

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 956 792**

51 Int. Cl.:

B29C 70/86 (2006.01)

B29D 99/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2019** **E 19154663 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2023** **EP 3552810**

54 Título: **Método para formar una estructura compuesta**

30 Prioridad:

28.03.2018 US 201815938175

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
28.12.2023

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
929 Long Bridge Drive
Arlington, VA 22202, US**

72 Inventor/es:

**SONG, WEIDONG;
GALLO, GERARD J.;
LANPHERE GROSS, GWEN MARIE;
LANGABEER, JAMIE J.;
MCBAIN, JASON J.;
METSCHAN, STEPHEN L.;
OLBERG, JEFFREY H.;
OSBORNE, MAX M.;
PHILLIPS, RICHARD V.;
EVANS, PAUL D.;
YAP, HUGH A. y
ZAYAS, NICHOLAS J.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 956 792 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 formar una estructura compuesta

5 Campo de la invención

Esta solicitud se refiere a los métodos de formación de estructuras compuestas y, en particular, a los métodos de formación de una estructura rígida con infusión de resina utilizando una estructura de preforma de fibra seca y una pasta de polímero reforzada con fibra.

10

Antecedentes

El advenimiento de aeronaves con fuselajes compuestos, es decir, fuselajes de polímero o resina reforzados con fibra, ha provocado la necesidad de sistemas y métodos para fabricar elementos estructurales compuestos de tales fuselajes, por ejemplo, las pieles, largueros, costillas, armazones, y tirantes de los mismos. Como ejemplo, larguerillos, armazones, tirantes, rigidizadores, y otros elementos estructurales de aeronaves se pueden fabricar a partir de capas compuestas planas. Para endurecerlos, se pueden proporcionar con formas transversales complejas, por ejemplo, en forma de L, en forma de U, en forma de cebolla, forma de sombrero, forma de I, forma de T, forma de J y forma de Z, dependiendo, entre otras cosas, del tipo y la cantidad de carga que el elemento estructural está diseñado para transportar. Las formas transversales complejas enumeradas anteriormente se pueden formar a partir de secciones compuestas planas dobladas en las formas. Estos pliegues tienen un radio del pliegue que necesita ser llenado. Por ejemplo, una sección "I" se puede formar con dos secciones "C" espalda-espalda y una lámina superior e inferior. El radio de curvatura de las secciones "C" forma dos lados de una cavidad superior e inferior con las láminas superior e inferior formando un tercer lado. Las cavidades son típicamente de tres lados.

25

En una posible realización de la misma, se puede fabricar una estructura compuesta mediante patas en tope de dos preformas de fibra compuesta para formar una cavidad en su unión, y luego llenar la cavidad con relleno.

Los rellenos tradicionales conocidos como fideos son actualmente menos de lo deseado.

30

EP 2610165, de acuerdo con su resumen, establece que un relleno de refuerzo compuesto de material de corte de tejidos de fibra se recorta en fragmentos de 5 mm - 50 mm de longitud y se clasifica en hilo único o elementos itinerantes para una materia prima casi homogénea para una pieza semiacabada. También se relaciona con formas específicas y un método de fabricación del relleno de refuerzo compuesto y con las aplicaciones de dicho relleno de refuerzo compuesto.

35

US2013/0134621, de acuerdo con su resumen, establece que un método de formación de una preforma puede incluir el suministro de una capa de material fibroso pegajoso que contenga fibras estructurales y resina. La capa se puede pasar a través de un conjunto de troqueles de formación que tiene una forma transversal de troquel. La resina termoplástica puede calentarse. La capa se puede formar en la forma de la sección transversal del troquel. La resina termoplástica puede solidificarse de manera tal que se forme una preforma que tenga la forma de sección transversal del troquel.

40

En consecuencia, los expertos en la técnica continúan con la investigación y el desarrollo en el campo de los métodos para la formación de estructuras compuestas.

45 Breve Descripción de la Invención

En una realización, un método para formar una estructura compuesta se define de acuerdo con el tema de acuerdo con la reivindicación independiente 1.

50

Otras realizaciones de los métodos divulgados para formar una estructura compuesta se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, los dibujos adjuntos y las reivindicaciones anexadas.

Breve Descripción de los Dibujos

55

La FIGURA 1 es una vista esquemática en perspectiva transversal de una estructura compuesta de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIGURA 2 es una vista esquemática de un relleno de radio compuesto de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

LA FIGURA 3A es una vista esquemática de perspectiva de un elemento estructural compuesto;

60

LA FIGURA 3B es una vista esquemática de sección lateral del relleno de radio que tiene fibras continuas orientadas axialmente;

LA FIGURA 3C es una vista esquemática de sección lateral de un relleno de radio que tiene fibras de diferentes tamaños, de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

65

LA FIGURA 4 es un diagrama de flujo de un método para formar una estructura compuesta, de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

LA FIGURA 5 es un sistema ejemplar para formar una estructura compuesta.

LA FIGURA 6 es un diagrama de bloques de la metodología de producción y servicio de aeronaves; y
LA FIGURA 7 es una ilustración esquemática de un avión.

Descripción Detallada de la Invención

La FIGURA 1 es una vista esquemática en perspectiva transversal de una estructura compuesta 100 de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La estructura compuesta 100 incluye una primera preforma de fibra seca 110, una segunda preforma de fibra seca 120, una tercera preforma de fibra seca 130 y un relleno de radio compuesto 150 formado a partir de una pasta de polímero reforzada con fibra. La primera preforma de fibra seca 110, la segunda preforma de fibra seca 120 y la tercera preforma de fibra seca 130 se extienden a lo largo de una longitud (en la página como se ve en la FIGURA 1; ver también la FIGURA).

Como se ve en LA FIGURA 1, la primera preforma de fibra seca 110 y la segunda preforma de fibra seca 120 tienen generalmente secciones transversales en forma de L con un radio en el doblez en la L. La primera preforma de fibra seca en forma de L 110 y la segunda preforma de fibra seca en forma de L 120 se colocan de lado a lado con la tercera preforma de fibra seca 130 que se extiende generalmente en forma horizontal a través de una base definida por las porciones inferiores de las secciones transversales en forma de L de las preformas de fibra seca 110, 120. El relleno de radio compuesto representado 150 se dispone entre las preformas de fibra seca 110, 120, 130, y se unen con las preformas de fibra seca 110, 120, 130 a lo largo de su longitud (por ejemplo, longitud 308 como se ve en la FIGURA 3A) para llenar una cavidad longitudinal 309 (como se ve en la FIGURA 130) que se extiende a lo largo de la longitud 308.

En la realización ilustrada en la FIGURA 1, tres elementos se unen con el relleno de radio compuesto 150 para formar una estructura donde dos de los elementos están doblados o curvados y forman así un radio. Cuando dos de los elementos están dispuestos espalda-espalda con el tercer elemento plano, se crea una cavidad. El relleno de radio compuesto 150 está configurado para llenar la cavidad con una estructura que transmite efectivamente la carga. El relleno de radio compuesto 150 se utiliza para unirse con las preformas de fibra seca para formar un conjunto compuesto que incluye las preformas de fibra seca y el relleno de radio compuesto 150. El conjunto compuesto (por ejemplo, las preformas de fibra seca 110, 120, 130 unidas con el relleno de radio compuesto 150) se infunde con resina y se cura antes del uso de la estructura compuesta 100.

Se observa que las formas particulares de los componentes que se muestran en LA FIGURA 1 se proporcionan a modo de ilustración y no de limitación, y que otros números, tamaños, formas y/o arreglos pueden emplearse en varias realizaciones. Otras realizaciones incluyen menos o más preformas de fibra seca que definen una cavidad en la que se dispone un relleno de radio compuesto.

Varias realizaciones proporcionan propiedades mecánicas mejoradas, tales como propiedades mecánicas mejoradas en una o más direcciones transversales a un eje que se extiende a lo largo de la longitud de una estructura compuesta. Varias realizaciones también proporcionan un ensamble mejorado de las estructuras compuestas, por ejemplo, proporcionando un relleno de radio en forma de una pasta de polímero reforzada con fibra que se aplica a las preformas de fibra seca in situ o se moldea y se transfiere a las cavidades de las preformas de fibra seca en o después del tiempo del ensamble. En un ejemplo, la pasta de polímero reforzada con fibra es más isotrópica o uniforme en comparación con los rellenos de radio que tienen fibras continuas y largas. El relleno de radio formado a partir de una pasta de polímero reforzada con fibra puede utilizarse como parte de un proceso de fabricación automatizado.

En un aspecto, se agregan varios tipos de aditivos o refuerzos a una resina utilizada para formar la pasta de polímero reforzada con fibra. La resina incluye resina termoestable o resina termoplástica, preferiblemente resina termoestable. Se añaden aditivos para mejorar las propiedades mecánicas de un sistema de resina. Se añaden aditivos para modificar o mejorar las propiedades físicas, como el coeficiente de expansión térmica (CTE), la conductividad térmica, la resistividad eléctrica, la fricción, la resistencia al desgaste, o resistencia a la llama, entre otros. Se pueden utilizar varios tipos de aditivos. En un ejemplo, los aditivos están hechos de uno o más de cerámica, metal, plástico, carbono o vidrio, entre otros. Los aditivos se pueden proporcionar en diferentes formas, como partículas, copos o fibra, entre otras. Varios parámetros que se pueden considerar al elegir un aditivo incluyen relación de aspecto, fracción de volumen, química aditiva e interfaz aditivo/resina. Se observa que los aditivos también pueden cambiar algunas de las propiedades de la matriz de resina, por ejemplo, se pueden agregar endurecedores que se mezclan en la resina, cambiando sus propiedades.

En la realización ilustrada, la pasta de polímero reforzada con fibra está hecha de una resina, un primer grupo de fibras dispersas dentro de la resina y un segundo grupo de fibras dispersas con la resina. En un ejemplo, la resina es un epoxi, o como otro ejemplo, una resina fenólica. En varias realizaciones, la resina incluye o está formada por un material que es compatible con un material de una o más de las preformas de fibra seca (por ejemplo, un material utilizado en una resina utilizada para infundir una o más de las preformas de fibra seca). Se observa que el material de resina para la pasta de polímero reforzada con fibra puede ser el mismo que el material de resina para infundir las preformas de fibra seca, o el material de resina puede diferir pero ser compatible. Como se utiliza en la presente, los materiales de resina son compatibles cuando la interacción física y química posible entre los materiales de resina no afectará negativamente la cinética de curado cuando los materiales están en contacto, o tampoco afectará negativamente las características físicas y químicas del producto curado. Ejemplos de características físicas y químicas incluyen, pero no se limitan a, propiedades mecánicas y/o propiedades de resistencia química. Una serie de factores afectan a la compatibilidad de la resina. La

estructura química y el peso molecular así como la distribución son ejemplos de factores que típicamente afectan a la compatibilidad. El análisis mecánico dinámico (DMA) es una herramienta que se utiliza para medir la reología e identificar las características de compatibilidad de los sistemas de resina/polímero. En algunas realizaciones, el material de resina es o incluye un material compartido con una o más de las preformas de fibra seca. Por ejemplo, si las preformas de fibra seca se infunden con una resina epoxi, se puede utilizar la misma resina epoxi o similar para la pasta de polímero reforzada con fibra. Como otro ejemplo, si las preformas de fibra seca se infunden con una resina fenólica, la resina fenólica se puede utilizar para la pasta de polímero reforzada con fibra. Se observa que la pasta de polímero reforzada con fibra puede utilizar rellenos o aditivos adicionales y/o alternativos. La discusión adicional con respecto a varias resinas, fibras y rellenos o aditivos adicionales que se utilizan en varias realizaciones se discute en relación con la FIGURA 2 en la presente.

Volviendo a la FIGURA 1, las fibras del primer grupo de fibras en la realización ilustrada tienen una longitud que corresponde a las dimensiones típicas de los fideos en direcciones transversales. Las longitudes de fibra pueden corresponder a un ancho real de un relleno de radio compuesto o a un diseño o anchura prevista del relleno de radio compuesto. Por ejemplo, el relleno de radio compuesto 150 puede tener una anchura de 10 mm de ancho, 20 mm de ancho o 40 mm de ancho, entre otros. Sin embargo, el primer grupo de fibras puede tener una longitud de menos de 10 milímetros. En varias realizaciones, el primer grupo de fibras puede tener una longitud (o grupo de longitudes) dentro de un rango de 0,25 veces una dimensión transversal (por ejemplo, anchura del relleno de radio compuesto, altura del relleno de radio compuesto) y 2 veces la dimensión transversal. El segundo grupo de fibras puede tener una longitud (o grupo de longitudes) menor que la dimensión transversal, por ejemplo dentro de un rango de 0,05-0,25 veces la dimensión transversal. Además, las fibras del primer grupo de fibras pueden tener, cada una, una relación de aspecto (la relación de la longitud de una fibra con el diámetro de la fibra) entre aproximadamente 100:1 a 2000:1. En algunas realizaciones, el primer grupo de fibras puede tener una longitud sustancialmente uniforme, mientras que en otras realizaciones el primer grupo de fibras puede incluir una mezcla de fibras que tienen diferentes longitudes. En varias realizaciones, el uso de un primer grupo de fibras como se discutió en la presente puede proporcionar una mayor resiliencia. Además, el uso de un primer grupo de fibras como se discutió en la presente puede proporcionar propiedades mecánicas mejoradas (por ejemplo, un coeficiente de expansión térmica más bajo (CTE)) a lo largo de una dirección axial o longitud de la estructura compuesta 100. Además, el uso de un primer grupo de fibras como se discutió en la presente también puede facilitar la aplicación del relleno de radio compuesto 150 en forma de una pasta de polímero reforzada con fibra. Como se ve en la realización ilustrada, una dimensión transversal 151 puede definirse como un ancho total o máximo del relleno de radio compuesto 150 cuando se dispone entre las preformas de fibra seca 110, 120, 130. Alternativamente, una dimensión transversal 152 puede definirse como un ancho a una altura intermedia del relleno de radio compuesto 150 cuando se dispone entre las preformas de fibra seca 110, 120, 130. En otras realizaciones, una dimensión transversal puede definirse como un ancho medio. Otras dimensiones transversales (por ejemplo, altura) pueden ser utilizadas de forma adicional o alternativa en varias realizaciones.

El segundo grupo de fibras tiene una longitud menor que el primer grupo de fibras. La longitud particular de las fibras del segundo grupo de fibras puede seleccionarse en función de una aplicación determinada, por ejemplo, para proporcionar un segundo grupo de fibras con una longitud lo suficientemente corta como para permitir que el segundo grupo de fibras se alinee en una o más direcciones transversales a la longitud de la estructura compuesta 100 (por ejemplo, más corto que una dimensión transversal de un área transversal esperada entre las preformas de fibra seca, o un porcentaje predeterminado de la dimensión transversal, como 5 %, 20 % o 25 %, entre otros). En varias realizaciones, el uso de un segundo grupo de fibras como se discutió en la presente permite mejorar las propiedades mecánicas (por ejemplo, resistencia o resiliencia, menor CTE) a lo largo de las direcciones transversales, mejorar las características isotrópicas o mejorar la uniformidad de las propiedades mecánicas. Por ejemplo, debido a que el segundo grupo de fibras tiene una longitud que es más pequeña con respecto a la dimensión transversal que la longitud del primer grupo de fibras, el segundo grupo de fibras puede estar orientado en orientaciones adicionales, o más al azar, con respecto a la dimensión transversal que las orientaciones proporcionadas por el primer grupo de fibras.

La FIGURA 2 proporciona una vista esquemática de una pasta de polímero reforzada con fibra para su uso como un material de relleno de radio compuesto 200 formado de acuerdo con una realización de la presente divulgación. El material de relleno de radio compuesto 200 de la realización ilustrada se puede utilizar para, por ejemplo, la aplicación in situ (por ejemplo, formado como una pasta de polímero reforzada con fibra que se puede agregar a las preformas de fibra seca en un momento de ensamble de las preformas de fibra seca) o para moldear a la forma de una cavidad entre las preformas y transferir a la cavidad. El material de relleno de radio compuesto representado 200 está formado por una pasta de polímero reforzada con fibra que incluye una resina 210, un primer grupo de fibras 220 dispersas dentro de la resina 210, un segundo grupo de fibras 230 dispersas dentro de la resina 210, un tercer grupo de fibras 240 dispersadas dentro de la resina 210, partículas tixotrópicas 250 dispersadas con la resina 210, y un agente endurecedor 260 dispersado con la resina 210. El material de relleno de radio compuesto 200 puede utilizarse, por ejemplo, para proporcionar el relleno de radio compuesto 150.

Generalmente, uno o más de los diversos aditivos (por ejemplo, primer grupo de fibras 220, segundo grupo de fibras 230, tercer grupo de fibras 240, partículas tixotrópicas 250, agente endurecedor 260) se añaden a la resina 210 para mejorar una o más propiedades del material de relleno de radio compuesto resultante 200. Por ejemplo, uno o más de los aditivos se pueden utilizar para reducir el CTE del material de relleno de radio compuesto 200. Como otro ejemplo, uno o más de los aditivos se pueden utilizar para mejorar el módulo elástico del material de relleno de radio compuesto 200. Como otro

ejemplo, uno o más de los aditivos se pueden utilizar para mejorar la resistencia a la tracción del material de relleno de radio compuesto 200. Como un ejemplo más, uno o más de los aditivos se pueden utilizar para mantener una viscosidad de flujo adecuado para la fabricabilidad de una estructura con la que se utiliza el relleno de radio compuesto 200.

5 En varias realizaciones, las configuraciones particulares (por ejemplo, longitudes de fibras, proporciones de fibras, materiales de fibra, proporciones de diferentes tipos y/o longitudes de fibras, aditivos adicionales, o similares) del material de relleno de radio compuesto 200 se seleccionan para equilibrar las propiedades deseadas para una aplicación dada. En términos generales, el material de relleno de radio compuesto 200 está configurado para tener una alta resistencia o resistencia en todas las direcciones, un CTE bajo, un módulo bajo y / o tener propiedades mecánicas deseadas en todas las direcciones (por ejemplo, a lo largo de una longitud de una estructura, así como transversal a la longitud de la estructura). Ciertos materiales o tamaños de aditivos pueden impactar beneficiosamente una propiedad deseada mientras que impactan negativamente una propiedad deseada diferente. En consecuencia, en varias realizaciones, la proporción de un material o materiales dados se selecciona en función de un equilibrio de las propiedades deseadas.

15 Por ejemplo, la resina 210 puede seleccionarse para que coincida o se corresponda con una resina utilizada para infundir las preformas de fibra seca. A modo de ejemplo, se pueden emplear resinas epoxi, fenólica, benzoxazina o bis-maleimida (BMI).

20 Para mejorar la resiliencia y/o CTE de la resina 210, se puede añadir un relleno como fibras. Las fibras, por ejemplo, pueden incluir una o más fibras de carbono y/o fibra de vidrio. Por ejemplo, la adición de fibras como fibras de carbono o fibra de vidrio, que tienen CTE sustancialmente más bajo que los materiales de resina típicos, disminuirá el CTE del material de relleno de radio compuesto 200 (reduciendo así la cantidad de contracción durante el enfriamiento, por ejemplo, a partir de una temperatura de curado).

25 Además, la adición de fibras como fibra de carbono y/o fibra de vidrio también mejorará la resistencia de los materiales de resina típicos. Sin embargo, las fibras pueden tener un alto nivel de rigidez o módulo. Si la rigidez o el módulo del material de relleno de radio compuesto 200 es demasiado alto, un relleno de radio hecho del material de relleno de radio compuesto 200 puede no ser capaz de estirarse lo suficiente. En consecuencia, en varias realizaciones, el porcentaje de fibras (por ejemplo, el porcentaje de volumen de fibra con respecto al volumen de resina o el volumen total de relleno) puede seleccionarse para que sea lo suficientemente alto como para proporcionar una mayor resistencia y CTE, mientras que sea también lo suficientemente bajo como para proporcionar un módulo que no es demasiado alto.

35 Además, se puede notar que para longitudes de fibra más largas (por ejemplo, longitudes de fibra que corren continuamente a lo largo de una longitud completa o sustancialmente toda la longitud), las fibras pueden proporcionar una resistencia suficiente o deseada, CTE u otras propiedades en una dirección (por ejemplo, axial), pero no en otras direcciones (por ejemplo, transversal). En consecuencia, en varias realizaciones, las longitudes de fibra o las relaciones de aspecto se seleccionan para proporcionar una uniformidad mejorada de las propiedades impartidas a través de las fibras. Por ejemplo, al menos algunas de las fibras pueden seleccionarse para que tengan una longitud inferior a una dimensión transversal o en sección cruzada esperada del relleno de radio para el que se va a utilizar el material, o de otro modo dimensionada para proporcionar una cantidad deseada de fibras que se alinearán transversalmente (por ejemplo, al menos parcialmente en forma transversal) a la longitud del relleno de radio.

45 Por ejemplo, al menos algunas de las fibras pueden tener una longitud que es $\geq$ o menos de un ancho y/o altura de una sección transversal esperada de un relleno de radio formado a partir del material de relleno de radio compuesto 200. En varias realizaciones, se utiliza un primer grupo de fibras para proporcionar una resistencia a la tracción axial mejorada, mientras que un segundo grupo más corto de fibras se utiliza para proporcionar una resistencia a la tracción transversal mejorada y un menor CTE. Las relaciones de aspecto de las fibras pueden seleccionarse o configurarse para que sean lo suficientemente altas como para proporcionar una resistencia y/o CTE deseado, pero lo suficientemente bajas como para proporcionar una homogeneidad mejorada, o una mejor distribución de las orientaciones (por ejemplo, axiales y transversales) de las fibras para proporcionar una uniformidad mejorada de las propiedades mecánicas o estructurales.

50 El primer grupo representado de fibras 220 tiene una primera longitud 222. Cabe señalar que la primera longitud 222 puede corresponder a una longitud media, una longitud máxima u otra longitud representativa de las longitudes del primer grupo de fibras 220. Las longitudes de las fibras individuales del primer grupo de fibras 220 pueden ser sustancialmente iguales o pueden diferir. Por ejemplo, en algunas realizaciones, las longitudes del primer grupo de fibras 220 pueden variar entre 3 y 6 milímetros, o, como otro ejemplo, el primer grupo de fibras puede tener una longitud entre 3 y 25 milímetros. Una vez más, se puede señalar que las longitudes de las fibras pueden seleccionarse en función de las dimensiones transversales (o las dimensiones transversales esperadas como una altura o anchura máxima, o una altura o anchura media, entre otras), y por lo tanto pueden incluir valores numéricos adicionales o diferentes a los expresamente mencionados en la presente.

65 Se ha encontrado, para varias fibras, que, con el aumento de la relación de aspecto, el módulo del material de relleno de radio compuesto 200 aumenta. La mayor parte del aumento del módulo se logra generalmente para ciertas fibras en o cerca de una relación de aspecto de 100:1. También se ha encontrado, para varias fibras, que, con el aumento de la relación de aspecto, la resistencia del material de relleno de radio compuesto 200 aumenta. La mayor parte del aumento de la fuerza se consigue generalmente para ciertas fibras en o cerca de una relación de aspecto de 500:1. En

consecuencia, mediante el uso de fibras que tienen una relación de aspecto de aproximadamente 500:1, la resistencia puede estar en o cerca de un máximo, mientras que todavía permite una fibra relativamente corta para mejorar la distribución de la fibra y la distribución de las orientaciones de la fibra. Las fibras más cortas son relativamente más fáciles de procesar, como por extrusión, que las fibras largas.

Se pueden lograr mejoras adicionales en la distribución de las fibras (y la distribución resultante de las propiedades) mediante el uso de fibras más cortas adicionales. En algunas realizaciones, las fibras del primer grupo tienen una relación de aspecto de 2000:1 o menos. En algunas realizaciones, las fibras del primer grupo tienen una relación de aspecto de 500:1 o menos. En algunas realizaciones, las fibras del primer grupo pueden tener relaciones de aspecto dentro de un rango entre 100:1 y 2000:1. Se puede notar que, generalmente, las fibras del primer grupo están más alineadas en la dirección axial en comparación con las fibras del segundo grupo, que tienen una orientación más aleatoria en todas las direcciones (axialmente y transversalmente).

El segundo grupo representado de fibras 230 tiene una segunda longitud 232. La segunda longitud 232 en la realización ilustrada es menor que la primera longitud 222. Cabe señalar que la segunda longitud 232 puede corresponder a una longitud media, una longitud máxima u otra longitud representativa de las longitudes del segundo grupo de fibras 230. Las longitudes de las fibras individuales del segundo grupo de fibras 230 pueden ser sustancialmente iguales o pueden diferir. Por ejemplo, en algunas realizaciones, las longitudes del segundo grupo de fibras 230 pueden variar entre 1 y 3 milímetros. En algunas realizaciones, la longitud promedio del primer grupo de fibras 220 puede ser aproximadamente dos veces o más mayor que la longitud promedio del segundo grupo de fibras 230. En algunas realizaciones, el primer grupo de fibras 220 puede tener una relación de aspecto (o relación de aspecto promedio) de 500:1, y el segundo grupo de fibras 230 puede tener una relación de aspecto (o relación de aspecto promedio) de 100:1.

En varias realizaciones, se puede seleccionar la relación de aspecto (y/o longitud) del primer grupo de fibras 220 para proporcionar una fuerza y/o CTE deseado, y la relación de aspecto (y/o longitud) del segundo grupo de fibras 230 puede seleccionarse en función de las dimensiones esperadas de un relleno de radio que se proporcionará mediante el uso del material de relleno de radio 200 (por ejemplo, la longitud del segundo grupo de fibras 230 puede seleccionarse para ser menor que la dimensión transversal esperada, o ser menor que un porcentaje predeterminado de una dimensión transversal esperada, como el 5 % de la dimensión transversal, el 10 % de la dimensión transversal o el 20 % de la dimensión transversal, entre otros).

Por lo tanto, el primer grupo de fibras 220 puede ser utilizado para impartir una o más propiedades físicas deseadas, y el segundo grupo de fibras 230 puede ser utilizado para mejorar la distribución de la orientación de las fibras con respecto a una o más direcciones transversales. Por ejemplo, una relación de aspecto de 500:1 puede ser beneficiosa para lograr las propiedades de resistencia y/o módulo deseadas. Para una fibra con un diámetro de 5 micrómetros, tal relación de aspecto llevaría a una longitud de 2,5 milímetros. Sin embargo, tal longitud puede ser demasiado larga con respecto a las dimensiones transversales de un relleno de radio compuesto para formarse con el material de relleno de radio compuesto 200. Por ejemplo, las fibras que tienen un diámetro de 5 micrómetros y una relación de aspecto de 500:1 pueden tener una longitud que puede causar alineación parcial para las dimensiones transversales típicas de los fideos. Dicha alineación parcial puede reducir el rendimiento en las direcciones transversales. Por ejemplo, la alineación de las fibras puede dar lugar a aumentos de CTE en las direcciones transversales. Como otro ejemplo, la alineación de las fibras puede dar como resultado una resistencia a la tracción inferior a la deseada en las direcciones transversales. En consecuencia, si el primer grupo de fibras tiene una relación de aspecto de 500:1, se puede utilizar una relación de aspecto más baja para el segundo grupo de fibras para mejorar la distribución de las orientaciones de las fibras, o mejorar la aleatoriedad de las orientaciones de las fibras. Con las fibras dispuestas en todas las direcciones, en contraste con estar alineadas en una sola dirección, se puede lograr un CTE más bajo mientras se reduce la fracción de volumen requerida de fibra.

Generalmente, las longitudes del primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230 pueden seleccionarse para proporcionar un equilibrio entre las propiedades transversales y axiales. Las FIGURAS 3A a 3C describen esquemáticamente un equilibrio mejorado de la distribución axial y transversal de las fibras y/o la orientación de las fibras que se puede lograr mediante el uso del primer y segundo grupo de fibras como se discutió en la presente. La FIGURA 3A representa una vista esquemática en perspectiva de una estructura compuesta 300. La estructura compuesta 300 incluye una primera preforma de fibra seca 302, una segunda preforma de fibra seca 304, y una tercera preforma de fibra seca 306 unidas a lo largo de una longitud 308 con un relleno de radio compuesto 310 o 350. En la FIGURA 3B se muestra un ejemplo del relleno de radio compuesto 310. El relleno de radio compuesto 310 representado en la FIGURA 3B, en contraste con varias realizaciones reveladas en la presente, incluye fibras continuas 320 (por ejemplo, fibras que se extienden continuamente a lo largo de la longitud 308 de una estructura compuesta). En la FIGURA 3C se muestra un ejemplo del relleno de radio compuesto 350.

Para la vista representada en la FIGURA 3A, una dirección axial o de longitud 390 se extiende a lo largo de la longitud 308, mientras que las direcciones transversales 392 se extienden perpendicularmente a la dirección axial 390. Adicionalmente o en forma alternativa a las direcciones transversales 392 representadas en la FIGURA 3A, una dirección transversal puede ser definida radialmente. Cabe señalar que la FIGURA 3A se proporciona esquemáticamente solo con fines ilustrativos, y que la disposición o proporción particular de los diversos componentes o dimensiones puede diferir en la práctica. Por ejemplo, la longitud 308 puede ser de 20 metros, mientras que el área transversal del relleno de radio compuesto puede ser inferior a 10 cm² en algunas realizaciones. Los ángulos de visión de las FIGURAS 3B y 3C se

muestran a lo largo de la línea 3-3 de la FIGURA 3A.

LA FIGURA 3B es una vista esquemática de sección lateral de un relleno de radio compuesto 310 que tiene fibras continuas 320 incrustadas o dispersadas dentro de una resina 330, con las fibras continuas 320 orientadas axialmente. Por lo tanto, el relleno de radio compuesto 310 difiere de los materiales de relleno de radio compuesto divulgados en la presente que tienen longitudes de fibra más cortas que no se extienden a lo largo de toda la longitud de un fideo. Como se ve en la FIGURA 3B, las fibras continuas 320 se extienden sustancialmente a lo largo de la longitud del relleno de radio compuesto 310. Sin embargo, las fibras 320 de la FIGURA 3B se extienden solo axialmente en la dirección 321 (u horizontalmente como se ve en la FIGURA 3B) y no transversalmente en la dirección 322 (por ejemplo, verticalmente como se ve en la FIGURA 3B). En consecuencia, las propiedades impartidas por las fibras 320 pueden ser generalmente impartidas en forma axial en la dirección 321 pero no transversalmente en la dirección 322 para el relleno de radio compuesto 320, resultando en una distribución de propiedades menor a la deseada. Por ejemplo, el relleno de radio compuesto 310 puede tener un CTE sustancialmente menor que el de la resina 330 axialmente (por ejemplo, la resina sola o cuando no está reforzada por fibras), pero puede tener un CTE que sea aproximadamente el mismo que el de la resina 330 transversalmente (por ejemplo, la resina sola o cuando no está reforzada por fibras). En un aspecto, las fibras continuas 320 se orientan comúnmente durante un proceso de conformado, como un proceso de extrusión, utilizado para formar el relleno de radio compuesto 310.

LA FIGURA 3C es una vista esquemática de sección lateral de un relleno de radio compuesto 350 que tiene fibras de diferentes tamaños dispersas en una resina 380, de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Como se ve en la FIGURA 3C, las fibras incluyen un primer grupo de fibras 360 y un segundo grupo de fibras 370. La longitud del primer grupo de fibras 360 es mayor que la longitud del segundo grupo de fibras 370. Las fibras 360, 370 del relleno de radio compuesto 350 son sustancialmente más cortas que las fibras continuas 320 del relleno de radio compuesto 310 representado en la FIGURA 3B. En consecuencia, las fibras 360, 370 del relleno de radio compuesto 350, especialmente el segundo grupo de fibras 370, pueden orientarse en muchas direcciones diferentes (incluida la dirección transversal 382 además de la dirección axial 381), mientras que las fibras continuas 320 del relleno de radio compuesto 310 están orientadas solo axialmente a lo largo de la dirección 321. En un aspecto, el primer grupo de fibras 360 que tienen la mayor longitud se orienta comúnmente en una primera dirección a lo largo de la cavidad longitudinal 309, mientras que el segundo grupo de fibras 370 se orienta en muchas direcciones diferentes, incluida una dirección transversal a la primera dirección, como resultado de un proceso, como la extrusión, utilizado para formar el relleno de radio compuesto 350.

Por ejemplo, en varias realizaciones, la longitud del primer grupo de fibras puede ser mayor que la longitud del segundo grupo de fibras por un factor de 2, 3 o 5, entre otros. Como se ve en la realización ilustrada, la longitud del segundo grupo de fibras 370 es lo suficientemente pequeña como para permitir que el segundo grupo de fibras 370 se oriente transversalmente dentro del relleno de radio compuesto 310. El primer grupo de fibras 360 se muestra orientado axialmente en la FIGURA 3C. En consecuencia, las propiedades impartidas por las fibras 360, 370 del relleno de radio compuesto 350 representado en la FIGURA 3C pueden impartirse tanto transversal como axialmente, lo que resulta en una mejor consistencia y/o distribución de las propiedades relativas al relleno de radio compuesto 310 representado en la FIGURA 370. Por ejemplo, el relleno de radio compuesto 350 puede tener un CTE sustancialmente más bajo que el de la resina 330 tanto axial como transversalmente.

Cabe señalar que la FIGURA 3C se proporciona con fines ilustrativos, y las diversas fibras se muestran orientadas solo axialmente o transversalmente para facilitar y aclarar la ilustración. En la práctica, las orientaciones particulares pueden variar (por ejemplo, una proporción del segundo grupo de fibras 370 puede alinearse axialmente, o puede alinearse parcialmente en forma axial y parcialmente en forma transversal). Mientras que las propiedades axiales y transversales pueden no ser exactamente iguales en varias realizaciones, las propiedades transversales todavía pueden mejorarse sustancialmente mediante el uso de un segundo grupo o fibras o fibras que tienen una longitud lo suficientemente corta para permitir una orientación transversal sustancial o suficiente en varias realizaciones. Por lo tanto, el segundo grupo de fibras 370 puede estar generalmente distribuido de manera uniforme en varias dimensiones (por ejemplo, direcciones 381 y 382) al azar. El primer grupo de fibras 360 puede ser lo suficientemente largo como para que el primer grupo de fibras 360 esté orientado más axialmente (por ejemplo, a lo largo de la dirección 381) que el segundo grupo de fibras 370. Sin embargo, el primer grupo de fibras 360 puede ser lo suficientemente corto como para que el primer grupo de fibras 360 pueda estar parcialmente alineado con direcciones distintas de la dirección axial 381 (por ejemplo, parcialmente a lo largo de la dirección transversal 382). Como se discutió en la presente, el primer y segundo grupos de fibras 360, 370 pueden mezclarse con la resina lejos de un sitio de ensamble en una pasta de polímero reforzada con fibra, y luego aplicarse in situ al ensamble.

Se puede notar que las fibras más cortas en el segundo grupo de fibras imparten propiedades mecánicas transversales mejoradas. En consecuencia, las fibras más cortas pueden ser menos efectivas para mejorar la resistencia del material longitudinal (la dirección longitudinal es la dirección donde ambos grupos de fibras pueden estar presentes) que las fibras más largas del primer grupo de fibras. Por ejemplo, las fibras más largas proporcionaron más superficie de unión con una resina para permitir una mayor transferencia de carga a fibras más largas de la resina que a fibras más cortas. En varias realizaciones, la proporción del primer y segundo grupos de fibras con relación entre sí puede seleccionarse para proporcionar un equilibrio deseado de propiedades axiales y transversales. De manera adicional o alternativa, se puede seleccionar la proporción del primer y segundo grupos de fibras relativos entre sí para proporcionar un nivel deseado de propiedades axiales mientras se mantiene el volumen total del primer y segundo grupos de fibras dentro de un rango

deseado (por ejemplo, 40-50 % de un volumen total del material de relleno de radio compuesto 200). Por ejemplo, en algunas realizaciones, el primer grupo de fibras 220 puede tener un volumen entre el 20 % y el 40 % de un volumen combinado del primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230. El segundo grupo de fibras 230 puede tener un volumen entre 60 % y 80 % de un volumen combinado del primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230.

En un aspecto adicional, un relleno de radio compuesto puede incluir fibras continuas 320, como se muestra en LA FIGURA 3B, así como fibras más cortas que las fibras continuas 360, 370, como se muestra en la FIGURA 3C.

Volviendo a la FIGURA 2, como se discutió en la presente, el primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230 pueden incluir, por ejemplo, fibras hechas de materiales como fibra de carbono, vidrio E, vidrio S2, Nomex®, o Kevlar®, entre otros. En algunas realizaciones, el primer y/o segundo grupos de fibras pueden estar hechos de un solo tipo de fibra, mientras que en otras realizaciones se puede emplear una mezcla de tipos de fibra. En términos generales, las fibras de carbono tienen un CTE muy bajo y una resistencia más alta que la fibra de vidrio. La fibra de vidrio puede tener un CTE ligeramente mayor que la fibra de carbono, pero puede ser sustancialmente más estirable y resiliente. Por ejemplo, la fibra de vidrio puede permitir el doble de la cantidad de estiramiento que permite la fibra de carbono. En consecuencia, el material de fibra se puede seleccionar en función de las propiedades particulares deseadas para el relleno de radio compuesto para una aplicación dada. En algunas realizaciones, se puede utilizar una mezcla de fibra de carbono y fibra de vidrio para proporcionar un equilibrio entre las propiedades de cada una. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el primer y segundo grupos de fibras pueden incluir fibras de carbono y fibra de vidrio.

Cabe señalar que el uso de fibras aumentará el módulo de los materiales de resina típicos a los que se añaden las fibras. En consecuencia, la proporción de fibras añadidas a la resina puede seleccionarse para proporcionar mejoras suficientes en la resistencia y/o CTE, al tiempo que limita el aumento en el módulo. Por ejemplo, con fibras en aproximadamente el 10 % del volumen del material de relleno de radio compuesto 200, la fuerza añadida y/o CTE puede ser menor de lo deseado. Sin embargo, con fibras al 90 % del volumen del material de relleno de radio compuesto 200, el relleno resultante puede ser más rígido de lo deseado. En consecuencia, la fracción de volumen de las fibras (por ejemplo, la suma del primer grupo de fibras y el segundo grupo de fibras) puede seleccionarse para proporcionar una cantidad deseada de mejora de la resistencia y/o CTE, al tiempo que limita el aumento de la rigidez o el módulo. Por ejemplo, en varias realizaciones, el volumen combinado del primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230 puede estar entre el 40 % y el 50 % del volumen total del material de relleno de radio compuesto 200.

Como otro ejemplo, en varias realizaciones, el volumen combinado del primer grupo de fibras 220 y el segundo grupo de fibras 230 puede estar entre el 30 % y el 60 % del volumen total del material de relleno de radio compuesto 200.

Puede observarse que el volumen particular seleccionado para una aplicación determinada puede verse afectado por la producibilidad. Por ejemplo, si se agrega demasiada fibra, el material de relleno de radio compuesto 200 puede llegar a ser fácil o prácticamente no conformable debido al aumento de la viscosidad y/o debido a las fibras que obstruyen un proceso como la extrusión. Por otro lado, si el contenido de fibra es demasiado bajo, el material de relleno puede fluir durante el curado, lo que puede causar problemas con respecto al mantenimiento de una forma deseada. En consecuencia, el porcentaje de fibra utilizada se puede seleccionar en función de un equilibrio de varios factores discutidos en la presente.

Cabe señalar que el uso del primer y segundo grupos de fibras como se discutió en la presente puede proporcionar propiedades generalmente mejoradas y homogeneidad de propiedades para un relleno de radio compuesto, sin embargo; en la práctica, la distribución de las fibras puede no ser totalmente uniforme, lo que puede conducir a áreas de localizado desprovistas de fibras del primer o segundo grupos de fibras, o con menos de una cantidad deseada de fibras del primer y segundo grupos de fibras. Estas áreas de localizado pueden denominarse bolsas de resina.

En varias realizaciones, el tercer grupo de fibras 240 se puede agregar a la resina 210 para formar el material de relleno de radio compuesto 200 para ayudar a abordar cualquier bolsa de resina. El tercer grupo de fibras 240 en la realización ilustrada incluye fibras que tienen una longitud más corta que el segundo grupo de fibras 230 para mejorar las propiedades o características de cualquier bolsa de resina formada en el material de relleno de radio compuesto 200. El tercer grupo de fibras 240 puede ser sustancialmente más corto que el primer y segundo grupo de fibras para permitir una distribución uniforme mejorada del tercer grupo de fibras 240. El tercer grupo representado de fibras 240 incluye nano-tubos de carbono. El diámetro del tercer grupo de fibras 240 puede ser, por ejemplo, 50 nanómetros o menos. En algunas realizaciones, el diámetro de todo o una porción del tercer grupo de fibras 240 puede ser de 100 micras o menos. En algunas realizaciones, el diámetro de todo o una porción del tercer grupo de fibras puede ser de 30 micras o menos. La adición del tercer grupo de fibras 240 permite una distribución más uniforme de las fibras cortas en la pasta de polímero reforzada con fibra antes del procesamiento y resulta en una distribución deseada en la cavidad.

Por ejemplo, en algunas realizaciones, el tercer grupo de fibras 240 puede incluir nano-tubos de carbono que tienen una longitud entre 100 y 200 micras. La longitud del tercer grupo de fibras 240 es suficientemente corta con respecto a las dimensiones del fideo que el tercer grupo de fibras 240 tendrá una orientación aleatoria a lo largo del fideo. En algunas realizaciones, los nano-tubos de carbono pueden tener una longitud de 150 micras o menos. La proporción del tercer grupo de fibras 240 puede ser relativamente pequeña. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el tercer grupo de fibras

240 puede representar menos del 1 % del material de relleno de radio compuesto 200 en volumen.

En la realización representada en la FIGURA 2, el material de relleno de radio compuesto 200 incluye partículas tixotrópicas 250 dispersas dentro de la resina 210. En algunas realizaciones, las partículas tixotrópicas 250 pueden incluir nanopartículas 251. Las nanopartículas 251, por ejemplo, pueden mejorar la resiliencia o la resistencia en comparación con las partículas tixotrópicas más grandes. Generalmente, las partículas tixotrópicas 250 están configuradas para mejorar la viscosidad del material de relleno de radio compuesto 200 para una mayor comodidad de uso como pasta de polímero reforzada con fibra aplicada a preformas de fibra seca durante el ensamble de los componentes. Generalmente, la viscosidad del relleno de radio compuesto 200 puede configurarse para apoyar la fabricabilidad. Por ejemplo, la viscosidad del relleno de radio compuesto 200 puede configurarse para ser lo suficientemente baja como para llenar cualquier esquina afilada en una cavidad a la que se añadirá un fideo hecho del relleno de radio compuesto 200 con una resina que tenga las longitudes de fibra deseadas. La viscosidad también puede ser lo suficientemente alta como para proporcionar un soporte adecuado y minimizar las arrugas de las capas formadas durante un proceso de curado. En varias realizaciones, un relleno de radio compuesto puede tener una viscosidad entre 300 y 9000 Poise en un rango de temperatura de 100-140 °C. Por ejemplo, para una estructura de pared de tres lados (por ejemplo, una estructura que usa preformas de fibra seca 302, 304, 306 de la FIGURA 3), se puede formar una cavidad utilizando dos elementos (por ejemplo, 302, 304), el relleno de radio compuesto 200 aplicado y el tercer elemento (por ejemplo, 306) colocado como se desee. Por lo tanto, dos de los elementos pueden ser utilizados para ayudar a formar el relleno de radio compuesto o fideos.

En varias realizaciones, la adición de las partículas tixotrópicas permite que el material de relleno de radio compuesto 200 se procese (como por extrusión) sin problemas, convenientemente y de manera eficiente bajo una presión de procesamiento aplicada, pero también permite que el material de relleno de radio compuesto 200 se endurezca o fije después del procesamiento.

Generalmente, el material y la cantidad de nanopartículas tixotrópicas pueden seleccionarse para proporcionar una viscosidad lo suficientemente baja como para llenar esquinas afiladas en una cavidad (o espacio entre preformas de fibra seca) y lo suficientemente alta como para proporcionar un soporte adecuado a una estructura compuesta o laminada y para minimizar o reducir la formación de arrugas de pliegues durante el curado. Las nanopartículas tixotrópicas, por ejemplo, pueden ayudar a aumentar la viscosidad durante el curado, lo que puede ayudar a evitar que el material que se cura se deforme durante el curado. Las arrugas del pliegue pueden deberse a un soporte insuficiente durante la deformación. Por ejemplo, si la viscosidad cae demasiado, el material de fideos puede comportarse como un líquido durante el curado en la cavidad, lo que permite que las preformas de fibra seca se muevan entre sí. La prevención de la deformación proporcionada por las partículas tixotrópicas ayuda a minimizar o reducir las arrugas del pliegue. En algunas realizaciones, las partículas tixotrópicas 250 pueden incluir nano-sílice.

En la realización representada en la FIGURA 2, el material de relleno de radio compuesto 200 incluye el agente de endurecimiento 260, que está configurado para mejorar la resistencia de la resina. Por ejemplo, en varias realizaciones, el agente de endurecimiento 260 puede incluir uno o más de acrilonitrilo de polibutadina (CTBN) terminado en carboxilo, nanopartículas tipo núcleo-coraza o copolímeros de bloque de nanofuerza.

La FIGURA 4 proporciona un diagrama de flujo de un método 400 que forma una estructura compuesta utilizando una pasta de polímero reforzada con fibra de acuerdo con una realización de la presente descripción. El método 400, por ejemplo, puede emplear o ser realizado por estructuras o aspectos de diversas realizaciones (por ejemplo, sistemas y/o métodos y/o flujos de procesos) discutidos en la presente. En varias realizaciones, ciertos pasos pueden ser omitidos o añadidos, ciertos pasos pueden ser combinados, ciertos pasos pueden ser ejecutados simultáneamente, ciertos pasos pueden ser divididos en varios pasos, ciertos pasos pueden ser ejecutados en un orden diferente, o ciertos pasos o series de pasos se pueden volver a realizar de forma iterativa.

Generalmente, por ejemplo, uno o más agentes de endurecimiento se pueden agregar a una resina, seguido de la adición de partículas tixotrópicas (por ejemplo, nanopartículas) y nanotubos de carbono al mismo tiempo, luego el segundo (o más corto) grupo de fibras, y luego el primer (o más largo) grupo de fibras.

En 402, se proporciona una resina (por ejemplo, resina 210). La resina, por ejemplo, puede seleccionarse para que coincida o se corresponda con una resina utilizada para infundir una estructura de preforma de fibra seca. A modo de ejemplo, se pueden emplear resinas epoxi, fenólica, benzoxazina o bis-maleimida (BMI).

En 404, un primer grupo de fibras (por ejemplo, el primer grupo de fibras 220) se mezcla con la resina. El primer grupo de fibras puede tener una primera longitud correspondiente a una relación de aspecto de 2000:1 o menos. La longitud del primer grupo de fibras puede ser comparable a las dimensiones transversales del fideo. En algunas realizaciones, el primer grupo de fibras puede tener una longitud entre 3 y 6 milímetros.

En 406, un segundo grupo de fibras (por ejemplo, el segundo grupo de fibras 230) se mezcla con la resina. El segundo grupo de fibras, como se discutió en la presente, tiene una segunda longitud que es menor que la primera longitud del primer grupo de fibras. Puede observarse que la primera y la segunda longitudes pueden corresponder a longitudes medias o pueden corresponder a un rango de longitudes. La proporción del primer y segundo grupos de fibras con

- respecto entre sí y/o con respecto al volumen total del material de relleno compuesto puede seleccionarse o configurarse en varias realizaciones para proporcionar un equilibrio deseado de propiedades o características (por ejemplo, fuerza, CTE, módulo, homogeneidad). Por ejemplo, en algunas realizaciones, el primer grupo de fibras representa entre el 20 % y el 40 % de un volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras y el segundo grupo de fibras representa entre el 60 % y el 80 % en volumen del volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras. De manera adicional o alternativa, en algunas realización, un volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras comprende entre el 30 % y el 60 % de un volumen total del relleno de radio compuesto.
- En 408, un tercer grupo de fibras (por ejemplo, el tercer grupo de fibras 240) se mezcla con la resina. El tercer grupo de fibras puede incluir nanotubos de carbono (por ejemplo, que tienen una longitud de 200 micras o menos), y se pueden agregar para mejorar las propiedades (por ejemplo, resistencia y/o CTE) de las bolsas de resina potenciales que pueden formarse en el material de relleno de radio compuesto.
- En 410, las partículas tixotrópicas (por ejemplo, las partículas tixotrópicas 250) se mezclan con la resina. Generalmente, las partículas tixotrópicas se seleccionan o configuran para mejorar la viscosidad de la pasta de polímero reforzada con fibra para mejorar la facilidad y la eficacia de la aplicación.
- En 412, un agente de endurecimiento (por ejemplo, el agente de endurecimiento 260) se mezcla con la resina. Generalmente, el agente de endurecimiento se configura para mejorar la resiliencia, o reducir la fragilidad, de la pasta de polímero reforzada con fibra. Como se discutió en la presente, el agente de endurecimiento 260 puede incluir uno o más de CTBN, nanopartículas de núcleo-coraza, o copolímeros de bloque de nanofuerza.
- En un aspecto, la pasta de polímero reforzada con fibra puede prepararse como un lote de pasta de polímero reforzada con fibra, separarse en porciones más pequeñas de pasta de polímero reforzada con fibra y proporcionarse a una pluralidad de cavidades para mejorar la eficiencia.
- En 414A, o alternativamente en 414B, la pasta de polímero reforzada con fibra preparada en los pasos 402 a 412 se forma para crear una cavidad de una estructura de preforma de fibra seca formada o dispuesta a partir de una o más preformas de fibra seca.
- Con respecto a 414A, la pasta de polímero reforzada con fibra se extruye a través de una boquilla con una sección transversal adecuada y, en 415A, el polímero reforzado con fibra extruida se coloca en un tirante o cavidad antes de ensamblar completamente la estructura compuesta.
- Con respecto a 414B, la pasta de polímero reforzada con fibra se inyecta directamente en una cavidad a una forma cercana a la red antes de ensamblar completamente la estructura compuesta.
- En 416, se aplica una presión para formar la pasta de polímero reforzada con fibra hasta una forma final. Por lo tanto, las paredes de las preformas de fibra se pueden utilizar para ayudar a formar la pasta de polímero reforzada con fibra hasta la forma final de la cavidad.
- En un ejemplo, la formación de la pasta de polímero reforzada con fibra a la forma de la cavidad incluye la extrusión de la pasta de polímero reforzada con fibra mientras coloca la pasta de polímero reforzada con fibra extruida en la cavidad de la estructura de la preforma de fibra seca. En un aspecto, la pasta de polímero extruida reforzada con fibra se coloca en una cavidad abierta formada entre dos preformas de fibra seca antes de ensamblar completamente la estructura compuesta. Por ejemplo, con referencia a la FIGURA 3A, una pasta de polímero reforzada con fibra extruida 310 o 350 puede colocarse a lo largo de una longitud 308 de la estructura compuesta 300 en una cavidad longitudinal 309 formada por la primera preforma de fibra seca 302 y la segunda preforma de fibra seca 304, y luego la tercera preforma de fibra seca 306 puede unirse para completar la estructura compuesta 300.
- En otro ejemplo, la formación de la pasta de polímero reforzada con fibra a la forma de la cavidad incluye el moldeo de la pasta de polímero reforzada con fibra en la forma de la cavidad y la transferencia del polímero reforzado con fibra moldeada a la cavidad. En este caso, la pasta de polímero reforzada con fibra puede extruirse utilizando un troquel y una herramienta con la misma sección transversal de la cavidad requerida en la estructura compuesta. Este proceso se puede automatizar, por ejemplo, utilizando un brazo robótico que se traslada en una pista. En un aspecto, la pasta de polímero reforzada con fibra moldeada se coloca en una cavidad abierta longitudinal 309 formada entre dos preformas de fibra seca antes de ensamblar completamente la estructura compuesta. Por ejemplo, con referencia a la FIGURA 3A, una pasta de polímero reforzada con fibra moldeada 310 o 350 puede colocarse a lo largo de una longitud 308 de la estructura compuesta 300 en una cavidad longitudinal 309 formada por la primera preforma de fibra seca 302 y la segunda preforma de fibra seca 304, y luego la tercera preforma de fibra seca 306 puede unirse para completar la estructura compuesta 300.
- En 418, la estructura de preforma de fibra seca que tiene la pasta de polímero reforzada con fibra en la cavidad se calienta a una temperatura de infusión.
- En 420, se infunde una resina en la estructura de la preforma de fibra y alrededor de la pasta de polímero reforzada con fibra. La resina puede ser la misma o diferente de la resina utilizada para preparar la pasta de polímero reforzada con

fibra.

En 422, el ensamble de la estructura de preforma de fibra infundida con resina y la pasta de polímero reforzada con fibra se cura a una temperatura de curado superior a la temperatura de infusión. Por ejemplo, el ensamble puede calentarse a una temperatura de curado predeterminada a una presión predeterminada durante un tiempo predeterminado para curar el ensamble. Después del curado, el ensamble puede enfriarse (por ejemplo, a temperatura ambiente).

Al aplicar la presión para formar la pasta de polímero reforzada con fibra a la forma final, la pasta de polímero reforzada con fibra proporcionada a la cavidad (es decir, fideos en la cavidad de fideos) se puede enrollar utilizando un rodillo mecánico en la preforma de fibra o mediante una herramienta de conformado separada después del moldeo o extrusión para consolidar aún más y formar los fideos a la geometría transversal deseada.

Se observa que, como la viscosidad es una función de la temperatura, la temperatura puede ser controlada para proporcionar la viscosidad deseada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la pasta de polímero reforzada con fibra puede calentarse (por ejemplo, a 87,78 °C (190 °F)) para ablandarse para la extrusión en una cavidad. También se observa que se puede aplicar presión a la pasta de polímero reforzada con fibra, por ejemplo, después de que la pasta de polímero reforzada con fibra se coloca en un tirante, por ejemplo, para ayudar a forzar la pasta de polímero reforzada con fibra en las esquinas afiladas.

El método 400 puede incluir además la aplicación de preformas de fibra adicionales después del paso 414 y antes del paso 416 para completar el laminado, encapsulando completamente los fideos con capas de fibra seca, seguido de infusión de resina.

Si la pasta de polímero reforzada con fibra se moldea en la forma de la cavidad y transfiere el polímero reforzado con fibra moldeada a la cavidad, a continuación, se utiliza una herramienta intermediaria y el epoxi puede someterse opcionalmente a una operación de estadificación B para curar parcialmente la pasta de polímero reforzada con fibra con el fin de mantener la geometría proporcionada por el moldeo que se debe retener en la posterior transferencia a la cavidad de la estructura de la preforma de fibra. Si se utiliza una herramienta intermediaria, el fideo parcialmente curado se transporta desde la herramienta intermediaria y se coloca dentro de la capa de fibra seca de los refuerzos.

En un aspecto, el fideo consiste en una fracción de volumen de capas de carbono y vidrio en el rango de aproximadamente 30 % a 70 % con el resto siendo una matriz de resina epoxi.

De acuerdo con la presente descripción, el fideo y la preforma de fibra seca están presentes durante la infusión de resina en lugar de agregar el fideo después de la infusión de resina. Gracias a la presencia de los fideos con la preforma de fibra durante la infusión de resina, se promueve una estructura más integral sin problemas de estrés de otros métodos. El ensamble infundido se eleva a una segunda temperatura de curado más alta y las resinas de los fideos y la preforma de fibra infundida con resina se curan simultáneamente formando una estructura compuesta integrada químicamente unida y curada que ofrece un fideo de alto rendimiento en un laminado compuesto de bajo costo.

De acuerdo con la presente descripción, se proporciona una fabricación de fideos de bajo costo, lo que resulta en fideos robustos y sin grietas. Esto elimina o reduce el agrietamiento de los fideos debido a la contracción del curado y la tensión térmica residual y mejora el rendimiento estructural de la estructura compuesta resultante.

De acuerdo con la presente descripción, el proceso común de fabricación de fideos y las especificaciones de materiales se pueden mantener porque un resto de la capa de fibra seca conserva los beneficios de la formación, la capa, el costo del material y la tasa de deposición del refuerzo seco y la infusión de resina - El equipo de fabricación puede soportar una gama de geometrías de fideos, puede soportar múltiples proyectos en comparación con las herramientas de fideos convencionales que son herramientas de acero de corte duro para una forma fija.

Las realizaciones de la presente divulgación proporcionan materiales de relleno de radio compuesto mejorados. Por ejemplo, las propiedades mecánicas o estructurales se mejoran en varias realizaciones. Como otro ejemplo, varias realizaciones proporcionan un relleno de radio compuesto que puede aplicarse de manera conveniente, efectiva y eficiente in situ durante el ensamble de un conjunto estructural.

LA FIGURA 5 ilustra un sistema 500 para formar una estructura compuesta. Como se muestra en la FIGURA 5, el sistema incluye: un dispositivo de formación de fideos 502 para formar una pasta de polímero reforzada con fibra a la forma de una cavidad de una estructura de preforma de fibra seca; un dispositivo de formación de cavidad parcial 504 para formar una estructura de preforma de fibra seca que tiene una cavidad parcial en ella; un dispositivo de colocación de fideos 506 para colocar el fideo formado en la cavidad parcial; un dispositivo de formación de cavidad completa 508 para ensamblar completamente la estructura compuesta para cerrar la cavidad parcial; un dispositivo de compactación 510 para compactar el polímero reforzado con fibra proporcionado a la cavidad de la estructura de preforma de fibra seca; un dispositivo de infusión de resina 512 para infundir resina en la estructura de la preforma de fibra seca y alrededor del polímero reforzado con fibra; y un dispositivo de curado 514 para curar la estructura de la preforma de fibra seca infundida con resina y el polímero reforzado con fibra.

- El dispositivo de formación de fideos 502 puede incluir, por ejemplo, un dispositivo de extrusión para infundir directamente una pasta de polímero reforzada con fibra en la cavidad o un dispositivo de extrusión para moldear una pasta de polímero reforzada con fibra en una forma de la cavidad. En este último caso, el sistema 500 incluye además el dispositivo de colocación de fideos 506 para transferir el polímero moldeado reforzado con fibra a la cavidad.
- El dispositivo de formación de cavidad parcial 504 incluye cualquier aparato para formar una estructura de preforma de fibra seca para tener una cavidad abierta en ella.
- El dispositivo de colocación de fideos 506 incluye cualquier aparato para transferir un polímero moldeado reforzado con fibra a la cavidad.
- El dispositivo de formación de cavidades completas 508 incluye cualquier aparato para cerrar la estructura de preformas de fibra seca para tener una cavidad cerrada alrededor del polímero reforzado con fibra colocado allí.
- El dispositivo de compactación 510 incluye cualquier aparato para compactar el polímero reforzado con fibra suministrado a la cavidad de la estructura de la preforma de fibra seca.
- El dispositivo de infusión de resina 512 incluye cualquier aparato para infundir resina en la estructura de preforma de fibra seca y alrededor del polímero reforzado con fibra.
- El dispositivo de curado 514 incluye cualquier aparato para curar la estructura de preforma de fibra seca infundida con resina y el polímero reforzado con fibra a una temperatura de curado.
- Los ejemplos de la presente divulgación pueden describirse en el contexto del método de fabricación y servicio de aeronaves 1100 como se muestra en la FIGURA 6 y de la aeronave 1102 como se muestra en la FIGURA 7. Durante la preproducción, el método ilustrativo 1100 puede incluir la especificación y el diseño (bloque 1104) de la aeronave 1102 y la adquisición de materiales (bloque 1106). Durante la producción, puede tener lugar la fabricación de componentes y subensambles (bloque 1108) y la integración del sistema (bloque 1110) de la aeronave 1102. Posteriormente, la aeronave 1102 puede pasar por la certificación y entrega (bloque 1112) para ser puesta en servicio (bloque 1114). Mientras esté en servicio, la aeronave 1102 puede programarse para mantenimiento y servicio rutinarios (bloque 1116). El mantenimiento y el servicio rutinarios pueden incluir la modificación, reconfiguración, reacondicionamiento, etc. de uno o más sistemas de la aeronave 1102.
- Cada uno de los procesos del método ilustrativo 1100 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). A los efectos de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de proveedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una compañía de arrendamiento, una entidad militar, una organización de servicios, y así sucesivamente. Por ejemplo, varios aspectos divulgados en la presente pueden ser utilizados durante uno o más de los pasos 1106, 1108 o 1110 del método 1100, y/o en conexión con uno o más de los elementos 1118 u 1122 de la aeronave 1102.
- Como se muestra en la FIGURA 7, la aeronave 1102 producida por el método ilustrativo 1100 puede incluir el fuselaje 1118 con una pluralidad de sistemas de alto nivel 1120 e interior 1122. Ejemplos de sistemas de alto nivel 1120 incluyen uno o más del sistema de propulsión 1124, el sistema eléctrico 1126, el sistema hidráulico 1128 y el sistema ambiental 1130. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios divulgados en la presente pueden aplicarse a otras industrias, como la industria automotriz. En consecuencia, además de la aeronave 1102, los principios divulgados por la presente pueden aplicarse a otros vehículos, por ejemplo, vehículos terrestres, vehículos marinos, vehículos espaciales, etc.
- Los aparatos y métodos que se muestran o describen en la presente podrán emplearse durante una o más de las etapas del método de fabricación y servicio 1100. En particular, el método divulgado para formar una estructura compuesta puede utilizarse al menos durante la fabricación de componentes y subensambles (bloque 1108), durante la integración del sistema (bloque 1110) y durante el mantenimiento y servicio rutinarios (bloque 1116), y el método divulgado para formar una estructura compuesta puede utilizarse para al menos un fuselaje 1118 y el interior 1222 de la aeronave 1102.
- Por ejemplo, los componentes o subensambles correspondientes a la fabricación de componentes y subensambles 1108 pueden fabricarse o manufacturarse de una manera similar a los componentes o subensambles producidos mientras la aeronave 1102 está en servicio. Además, uno o más ejemplos de los aparatos, métodos o combinaciones de los mismos pueden utilizarse durante las etapas de producción 1108 y 1110, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamble o reduciendo el costo de la aeronave 1102. Del mismo modo, se pueden utilizar uno o más ejemplos de las realizaciones de aparatos o métodos, o una combinación de los mismos, por ejemplo y sin limitación, mientras la aeronave 1102 está en servicio, por ejemplo, etapa de mantenimiento y servicio (bloque 1116).
- Aunque se han mostrado y descrito varias realizaciones de los métodos divulgados para formar estructuras compuestas, pueden ocurrir modificaciones a aquellos expertos en el arte al leer la especificación. La presente solicitud incluye tales modificaciones y está limitada solo por el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método (400) para formar una estructura compuesta, que comprende los pasos de:

5 formar (414A, 414B) una pasta de polímero reforzada con fibra a una forma de una cavidad de una estructura de preforma de fibra seca en la que dicho paso de formación (414A, 414B) de dicha pasta de polímero reforzada con fibra a dicha forma de dicha cavidad de dicha estructura de preforma de fibra seca incluye la extrusión (414B) de dicha pasta de polímero reforzada con fibra directamente en dicha cavidad;
 10 compactar (416) dicha pasta de polímero reforzada con fibra proporcionada a dicha cavidad de dicha estructura de preforma de fibra seca y aplicar una presión para formar la pasta de polímero reforzada con fibra a una forma final en la que las paredes de dicha preforma de fibra se utilizan para ayudar a formar dicha pasta de polímero reforzada con fibra a la forma final de dicha cavidad;
 calentar (418) dicha estructura de preforma de fibra seca que tiene dicho polímero reforzado con fibra en dicha cavidad a una temperatura de infusión;
 15 infundir (420) resina en dicha estructura de preforma de fibra seca y alrededor de dicho polímero reforzado con fibra; y
 curar (422) dicha estructura de preforma de fibra seca infundida con resina y dicho polímero reforzado con fibra a una temperatura de curado más alta que dicha temperatura de infusión.

20 2. El método (400) de conformidad con la reivindicación 1, donde dicha pasta de polímero reforzada con fibra se prepara proporcionando (402) una resina, mezclando (404) un primer grupo de fibras a la resina, mezclando (406) un segundo grupo de fibras a la resina, en donde el segundo grupo de fibras tiene una segunda longitud que es menor que la primera longitud del primer grupo de fibras, mezclando (408) un tercer grupo de fibras a la resina, mezclando (410) partículas tixotrópicas a la resina, mezclando (412) un agente de endurecimiento a la resina de tal manera que dicho agente de endurecimiento se dispersa con la resina.

25 3. El método (400) de conformidad con la reivindicación 2, donde el primer grupo de fibras representa entre 20 % y 40 % de un volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras y el segundo grupo de fibras representa entre 60 % y 80 % por volumen del volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras.

30 4. El método (400) de conformidad con la reivindicación 2, que comprende además la aplicación de una o más preformas de fibra seca adicionales después que dicho polímero reforzado con fibra se proporciona a dicha cavidad de dicha estructura de preforma de fibra seca y antes de la infusión de dicha resina.

35 5. El método (400) de conformidad con la reivindicación 1, donde dicho paso de formación (414A, 414B) de dicha pasta de polímero reforzada con fibra a dicha forma de dicha cavidad de dicha estructura de preforma de fibra seca incluye el moldeo (414A) de dicha pasta de polímero reforzada con fibra en dicha forma de dicha cavidad y la transferencia de dicho polímero reforzado con fibra moldeada a dicha cavidad.

40 6. El método (400) de conformidad con la reivindicación 2, donde el tercer grupo de fibras incluye nanotubos de carbono.

7. El método (400) de conformidad con la reivindicación 1, donde dicha estructura compuesta es un elemento estructural de la aeronave.

45 8. El método (400) de conformidad con la reivindicación 1, donde dicha estructura compuesta es una estructura de piel rígida.

9. El método (400) de conformidad con la reivindicación 2, donde el volumen combinado del primer y segundo grupos de fibras comprende entre el 30 % y el 60 % de un volumen total del relleno de radio compuesto.

50 10. El método de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque el primer grupo de fibras tiene una primera longitud correspondiente a una relación de aspecto de 2000:1 o menos.

11. El método de conformidad con la reivindicación 10, donde el primer grupo de fibras tiene una longitud entre 3 y 6 milímetros.

55 12. Un sistema (500) para formar una estructura compuesta, el sistema que comprende:

un dispositivo de formación de fideos (502) para formar una pasta de polímero reforzada con fibra a la forma de una cavidad de una estructura de preforma de fibra seca;
 60 un dispositivo de formación de cavidad parcial (504) para formar una estructura de preforma de fibra seca que tenga una cavidad parcial en ella;
 un dispositivo de colocación de fideos (506) para colocar los fideos formados en la cavidad parcial;
 un dispositivo de formación de cavidad completa (508) para montar completamente la estructura compuesta para cerrar la cavidad parcial; y
 65 un dispositivo de compactación (510) para compactar dicho polímero reforzado con fibra proporcionado a dicha cavidad de dicha estructura de preforma de fibra seca.

13. El sistema (500) de conformidad con la reivindicación 12, que comprende además un dispositivo de infusión de resina (512) para infundir resina en dicha estructura de preforma de fibra seca y alrededor de dicho polímero reforzado con fibra.
- 5 14. El sistema (500) de conformidad con la reivindicación 13, que comprende además un dispositivo de curado (514) para curar dicha estructura de preforma de fibra seca infundida con resina y dicho polímero reforzado con fibra a una temperatura de curado superior a dicha temperatura de infusión.
- 10 15. El sistema (500) de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el dispositivo de formación de fideos (502) incluye un dispositivo de extrusión para infundir directamente una pasta de polímero reforzada con fibra en la cavidad.

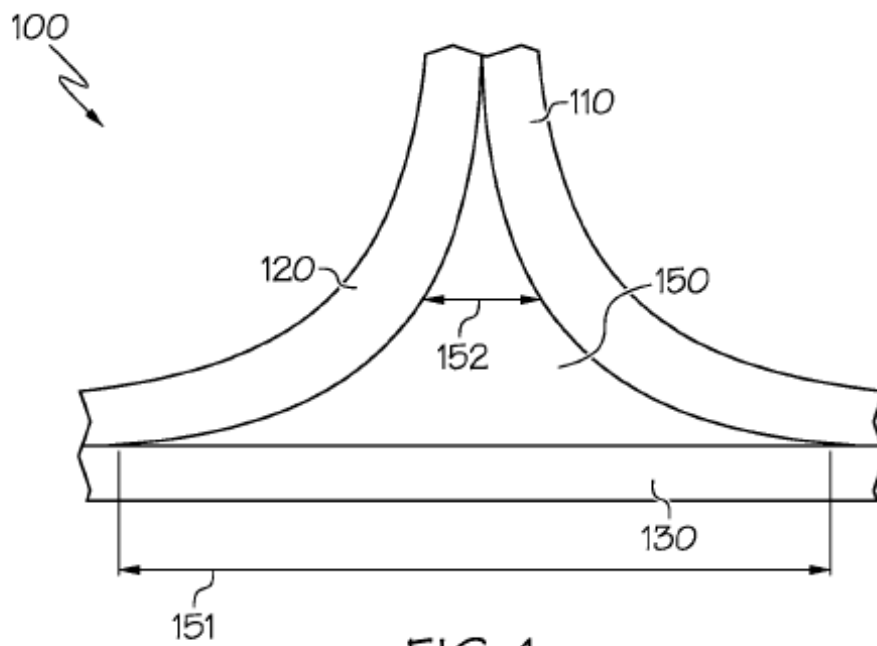


FIG. 1

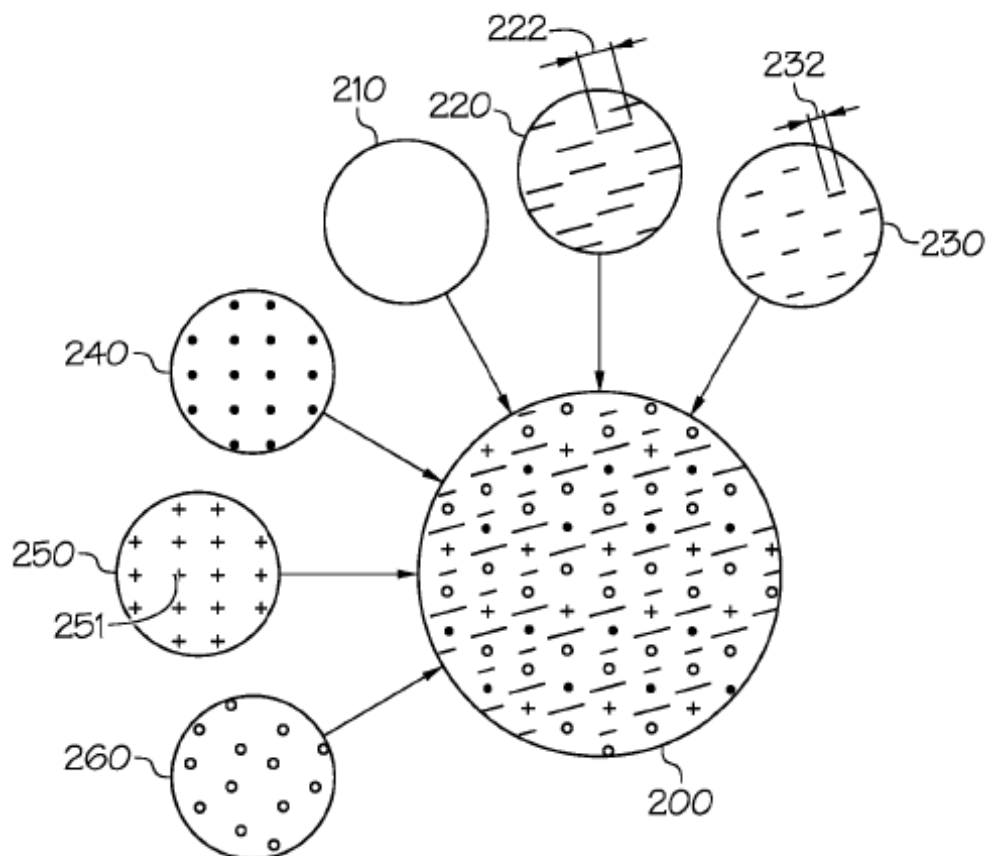
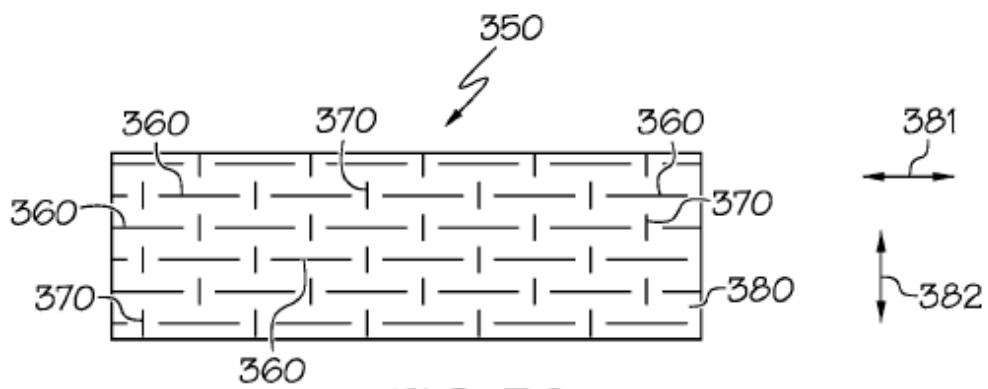
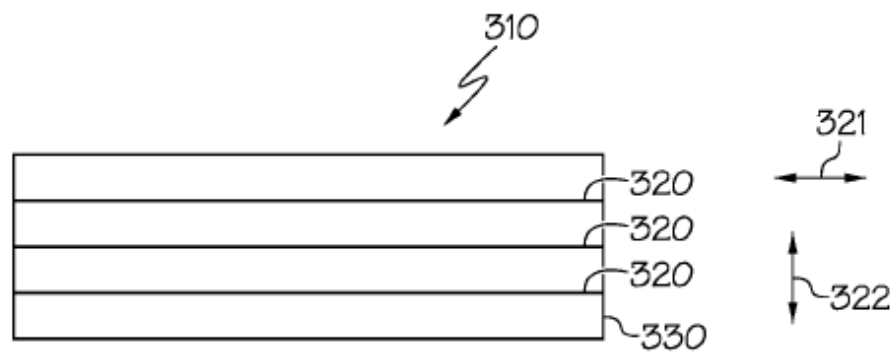
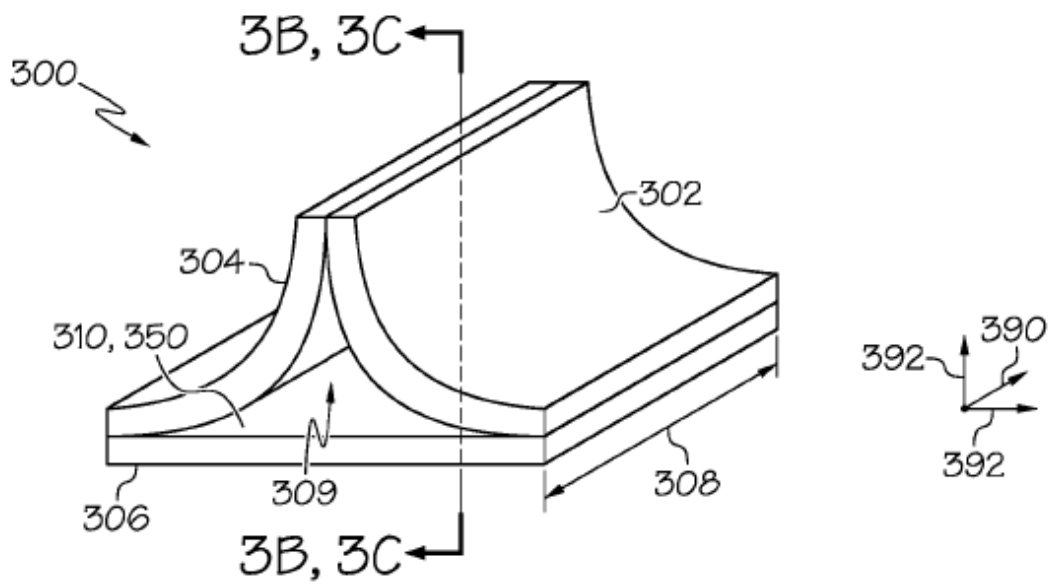


FIG. 2



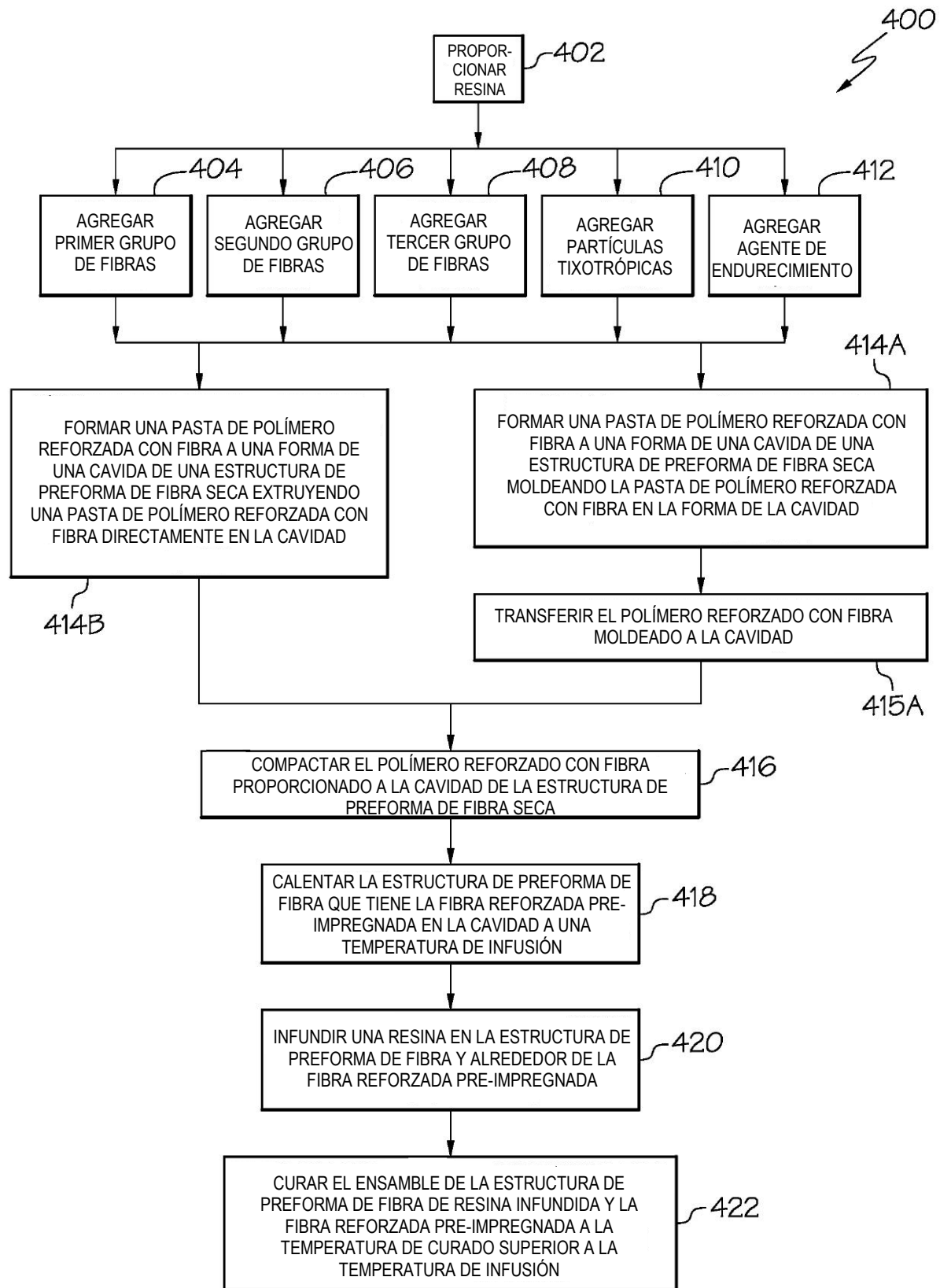


FIG. 4

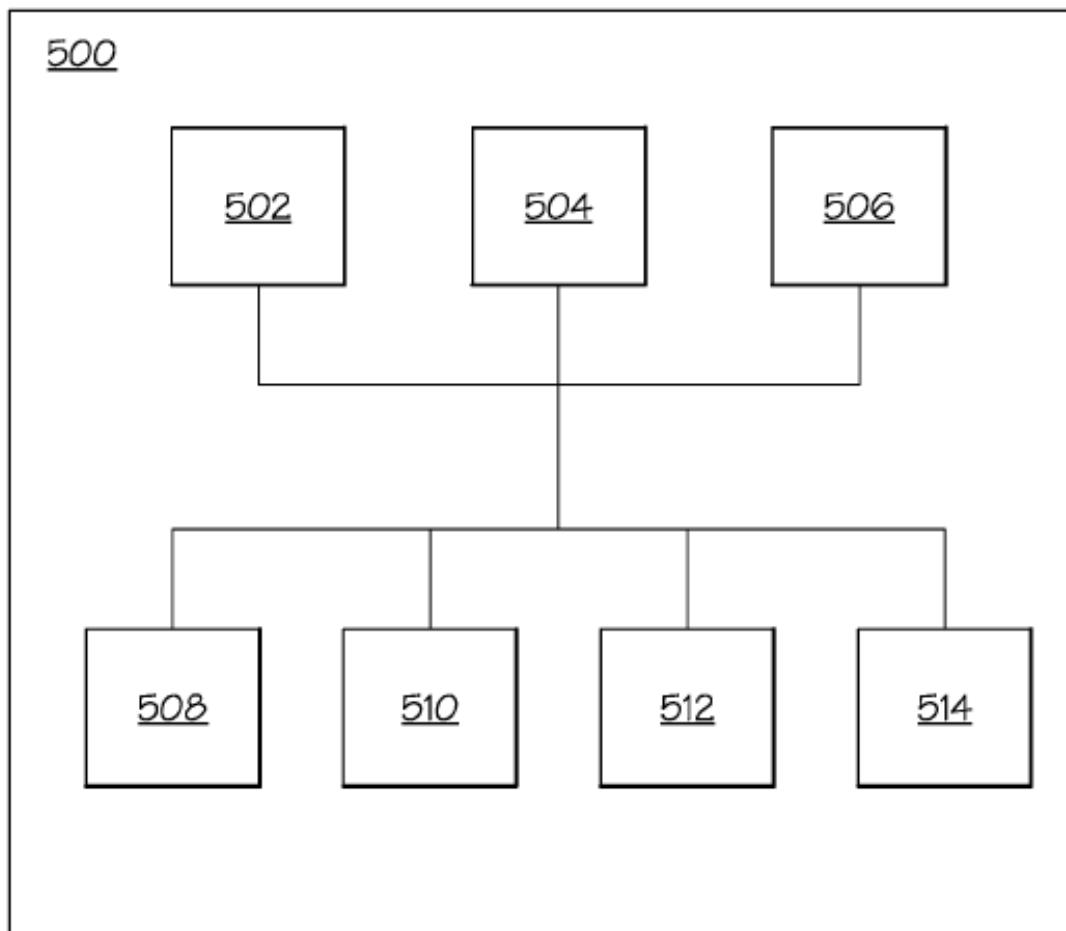


FIG. 5

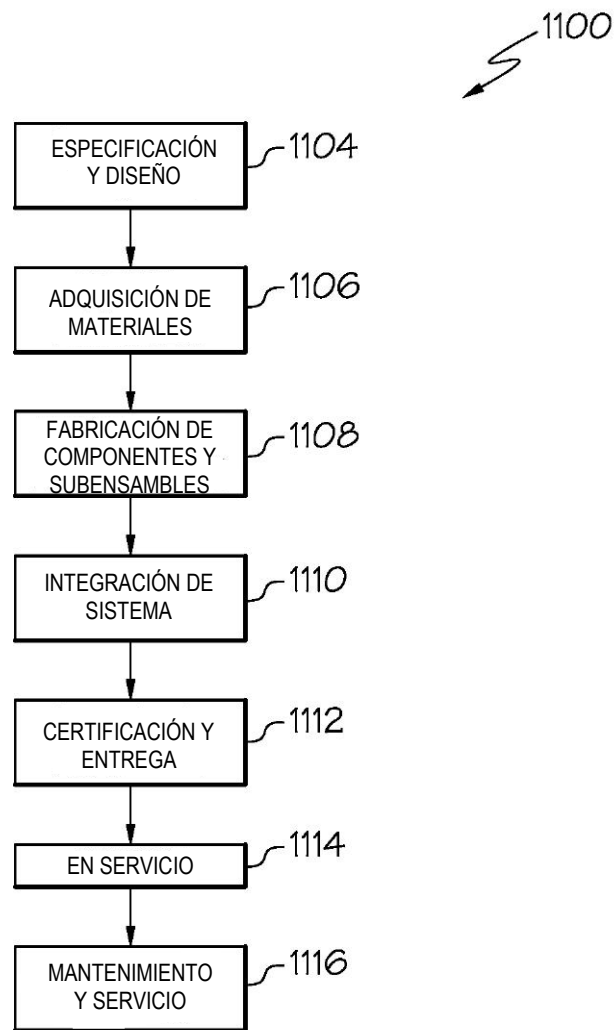


FIG. 6

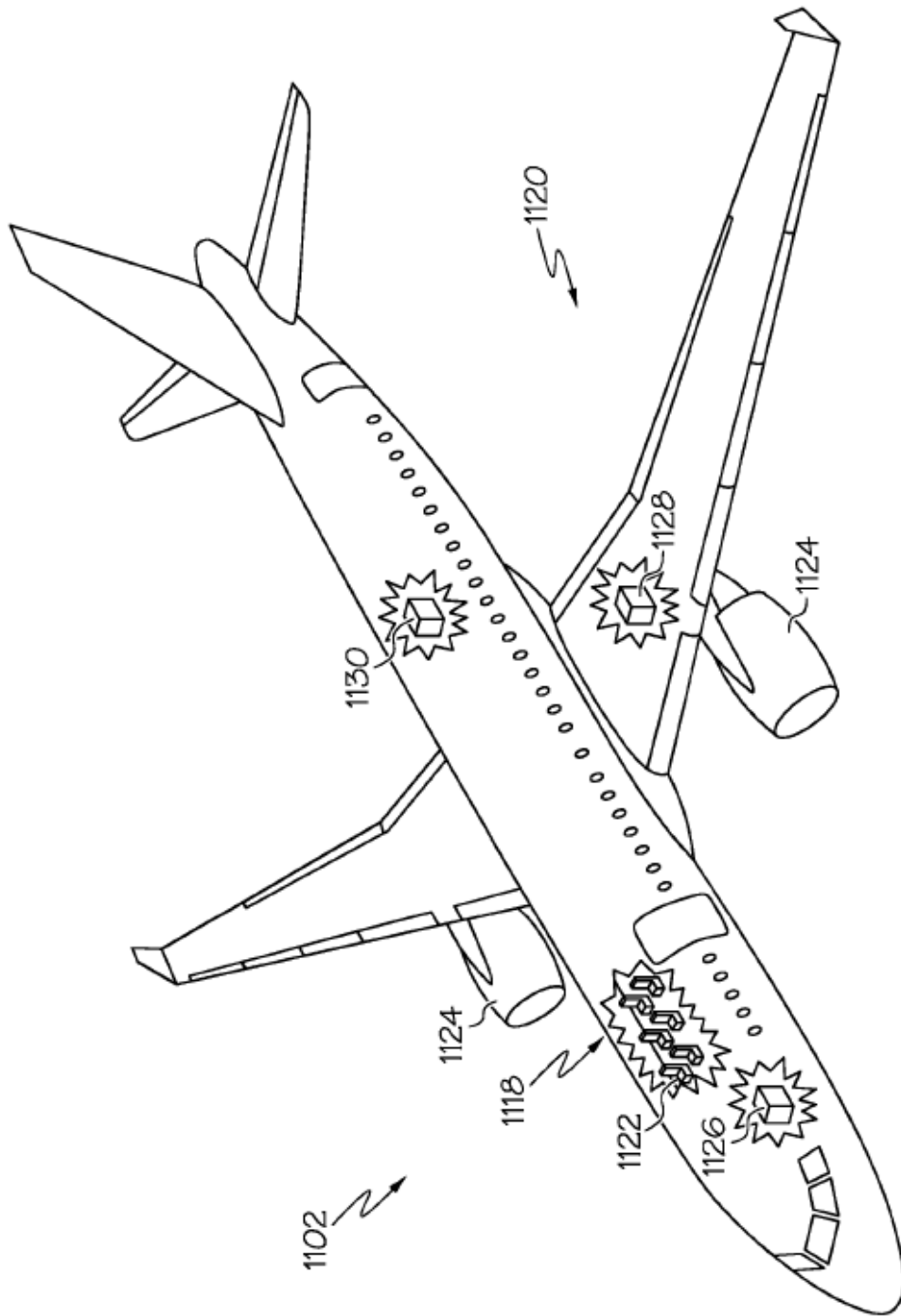


FIG. 7