTE de las dos láminas 14 y 16 de superficie sean al menos muy parecidos. Como se explica con más detalle a continuación, la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden diferir en al menos uno de entre un diámetro de los filamentos 22, una química de los filamentos 22, un grado de ortotropía y una resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24. Estas diferencias pueden dar lugar a la mayor resistencia a la compresión en la primera lámina 14 de superficie y a la mayor resistencia a la tracción en la segunda lámina 16 de superficie. En la presente invención, los filamentos 22 de la primera lámina 14 de superficie tienen un diámetro ( $d$ ) que es mayor que un diámetro ( $d$ ) de los filamentos 22 de la segunda lámina 16 de superficie (véanse las FIG. 3-4). Por ejemplo, el

diámetro de los filamentos 22 en la primera lámina 14 de superficie puede ser al menos aproximadamente dos a aproximadamente diez veces mayor que el diámetro de los filamentos 22 en la segunda lámina 16 de superficie, aunque puede extenderse más allá de este rango en algunos casos. En tal disposición, los filamentos 22 de mayor diámetro en la primera superficie 14 pueden mejorar la resistencia de estos filamentos al microenclavamiento y/o la resistencia de estos filamentos al fallo debido a las tensiones máximas locales cuando la primera lámina 14 es sometida a tensión de compresión, aumentando así su resistencia a la compresión. Además, dado que los filamentos de diámetro más pequeño pueden fabricarse con menos defectos estructurales, los filamentos 22 de menor diámetro en la segunda lámina 16 de superficie pueden mejorar su resistencia a la tracción.

Alternativamente, la composición química de los filamentos 22 puede ser variada para ajustar las respectivas resistencias a la compresión y a la tracción de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie. Por ejemplo, pueden usarse filamentos de alúmina ( $Al_2O_3$ ) con porcentajes variables de silicatos (u otras moléculas o elementos) para sintonizar las respectivas resistencias a la compresión y a la tracción de las láminas 14 y 16 de superficie, aunque la composición química de los filamentos 22 también se puede variar de muchas otras formas. También se observa que dicha variación de la composición química de los filamentos 22 en las láminas 14 y 16 de superficie también puede usarse para sintonizar los CTE relativos de las láminas 14 y 16 de superficie, para proporcionar un CTE ligeramente inferior en la primera lámina 14 de superficie.

Como otra posibilidad, los filamentos 22 de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden tener diferentes resistencias de interfaz con la matriz 24 cerámica circundante. Específicamente, la resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la primera lámina 14 de superficie puede ser superior a la resistencia de la interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la segunda superficie 16. La mayor resistencia de la interfaz en la primera superficie 14 puede aumentar sus propiedades de compresión con respecto a la segunda superficie 16, mientras que la resistencia más débil en la segunda superficie 16 puede aumentar sus propiedades de tracción con relación a la primera lámina 14 de superficie.

Se pueden usar varias estrategias para ajustar la resistencia de la interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica en la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie. Por ejemplo, los revestimientos de los filamentos 22 y/o los aditivos en la matriz 24 cerámica pueden ser utilizados para aumentar la compatibilidad química entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica en la primera lámina 14 de superficie, aumentando así su resistencia a la compresión. Alternativamente, se puede usar una matriz 24 cerámica de baja densidad (o más porosa) o revestimientos incompatibles en la segunda lámina 16 de superficie para reducir la resistencia de la interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica. Estrategias como estas para ajustar las resistencias de la interfaz compuesta, así como otras estrategias, son bien entendidas por los expertos en la materia. Además, tales enfoques se pueden usar solos o en combinación para ajustar la resistencia de la interfaz de las láminas 14 y 16 de superficie, y sus resistencias de compresión y resistencia a la tracción, según se desee.

Como aun otra metodología para adaptar las respectivas resistencias a la compresión y a la tracción de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie, la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie también se pueden variar en sus grados relativos de ortotropía. Como se usa en el presente documento, el término "ortotrópico" significa que las propiedades de la lámina de superficie varían en diferentes direcciones en el plano de la lámina de superficie, y el término "cuasiisotrópico" significa que las propiedades de la lámina de superficie son las mismas en todas las direcciones en el plano de la lámina de superficie. En particular, la primera lámina 14 de superficie puede hacerse más altamente ortotropa que la segunda lámina 16 de superficie, mientras que la segunda lámina 16 de superficie puede hacerse casi isotropa. Específicamente, las capas 26 de preimpregnación usadas para formar la primera lámina 14 de superficie pueden tener una disposición más ortotrópica (que la segunda lámina 16 de superficie) en la que más de los filamentos 22 están orientados en las direcciones de  $0^\circ$  y/o  $90^\circ$  que en las otras direcciones (por ejemplo,  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $-60^\circ$ , etc.) (ver la FIG. 5). Además, las capas 26 de preimpregnación usadas para formar la segunda lámina 16 de superficie pueden tener una disposición casi isotrópica en la que cantidades equivalentes de los filamentos 22 están orientadas en cada una de las direcciones  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$  y  $90^\circ$  (vea la FIG. 6). Los expertos en la técnica comprenderán que las disposiciones cuasiisotrópicas alternativas pueden tener cantidades equivalentes de los filamentos 22 orientadas también en otras direcciones, tales como las direcciones  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $-60^\circ$ . Como resultado de estos arreglos de disposición, la primera lámina 14 de superficie más ortotrópica puede tener un rendimiento de compresión mejorado, mientras que la segunda lámina 16 de superficie casi isotrópica puede tener un rendimiento de tracción mejorado como los filamentos orientados a  $-45^\circ$  y  $45^\circ$  (y/o  $-60^\circ$  y los filamentos orientados a  $60^\circ$ , etc.) pueden proporcionar rutas de carga viables para transferir la carga de tracción alrededor de agujeros, defectos u otros daños. Se observa además que aunque las FIG. 4-5 representan las capas 26 preimpregnadas con filamentos unidireccionales, también se pueden aplicar conceptos de disposición similares para las capas de preimpregnación con filamentos tejidos también.

Los conceptos para adaptar las respectivas resistencias a la compresión y a la tracción de las láminas 14 y 16 de superficie como se describe en este documento se pueden usar por separado o en combinación. Por ejemplo, en algunas disposiciones, la primera lámina 14 de superficie puede tener filamentos de mayor diámetro y una mayor resistencia de interfaz que la segunda lámina 16 de superficie. Como otro ejemplo, la primera lámina 14 de superficie puede tener filamentos de mayor diámetro, una mayor resistencia de interfaz, y una disposición más altamente ortotrópica que la segunda lámina 16 de superficie.

Con referencia ahora a las FIG. 7-9, se muestran posibles estructuras para el núcleo 12. El núcleo 12 puede tener una estructura de panal 28 (FIG. 7), una estructura 30 de espuma (FIG. 8) o una estructura 32 de armadura en la que el núcleo 12 incluye elementos diagonales que conectan las láminas 14 y 16 de superficie (FIG. 9), aunque pueden usarse muchos otros tipos de estructuras de núcleo evidentes para los expertos en la técnica. El núcleo 12 puede tener un CTE que coincida o al menos coincida cercanamente (es decir, dentro de  $0.9 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/°C ( $0.5 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/°F)) los CTE de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie). A este respecto, el núcleo 12 puede formarse a partir de una CMC que tiene la misma composición química o similar (es decir, el mismo filamento y composición de matriz) que la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie. Alternativamente, el núcleo 12 puede formarse a partir de otros materiales aptos para altas temperaturas que tienen CTE que coinciden o al menos coinciden cercanamente con los CTE de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie.

Una aplicación no limitante del CMC 10 en sándwich híbrido se muestra en las Figs. 10-11. En particular el CMC 10 en sándwich híbrido puede incorporarse en un sistema 34 de escape de un motor 36 de aeronave. El sistema 34 de escape puede incluir una boquilla 38 de escape y un cuerpo 40 central radialmente dentro de la boquilla 38 de escape para definir un camino 42 de flujo para gases de escape entre ellos. El CMC 10 en sándwich híbrido puede formar al menos una parte de la boquilla 38 de escape y el cuerpo 40 central, con la primera lámina 14 de superficie adaptada para alta resistencia a la compresión frente a los gases de combustión calientes del camino 42 de flujo, y la segunda lámina 16 de superficie adaptada para una alta resistencia a la tracción que se aleja del camino 42 de flujo, como se muestra. Durante periodos de cambios de temperatura rápidos en el sistema 34 de escape, tal como durante el arranque del motor 36 o durante la aceleración del motor 36 desde la marcha al ralentí hasta la potencia máxima, el CMC en sándwich híbrido puede exponerse a un gradiente térmico alto. Las resistencias a compresión y resistencia adaptadas de la primera lámina 14 de superficie y la segunda lámina 16 de superficie pueden mejorar la capacidad del CMC 10 en sándwich híbrido para soportar las tensiones causadas por la mayor expansión térmica de la primera lámina 14 de superficie en comparación con los CMC en sándwich no híbridos de la técnica anterior.

Pasando ahora a la FIG. 12, se representa un método para fabricar el CMC 10 en sándwich híbrido de la presente divulgación. Comenzando con el bloque 50, las capas 26 de preimpregnación de la primera lámina 14 de superficie pueden colocarse en un apilamiento para proporcionar la primera lámina 14 de superficie. Si se desea, puede establecerse una disposición ortotrópica en la primera lámina 14 de superficie, como se describe en detalle arriba (ver FIG. 5). Las capas 26 de preimpregnación se pueden obtener como tela de filamento preimpregnada con un precursor de suspensión a la matriz 24 cerámica, o se pueden producir sumergiendo una tela de filamento en el precursor de suspensión en la matriz 24 cerámica.

La primera lámina 14 de superficie puede entonces disponerse sobre una herramienta cilíndrica (u otra herramienta adecuada capaz de crear un CMC 10 en sándwich híbrido en una forma deseada), de acuerdo con un siguiente bloque 54, como se muestra. El núcleo 12 puede entonces disponerse sobre la primera lámina 14 de superficie, y la segunda lámina 16 de superficie puede colocarse sobre el núcleo 12 para proporcionar un apilamiento de disposición en la herramienta de acuerdo con los siguientes bloques 56 y 58. Si se desea, las capas 26 de preimpregnación de la segunda lámina 16 de superficie pueden disponerse para establecer una disposición casi isotrópica como se describe anteriormente (véase la FIG. 6). Como sucede con la primera lámina 14 de superficie, las capas 26 de preimpregnación de la segunda lámina 16 de superficie pueden obtenerse como tela de filamento preimpregnada con un precursor de suspensión a la matriz 24 cerámica, o pueden producirse sumergiendo una tela de filamento en el precursor de suspensión de la matriz 24 cerámica.

De acuerdo con un siguiente bloque 60, el apilamiento de disposición en la herramienta puede compactarse y curarse luego a una primera temperatura para permitir que los compuestos en la matriz 24 cerámica unan débilmente las láminas 14 y 16 de superficie y el núcleo 12 juntos como una estructura única que pueda ser manejada y pueda soportar su propio peso. El bloque 60 se puede llevar a cabo usando técnicas y equipos evidentes para los expertos en la técnica tales como prensas calentadas, envasado al vacío y autoclave. La estructura curada puede entonces retirarse de la herramienta, colocarse en un horno y sinterizarse a una segunda temperatura más alta para unir más fuertemente las láminas 14 y 16 de superficie y el núcleo 12 juntos y proporcionar el CMC 10 en sándwich híbrido (bloque 62). Como se explicó anteriormente, los CTE coincidentes (o los CET que coinciden al menos) de la primera lámina 14 de superficie, la segunda lámina 16 de superficie y el núcleo 12 pueden permitir que el CMC 10 en sándwich híbrido resista el enfriamiento de las temperaturas de sinterización, las cuales pueden estar en el orden de varios miles de grados Fahrenheit en algunos casos.

Los ejemplos ilustrativos no excluyentes de la materia inventiva de acuerdo con los Ejemplos de Referencia se describen las cláusulas A1-C20, a continuación:

A1. Un material compuesto de matriz cerámica (CMC) 10 en sándwich híbrido, que comprende:

una primera lámina 14 de superficie que incluye filamentos 22 en una matriz 24 cerámica;

una segunda lámina 16 de superficie que incluye filamentos 22 en una matriz 24 cerámica; y

- un núcleo 12 entre y unido a la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie, estando configurado el CMC en sándwich híbrido para exposición a un gradiente térmico en el que la primera lámina de superficie está expuesta a un entorno de temperatura superior que la segunda lámina de superficie, teniendo la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie al menos coeficientes cercanamente coincidentes de expansión térmica, y teniendo la primera lámina de superficie una resistencia a la compresión más alta que la segunda lámina de superficie.
- 5 A2. El CMC 10 en sándwich híbrido de la cláusula 1, en el que la segunda lámina 16 de superficie tiene una resistencia a la tracción más alta que la primera lámina 14 de superficie.
- 10 A3. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1 y 2, donde la primera lámina 14 de superficie tiene una resistencia a la compresión que es aproximadamente 1.5 veces mayor que la resistencia a la tracción de la primera lámina de superficie, y donde la segunda lámina 16 de superficie tiene una resistencia a la tracción que es aproximadamente 1.5 veces mayor que la resistencia a la compresión de la segunda lámina de superficie.
- 15 A4. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-3, donde los filamentos 22 de la primera lámina 14 de superficie y los filamentos 22 de la segunda lámina 16 de superficie tienen una misma composición química, donde la matriz 24 cerámica de la primera lámina de superficie y la matriz cerámica de la segunda lámina de superficie tienen una misma composición química, y en donde una fracción de volumen de los filamentos en la primera lámina de superficie es igual a una fracción de volumen de los filamentos en la segunda lámina de superficie.
- A5. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-4, en el que el CMC en sándwich híbrido es cilíndrico.
- 20 A6. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-5, en el que el diámetro de los filamentos 22 en la primera lámina 14 de superficie es mayor que el diámetro de los filamentos en la segunda lámina 16 de superficie.
- A7. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-6, en el que la primera lámina 14 de superficie es más ortotrópica que la segunda lámina 16 de superficie.
- 25 A8. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-7, donde una resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la primera lámina 14 de superficie es más fuerte que una resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la segunda lámina 16 de superficie.
- A9. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-8, en el que un coeficiente de expansión térmica de la primera lámina 14 de superficie es menor que un coeficiente de expansión térmica de la segunda lámina 16 de superficie.
- 30 A10. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 1-9, en donde el CMC en sándwich híbrido es parte de un componente del sistema 34 de escape de una aeronave, y en el que la primera lámina 14 de superficie 14 enfrenta un camino 42 de flujo de gas de escape del sistema de escape de la aeronave.
- B11. Un material compuesto de matriz cerámica (CMC) 10 en sándwich híbrido, que comprende:  
una primera lámina 14 de superficie que incluye filamentos 22 en una matriz 24 cerámica;  
35 una segunda lámina 16 de superficie que incluye filamentos 22 en una matriz 24 cerámica; y  
un núcleo 12 entre y unido tanto a la primera lámina de superficie como a la segunda lámina de superficie, teniendo la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie al menos coeficientes de coincidencia cercana de expansión térmica, pero que difieren al menos uno de un diámetro de los filamentos, una química de los filamentos, un grado de ortotropía y una resistencia de interfaz entre los filamentos y la matriz cerámica.
- 40 B12. El CMC 10 en sándwich híbrido de la cláusula 11, en el que el CMC en sándwich híbrido está configurado para exposición a un gradiente térmico en el que la primera lámina 14 de superficie está expuesta a un entorno de temperatura más alta que la segunda lámina 16 de superficie.
- B13. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-12, en el que la primera lámina 14 de superficie tiene una resistencia a la compresión más alta que la segunda lámina 16 de superficie.
- 45 B14. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-13, en el que la segunda lámina 16 de superficie tiene una resistencia a la tracción más alta que la primera lámina 14 de superficie.
- B15. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-14, en el que el diámetro de los filamentos 22 de la primera lámina 14 de superficie es mayor que el diámetro de los filamentos 22 de la segunda lámina 16 de superficie.
- 50 B16. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-15, en el que la primera lámina 14 de superficie es más altamente ortotrópica que la segunda lámina 16 de superficie.

B17. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-16, en el que una resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la primera lámina 14 de superficie es más fuerte que una resistencia de interfaz entre los filamentos 22 y la matriz 24 cerámica de la segunda lámina 16 de superficie.

5 B18. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-17, en el que un coeficiente de expansión térmica de la primera lámina 14 de superficie es menor que un coeficiente de expansión térmica de la segunda lámina 16 de superficie.

B19. El CMC 10 en sándwich híbrido de cualquiera de las cláusulas 11-18, en el que el CMC en sándwich híbrido es cilíndrico.

10 C20. Un método para fabricar un material compuesto de matriz de cerámica (CMC) 10 en sándwich híbrido, que comprende:

disponer 54 una primera lámina 14 de superficie en una herramienta, incluyendo la primera lámina de superficie las capas de preimpregnación de filamentos 22 en una matriz 24 cerámica;

disponer 56 un núcleo 12 en la primera lámina de superficie;

15 disponer 58 una segunda lámina 16 de superficie en el núcleo para proporcionar un apilamiento de disposición, incluyendo la segunda lámina de superficie las capas de preimpregnación de filamentos 22 en una matriz 24 cerámica, difiriendo la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie en al menos uno de un diámetro de los filamentos, una química de los filamentos, un grado de ortotropía y una resistencia de interfaz entre los filamentos y la matriz cerámica;

curar 60 el apilamiento de disposiciones a una primera temperatura; y

20 sinterizar 62 el apilamiento de disposiciones a una segunda temperatura para proporcionar el CMC en sándwich híbrido.

#### Aplicabilidad industrial

25 En general, puede verse por lo tanto que la tecnología descrita en el presente documento tiene aplicación industrial en una variedad de configuraciones que incluyen, pero no se limitan a, aplicaciones industriales que usan componentes CMC en sándwich expuestos a altos gradientes térmicos. La tecnología descrita en este documento proporciona una CMC en sándwich híbrido en el que las resistencias a la compresión y a la tracción de las dos láminas de superficie enfrentadas están adaptadas de modo que el componente CMC en sándwich híbrido es estructuralmente lo suficientemente robusto para mantener un alto gradiente térmico. Específicamente, la lámina de superficie expuesta al entorno de temperatura más alta se adapta a las propiedades de compresión mejoradas, mientras que la lámina de superficie opuesta expuesta a un entorno más frío se adapta a las propiedades de tracción mejoradas. Estas propiedades permiten que el CMC en sándwich híbrido sostenga mejor las tensiones causadas por la mayor expansión térmica de la lámina de superficie de mayor temperatura en comparación con los CMC en sándwich de la técnica anterior que usan láminas de superficie con las mismas propiedades de compresión/tracción en ambos lados. Esta tecnología puede ser particularmente útil para estructuras de CMC de tipo en sándwich en las que las dos láminas de superficie están rígidamente unidas entre sí y restringidas de modo que no se pueden flexionar fácilmente para reducir las tensiones inducidas por gradientes térmicos, como en algunas estructuras cilíndricas. Además, las estructuras de CMC en sándwich híbridos descritas en este documento pueden proporcionar componentes de sistema de escape de aeronave mejorados en comparación con las estructuras basadas en metal usadas actualmente, ya que son más ligeras de peso y son capaces de soportar exposiciones más largas a las temperaturas de escape. Se espera que la tecnología divulgada aquí pueda encontrar amplia aplicación industrial en una amplia gama de áreas, tales como, pero no limitadas a, aplicaciones de sistemas de escape de aeronaves.

30

35

40

**REIVINDICACIONES**

1. Un material (CMC) (10) compuesto de matriz cerámica en sándwich híbrido, que comprende:  
una primera lámina (14) de superficie que incluye filamentos (22) en una matriz (24) cerámica;  
una segunda lámina (16) de superficie que incluye filamentos (22) en una matriz (24) cerámica; y
- 5 un núcleo (12) entre y unido a las dos de la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie, estando el CMC en sándwich híbrido configurado para exposición a un gradiente térmico en el que la primera lámina de superficie está expuesta a un entorno de temperatura más alta que la segunda lámina de superficie, la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie tienen al menos coeficientes de expansión térmica cercanamente coincidentes, estando los coeficientes de expansión térmica dentro de  $0.9 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/°C ( $0.5 \times 10^{-6}$  micrómetros/metro/°F) entre sí, la segunda lámina (16) de superficie tiene una resistencia a la tracción más alta que
- 10 la primera lámina (14) de superficie, y la primera lámina de superficie presenta una resistencia a la compresión superior a la de la segunda lámina de superficie,  
caracterizado porque el diámetro de los filamentos (22) en la primera lámina (14) de superficie es mayor que el diámetro de los filamentos en la segunda lámina (16) de superficie.
- 15 2. El CMC (10) en sándwich híbrido de la reivindicación 1, en el que la primera lámina (14) de superficie tiene una resistencia a la compresión que es 1.5 veces mayor que una resistencia a la tracción de la primera lámina de superficie, y en el que la segunda lámina (16) de superficie tiene una resistencia a la tracción que es 1.5 veces mayor que la resistencia a la compresión de la segunda lámina de superficie.
3. El CMC (10) en sándwich híbrido de la reivindicación 1 o reivindicación 2, en el que los filamentos (22) de la primera lámina (14) de superficie y los filamentos (22) de la segunda lámina (16) de superficie tienen una misma composición química, en el que la matriz (24) cerámica de la primera lámina de superficie y la matriz cerámica de la segunda lámina de superficie tienen una misma composición química, y en donde una fracción de volumen de los filamentos en la primera lámina de superficie es igual a una fracción de volumen de los filamentos en la segunda lámina de superficie.
- 20 4. El CMC (10) en sándwich híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el CMC en sándwich híbrido es cilíndrico.
5. El CMC (10) en sándwich híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la primera lámina (14) de superficie es más altamente ortotrópica que la segunda lámina (16) de superficie.
6. El CMC (10) en sándwich híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que una resistencia de interfaz entre los filamentos (22) y la matriz (24) cerámica de la primera lámina (14) de superficie es más fuerte que una
- 30 resistencia de interfaz entre los filamentos (22) y la matriz (24) cerámica de la segunda lámina (16) de superficie.
7. El CMC (10) en sándwich híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, donde el CMC en sándwich híbrido es parte de un componente de un sistema (34) de escape de aeronaves, y en el que la primera lámina (14) de superficie enfrenta un paso (42) de flujo de gases de escape del sistema de escape de la aeronave.
8. Un método para fabricar el material compuesto (CMC) (10) de matriz cerámica en sándwich híbrido de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:
- 35 colocar (54) una primera lámina (14) de superficie sobre una herramienta, incluyendo la primera lámina de superficie capas de filamentos (22) preimpregnados en una matriz (24) cerámica;  
disponer (56) un núcleo (12) en la primera lámina de superficie;
- 40 colocar (58) una segunda lámina (16) de superficie sobre el núcleo para proporcionar un apilamiento de disposición, incluyendo la segunda lámina de superficie capas de filamentos (22) de preimpregnación en una matriz (24) cerámica, difiriendo la primera lámina de superficie y la segunda lámina de superficie al menos uno de un diámetro de filamentos, una química de los filamentos, un grado de ortotropía y una resistencia de interfaz entre los filamentos y la matriz cerámica;
- curar (60) el apilamiento de disposición a una primera temperatura; y
- 45 sinterizar (62) el apilamiento de disposición a una segunda temperatura para proporcionar el CMC en sándwich híbrido.

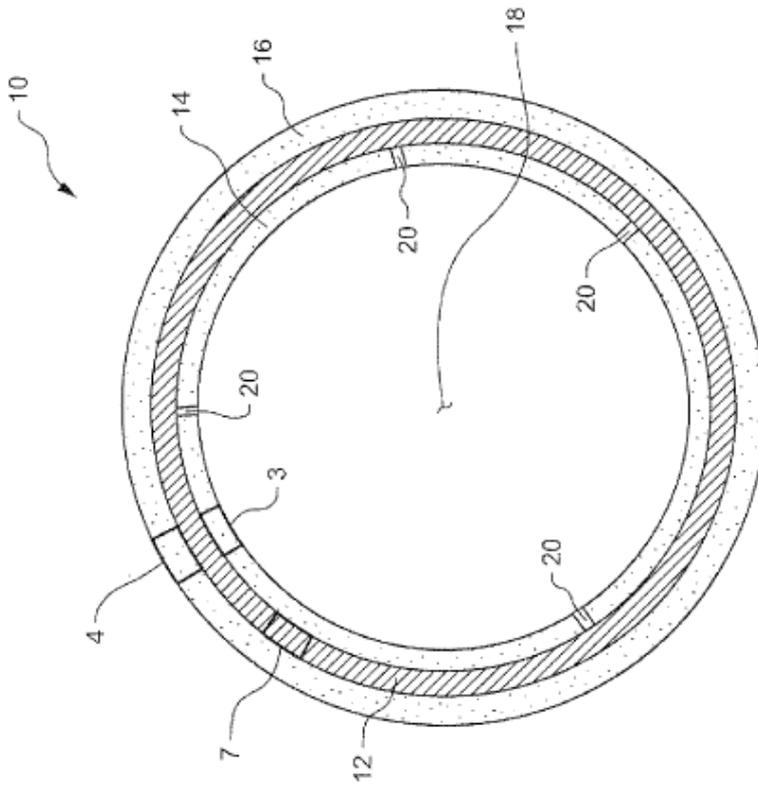


FIG.1

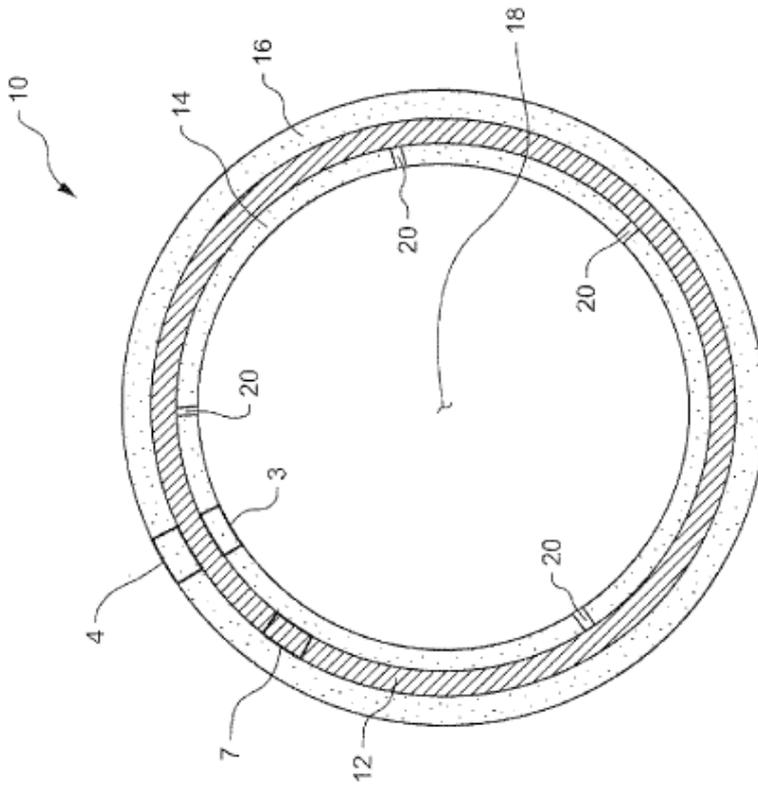


FIG.2

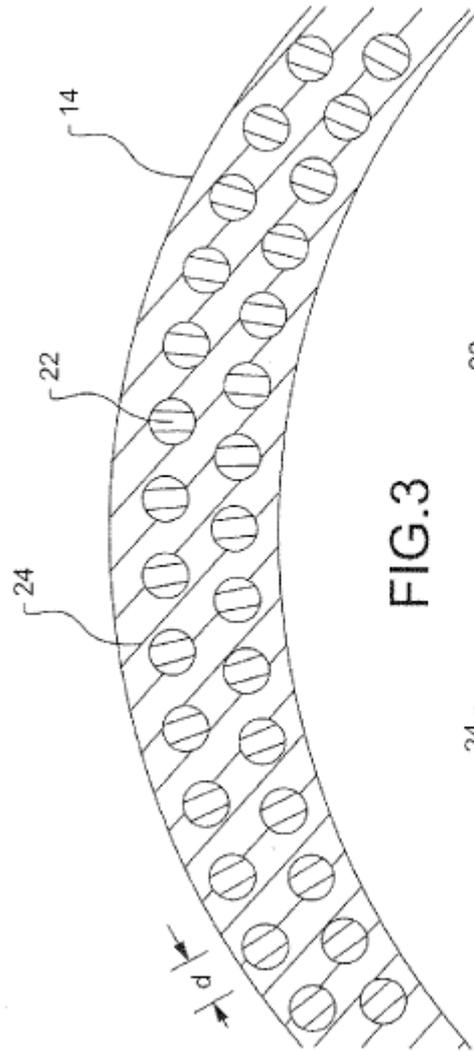


FIG. 3

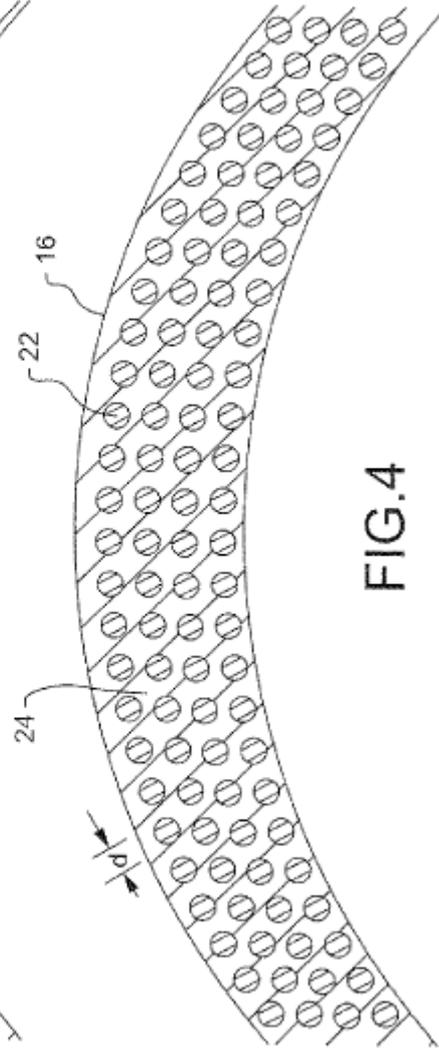


FIG. 4

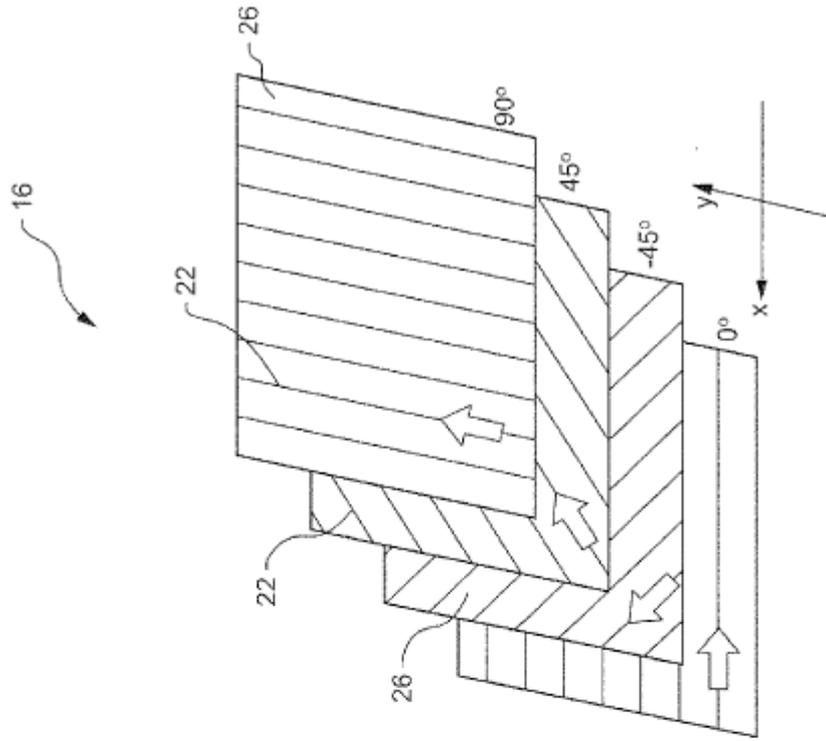


FIG. 6

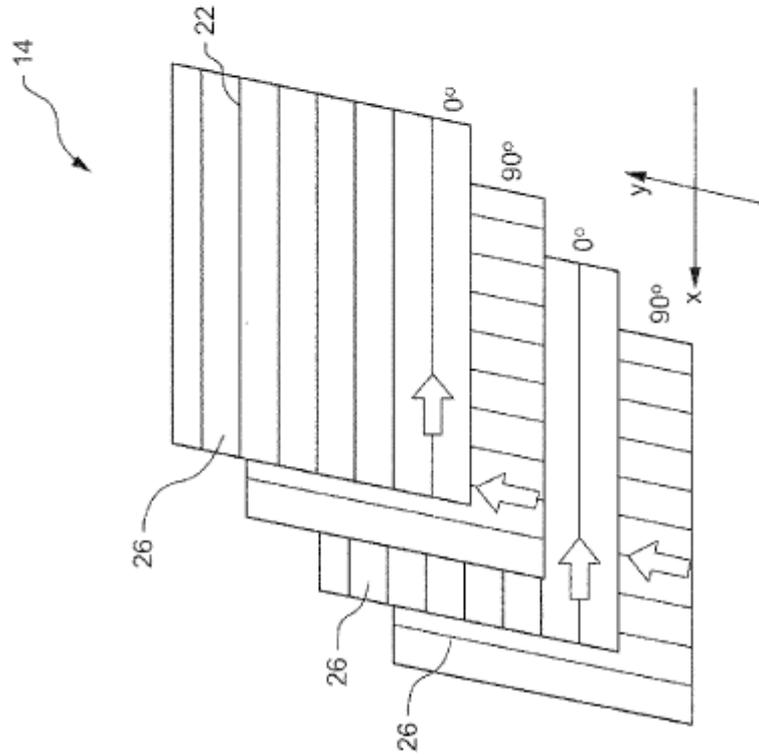


FIG. 5

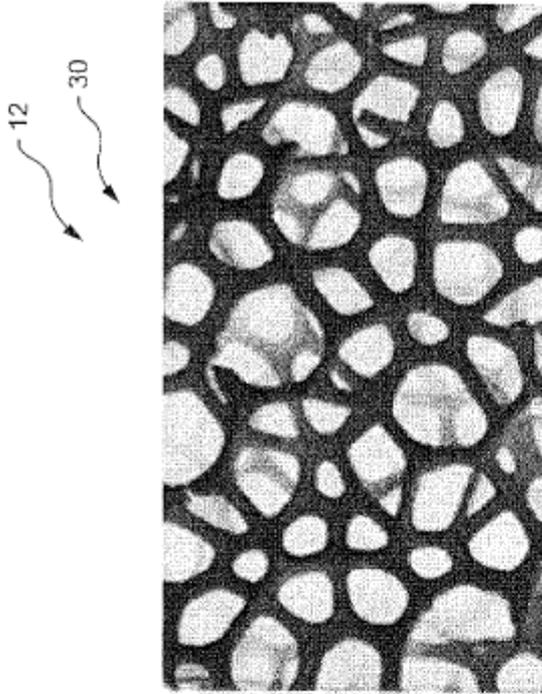


FIG.8

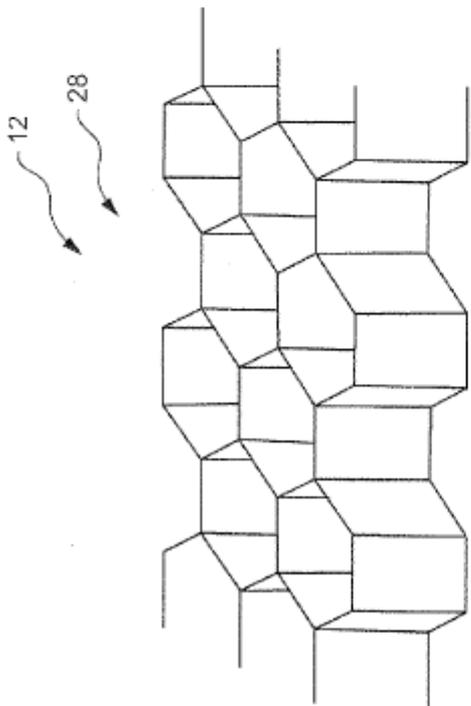


FIG.7

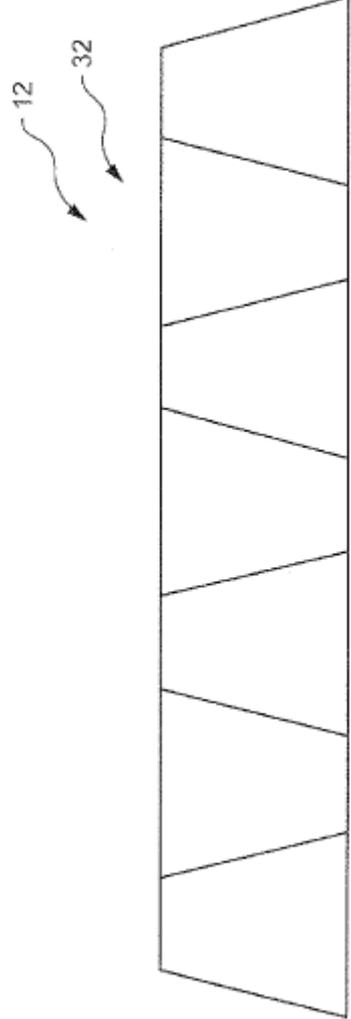


FIG.9

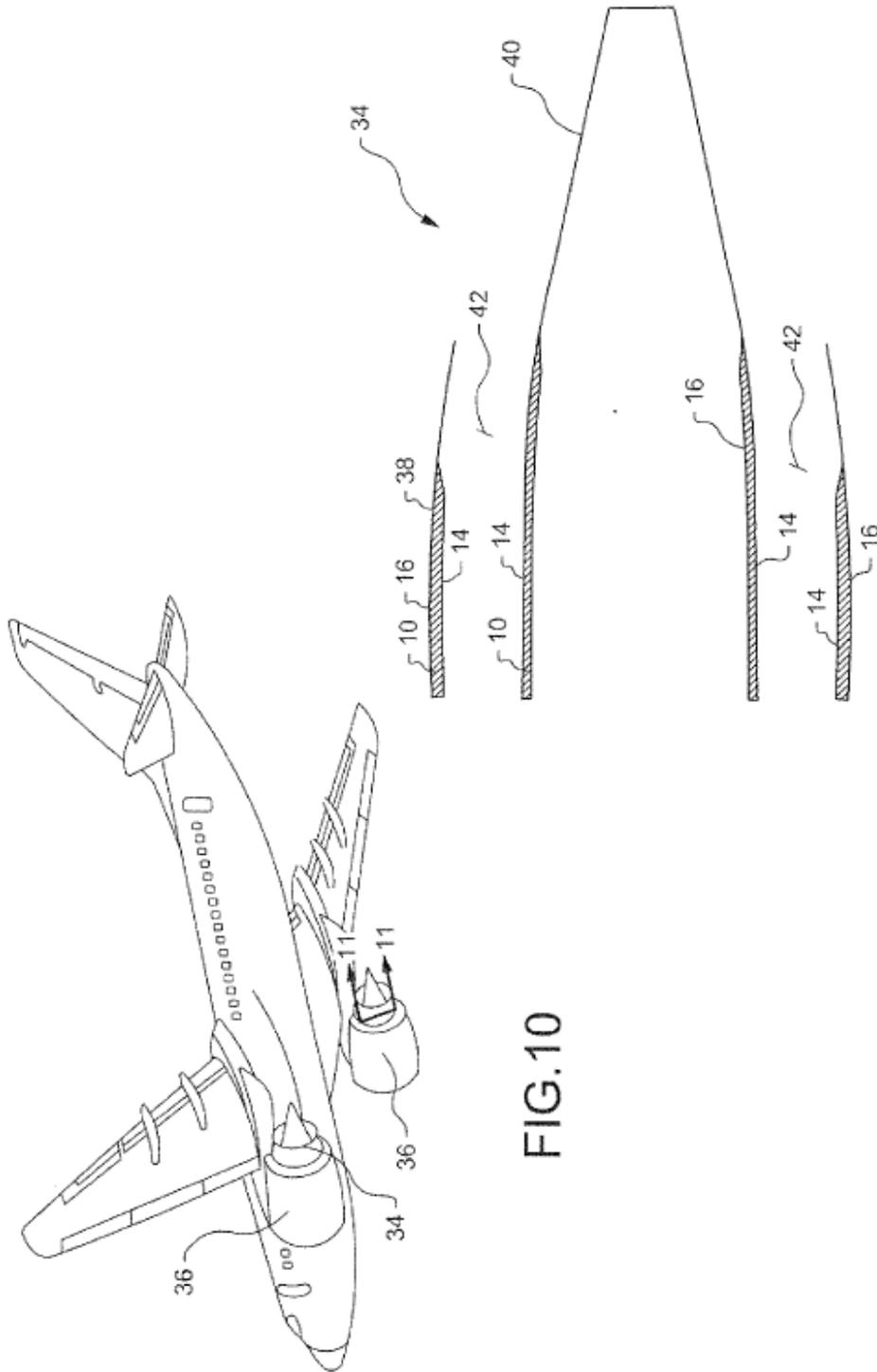


FIG.10

FIG.11

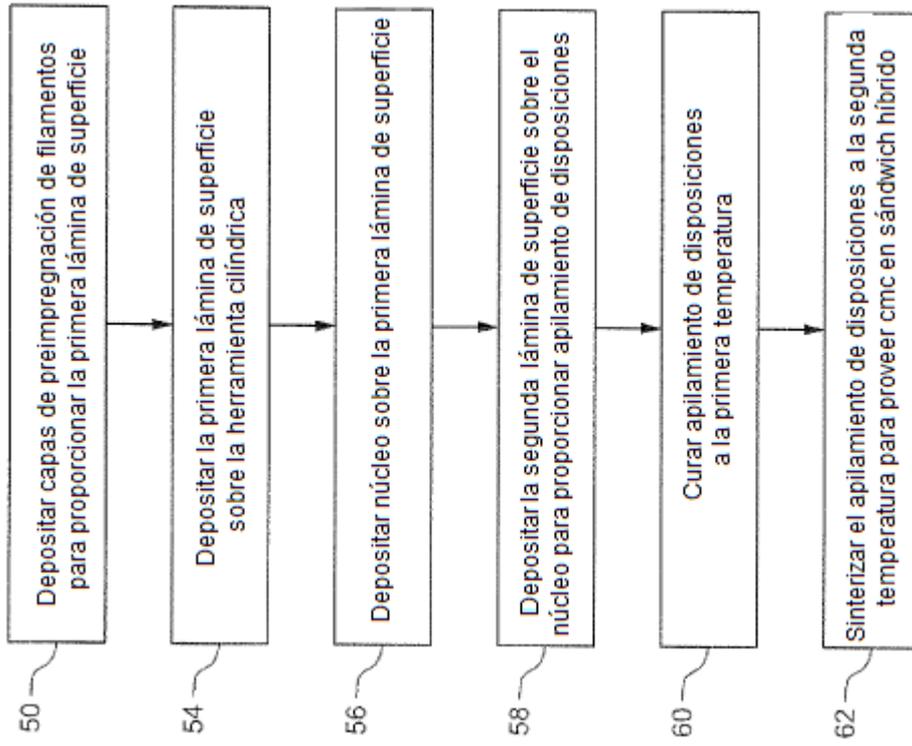


FIG.12