

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 774**

51 Int. Cl.:

B29C 70/32 (2006.01)

B29C 70/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2011** **E 11181859 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019** **EP 2431161**

54 Título: **Método para fabricar tubos compuestos de fibra reforzada**

30 Prioridad:

21.09.2010 US 886860

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

17.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HULL, JOHN R;
NEGLEY, MARK A;
STRASIK, MICHAEL y
MITTLEIDER, JOHN A**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 742 774 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para fabricar tubos compuestos de fibra reforzada

Campo técnico

5 Esta divulgación se relaciona en general con procesos para fabricar estructuras de material compuesto, y se refiere más particularmente con un método y aparato para fabricar estructuras tubulares de material compuesto reforzadas con fibra.

Antecedentes

10 Las estructuras tubulares se utilizan en una variedad de aplicaciones tales como, por ejemplo, y sin limitación, tanques de almacenamiento de líquidos y gases, carcasas de motores de cohetes, rotores de volantes y miembros de soporte estructural, por nombrar solo algunos. En algunas aplicaciones, puede ser deseable fabricar estas estructuras tubulares utilizando materiales compuestos reforzados con fibra con el fin de lograr menores costos de fabricación y/o una mayor resistencia por proporción de rata de unidad.

15 En el pasado, las estructuras tubulares de material compuesto se han fabricado enrollando cuerdas de fibras sobre un mandril giratorio. Las fibras pueden impregnarse previamente con una resina polimérica, o la resina puede agregarse a las fibras durante el enrollamiento del mandril. Este proceso anterior, aunque efectivo, puede no ser adecuado para aplicaciones donde se desean altos costes de fabricación y baja resistencia. Por ejemplo, para mantener la fracción de volumen de fibra del material compuesto resultante relativamente alto, las fibras deben mantenerse en tensión durante el proceso de enrollado, lo que requiere largos tramos de fibra que pueden aumentar el coste de la materia prima de fibra. Se podrían usar fibras más cortas para reducir el coste de la materia prima, sin embargo, puede ser difícil obtener una fracción de alto volumen de fibra usando fibras más cortas, en parte porque es difícil aplicar la presión necesaria a las fibras durante el proceso de enrollado, y la fuerza centrífuga generada por el mandril tiende a lanzar fibras cortas hacia afuera del mandril.

20 Se han usado otros procesos para producir estructuras tubulares de material compuesto, particularmente para producción de alto volumen, incluyendo extrusión a alta velocidad, moldeo por inyección y pultrusión. Sin embargo, estas técnicas de fabricación pueden resultar en orientaciones en gran parte aleatorias que pueden ser indeseables para la resistencia del material compuesto.

25 El documento US 4,097,572 declara: "Un método para formar un contenedor tubular como una tubería o tanque que incluye proporcionar un tambor giratorio sobre un eje con un revestimiento axialmente dividido en el tambor. El tambor y el revestimiento se giran juntos alrededor del eje, y un plástico de ajuste de tiempo y una fibra de refuerzo se descargan contra el interior del revestimiento. Cuando el plástico está al menos parcialmente colocado, el revestimiento, el plástico y la fibra se retiran del tambor. Después de una deposición de plástico adicional, si se desea, se retira el revestimiento de plástico y fibra para reutilizarlo. Preferiblemente, la división en el revestimiento se cubre con cinta antes de la rotación y luego se retira".

30 El documento US 3,309,762 declara: "Un método para fabricar un tanque séptico tubular intercalado moldeado y otros artículos tubulares moldeados".

35 El documento US 2010/0135819 declara: "Se proporciona un método para fabricar una pala de rotor de turbina eólica. Se prevén trayectorias de carga primarias anticipadas dentro de la pala de rotor. Las fibras de material de refuerzo se dispensan en un molde, que tiene un patrón de orientación de las fibras que se selecciona en función del paso de predicción. La resina también se dispensa en el molde.

40 Se proporciona una pala de rotor de turbina eólica. La pala comprende fibras de material de refuerzo que están incrustadas en resina. Las fibras son cortas, digamos en el intervalo de 5 a 200 mm, y están orientadas en función de un patrón de carga estructural anticipado de la pala del rotor".

45 El documento US 2008/0047657 declara: "Un sistema para formar una capa de refuerzo de fibra direccional transversal tiene un alimentador para alimentar una matriz de fibra continua y un dispensador de fibras cortadas para distribuir fibras cortadas alineadas en general, muy próximas entre sí, sobre la matriz de fibras continuas de manera direccional transversal".

50 El documento US 3,412,431 declara: "Se proporciona un aparato de moldeo y un método de moldeo mediante el cual el flujo de material de moldeo en un molde o contra la superficie de un molde se controla de manera predeterminada junto con otras variables de moldeo para producir un artículo moldeado de forma predeterminada. Las variables tales como la rata de flujo de los materiales de moldeo, la posición relativa entre los medios de dispensación de material y la superficie de moldeo, la rata de flujo del líquido de transferencia de calor, la rotación del molde o la preforma y las variaciones en el material de moldeo utilizado son de manera predeterminada controladas por medio de un ordenador o un controlador de ciclo para conformar o recubrir de manera predeterminada artículos que tienen características y formas físicas predeterminadas. El ordenador o controlador es

del tipo de auto-reciclaje, de modo que se puede producir una pluralidad de artículos que tienen características similares sin la necesidad de control manual o ajuste del aparato una vez establecida la secuencia del programa".

Además de la necesidad de un volumen de fibra relativamente alto y una orientación de fibra direccional, los niveles de rendimiento más altos de las estructuras tubulares de material compuesto pueden requerir que las fibras de refuerzo en el producto final tengan una proporción de aspecto suficientemente alta, es decir, una proporción de longitud a diámetro. La necesidad de altos volúmenes de fibra, la orientación controlada de la fibra y el uso de fibras que tienen proporciones de aspecto altas pueden hacer que el uso de técnicas de producción de alta velocidad convencionales sea poco práctico. Por ejemplo, los requisitos de alto volumen de fibra y proporciones de aspecto pueden dar como resultado la rotura de la fibra durante el procesamiento de la interacción fibra-polímero, la interacción fibra-fibra y el contacto de la fibra con las superficies del equipo de procesamiento. En general, la longitud de la fibra disminuye a medida que aumenta la fracción de volumen de la fibra, lo que dificulta la obtención de fibras suficientemente largas para obtener el mayor rendimiento con procesos de producción conocidos tienden a resultar en un grado relativamente alto de aleatoriedad en la orientación corta de la fibra, lo que puede afectar de manera indeseable el rendimiento del material compuesto, en comparación con el rendimiento que se puede obtener utilizando fibras continuas y la orientación controlada proporcionada por la envoltura de fibras continuas bajo tensión alrededor de un mandril giratorio.

Por consiguiente, existe la necesidad de un método y un aparato rentables para fabricar estructuras tubulares reforzadas con fibra que utilicen fibras cortas que tengan proporciones de aspecto optimizadas en las que se logren altas fracciones de fibra y alineación de fibra para cumplir requisitos de alto rendimiento.

Resumen

En la presente solicitud se describe un método para fabricar un tubo de material compuesto que comprende: hacer girar un mandril que tiene una pared interior; y dirigir fibras de refuerzo cortas y resina sobre la pared interior del mandril giratorio. El paso de dirigir las fibras y la resina incluye: mezclar fibras secas individuales con la resina en una línea de suministro a una boquilla; y aplicar las fibras mixtas y la resina a través de la boquilla en la pared interior que gira.

Las realizaciones divulgadas proporcionan un método para fabricar estructuras tubulares de material compuesto reforzadas con fibra, tales como tubos y cilindros huecos, que pueden reducir los costes y son muy adecuados para la producción de alto volumen. El método permite el uso de fibras de refuerzo cortas, en lugar de continuas, que pueden reducir el coste de la materia prima. Se pueden usar fibras de refuerzo cortas que tienen proporciones de aspecto optimizadas, y se pueden lograr niveles de fracción de fibra relativamente altos. El método utiliza un mandril giratorio para producir estructuras tubulares con fibras alineadas que proporcionan a la estructura una alta resistencia circunferencial del aro. Además, otras características de la estructura tubular, incluyendo el acabado de la superficie, pueden controlarse controlando la suavidad de la línea de molde interior del mandril, la velocidad de rotación del mandril, el volumen de la fibra y la cantidad y tipo de resina. La rotación del mandril a velocidades relativamente altas compacta las fibras y consolida las capas de material compuesto aplicadas al mandril. El aparato utilizado en el método puede incluir una boquilla de fibra ajustable que contiene una pluralidad de puntas de boquilla para reorientar las fibras desde su orientación inicial en preparación para la expulsión desde la punta. El aparato puede incluir medios para cortar las fibras a longitudes especificadas, y medios para expulsar las fibras en una orientación específica con respecto al mandril giratorio. El aparato puede incluir un almacenamiento de fibra y alimentación continuos.

De acuerdo con una realización divulgada, se proporciona un método para fabricar un tubo de material compuesto que comprende girar un mandril que tiene una pared interior, y dirigir fibras de refuerzo cortas y una resina sobre la pared interior del mandril giratorio. Dirigir las fibras y la resina incluye suministrar fibras cortas discretas impregnadas de resina a una boquilla y expulsar las fibras suministradas a través de la boquilla hacia la pared interior del mandril que gira. El suministro de las fibras puede incluir cortar las fibras a partir de una longitud sustancialmente continua de fibra impregnada previamente. Dirigir las fibras y la resina incluye mezclar las fibras individuales con resina y expulsar la fibra mixta y la resina a través de una boquilla en la pared interior del mandril que gira. Dirigir las fibras y la resina también puede incluir formar capas de la resina y las fibras en la pared interior del mandril giratorio. El método puede comprender además fundir las capas juntas y curar las capas fundidas para formar una matriz de resina sustancialmente sólida reforzada por las fibras. La formación de las capas puede incluir mover relativamente el mandril y la boquilla a lo largo del eje central del mandril. La fusión de la resina entregada en la pared interior del mandril se puede lograr calentando el mandril.

El método puede comprender aplicar capas de una resina polimérica combinada con fibras cortas de refuerzo en la pared interior del mandril giratorio. El método puede comprender además fusionar las capas en una matriz de resina reforzada con fibra, sustancialmente continua. La aplicación de las capas puede incluir dirigir una corriente de fibras impregnadas previamente hacia la pared interior del mandril, y la fusión de las capas se puede lograr al fundir las capas.

Breve descripción de las ilustraciones.

La FIG. 1 es una ilustración de un diagrama de bloques funcional de un aparato para fabricar estructuras tubulares de material compuesto reforzadas con fibra.

La FIG. 2 es una ilustración de una vista en perspectiva de un tubo hecho por el método y aparato divulgados.

5 La FIG. 2A es una ilustración de una vista en perspectiva de un rotor de volante hecho por el método y aparato divulgados.

La FIG. 3 es una ilustración de una vista seccional de una parte del mandril, designada como FIG. 3 en la FIG. 1.

La FIG. 4 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método para fabricar estructuras tubulares utilizando el aparato mostrado en la FIG. 1.

10 La FIG. 5 es una ilustración de un corte transversal combinado y un diagrama de bloques del aparato mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 6 es una ilustración de una porción de una capa de material compuesto aplicado a la pared interior del mandril que se muestra en la FIG. 5.

La FIG. 7 es una ilustración de un bloque combinado y una vista seccional de una línea de suministro de fibra en la que las fibras secas están siendo recubiertas con resina.

15 La FIG. 8 es una ilustración de una vista seccional de una porción del mandril que se muestra en la FIG. 5 en la que las fibras y la resina se aplican por separado a la pared interior del mandril.

La FIG. 9 es una ilustración de una vista seccional de una porción del mandril, que muestra una corriente de fibras que se aplican sobre capas ya formadas de material compuesto.

20 La FIG. 10 es una ilustración de una vista en perspectiva de una punta de boquilla que forma parte del sistema de suministro de fibra mostrado en las FIGS. 1 y 5.

La FIG. 11 es una ilustración de una vista en perspectiva de una placa con ranuras utilizada para alinear un grupo de fibras de refuerzo cortas orientadas al azar en una matriz ordenada.

La FIG. 12 es una ilustración de una vista en perspectiva de un conjunto de fibras dispuestas para ser alimentadas a una boquilla dispensadora de fibra.

25 La FIG. 13 es una ilustración de un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales de un método para fabricar estructuras tubulares utilizando el aparato mostrado en las FIGS. 1 y 5.

La FIG. 14 es una ilustración de un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales de otro método para fabricar estructuras tubulares usando el aparato mostrado en las FIGS. 1 y 5.

La FIG. 15 es un diagrama de flujo de producción de aeronaves y metodología de servicio.

30 La FIG. 16 es un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

35 Un aparato 20 se muestra en la FIG. 1 que se utiliza para fabricar estructuras tubulares de material compuesto reforzadas con fibra. Por ejemplo, y sin limitación, el aparato 20 puede usarse para fabricar el tubo 22 cilíndrico de pared relativamente delgada que tiene una alta resistencia de aro mostrada en la FIG. 2, y el anillo 22a de volante circular de diámetro relativamente grande, de pared relativamente gruesa mostrado en la FIG. 2A que puede ser utilizado para el almacenamiento de energía. El aparato 20 también se puede usar para hacer una variedad de otras estructuras tubulares de diversos tamaños, proporciones y espesores, que para facilitar la descripción, se denominarán colectivamente a continuación como un tubo 22.

40 Con referencia ahora a las FIGS. 1, 2 y 3, el aparato 20 incluye ampliamente un mandril 24 girado alrededor de un eje 84 central por un accionamiento 28 rotativo, y un sistema 30 de suministro de fibra que aplica fibras 78 cortas de refuerzo (FIG. 3) en una pared 26 con forma cilíndrica interior del mandril 24. Como se usa aquí, las fibras "cortas" se refieren a fibras 78 de longitudes individuales discretas, en contraste con las fibras continuas. Las fibras 78 pueden ser fibras secas o fibras que han sido impregnadas previamente con una resina 79 polimérica adecuada (fibras impregnadas previamente), que pueden comprender, por ejemplo y sin limitación, un termoplástico o un termoplástico, o una combinación de los mismos. Un accionamiento 32 de desplazamiento produce un movimiento lineal relativo entre el mandril 24 y el sistema 30 de suministro de fibra a lo largo del eje 84 central, de modo que las fibras 78 cortas se aplican a la pared 26 de mandril interna en las capas por ejemplo 25a, 25b. Estas capas 25a, 25b se funden y/o curan sucesivamente para formar un material 25 compuesto (FIG.3) que comprende una matriz consolidada reforzada con fibra de resina 79 en la que las fibras 78 están sustancialmente alineadas en la dirección 50 23 circunferencial (FIG.2) del tubo 22.

Se proporciona un sistema 38 de suministro de resina para aplicar la resina 79 a las fibras 78 secas del sistema 30 de suministro de fibra, o a la pared 26 de mandril interna donde la resina 79 se moja y se mezcla con las fibras 78 secas a medida que se aplican a la pared 26 de mandril interna por el sistema 30 de suministro de fibra. Las capas 25a, 25b de resina 79 mezcladas con fibras 78 se aplican a la pared 26 de mandril interna y se calientan a la temperatura de fusión y/o curado de la resina 79 por medio de un sistema 34 de calentamiento que se usa para calentar el mandril 24. Un controlador 38, que puede comprender una PC (ordenador personal) o PLC (controlador lógico programable) controla y sincroniza el funcionamiento del accionamiento 28 rotativo, el accionamiento 32 de desplazamiento, los sistemas 34 de calentamiento y los sistemas 30, 38 de suministros.

El tubo 22 se construye en la pared 26 de mandril interna giratoria atomizando o depositando la resina 79 de matriz y las fibras 78 cortas en la pared 26 de mandril interna. Las fibras 78 se aplican al mandril 26 interno de manera que la velocidad de rotación del mandril 24 giratorio y la velocidad radial y axial de las fibras 78 están diseñadas para alinear las fibras 78 con la orientación circunferencial deseada. La orientación circunferencial sustancial de las fibras 78 aumenta la resistencia del aro del tubo 22. El contacto de las fibras 78 con el mandril 24 giratorio alinea y consolida las fibras 78 y la resina 79, y puede ayudar a distribuir la resina 79 y/o impregnar la fibra 78 con la resina 79. La densidad relativa de las fibras 78 y la resina 79 combinadas con la viscosidad relativa de la mezcla fibra-resina puede usarse para variar la fracción de volumen de fibra y la compactación, ya que la temperatura del mandril 24 puede controlarse junto con su velocidad de rotación. Se pueden usar varios métodos para aplicar las fibras 78 proyectando las fibras 78 a través de un tubo u otro orificio (no mostrado en la FIG. 1) de tal manera que las fibras 78 estén empaladas en la pared 26 de mandril interna rotativa, donde son esencialmente flotantes dentro de la resina 79 fundida y autoorientada en la dirección 23 circunferencial (FIG. 2) como un resultado de la rotación del mandril 24. Las fibras 78 pueden aplicarse como longitudes individuales de las fibras 78 o como grupos de fibras 78 derivadas del corte de longitudes cortas de cuerdas de fibra (no mostrados).

La FIG. 4 ilustra ampliamente los pasos generales de un método para fabricar un tubo 22 de material compuesto reforzado con fibra utilizando el aparato mostrado en la FIG. 1. A partir de 40, el mandril 24 gira alrededor de su eje 84 central mediante el accionamiento 28 rotativo. En el paso 42, el material 25 compuesto que comprende fibras 78 de refuerzo individuales y resina 79, se aplica a la pared 26 de mandril interna giratoria. En 44, las capas 25a, 25b (FIG. 3) del material 25 compuesto se acumulan sucesivamente en la pared 26 de mandril interna hasta que se alcanza el espesor de pared del tubo deseado "T" (FIG. 2). En el paso 46, cuando las capas 25a, 25b de material compuesto se forman en la pared 26 de mandril interna, se calientan a una temperatura preseleccionada por el mandril 26 calentado, lo que hace que la resina 79 se funda y se fusione en una matriz continua reforzada por las fibras 78 cortas. Cuando la resina 79 se aplica en forma líquida por el sistema 38 de suministro de resina (FIG. 1), el calentamiento del mandril 24 puede reducir la viscosidad de la resina 79 líquida, lo que puede resultar en un mejor flujo y distribución de la resina 79. Dependiendo de la resina 79 polimérica particular utilizada, el tubo 22 de material compuesto formado se cura y/o se enfría en el paso 48 y se retira del mandril 24.

La atención se dirige ahora a la FIG. 5, que ilustra detalles adicionales del aparato 20. El mandril 24 es generalmente de forma cilíndrica e incluye una pared 26 de mandril interna sustancialmente cilíndrica en el que se puede formar el tubo 22. El mandril 24 puede fabricarse a partir de un material rígido adecuado, tal como metal, mediante procesos convencionales tales como, sin limitación, maquinado o moldeo. En otras realizaciones, el mandril 24 puede estar formado por otro material que incluye materiales compuestos que poseen una conductividad térmica relativamente alta. En un ejemplo, el mandril 24 está hecho de un metal que tiene una conductividad térmica relativamente alta, un alto coeficiente de expansión térmica y una alta capacidad de deformación en relación con el tubo 22, de modo que el mandril 24 se puede calentar rápidamente para liberar el tubo 22 después de la consolidación final del tubo 22. Al menos un extremo 50 del mandril 24 puede estar abierto durante todo o una parte del proceso.

Mientras que la pared 26 de mandril interna en la realización ilustrada es sustancialmente cilíndrica, otras formas son posibles para producir estructuras tubulares distintas de los tubos 22 cilíndricos. Por ejemplo, la pared 26 interna del mandril 24 puede tener forma esférica, y la sección transversal de la pared 26 de mandril puede tener cualquiera de varias formas, tal como sin limitación, un cuadrado con esquinas redondeadas (no se muestra) o un ovoide (no se muestra). Además, la forma de la sección transversal de la pared de mandril interna puede no ser constante a lo largo de su longitud. Por ejemplo, la pared 26 de mandril interna puede no ser constante a lo largo de su longitud. Además, la sección transversal de la pared 26 de mandril puede hacer la transición entre diferentes formas a lo largo de su longitud, como por ejemplo, sin limitación, la transición de una forma esférica a una forma cilíndrica.

El mandril 24 está montado en rodamientos 62 adecuados para girar alrededor del eje 84 central de la pared 26 de mandril interna cilíndrica a una velocidad " ω " angular preseleccionada. El accionamiento 28 rotativo puede comprender un motor 52 adecuado que hace girar un engranaje 56 de accionamiento a través de un eje 54 de salida. El engranaje 56 de accionamiento acciona, a su vez, un engranaje 60 de anillo que rodea y se fija al mandril 24. Es posible una variedad de otras disposiciones de accionamiento giratorio, incluyendo los accionamientos por correa. Alternativamente, el mandril 24 puede montarse en una pinza (no mostrado) de un torno (no mostrado) que puede usarse para hacer girar el mandril 24 alrededor del eje 84 central.

El mandril 24 se calienta por los sistemas 34 de calentamiento que, en la realización ilustrada, comprenden bobinas 64 de calentamiento de resistencia eléctrica que rodean y se fijan a la superficie exterior del mandril 24. Las bobinas

64 de calentamiento son alimentadas por suministro 66 de energía eléctrica que suministra corriente eléctrica a las bobinas 64 de calentamiento a través de anillos 70 deslizantes. En otras realizaciones, el calentamiento del mandril se puede lograr al permitir que el mandril 24 gire en un baño de fluido estacionario (no mostrado) en el que el fluido se calienta mediante cualquier medio externo. El calentamiento del mandril también se puede lograr utilizando elementos de calefacción radiantes estacionarios (no mostrados) que se colocan cerca del mandril 24, o por cualquiera de una variedad de otros dispositivos y técnicas de calentamiento adecuados.

El sistema 30 de suministro de fibra comprende un suministro de fibras 78 cortas individuales que se suministran bajo presión, tal como la presión del aire, a través de una línea 76 de suministro a una boquilla 80. Son posibles otros sistemas de suministro de fibra adecuados, incluyendo aquellos que pueden entregar las fibras 78 en forma de cuerdas (no mostradas). El sistema 30 de suministro de fibra puede incluir un suministro (no mostrado) de fibras continuas (o cuerdas) que se cortan en las longitudes de fibra individuales deseadas mediante un mecanismo de corte adecuado (no mostrado). Dependiendo del diseño de la boquilla 80, las fibras 78 cortas individuales pueden entregarse de extremo a extremo en una sola corriente o en múltiples grupos o corrientes (no mostradas) de fibras 78. La boquilla 80 está orientada generalmente perpendicular al eje 84 central y está inclinada con respecto a la pared 26 de mandril interna por razones que se discutirán a continuación con más detalle. A medida que las fibras 78 cortas se transmiten a la pared 26 de mandril interna giratoria, el accionamiento 32 de desplazamiento desplaza el suministro 74 de fibra, el tubo 76 de suministro y la boquilla 80 linealmente a lo largo del eje 84 central. El sistema 30 de suministro de fibra se desplaza hacia adelante y hacia atrás 77 a lo largo de la pared 26 de mandril interna cilíndrica para formar capas sucesivas (véase FIG. 3) de resina 79 y fibras 78 cortas.

En otras realizaciones, el sistema 30 de suministro de fibra puede permanecer estacionario mientras que el mandril 24 se desplaza linealmente hacia adelante y hacia atrás a lo largo del eje 84 central. En otra realización más, el mandril 24, así como el suministro 74 de fibra, pueden permanecer estacionarios, mientras que el accionamiento 32 de desplazamiento desplaza solo la boquilla 80 y la línea de suministro 76 linealmente hacia atrás y hacia adelante sobre la pared 26 de mandril interna. Como resultado de la orientación de la boquilla 80 de suministro y la fuerza centrífuga generada por el mandril 24 giratorio, las fibras 78 se autoalinean entre sí como se muestra en 90 en la FIG. 6, en la dirección 23 circunferencial (FIG. 2) de la pared 26 de mandril interna. Mientras que el eje 84 central se muestra como sustancialmente horizontal en la realización ilustrada, en otras realizaciones, el eje 84 del mandril 24 puede estar orientado verticalmente, o en otros ángulos.

En una realización, las fibras 76 cortas pueden cortarse a partir de una fibra o cuerda continua (no mostrados) usando un mecanismo de corte (no mostrado) que forma parte del suministro 74 de fibra. Las fibras 78 cortas pueden impregnarse previamente con la resina 79, mientras que en otras realizaciones, las fibras 78 pueden estar secas o pegajosas. Las fibras 78 pueden comprender cualquiera de una variedad de materiales que se usan comúnmente para reforzar materiales compuestos, que incluyen, pero no se limitan a, vidrio, aramidas y carbono. Las fibras 78 pueden variar en longitud, dependiendo de la aplicación, con una proporción de aspecto seleccionada para proporcionar la máxima resistencia para la aplicación. Por ejemplo, en una realización, las fibras 78 pueden tener una longitud inferior a aproximadamente 3 mm, mientras que en otras realizaciones, la fibra puede tener una longitud superior a 3 mm y, de hecho, las fibras 78 pueden tener una longitud que exceda aproximadamente 12 mm, que a veces se denominan en la técnica fibras "largas". La longitud de las fibras 78 puede seleccionarse con base en la aplicación, y puede depender, al menos en parte, del radio de curvatura "R" de la pared 26 de mandril interna cilíndrica.

Como se mencionó anteriormente, el suministro 74 de fibra puede suministrar fibras 78 que están secas, pegajosas o impregnadas previamente con resina 79. Cuando las fibras 78 suministradas están secas, un sistema 38 de suministro de resina (Fig. 1) se puede usar para impregnar, recubrir o "humedecer" las fibras 78 con la resina 79. La FIG. 7 ilustra una realización de un sistema 38 de suministro de resina adecuado. En la realización de la Figura 5, una corriente 75 de fibras 78 secas individuales que pasan a través de la línea 76 de suministro en la dirección de la flecha 88 se humedecen con resina 79 de un suministro 84 de resina que se atomiza o se aplica de otro modo a las fibras 78 usando boquillas 86 de aplicador.

La FIG. 8 ilustra otra realización del sistema 38 de suministro de resina en el que la resina de un suministro 84 de resina se suministra a través de una línea 90 de suministro de resina a una boquilla 94 que atomiza la resina 79 sobre el mandril 26 interno en el área donde fluyen las fibras 78 secas desde la boquilla 80 a la pared 26 de mandril interna. En una variación de esta realización, la boquilla 94 de resina puede estar orientada para recubrir por atomización las fibras 78 secas con resina 79 cuando las fibras 78 salen de la boquilla 80. La boquilla 94 de resina, así como la línea 90 de suministro de resina, pueden acoplarse con el accionamiento 32 de desplazamiento (FIG. 5) para que la boquilla 80 de aplicación de fibra y la boquilla 94 de resina se desplacen juntas y permanezcan fijas entre sí.

La FIG. 9 ilustra mejor cómo se aplican las fibras 78 cortas individuales a la pared 26 de mandril interna. Como se indicó anteriormente, la mezcla de fibras 78 y resina 79 se aplica a la pared 26 de mandril interna para formar un material 25 compuesto, solo dos de dichas capas 25a, 25b se ilustran en la FIG. 9. Como resultado del mandril 24 de calentamiento, la capa 25b se cura, fijando así la posición de las fibras 78 dentro de la capa 25b. Sin embargo, la capa 25a, que se ha aplicado recientemente, aún no se ha curado, por lo que las fibras 78 en la capa 25a pueden estar libres para cambiar sus orientaciones dentro de la resina 79 circundante de la capa 25a cuando el mandril 24

está girando. Como se mencionó anteriormente, la rotación del mandril 24 obliga a las fibras 78 a autoalinearse en la dirección 23 circunferencial. La rotación y el calentamiento del mandril 24 continúan a medida que la resina 79 se cura hasta que todas las capas 25a, 25b, etc., se curan al menos parcialmente o se curan sustancialmente por completo. Las fibras 78 dispensadas desde una o más boquillas 80 de suministro de fibra pasan por una punta 81 de boquilla arqueada y salen de la punta 81 de boquilla en un ángulo θ a la tangente 87 de la superficie 102 de la capa 25a sin curar en el punto de impacto 83 de las fibras 78 sobre la superficie 102. La superficie 102 interna de la capa 25a sin curar se mueve a una velocidad V_i con respecto a la boquilla 80 estacionaria. Las fibras 78 se mueven a una velocidad $V_f \cos \theta$ en la misma dirección que V_i y con una velocidad $V_f \sin \theta$ en la dirección radial. Cuando la fibra 78 impacta la superficie 102 interna de la capa 25a, el borde 85 delantero de la fibra 78 se pega en el punto de impacto 83, y el conjunto giratorio del mandril 24 y la capa 25a arrastran este punto 83 impactado de la fibra 78 circunferencialmente 23. La velocidad radial de la fibra 78 en combinación con la fuerza producida por la rotación del mandril 24 hace que la fibra quede sustancialmente plana sobre la superficie 102 interna de la capa 25a.

Como se mencionó anteriormente, aunque solo se muestra una sola corriente de fibras 78 que se expulsan en serie de la boquilla 80, se pueden administrar múltiples corrientes (no mostradas) de fibras 78 individuales desde las puntas 81 de boquilla en múltiples boquillas 80 en otras realizaciones. En una realización práctica, donde $V_i = V_f \cos \theta$, la punta 81 de boquilla se mueve axialmente a la rata de un espesor de fibra (o cable) por revolución del mandril 24. En otras realizaciones, una relación de operación preferida está representada por $V_i = N V_f \cos \theta$, donde N es un número entero, y la rata de movimiento axial es un diámetro de fibra por N revoluciones del mandril 24.

En la capa 25a de material compuesto no curada, una fibra 78 en algún radio R_f en la capa 25a experimentará una fuerza radial equivalente al peso de todas las fibras 78 y la resina 79 sobre ella, multiplicada por la fuerza centrífuga $F_c = m V_i^2 / R_f$, donde g es la aceleración de la gravedad y R_f es el radio de la profundidad promedio de la capa 25a sin curar. La fuerza F_c empujará la fibra 78 contra la capa 25b curada relativamente inmóvil, compactando así las fibras 78 y dando como resultado una fracción de fibra relativamente alta. Este proceso actuará para formar las fibras 78 en la capa 25a sin curar en una geometría de fracción de alto volumen.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 9, la punta 81 de boquilla está orientada sustancialmente perpendicular al eje 84 central (FIG. 5) del mandril 24, lo que resulta en un tendido de fibras 78 en el aro o dirección 23 circunferencial del tubo 22. En algunas realizaciones, puede ser deseable tener alguna fracción de las fibras 78 con alguna orientación parcial a lo largo del eje 84 central. Esta orientación axial de una fracción de las fibras 78 puede lograrse mediante cualquiera de al menos dos técnicas. En una técnica, la punta 81 de boquilla puede orientarse en algún ángulo (no mostrado) a lo largo del eje 84 central, de modo que la velocidad de las fibras 78 que salen de la punta 81 de boquilla tengan un componente longitudinal (no mostrado) generalmente paralelo al eje central mostrado en la FIG. 5. Usando una segunda técnica, la orientación de la punta 81 de boquilla puede permanecer fija, pero puede estar provista de un componente de velocidad axial, haciendo que se mueva hacia arriba y hacia abajo en el eje 84 central del mandril 24, dando a la fibra 78 de salida un componente de velocidad axial. Debe observarse aquí que, si bien solo se ha mostrado una única boquilla 80, se pueden usar múltiples boquillas 80 para aumentar la rata y la productividad del tendido.

La atención se dirige ahora a la FIG. 10 que ilustra los detalles de una forma de la punta 81 de boquilla, pero en la cual se han omitido las paredes laterales, los resortes y los mecanismos de accionamiento para mayor claridad. La punta 81 de boquilla comprende un cuerpo 105 que tiene una entrada 112 de fibra y una salida 115 de fibra conectadas por un pasaje 117 interno generalmente arqueado. La punta 81 de boquilla incluye además cuatro juegos de rodillos 106, 108 opuestos que guían las fibras 78 por su paso por la punta 81 de boquilla. Un espacio 110 entre cada conjunto de rodillos 106, 108 es ligeramente menor que el diámetro de una fibra 78 que forma una punzada 114. Uno de los rodillos 106, 108 en cada conjunto de los mismos puede ser cargado por resorte para aplicar una fuerza F a las fibras 78 con el fin de agarrar efectivamente las fibras 78 cuando pasan a través de la punta 80 de boquilla y mantener las fibras 78 sustancialmente rectas con respecto a la línea central (no mostrada) de la punta 80 de boquilla. Uno de los rodillos 106a cerca de la salida 115 de fibra puede ser impulsado por un motor (no mostrado) o similares que, en combinación con la fuerza F del resorte, agarra el borde 107 delantero de cada fibra 78 y tire de ella a través de la punta 81 de boquilla hasta que el borde 109 de arrastre de la fibra 78 se mueva a través de la salida 115 de fibra. En otras realizaciones, los rodillos 106, 108 adicionales también pueden ser accionados por motores (no mostrados).

En funcionamiento, una fibra 78 ingresa a la punta 81 de boquilla a través de la entrada 112 de fibra y es empujada a través de la punta 81 de boquilla por la fuerza aplicada a las fibras 78 por el suministro 74 de fibra (FIG. 5) hasta que el borde 107 delantero de la fibra 78 se engancha al rodillo 106a que agarra la fibra 78. En realizaciones donde la alimentación de fibra es una fibra continua que se corta en longitudes cortas mediante el mecanismo de corte mencionado anteriormente (no mostrado), la fibra 78 puede cortarse por el mecanismo de corte dentro de la boquilla 80 mostrada en la FIG. 9, separándola del resto de la alimentación de fibra y permitiendo que el rodillo 106a tire de ésta hasta que sea expulsada desde la salida 115 de fibra. El rodillo 106a gira a una rata angular que es suficiente para dar a las fibras 78 que dejan a la salida 115 de fibra una velocidad que las llevará hasta la pared 26 de mandril. Al salir de la salida 115 de fibra, las fibras 78 pueden atomizarse con resina 79 a medida que avanzan hacia la pared 26 de mandril interna.

En una realización, el rodillo 106a puede accionarse continuamente para impulsar continuamente las fibras 78 individuales de extremo a extremo en una corriente de fibra casi constante desde la salida 115 de fibra. El controlador 36 (FIG. 1) se puede usar para sincronizar la alimentación de fibra desde la boquilla 80, que puede ser necesaria para detener la alimentación de fibra momentáneamente mientras la fibra 78 se está cortando.

La FIG. 11 ilustra otra técnica para alimentar fibras 78 individuales a través de la boquilla 80 y punta 81 de boquilla. En este ejemplo, las fibras 78 cortadas previamente, individuales y orientadas al azar pueden colocarse en un dispositivo de alineación, tal como una placa 122 que tiene ranuras 124. En el ejemplo ilustrado, las ranuras 124 son generalmente paralelas. Sin embargo, en otras realizaciones, las ranuras 124 pueden estrecharse hacia un punto de alimentación (no mostrado) donde se dirigen hacia la punta 81 de boquilla. La placa 122 puede vibrar como se muestra en 126, de modo que las fibras 78 colocadas en la placa 122 se clasifican y se introduzcan en las ranuras 124, alineando así las fibras 78 de extremo a extremo en una matriz 95 como se muestra en la FIG. 12. Las fibras 78 alineadas se pueden canalizar luego en una corriente en serie (no mostrada) que se alimenta a través de la boquilla 80. Pueden ser posibles otras técnicas para organizar fibras 78 orientadas al azar en una matriz 95 ordenada antes de ser alimentadas a la boquilla 80.

La atención se dirige ahora a la FIG. 13 que ilustra detalles adicionales de un método para fabricar un tubo 22 de material compuesto reforzado con fibra utilizando el aparato 20 de la FIG. 1. A partir de 128, se establece una alimentación continua de fibra 78 en el sistema 30 de suministro de fibra. En 130, el mandril 24 se gira y se calienta. En 132, un extremo de la fibra 78 se alimenta a la boquilla 80. En 134, la fibra 78 se corta a la longitud deseada y en 136, la corta longitud de fibra cortada 78 se expulsa desde el extremo de la punta 81 de boquilla sobre la pared 26 de mandril interna. En 138, la punta 81 de boquilla y el mandril 24 están relativamente desplazados axialmente a la velocidad apropiada para formar capas sucesivas de material 25 compuesto en la pared 26 de mandril interna. En algunos casos donde la resina 79 utilizada es un termoes estable, el mandril 24 calentado puede curar completamente el tubo 22, lo que puede eliminar o al menos reducir la necesidad de curado posterior en un horno o autoclave (no mostrado). Sin embargo, en otros casos, el tubo 22 puede ser curado solo parcialmente por el calentamiento provisto por el mandril 24, lo que requiere un curado adicional en un horno o autoclave, mostrado en 140. Dependiendo de la velocidad de rotación del mandril 24, la fuerza centrífuga generada por el mandril 24 giratorio puede ser suficiente para consolidar y compactar el material 25 compuesto en un grado que haga innecesario el uso de fuerzas de vacío para compactar y consolidar el material 25 compuesto.

La FIG. 14 ilustra detalles de una realización alternativa del método para fabricar tubos 22 reforzados con fibra. A partir de 142, el mandril 24 se gira y se calienta. En 144, se establece una colección 120 de fibras 78 cortas en el sistema 30 de suministro de fibra. En 146, las fibras 78 vibran en una matriz 95 organizada de fibras 78. En 146, los extremos de las fibras 78 en la matriz 95 se alimentan a la boquilla 80. En 150, las fibras 78 cortas se expulsan desde el final de la punta 81 de boquilla sobre el mandril 26 interno giratorio. En 152, la punta 81 de boquilla y el mandril 24 están relativamente desplazados para formar capas 25a, 25b de material 25 compuesto en la pared 26 de mandril interna. En 154, el tubo 22 de material compuesto puede curarse posteriormente, según se requiera.

Con referencia a las FIGS. 15 y 16, las realizaciones de la divulgación se pueden usar en el contexto de un método 156 de fabricación y servicio de aeronave como se muestra en la FIG. 15 y una aeronave 158 como se muestra en la FIG. 16. Durante la preproducción, el método 156 a manera de ejemplo puede incluir la especificación y el diseño 160 de la aeronave 158 y la adquisición 162 de material. Durante la producción, tienen lugar la fabricación 164 de componentes y subconjuntos y la integración 166 del sistema de la aeronave 158, en la cual el método y el aparato divulgados pueden usarse para fabricar estructuras tubulares usadas en componentes y subconjuntos de la aeronave 158. A partir de entonces, la aeronave 158 puede pasar por la certificación y entrega 178 para ser puesta en servicio 180. Mientras está en servicio por parte de un cliente, la aeronave 158 puede ser programada para el mantenimiento 182 y servicio de rutina (que también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, etc.).

Cada uno de los procesos del método 156 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los propósitos 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 servicio, etc.

Como se muestra en la FIG. 16, la aeronave 158 producida por el método 156 a manera de ejemplo puede incluir un fuselaje 184 con una pluralidad de sistemas 186 y un interior 188. Ejemplos de sistemas 186 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema 190 de propulsión, un sistema 192 eléctrico, un sistema 194 hidráulico, y un sistema 196 ambiental. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. El método y el aparato divulgados se pueden usar para hacer estructuras tubulares usadas en el fuselaje 184 y en el interior 188 de la aeronave 158. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la invención se pueden aplicar a otras industrias, tal como la industria automotriz.

El aparato incorporado aquí puede emplearse durante una o más de las etapas del método 156 de producción y servicio. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso 164 de producción pueden fabricarse o manufacturarse de manera similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave

158 está en servicio. Además, se pueden utilizar una o más realizaciones de aparatos durante las etapas 164 y 166 de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblaje o reduciendo el coste de una aeronave 158. De manera similar, una o más realizaciones de aparatos pueden utilizarse mientras la aeronave 158 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, a mantenimiento y servicio 182.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un tubo (22, 22a) de material compuesto, que comprende:
hacer girar un mandril (24) que tiene una pared (26) interna; y
dirigir fibras (78) de refuerzo cortas y resina (79) hacia la pared interior del mandril giratorio, en el que la dirección de las fibras y la resina incluye:
5 mezclar fibras (78) secas individuales con la resina (79) en una línea (76) de suministro a una boquilla (80); y
aplicar las fibras mixtas y la resina a través de la boquilla (80) sobre la pared (26) interna giratoria.
2. El método de la reivindicación 1, en el que las fibras se cortan a partir de una longitud sustancialmente continua de fibra impregnada previamente.
- 10 3. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que dirigir las fibras y la resina incluye formar capas (25) de la mezcla de fibras y resina sobre la pared (26) interna giratoria.
4. El método de la reivindicación 3, que comprende además:
fundir las capas (25) juntas;
consolidar y curar las capas fundidas.
- 15 5. El método de la reivindicación 3, en el que la formación de las capas (25) se realiza moviendo relativamente el mandril (24) y la boquilla (80) a lo largo de un eje central del mandril.
6. El método de la reivindicación 3, que comprende además:
fundir la resina (79) entregada en la pared interior calentando el mandril.

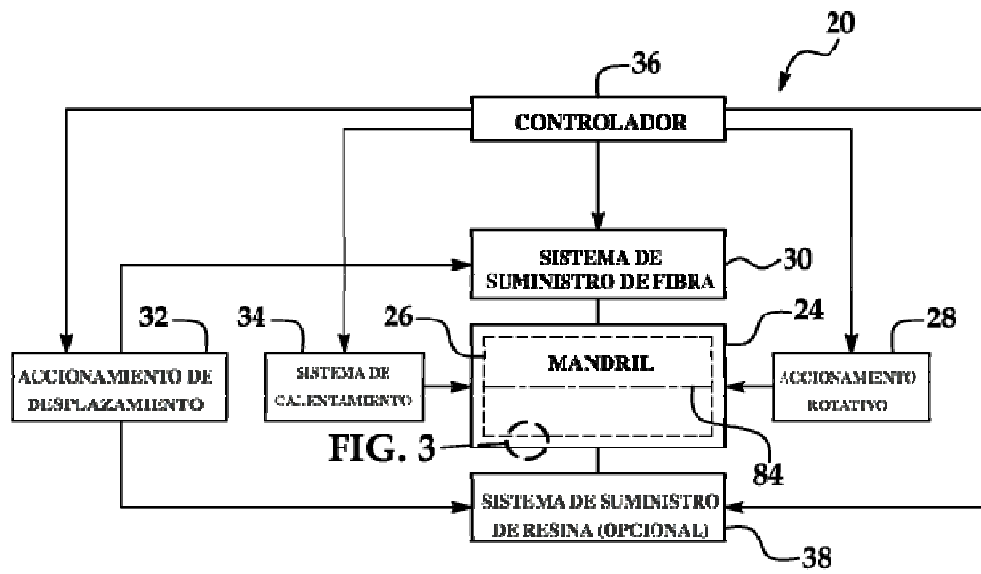


FIG. 1

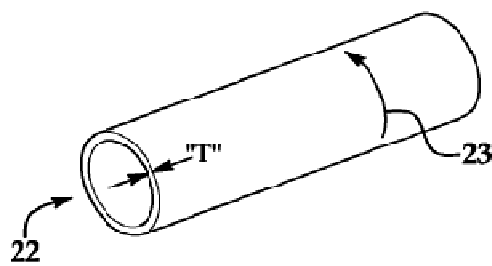


FIG. 2

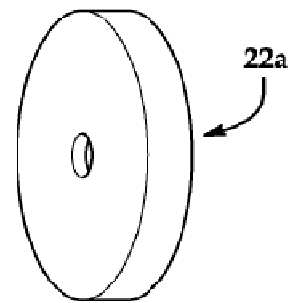


FIG. 2A

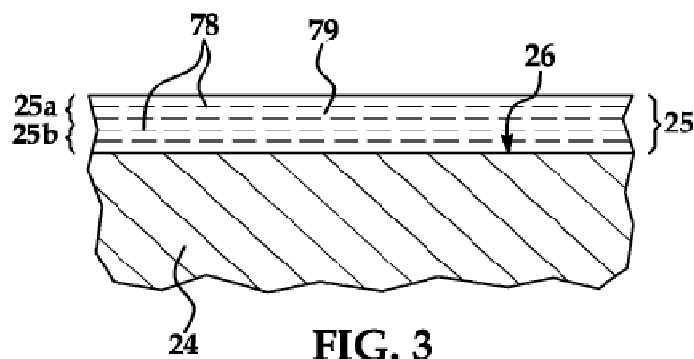


FIG. 3



FIG. 4

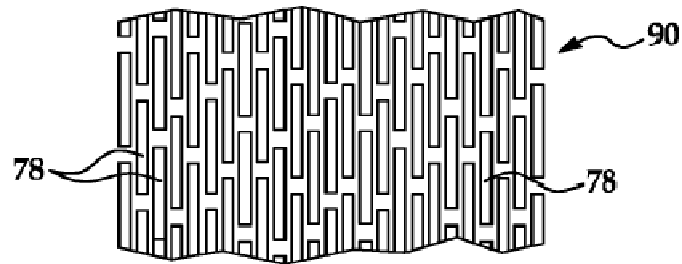


FIG. 6

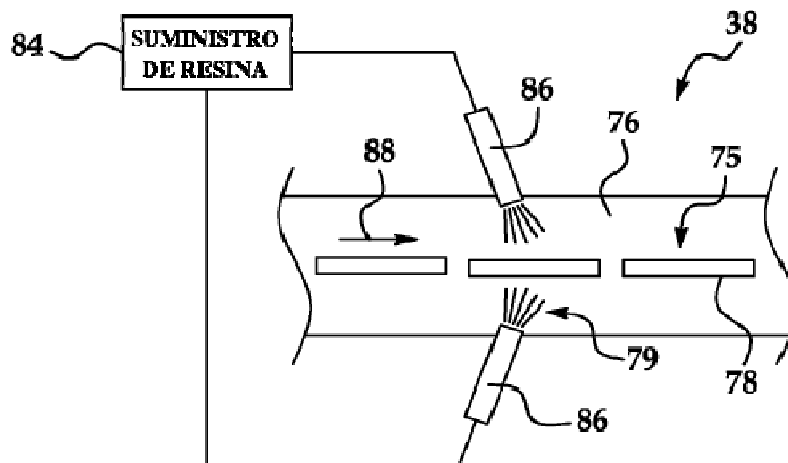


FIG. 7

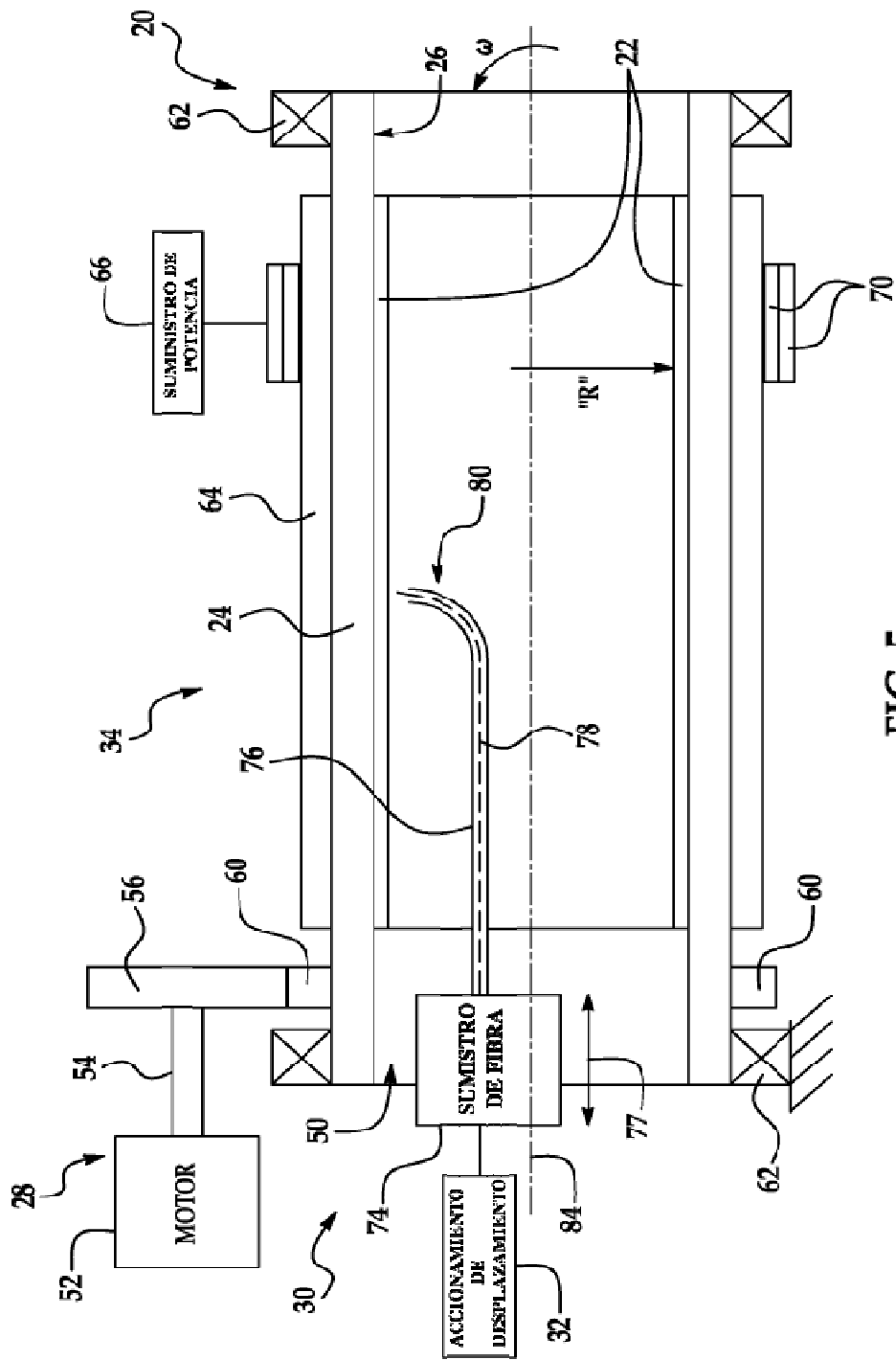


FIG. 5

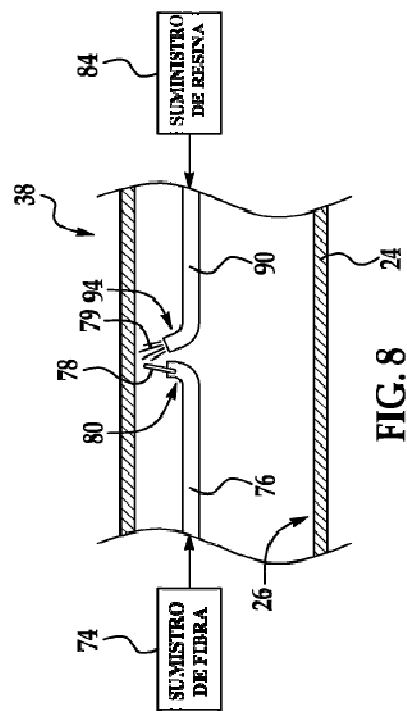


FIG. 8

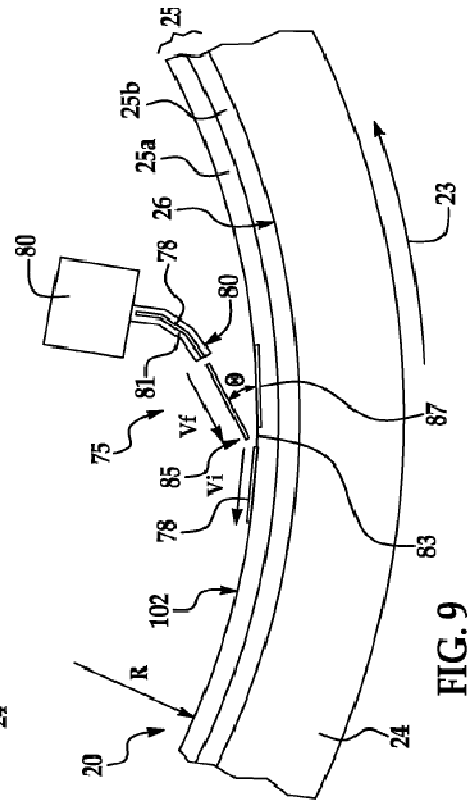


FIG. 9

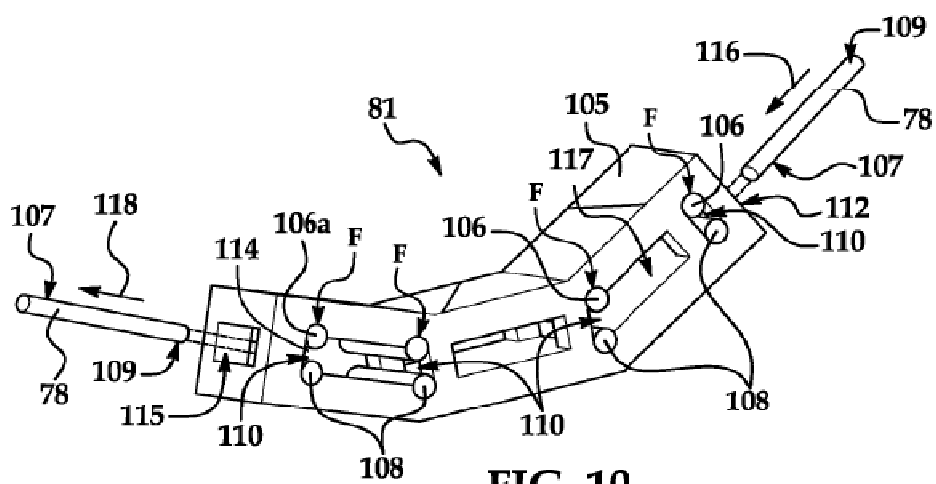


FIG. 10

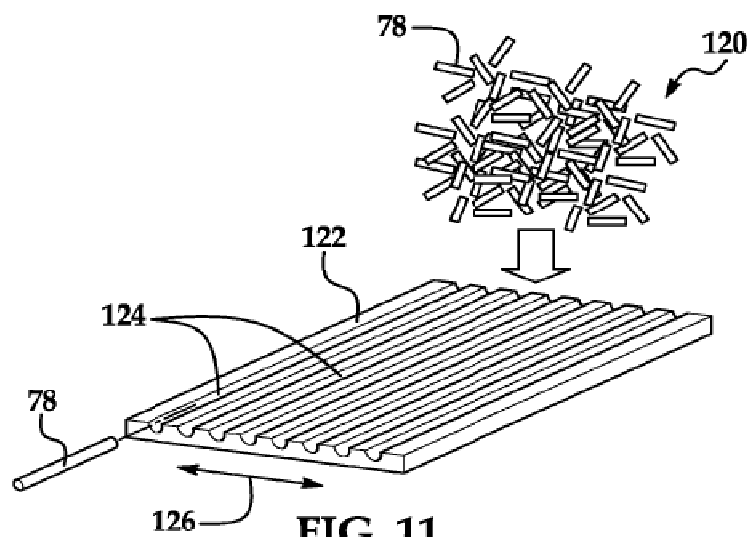


FIG. 11

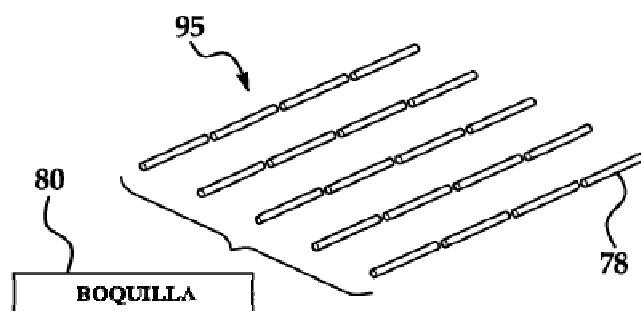


FIG. 12

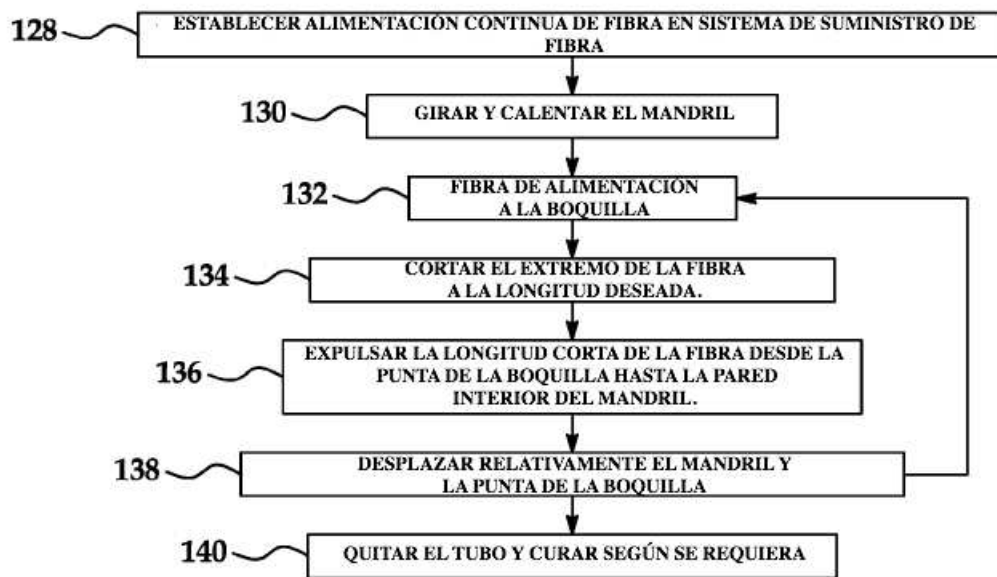


FIG. 13

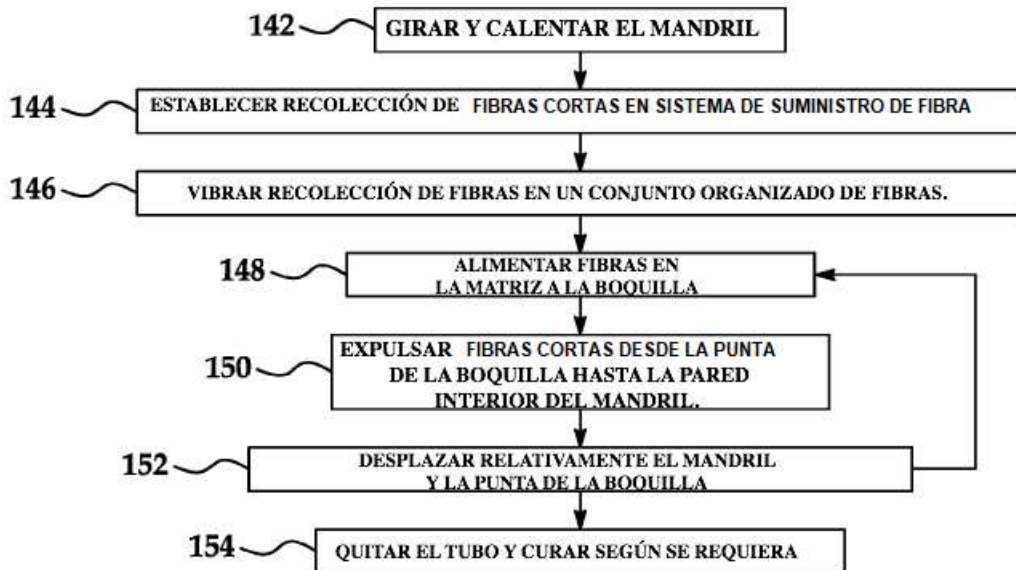


FIG. 14

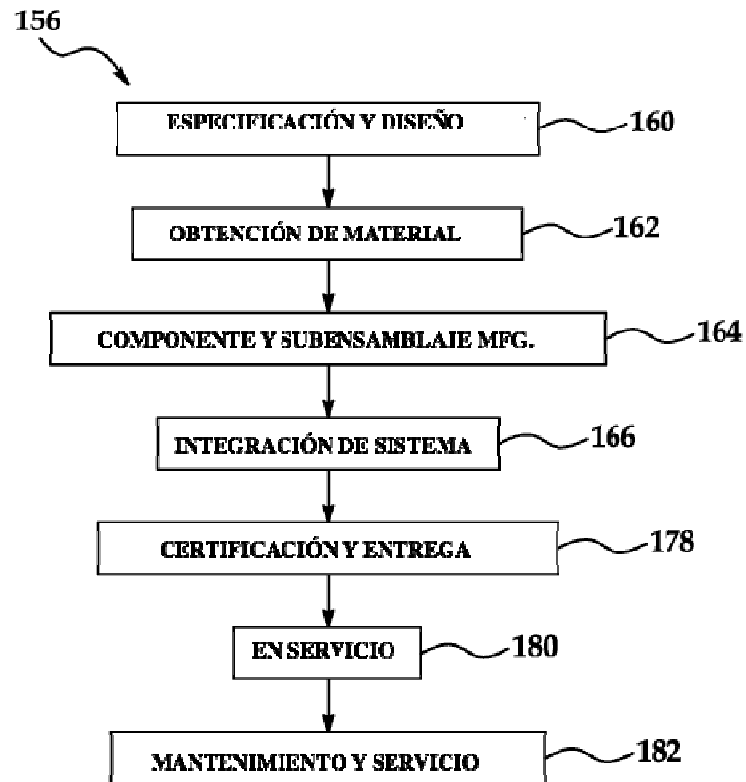


FIG. 15

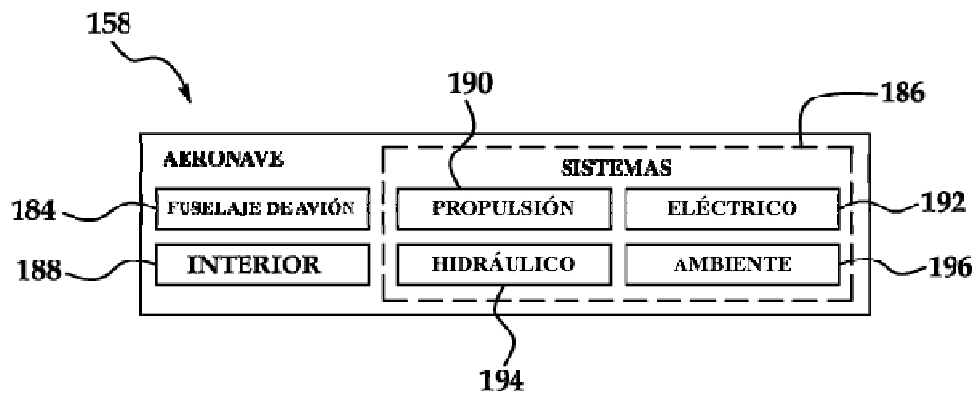


FIG. 16