

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 350**

51 Int. Cl.:

**B23P 17/04** (2006.01)

**B23P 23/04** (2006.01)

**B65G 47/74** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2012 E 12750494 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015 EP 2731752**

54 Título: **Fabricación rápida de una pieza de material compuesto**

30 Prioridad:

**12.07.2011 US 201161507115 P**

**06.10.2011 US 201113267876**

**06.10.2011 US 201113267878**

**07.11.2011 US 201113291083**

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

**10.09.2015**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)**

**100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**MILLER, JEFFREY L.;  
DOSTERT, STEPHEN J. y  
LOUDERBACK, MICHAEL J.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 545 350 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**

Fabricación rápida de una pieza de material compuesto

5 ANTECEDENTES

Los materiales compuestos que incluyen capas de fibras de refuerzo incrustadas en una matriz son muy deseables por su ligero peso y su alta resistencia. Un ejemplo de un material compuesto de este tipo es plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP), donde los constituyentes incluyen fibras de carbono incrustadas en una matriz epoxi.

10 La fabricación de una pieza de material compuesto consiste en depositar fibras de refuerzo en una superficie de herramienta de una herramienta de mandril de tendido. Las fibras pueden estar preimpregnadas con resina tras la deposición ("preimpregnados"), o pueden estar secas y, posteriormente, infundidas con resina. Las fibras infundidas con resina o las fibras preimpregnadas son embolsadas y después curadas.

15 El documento WO 01/26869 A1 muestra un molde de tendido que comprende un armazón de metal de contorno que tiene un revestimiento conformado suprayacente de poliuretano. La superficie de moldeo de contorno está soportada por una pluralidad subyacente de los elementos de partición de nervaduras dentro de la estructura del armazón.

20 El documento WO 98/50180 A1 muestra un procedimiento de fabricación de una herramienta híbrida que sirve tanto como una forma sobre la que son aplicados los materiales constituyentes para unir o curar en una parte en una configuración deseada, y para sostener los materiales unidos o curados en la posición originalmente aplicada durante el mecanizado posterior de un borde periférico de la pieza mediante un herramienta de mecanizado por CNC.

25 El documento EP 0 521 813 A1 muestra una herramienta de conformación de material compuesto fabricada asegurando bloques de relleno conformables entre cabezales de material compuesto y contorneando los bloques para hacer coincidir la forma de los cabezales, para formar una estructura de soporte con una superficie continua. Las capas de estratificados de material compuesto no curados se tienden sobre la estructura de soporte y se curan. Los bloques de relleno pueden ser retirados después del curado.

30 El documento US 4.863.663 A muestra el proceso de diseño de un componente de un vehículo de motor haciendo dibujos de las secciones transversales de la pieza a intervalos espaciados a lo largo de la superficie. Las plantillas de cartón se cortan a la forma de la sección transversal del interior de la pieza, y se montan sobre una base rígida a los mismos intervalos espaciados que los intervalos espaciados de las secciones transversales de los dibujos para definir un armazón esquelético. Un material laminar tal como cartón es unido de forma adhesiva al armazón esquelético, para definir un modelo aproximado de la pieza. Este modelo aproximado es estratificado después con fibra de vidrio y resina de unión y terminado con la dimensión superficial deseada del acabado exterior mostrado en el dibujo. Esto proporciona un modelo acabado de la pieza, o la construcción de las fibras de vidrio y la resina de unión puede ser retirada del cartón para ser una pieza prototipo. Además, el modelo puede ser usado para fabricar un molde del cual pueden hacerse un número de piezas prototipos.

45 El documento GB 2.116.594 A muestra un entorno de sala limpia para fabricar cuerpos de plásticos moldeados, especialmente envases para la industria farmacéutica, comprende al menos dos entornos cerrados independientes separados por una pared, manteniéndose una de ellas a elevada presión por aire filtrado. La pared tiene una abertura en ella y una máquina de moldeo para fabricar los envases sobresale a través de la abertura y está sellada en ella pero puede moverse dentro y fuera de la abertura, por ejemplo sobre raíles, estando conectados los servicios para la máquina a ello en el entorno mientras los cuerpos producidos emergen de esa parte de la máquina que, en uso, está en el entorno que está a una presión elevada.

50 El documento US 2009/0076638 A1 muestra un procedimiento y aparato para gestionar la producción de una pieza de material compuesto. Una definición de la pieza tridimensional digital es recibida para la pieza de material compuesto. Una pluralidad de capas de la pieza de material compuesto es generada usando la definición digital de la pieza con respecto a un conjunto de variables de comportamiento para un sistema automático de colocación del material. Se identifican un tiempo necesario para formar la pluralidad de capas de la pieza de material compuesto para formar un resultado y una proporción de coste del ritmo de producción. La producción de la pieza de material compuesto se gestiona utilizando el resultado.

60 La fabricación rápida de piezas de material compuesto es deseable para una amplia variedad de razones. Fabricación rápida se puede utilizar para crear prototipos de una pieza de una aeronave, de un automóvil o de otra estructura para proporcionar una evaluación competitiva, estudio comercial, o incluso un modelo de trabajo. La fabricación rápida se puede utilizar para reparar un producto tal como una aeronave, automóvil, aerogenerador o una estructura civil (por ejemplo, un componente de un puente) y devolver rápidamente ese producto al servicio útil.

SUMARIO

65 La presente invención proporciona un procedimiento de fabricación de una pieza de material compuesto que tiene fibras de refuerzo incrustadas en una matriz. Comprende la fabricación de una herramienta no maestra de mandril

del tendido en un sitio de fabricación que tiene una sección limpia y una sección sucia adyacente. La herramienta incluye una cara frontal de material compuesto que proporciona una superficie de la línea del molde. La fabricación de la herramienta incluye la creación de una estructura celular, rellenando células de la estructura celular con un material similar a la espuma, y mecanizando el material similar a la espuma para obtener una superficie mecanizada en la sección sucia, y tendiendo un material compuesto sobre la superficie mecanizada para formar la cara frontal en la sección limpia. El procedimiento comprende además utilizar la herramienta no maestra en ese sitio para formar un tendido de fibras de refuerzo en la sección limpia.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un procedimiento de fabricación de una herramienta de mandril de tendido no maestra.  
 Las Figuras 2A-2D son ilustraciones de una herramienta de mandril de tendido no maestra durante las diversas etapas de la fabricación.  
 La Figura 3 es una ilustración de una célula de la fabricación que tiene secciones limpia y sucia adyacentes.  
 La Figura 4 es una ilustración de un procedimiento de uso de la célula de fabricación para fabricar tanto la herramienta de mandril del tendido como la pieza de material compuesto.  
 La Figura 5 es una ilustración de un procedimiento de determinar si la anchura de la cinta puede ser aumentada para un tendido de una pieza de material compuesto.  
 La Figura 6 es una ilustración de un procedimiento para seleccionar una célula para fabricar una pieza de material compuesto.  
 La Figura 7 es una ilustración de una máquina de computación para realizar el procedimiento de la Figura 6.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se hace referencia a la Figura 1, que ilustra un procedimiento de creación de una herramienta de mandril de tendido no maestra para la fabricación de una pieza de material compuesto. Una herramienta no maestra se refiere a una herramienta que no está conformada mediante un molde permanente.

En el bloque 110, se fabrica una estructura celular según las dimensiones de un diseño de una pieza. La estructura celular proporciona un tocho que abarcará toda la herramienta e incluirá el contorno y el perfil aproximados de la pieza. Para ciertas piezas, tales como piezas de aeronaves, ésta puede ser una curvatura constante o un contorno complejo del compuesto. La estructura celular puede estar conformada a partir de tableros de cabecera. El sistema de materiales, y la densidad y el espesor de los tableros de cabecera pueden ser adaptados a una durabilidad deseada de la herramienta de mandril. Los sistemas de materiales pueden incluir, sin limitación, epoxi y Bismaleimida (BMI). Los tableros de cabecera se pueden cortar con un chorro de agua, fresadora u otra herramienta. Se pueden vincular juntos por adherencia, sujeción mecánica o ambos. Los ángulos se pueden fijar para un refuerzo adicional.

Se hace referencia adicional a la Figura 2A, que ilustra una estructura 112 celular de "caja de huevos". Esta estructura celular se forma a partir de tableros 114 de cabecera, que definen una matriz 116 de células abiertas. La estructura 112 de caja de huevos está abierta en la parte superior y en el fondo.

En el bloque 120, la estructura 112 celular se rellena con un material 122 similar a la espuma que se expande (véase la Figura 2B). El material 122 similar a la espuma mantiene la estabilidad dimensional durante las condiciones del proceso como el tendido y el curado. Por ejemplo, el material 122 similar a la espuma no se degradaría, ni se encogería ni se expandiría a las temperaturas de infusión y curado de la resina, o del curado del preimpregnado. El material 122 similar a la espuma no se degradaría ni se encogería ni se expandiría a estas temperaturas. El material 122 similar a la espuma no debería distorsionarse bajo presión durante la infusión de la resina (o la presión de curado en autoclave de los preimpregnados). Los requisitos de estabilidad dimensional y de resistencia a la compresión deben ser mantenidos de modo que una cara frontal de material compuesto, que se forma posteriormente en la estructura 112 celular, se cura en una posición predecible. Si no se consigue la estabilidad dimensional del material 122 similar a la espuma, el material adicional puede ser añadido a la cara frontal. Esto no es deseable. Por ejemplo, si la cara frontal no se encuentra en su ubicación deseada, algunas superficies de la cara frontal podrían ser infracortadas (no limpiadas) y otras superficies podrían ser sobrecartadas (demasiado material eliminado).

Ejemplos del material 122 similar a la espuma incluyen, pero no se limitan a, poliuretano, poliisocianurato, espuma de carbono, cerámica, y hormigón aireado en autoclave. El material 122 similar a la espuma puede estar en forma de bloques, o puede ser vertido y curado, o puede ser añadido por alguna combinación de los mismos. El material 122 similar a la espuma puede sellarse con materiales compatibles (por ejemplo, una resina matriz o una resina alternativa) para impedir la entrada de un exceso de adhesivo en el material similar a la espuma.

En el bloque 130, el material 122 similar a la espuma y los tableros 114 de cabecera son mecanizados para obtener una superficie deseada para el tendido de una cara frontal. Un ejemplo de la superficie 132 mecanizada resultante se ilustra en la Figura 2C.

En el bloque 140, se forma la cara frontal sobre la superficie 132 mecanizada. Antes de formar la cara frontal, sin embargo, se puede aplicar una capa de adhesivo a la superficie 132 mecanizada para ayudar a la adhesión de la

cara frontal a los tableros 114 de cabecera y no dejar que la resina penetre en el material 122 similar a la espuma. El adhesivo es preferiblemente compatible con la resina matriz y puede estar soportado o no soportado.

5 La cara frontal se puede conformar colocando el tejido que incluye fibras de refuerzo sobre la capa adhesiva. Las fibras pueden estar secas o pueden estar preimpregnadas. Si las fibras están secas, las fibras secas son posteriormente infundidas con resina. Esta resina se ha referido como la resina "matriz". Las fibras infundidas con resina o los preimpregnados son después embolsadas y curadas. La cara frontal puede estar vinculada a los tableros de cabecera por la combinación de adherencia y fijación mecánica. La fijación mecánica se puede realizar con clips o corchetes.

10 En el bloque 150, el material 122 similar a la espuma puede ser retirado de la estructura 112 celular. Para las fibras infundidas con resina, el material 122 similar a la espuma se puede retirar después de la infusión de resina, pero antes del curado. Para los preimpregnados, el material 122 similar a la espuma se puede retirar después del curado. En algunas realizaciones, el material 122 similar a la espuma puede ser arrancado y extraído desde el lado posterior de la estructura 112 celular. En otras realizaciones, el material 122 similar a la espuma puede retirarse intacto como bloques.

20 En algunas realizaciones, el material 122 similar a la espuma puede ser retirado por completo de la estructura 112 celular. El material 122 similar a la espuma se puede retirar para asegurar que se cumplen los requisitos térmicos durante el curado (por ejemplo, para asegurar que el calor es transferido a través del lado posterior de la herramienta). El material 122 similar a la espuma es un aislante que puede aislar la parte trasera de la herramienta de una fuente de calor, interfiriendo de ese modo con las temperaturas necesarias en los tiempos requeridos según lo determinado por los requisitos del perfil de curado. Para las herramientas que tienen tableros de cabecera cortos, el material similar a la espuma puede tener un menor impacto térmico y, en consecuencia, puede dejarse en su lugar.

30 Si los bloques del material 122 similar a la espuma se retiran intactos, los bloques pueden ser reutilizados. La reutilización de los bloques puede reducir los costes futuros y aumentar la velocidad de fabricación. Para permitir la retirada intacta, se toman medidas antes de llenar la estructura 112 celular. Por ejemplo, las paredes de los tableros 114 de cabecera pueden estar revestidas con láminas de deslizamiento (láminas hechas de materiales como teflón, nilón, fluoroelastómero), o pueden estar forradas con películas separables, u otro material que reduce la adhesión o el coeficiente de fricción entre el material 122 similar a la espuma y los tableros 114 de cabecera. Además, los ángulos de desmoldeo en la estructura 112 celular pueden facilitar la retirada ya que un ángulo puede mejorar la facilidad con la que se extrae el material 122 similar a la espuma.

35 En el bloque 160, la superficie expuesta de la cara frontal está mecanizada y probada en banco hasta un perfil final. El mecanizado final asegura tolerancias que son normalmente difíciles de alcanzar con las típicas piezas moldeadas de herramientas maestras. El espesor final de la cara frontal es una función de la durabilidad de la herramienta y de las cargas de esfuerzo comunicadas a la herramienta. Si un espesor final mínimo de 0,635 cm garantizara la durabilidad entonces consiguientemente se dimensiona un espesor inicial (por ejemplo, 2,54 centímetros) para permitir el mecanizado hasta este espesor final. El mecanizado se puede realizar en una máquina de fresado. El enarenado puede comunicar un acabado superficial deseado de calidad aeronáutica a la superficie de línea del molde.

40 La superficie mecanizada de la cara frontal puede formar una superficie de la línea del molde interior o exterior de la pieza, dependiendo de la aplicación prevista de la pieza de material compuesto. Los lados de la herramienta de la pieza de material compuesto tienen típicamente un mejor acabado superficial que los lados embolsados de la pieza a menos que se utilice una hoja de membrana para crear un mejor acabado superficial en el lado embolsado de la pieza.

50 En el bloque 170, la superficie de la cara frontal mecanizada puede entonces limpiarse, sellarse y revestirse de forma separable. El sellado rellena cualquiera de los pequeños huecos, y el revestimiento separable proporciona un tratamiento antiadherente de manera que la pieza curada se puede separar de la herramienta sin atascarse.

55 Se hace referencia adicional a la Figura 2D, que ilustra un ejemplo de una herramienta de mandril de tendido que incluye una cara 142 frontal mecanizada. La cara 142 frontal está coligada a los tableros 114 de cabecera. Los tableros 114 de cabecera proporcionan rigidez integral a la cara 142 frontal, permiten la unión a la subestructura de herramientas de alto perfil, y proporcionan un sistema de nivelación básica para herramientas de bajo perfil (usadas tal cual). La falta de flexibilidad integral es valiosa para caras 142 frontales más grandes, que se vuelven más "endebles" a medida que el área de la cara frontal se hace más grande. La falta de flexibilidad integral también aumenta la rigidez de la cara 142 frontal.

60 En el bloque 180, la herramienta de mandril de tendido está lista para su uso. En algunas realizaciones, la herramienta de por sí puede utilizarse para fabricar piezas de material compuesto.

65 En otras realizaciones, la herramienta de mandril puede ser una sección de un sistema de herramienta de mandril

## ES 2 545 350 T3

- 5 más grande. El sistema de herramienta de mandril puede formarse montando juntas una pluralidad de secciones. Un plano de sellado en vacío se puede utilizar entre las secciones para asegurar la integridad del vacío a través de todo el sistema de herramienta de mandril. Si una sección necesita ser enviada desde el sitio de fabricación hasta un sitio de tendido, puede ser ventajoso montar las secciones en el sitio de tendido para evitar el coste y los retrasos del envío de cargas de gran tamaño.
- 10 Una herramienta de gran perfil (generalmente mayor que aproximadamente 24 pulgadas de altura) puede utilizar una subestructura para reducir la altura de los tableros de cabecera, y el volumen de material similar a la espuma. La subestructura puede soportar la herramienta por encima de un suelo o de un carro sin sacrificar la rigidez de la herramienta (los tableros de cabecera proporcionan rigidez a la superficie de la cara frontal). Por el contrario, una herramienta de bajo perfil se puede utilizar "tal cual" con tableros de cabecera relativamente cortos para la producción de piezas sin necesidad de ninguna infraestructura adicional para el apoyo de la herramienta en el suelo o en un carro.
- 15 La durabilidad de la herramienta no maestra puede incrementarse aumentando el espesor de la cara frontal, y aumentando la rigidez y el espesor de los tableros de cabecera. La rigidez de los tableros de cabecera puede incrementarse reduciendo la separación entre los tableros de cabecera. La durabilidad puede incrementarse también seleccionando un material más durable para los tableros de cabecera. Por ejemplo, la BMI es más durable que la epoxi.
- 20 Las piezas de material compuesto pueden variar de tamaño. Las piezas de material compuesto pueden tener una superficie de al menos aproximadamente 30,48 cm por 30,48 cm.
- 25 Se hace referencia a la Figura 3, que ilustra una sola célula de fabricación 310 para la fabricación de la herramienta de mandril y que utiliza también la herramienta de mandril para fabricar la pieza de material compuesto. Con la construcción de la herramienta de mandril y usándola en el mismo sitio, se reducen el coste, el tiempo y la logística de los envíos (todos los cuales son importantes para los grandes aviones comerciales). Sólo se envía la pieza de material compuesto fabricada.
- 30 La célula 310 de fabricación incluye una sección 320 sucia y una 330 sección limpia. Las operaciones en la sección 320 sucia pueden incluir, pero no se limitan a, el montaje y el mecanizado (por ejemplo, recorte, fresado y taladrado) de la herramienta de mandril y de la pieza de material compuesto curada. Las operaciones se consideran sucias si pueden producir polvo que incumple los requisitos de sala limpia para el procesado de materiales compuestos no curados. Para las operaciones "sucias" como el mecanizado, la sección 320 sucia puede incluir un sistema 322 de vacío para minimizar el polvo y los escombros. El sistema 322 de vacío puede tener hasta 98% o más de eficacia para la eliminación del polvo.
- 35 Las operaciones en la sección 330 limpia pueden incluir el tendido de material compuesto en una herramienta de mandril. En algunas realizaciones, las fibras se pueden depositar sobre una herramienta de mandril de tendido que es estática. En otras realizaciones, las fibras se pueden depositar sobre una herramienta de mandril de tendido mientras la herramienta está siendo girada. El tendido de material compuesto puede incluir el tendido de la cara frontal y el tendido de la pieza.
- 40 Las operaciones en la sección 130 limpia pueden incluir además la instalación de los platos de prensado, embolsado y corte del material. Por ejemplo, el tejido para la infusión o pre-impregnación de la resina podría ser cortado mediante una cuchilla ultrasónica u otro dispositivo, tal como una cortadora de capas, o una herramienta manual. La infusión de la resina se puede realizar también en la sección 330 limpia.
- 45 Las operaciones se consideran limpias si no incumplen los requisitos de la sala limpia y requieren que sean realizadas en una sala limpia debido a los problemas de la contaminación (por ejemplo, los procesos que implican la manipulación de materiales compuestos no curados). La sección 330 limpia puede incluir un sistema 332 de filtración y acondicionamiento de aire para mantener las condiciones medioambientales dentro de las especificaciones. En general, las instalaciones de los materiales compuestos requieren salas limpias de la clase 400.000 con la temperatura, la humedad, y el recuento de partículas controlados. El equipo y las herramientas deben satisfacer estos requisitos cuando se mueven desde la sección 320 sucia hasta la sección 330 limpia. Si la sección 330 limpia cae fuera de especificación, puede requerirse un tiempo de espera para filtros de circulación de aire del sistema 332 para eliminar el polvo del aire.
- 50 Las operaciones se consideran limpias si no incumplen los requisitos de la sala limpia y requieren que sean realizadas en una sala limpia debido a los problemas de la contaminación (por ejemplo, los procesos que implican la manipulación de materiales compuestos no curados). La sección 330 limpia puede incluir un sistema 332 de filtración y acondicionamiento de aire para mantener las condiciones medioambientales dentro de las especificaciones. En general, las instalaciones de los materiales compuestos requieren salas limpias de la clase 400.000 con la temperatura, la humedad, y el recuento de partículas controlados. El equipo y las herramientas deben satisfacer estos requisitos cuando se mueven desde la sección 320 sucia hasta la sección 330 limpia. Si la sección 330 limpia cae fuera de especificación, puede requerirse un tiempo de espera para filtros de circulación de aire del sistema 332 para eliminar el polvo del aire.
- 55 La célula 310 de fabricación incluye un sistema 340 común de posicionamiento del efector final, movable entre las secciones 320 y 330 sucia y limpia, para realizar todas estas operaciones limpia y sucia. El sistema 340 de posicionamiento del efector final puede utilizar una pluralidad de efectores finales intercambiables para realizar las operaciones. Los efectores finales pueden estar situados en los puestos 350 del efector final situados en las secciones 320 y 330 sucia y limpia. Un cambiador manual, automático o semiautomático puede ser usado para cambiar los efectores finales en ambas secciones 320 y 330 sucia y limpia.
- 60 Los efectores finales pueden incluir herramientas para el mecanizado (por ejemplo, fresado, taladrado), un cortador
- 65

5 de chorro de agua para el tablero de cabecera de la herramienta, herramientas para recortar, un cabezal de laminación para el tendido de remolque de la cinta o de la cinta de rendija de la pieza o de la cara frontal, un cabezal de pulverización de pintura para pintar, un cortador de ultrasonidos para cortar preimpregnado o material seco, un cabezal de NDI (con las zapatas necesarias) para la inspección ultrasónica de la pieza o de la cara frontal de la herramienta, un conformador de rodillo de larguero para conformar elementos de la pieza de material compuesto, un dispensador de material para los materiales de la herramienta o de la pieza, un dispensador de material de espuma para la aplicación de espuma a las herramientas tal como un sistema de poliisocianurato de 2 piezas, un efector final de manipulación para colocar bloques de espuma precurados para las herramientas en los tableros de cabecera de la herramienta, y sondas de inspección para la inspección geométrica y dimensional de la cara frontal de la herramienta o de la pieza de material compuesto.

15 En algunas realizaciones, el sistema 340 de posicionamiento del efector final puede incluir una sola máquina de posicionamiento tal como una grúa de caballete 342 que tiene múltiples ejes de movimiento (por ejemplo, hasta siete ejes). En otras realizaciones, el sistema 340 de posicionamiento puede incluir un robot o múltiples robots para realizar las operaciones limpia y sucia. Un solo robot puede tener efectores finales intercambiables. Múltiples robots pueden usar combinaciones de efectores finales dedicados.

20 Otros tipos de sistemas de posicionamiento del efector final pueden incluir combinaciones de plataformas de ejes cartesianos lineales, plataformas de ejes giratorios y plataformas Stewart que utilizan cinemática paralela. Los ejemplos específicos incluyen grúas de caballete, robots, robots sobre raíles, plataformas de tipo post-fresado, y plataformas Stewart (por ejemplo hexápodos). En cada uno de estos ejemplos, el sistema 340 de posicionamiento del efector final está configurado para entregar un efector final seleccionado en una posición o a lo largo de una trayectoria para realizar su función, al tiempo que satisface los requisitos de rendimiento (por ejemplo, ángulos, velocidad, aceleración, rigidez, intervalo del recorrido, utilidades, acoplamiento separables rápida).

25 El sistema 340 de posicionamiento del efector final es movable entre las secciones 320 y 330 sucia y limpia. En algunas realizaciones, el sistema 340 de posicionamiento del efector final puede ser movido por un sistema 360 de máquina de raíles. En otras realizaciones, el sistema 340 de posicionamiento del efector final puede ser movido por medio de cojinetes de aire o ruedas, y luego localmente posicionado.

30 Un soporte 370 de la herramienta de mandril se proporciona para soportar la herramienta de mandril durante el tendido. En algunas realizaciones, el soporte de la herramienta de mandril puede incluir una mesa 370 que es movable entre las secciones 320 y 330 sucia y limpia. La tabla 370 puede ser posicionable entre las patas de la máquina de una grúa 342 de caballete.

35 El sistema 340 de posicionamiento del efector final puede ser cubierto con una chapa metálica u otro material que proporcione una superficie lisa para la limpieza. El sistema 340 de posicionamiento del efector final puede utilizar también un plástico de tipo polietileno como cubierta protectora. Tal plástico se puede retirar fácilmente para su limpieza antes de transferir el sistema 340 de posicionamiento del efector final desde la sección 320 sucia hasta la sección 330 limpia. Todo esto ayuda a mantener los requisitos de sala limpia.

40 En algunas realizaciones, una barrera 380 tal como una puerta rápida, puerta con burlete o puerta de congelador separa las secciones 320 y 330 sucia y limpia. Estas puertas están diseñadas para mantener los controles ambientales entre zonas con diferentes condiciones. La sección 330 limpia puede tener presión positiva para impedir la entrada de polvo y otros contaminantes.

45 En algunas realizaciones, la barrera 380 puede incluir una esclusa de aire, que puede ser fija o portátil. La esclusa de aire puede incluir una cámara con dos puertas herméticas en serie. Las puertas no se abren al mismo tiempo. En general, una esclusa de aire permite el paso de personas y objetos entre un recipiente a presión y su entorno mientras se minimiza el cambio de presión en el recipiente y la pérdida de aire desde él. Una esclusa de aire que tiene un diseño de acordeón puede incluir una cámara sellada portátil que cubre el sistema 340 de posicionamiento del efector final ya que hace de transición entre las secciones 320 y 330 para mantener cualquiera de los contaminantes fuera de la sección 330 limpia.

50 Para el movimiento desde la sección 330 limpia hasta la sección 320 sucia, la puerta de la sección limpia se abre, el sistema 340 de posicionamiento del efector final (que ya está limpio) se mueve en la esclusa de aire, la puerta de la sección limpia se cierra, la puerta de la sección sucia se abre, y el sistema 340 de posicionamiento del efector final se mueve dentro de la sección 320 sucia. Después, se cierra la puerta de la sección sucia.

55 Para el movimiento desde la sección 320 sucia hasta la sección 330 limpia, la puerta de la sección sucia se abre, el sistema 340 de posicionamiento del efector final (que ya está sucio) se mueve dentro de la esclusa de aire, y la puerta de la sección sucia se cierra (la puerta de la sección limpia está ya cerrada). El sistema 340 de posicionamiento del efector final es limpiado (por ejemplo, se quitan las cubiertas de protección, y el sistema 340 es limpiado). Después de que el ambiente dentro de la esclusa de aire está validado como limpio, se abre la puerta de la sección limpia, y el sistema 340 de posicionamiento del efector final es movido dentro de la sección 330 limpia.

## ES 2 545 350 T3

5 La célula de fabricación 310 puede incluir también una sección 390 próxima de curado para el curado de la cara frontal y de la pieza de material compuesto. En algunas realizaciones, la sección 390 de curado puede incluir un autoclave 392 para el curado de preimpregnados bajo calor y presión. En otras realizaciones, la sección 390 de curado puede incluir un horno 394 para el curado de tejido infundido con resina bajo calor o preimpregnar el material diseñado para el procesado fuera del autoclave.

10 La sección 390 de curado está preferiblemente adyacente a la sección 330 limpia. La cercana proximidad simplifica la gestión logística. La herramienta y/o la pieza pueden ser trasladadas al autoclave sobre ruedecillas o ruedas adecuadas en caliente en la parte inferior de la herramienta de mandril o sobre una carretilla diseñada para soportar el curado en autoclave.

15 Inspección no destructiva de la pieza curada se puede realizar en la sección 330 limpia. En lugar de eso, la inspección no destructiva puede realizarse en la sección 320 sucia siempre que el polvo no interfiera con la inspección no destructiva.

20 La célula 310 de fabricación puede tener una impronta relativamente pequeña. Considérese un ejemplo de una célula de fabricación para la fabricación de piezas de material compuesto tan grandes como 13,71 metros de largo, 6,09 metros de ancho y 3,65 metros de altura. Dicha célula puede tener una superficie de suelo de aproximadamente 464,51 metros cuadrados y una altura de unos 7,62 metros. El suelo de la célula 310 de fabricación puede ser plano, con unos cimientos suficientes para el peso y la carga del sistema 340 de posicionamiento del efector final. La impronta relativamente pequeña permite que se construyan múltiples células de fabricación en diferentes lugares en vez de construirse una sola célula grande en una gran instalación central.

25 Una ventaja de la célula 310 de fabricación es que puede estar ubicada de forma remota desde la instalación de producción principal del fabricante de aeronaves. Por ejemplo, una célula de fabricación puede situarse más cerca de un aeropuerto u otra ubicación donde se reparará una aeronave. La ubicación más cercana ahorra costes logísticos importantes (por ejemplo, el envasado y el transporte) y reduce el tiempo de flujo. Esto reduce además el tiempo de parada de los aviones.

30 La célula 310 de fabricación puede también incluir un controlador 344 común para mover el sistema 340 de posicionamiento del efector final a lo largo del sistema 360 de railes y hacer que el sistema 340 de posicionamiento del efector final realice las operaciones limpia y sucia. El controlador 344 puede ser alimentado con programas desde una herramienta de programación y simulación. Esta herramienta de programación y simulación puede estar diseñada para proporcionar las instrucciones necesarias para todos los tipos de efectores finales utilizados dentro de la célula 310 de fabricación.

35 Ahora se hace referencia a la Figura 4, que ilustra un procedimiento de utilización de la célula 310 de fabricación para fabricar tanto la herramienta de mandril de tendido como la pieza de material compuesto. En el bloque 400, el controlador 344 recibe instrucciones para fabricar la herramienta y la pieza. Las instrucciones proporcionan los comandos para el sistema 340 de posicionamiento del efector final que seleccione efectores finales y utilice los efectores finales seleccionados para realizar sus funciones deseadas. Para un efector final de perforación de agujeros, las instrucciones pueden incluir la posición y el ángulo de la broca, la velocidad de alimentación, la velocidad de rotación, y las instrucciones del ciclo de perforación. Para el fresado de una herramienta o el recorte del borde de una pieza, las instrucciones del efector final del fresado pueden incluir la ruta de acceso para el cortador, la posición angular, la velocidad de rotación y la velocidad de alimentación. Para un efector final de colocación de fibras, las instrucciones pueden incluir la trayectoria para el cabezal, la posición angular, y cortar y agregar comandos para los diferentes remolques. Las instrucciones pueden ser producidas por un módulo de programación y simulación, que está diseñado para la célula 310 de fabricación. El módulo de programación y simulación deriva las instrucciones de las definiciones de ingeniería asociadas con la pieza de material compuesto y la herramienta. 40 Las definiciones de ingeniería pueden identificar la geometría de la superficie y características tales como agujeros, ubicaciones de recorte y los límites de las capas. El módulo de programación y de simulación toma estos requisitos de la definición de ingeniería y los transforma en instrucciones que pueden ser procesadas por la célula 310 de fabricación. El controlador 344 ejecuta entonces las instrucciones para realizar lo que sigue.

45 50 En el bloque 410, una estructura celular de la herramienta de mandril de tendido se construye, se rellena de espuma y se mecaniza en la sección sucia. La herramienta de mandril de tendido puede ser construido con tableros de cabecera de material compuesto, que pueden ser cortados con una herramienta de corte por chorro de agua o una herramienta de fresa de acanalar. En algunas realizaciones, los tableros de cabecera pueden ser montados sobre y fijados a una mesa movable, por lo que la mesa movable "se vuelve" parte de la herramienta de mandril.

55 60 La estructura celular resultante se monta y se rellena con material similar a la espuma, utilizando líquido dispensado y mezclado, bloques de materiales prefabricados o una combinación de los mismos. Después de la construcción, el sistema 340 de posicionamiento del efector final selecciona un efector final de fresado desde la estación 350 del efector final, carga el efector final de fresado y las máquinas del material similar a la espuma y los tableros de cabecera. El sistema 340 de posicionamiento del efector final selecciona y carga, entonces, un cabezal de sonda, y utiliza el cabezal de sonda para la verificación o inspección de la ubicación para validar la geometría.

## ES 2 545 350 T3

- 5 En el bloque 420, las fibras de refuerzo para una cara frontal se tienden sobre la estructura celular mecanizada en la sección limpia. En algunas realizaciones, el tejido puede ser dispensado por un efector final de dispensación de tejido, y el tejido dispensado puede ser cortado por un efector final de cuchilla de corte ultrasónico. El tejido puede ser depositado por un efector final que realiza la colocación automática de fibra (AFP) o capa de cinta automática (ATL). En otras realizaciones, el tendido se puede realizar manualmente por drapeado y colocación a mano, etc. El tejido dispensado puede ser cortado por un efector final de cuchilla de corte ultrasónico.
- 10 En el bloque 430, el material el material compuesto es curado en la sección de curado 390. Un tendido infundido con resina es curado en el horno, o un tendido de preimpregnación es curado en autoclave, o un sistema fuera de autoclave es curado en un horno. La infusión de resina puede incluir un post-curado a aproximadamente 176,67 °C para materiales epoxi, y más alto para materiales de BMI. Antes del post-curado, el material similar a la espuma puede ser retirado de la herramienta de mandril, especialmente en las herramientas que tienen tableros de cabecera más altos.
- 15 En el bloque 440, la cara frontal se mecaniza en la sección sucia y se somete en banco de trabajo hasta un perfil final. Cualquier acabado a mano necesario también se realiza en la sección sucia. Un vacío apropiado se utiliza para la recogida de polvo. El sellado de la herramienta se puede realizar también utilizando un efector final automático (aerosol de rodillo) o un proceso manual. Una herramienta de mandril de tendido acabada se limpia después y se transfiere a la sección limpia para el tendido de la pieza.
- 20 En el bloque 450, el material compuesto para la pieza de material compuesto se deja en la herramienta de mandril en la sección limpia. El tendido de la pieza puede realizarse automáticamente por el sistema 340 de posicionamiento del efector final (por ejemplo, con un efector final que realiza AFP o ATL) o el tendido de la pieza puede realizarse manualmente.
- 25 Los platos de prensado pueden colocarse después en el tendido de la pieza (dependiendo de los requisitos de acabado). El tendido de la pieza es después embolsado y movido hasta la sección de curado.
- 30 En el bloque 460, el material compuesto de la pieza es curado en la sección 390 de curado. En el bloque 470, la pieza curada es transferida a la sección 320 sucia, donde se realizan el recorte y la perforación.
- 35 En el bloque 480, tras el recorte y la perforación, la pieza de material compuesto terminada se retira de la herramienta de tendido. Una parte relativamente grande puede ser retirada con un accesorio de despegado. La pieza acabada se coloca en un accesorio NDI para permitir la inspección ultrasónica. El sistema 340 de posicionamiento del efector final puede realizar la NDI seleccionando los efectores finales de NDI (zapatitas) que son aplicables para la geometría de la pieza.
- 40 En el bloque 490, después de la NDI, la pieza de material compuesto se mueve hasta la sección sucia, donde es pintada (en otras realizaciones, el pintado se puede realizar en una instalación separada). El sistema 340 de posicionamiento del efector final puede usar un efector final para pintar. Para facilitar el pintado en la sección 320 sucia se puede proporcionar alguna ventilación adicional (conductos portátiles, etc.).
- 45 La herramienta de mandril para el tendido y el sistema 340 de posicionamiento del efector final se limpian antes de mover desde la desde la sección 320 sucia hasta la sección 330 limpia. Si se corta una espuma o fibra de carbono, puede desplegarse un sistema 322 de recogida de alto rendimiento mediante vacío para minimizar el polvo, posiblemente con algún refrigerante para mantener las partículas transportadas por el aire al mínimo.
- 50 Para fabricar dobladores de empalme y otros elementos para la fijación de la pieza de material compuesto pueden usarse técnicas convencionales de fabricación de material compuesto y metálico (por ejemplo, titanio). En algunas realizaciones, se puede utilizar la fijación de titanio en solitario, o los elementos de material compuesto en solitario, o una combinación de titanio y elementos de fijación de material compuesto. Los elementos fabricados de titanio pueden serlo fabricando mediante los procesos convencionales de fabricación de titanio, tales como la conformación en caliente y el mecanizado. Los elementos de fijación del material compuesto se pueden fabricar mediante técnicas convencionales de fabricación de preimpregnados de material compuesto tal como el tendido a mano, en bolsa, curado, el recorte y la inspección ultrasónica no destructiva. En lugar del tendido a mano para el material en una sola dirección se puede utilizar la Colocación Automática de Fibras. En algunas realizaciones, dobladores de material compuesto, cargas y empalmes podrían ser construidos usando el mismo sitio de producción siguiendo los mismos o similares procesos que para la pieza de material compuesto.
- 55
- 60 En algunas realizaciones, no se utiliza una sección limpia separada. En cambio, todas las operaciones se realizan en una única sala. Por ejemplo, la habitación única puede incluir un sistema de recogida de polvo que sea satisfactorio para mantener las especificaciones de sala limpia. Otras realizaciones pueden utilizar revestimientos temporales/desechables que se colocan en las zonas de máquinas y herramientas para mantenerlas limpias. Por ejemplo, las tapas pueden incluir una película de polietileno. Entre las operaciones se pueden realizar algunos limpiados de las máquinas y herramientas. La misma máquina podría realizar tendidos en la sala limpia y utilizar un
- 65



cabezal de corte por ultrasonidos para cortar los materiales.

5 En algunas realizaciones, la herramienta de mandril de tendido se puede construir en un sitio y utilizarse en otro sitio. Sin embargo, etapas adicionales pueden incluir el envío de la herramienta de mandril al sitio de construcción, y desempaquetar la herramienta y ajustar la herramienta en el sitio de construcción. Fabricar la herramienta de mandril y usarla en el mismo sitio ahorra costes logísticos significativos y reducir el tiempo de flujo.

10 Durante el tendido de la pieza y de la cara frontal, la tela se deposita sobre una superficie de la herramienta de mandril (bien la superficie mecanizada de los tableros de cabecera/espuma o bien la superficie de la línea del molde de la cara frontal). En algunas realizaciones, el soporte de la herramienta de mandril puede estar estático durante el tendido.

15 En otras realizaciones, la herramienta de mandril se puede girar durante el tendido. En estas otras realizaciones, el soporte de la herramienta de mandril puede incluir un soporte giratorio herramienta de mandril. El soporte se utiliza para girar una herramienta de mandril mientras las fibras de refuerzo son depositadas sobre una superficie de tendido de la herramienta de mandril.

20 En cuanto al diseño de una pieza de material compuesto, la definición de ingeniería especifica la anchura de la cinta que se utilizará durante el tendido de material compuesto. Esa definición de ingeniería puede especificar el ancho de la cinta utilizada durante el tendido de la pieza original. Sin embargo, la velocidad de fabricación se puede incrementar durante el tendido utilizando una cinta más ancha. Mediante el uso de una cinta más ancha, pueden reducirse los tiempos de flujo del tendido, ya que el tendido es más rápido para el mismo número de remolques en una pasada. La cinta más ancha también puede proporcionar el tendido manual como una opción de fabricación. La cinta más ancha puede proporcionar una solución de fabricación más rápida para piezas más pequeñas de contorno constante o planas, o piezas mucho mayores si, por ejemplo, una máquina de AFP está inactiva por reparaciones.

30 Ahora se hace referencia a la Figura 5, que ilustra un procedimiento para determinar si puede utilizarse una cinta más ancha. En el bloque 510, se accede a una definición de ingeniería de una pieza de material compuesto. Además de especificar el material y la geometría de la superficie, la definición de ingeniería puede definir también las especificaciones del proceso para la pieza de material compuesto. Estas especificaciones de proceso pueden incluir instrucciones del tendido, instrucciones del procesado, instrucciones del curado, las cualificaciones del procesador e instrucciones de inspección. Las especificaciones del proceso pueden describir también las desviaciones admisibles durante el tendido (por ejemplo, los traslapes, los huelgos y la desviación angular de la roseta) y defectos admisibles en el tendido (por ejemplo, las arrugas y fruncidos).

35 En el bloque 520, a la definición de ingeniería se aplica un conjunto de normas que rigen el tendido del material antes de realizar el tendido. Las normas identifican desviaciones y defectos que se producirán si el material de una anchura dada se tiende en una dirección y posición especificadas. Los laminados de materiales de diferentes anchuras tienen diferente comportamiento mecánico. Los diferentes tipos de laminados pueden también tener diferente rendimiento mecánico.

40 Estas normas incluyen algoritmos que determinan la trayectoria de la cinta para cada capa de cinta (una trayectoria de la cinta incluye una serie de posiciones de coordenadas que determinan el movimiento de una herramienta (por ejemplo, un cabezal de colocación de la fibra) durante una operación de mecanizado). Los algoritmos incluyen algoritmos de generación de trayectoria que determinan el mínimo radio de la dirección para cada diferente anchura de cinta. Los algoritmos incluyen además, pero no se limitan a, los algoritmos de roseta que especifican una roseta (dirección); y la trayectoria natural (que puede estar caracterizada como la trayectoria que produce un estado de tensión de la fibra neutra, donde se mantiene continuamente la misma distancia entre ambos lados de la cinta).

45 Las normas indican si, basado en la roseta y el contorno de la pieza, el material de una anchura dada podrá tenderse en la dirección y la posición deseadas sin defectos como arrugas o fruncidos. Considérese el siguiente ejemplo. Una cinta más ancha o cinta de rendija tendrá generalmente un radio de giro mínimo más pequeño que el de la cinta más estrecha (donde el radio mínimo de dirección es el radio más pequeño por el cual el material puede ser material dirigido con un nivel aceptable de arrugas o fruncidos). Una norma puede determinar si una cinta más

50 ancha incumple el radio mínimo de dirección.

55 Las normas se derivan de las especificaciones del proceso y del rendimiento empírico del material. Por ejemplo, el radio mínimo de dirección se puede obtener para diferentes tipos (sistema de material, el tejido, el contenido de resina, etc.) y anchuras del material compuesto mediante ensayos en una placa plana y en busca de arrugas o fruncidos que están dentro de los límites admisibles. El tipo de la máquina utilizada y de los parámetros del proceso (por ejemplo, tensión, fuerza de compactación) para la máquina puede también influir en los resultados. El rendimiento de las características mecánicas del laminado es otro ejemplo de los datos que pueden ser proporcionados por los ensayos, tales como los ensayos de tracción y de compresión. Inicialmente, los datos empíricos pueden obtenerse de retales de materiales de ensayo. Con el tiempo, se pueden obtener datos

60 adicionales de los subcomponentes de los ensayos, o de conjuntos completos.

65

## ES 2 545 350 T3

El resultado de aplicar las normas es una lista de las cintas (por tipo y anchura) que pueden utilizarse para fabricar la pieza de material compuesto. En algunos casos, la lista puede indicar cintas admisibles por capa o parte de la pieza. Como un primer ejemplo, considérese una sección del fuselaje contorneado o del contorno del compuesto. Para esta pieza, la lista permite una cinta de 15,24 cm de ancho para una orientación de la fibra de 90 grados, pero para otras orientaciones (por ejemplo, 0 y 45 grados) una cinta de no más de 1,27 cm.

Como un segundo ejemplo, la lista permite un material de 1,27 cm de anchura para todas las superficies y orientaciones de todas las fibras de una pieza, excepto para una zona pequeña. La lista permite material de menor anchura (0,635 cm) para esa pequeña zona.

El procedimiento de la Figura 5 permite la producibilidad (o la capacidad de fabricación) de la pieza de material compuesto que ha de ensayarse antes de que la pieza sea realmente fabricada. Al considerar un aumento de la anchura de la cinta durante el diseño de la pieza de material compuesto, se minimizan las pruebas empíricas, acelerándose de ese modo la producción de piezas. Se evitan prueba y error. Se evitan múltiples iteraciones de rediseño, refabricación y revalidación de la pieza. Un tiempo y coste considerables se ahorran por no tener necesidad de construir físicamente retales de validación y poder continuar un proceso de prueba iterativo. Esta reducción en el tiempo es especialmente valiosa para el diseño y la fabricación de piezas de material compuesto a medida.

En algunos casos, una pluralidad de células de fabricación estará disponible para fabricar una pieza de material compuesto. Estas instalaciones tienen diferentes capacidades que incluyen, pero sin limitarse a, los tipos de tendido (manual frente a automático) que se puede realizar, el tipo de máquinas que están disponibles, el tipo de efectores finales que están disponibles, y las cintas más anchas disponibles que se pueden depositar.

Ahora se hace referencia a la Figura 6, que ilustra un procedimiento de realizar un análisis de producibilidad basado en normas, no solo para aumentar la anchura de la cinta, sino también para encontrar una célula de fabricación para fabricar una pieza de material compuesto. En el bloque 610, el análisis se realiza sobre la definición de ingeniería de una pieza de material compuesto para comprender la magnitud del contorno de la pieza. Mediante la comprensión de la magnitud y del contorno, pueden reducirse las opciones para el ancho de la cinta. Para el típico material de colocación automática de la fibra, pueden utilizarse las típicas anchuras de materiales de 0,3175, 0,635 y 1,27 cm. Para el tendido manual y el tendido automático de la cinta, pueden utilizarse cintas más anchas de 7,62, 15,24 y 30,48 cm. Para el tendido manual, pueden utilizarse materiales anchos de anchuras típicas de 91,44, 121,92 y hasta 152,4 cm.

Algunos de estas anchuras de cinta candidatas pueden ser eliminadas en esta etapa. Por ejemplo, las piezas de contorno del compuesto son candidatas muy poco probables para el tendido manual (las probabilidades se basarían en el conocimiento de la producibilidad previa). Sólo se considerarían los tendidos automáticos con cintas más estrechas (0,3175, 0,635 y 1,27). Por otra parte, las piezas que tienen superficies relativamente uniformes podrían ser candidatas para el tendido manual con cinta de 15,24 cm. El análisis inicial reduce el tiempo total de análisis por el estrechamiento del tipo de tendido (por ejemplo, tendido manual frente a tendido automático), anchuras de cinta candidatas (por ejemplo, cinta de 1,27 cm frente a cinta de 0,635 cm), máquinas automáticas candidatas (por ejemplo, máquinas que no tienen capacidad para tender cintas de 0,635 cm serían eliminadas de una mayor consideración), y las células candidatas (por ejemplo, las células que no tienen capacidad para tender cinta de 0,635 cm serían eliminadas de mayor consideración).

En el bloque 620, se aplica un conjunto de normas a la definición de ingeniería para identificar la cinta más ancha y la mejor célula para la fabricación de la pieza de material compuesto. Las normas identifican aquellas células que logran el mejor equilibrio entre (1) configuración de la máquina de tendido y anchura de la cinta; (2) requisitos de ingeniería para el equilibrio y la simetría del laminado de material compuesto, (3) comportamiento estructural, (4) peso de la pieza de material compuesto, y (5) velocidad de fabricación de la pieza de material compuesto (por ejemplo, dentro de los límites de tiempo del material, capacidad de la máquina, ventana de disponibilidad de la máquina, tiempo/coste de trabajo, fecha de la necesidad del cliente, etc.). Otros factores que deben equilibrarse pueden incluir, pero no se limitan a, un tendido manual en lugar de un tendido automático, y el esfuerzo para el cambio de ingeniería. El esfuerzo para el cambio de ingeniería se refiere a las modificaciones de la configuración de la producción existente para incorporar diferentes anchuras de cinta. Este equilibrio implica un intercambio entre el tiempo de cambio en el diseño y el tiempo de cambio en producción.

Por ejemplo, las normas pueden determinar si una configuración de la máquina de tendido puede realizar un tendido a una anchura de cinta especificada, ya que hay límites para recorrer los tamaños debido a la conformidad de la superficie de la pieza. Considérese el ejemplo de máquinas que tienen treinta y dos remolques o cinta de rendija de material con una anchura de 1,27 cm y otros que tienen dieciséis remolques. El rodillo de compactación para una máquina de treinta y dos remolques de 1,27 cm es de 40,64 centímetros, mientras que es de 20,32 cm para una máquina de dieciséis remolques. Para la misma anchura de remolque, cuanto mayor es la cantidad de remolques que se pueden emplear de forma simultánea, más rápido será el tiempo de tendido, suponiendo una velocidad constante. En algunos casos, dependiendo del contorno de la pieza puede limitarse el número de remolques fuera del total disponible. Por ejemplo, una máquina con treinta y dos remolques sobre una pieza con un contorno

5 complejo, puede tener un límite de dieciocho o diecinueve remolques que se pueden utilizar eficazmente debido a la conformidad del rodillo, y en algunos casos potencialmente menos, de manera que una máquina de remolque de 1,27 cm (32) puede proporcionar una capacidad innecesaria para una determinada configuración de la pieza. Las cintas más anchas tendrán probablemente más problemas para la conformidad, especialmente en contornos complejos. Suponiendo una velocidad de tendido común, cuanto más remolques, más rápido podrá ser tendido el material y más rápidamente podrá fabricarse la pieza.

10 Ahora se hace referencia a la Figura 7, que ilustra un ordenador 710 que incluye un procesador 720 y una memoria 730. La memoria 730 contiene instrucciones 740 para hacer que el ordenador 710 realice el procedimiento de la Figura 6.

15 La fabricación rápida en el presente documento no se limita a ningún tipo concreto de pieza de material compuesto. Ejemplos de piezas de material compuesto incluyen, sin limitación, los paneles de las alas, paneles de las puertas de carga, cubiertas y paneles de automóviles, cubiertas y paneles de camiones, y paneles para depósitos de material compuesto, y cúpulas de material compuesto. Algunas de estas piezas pueden tener superficies de contornos complejos.

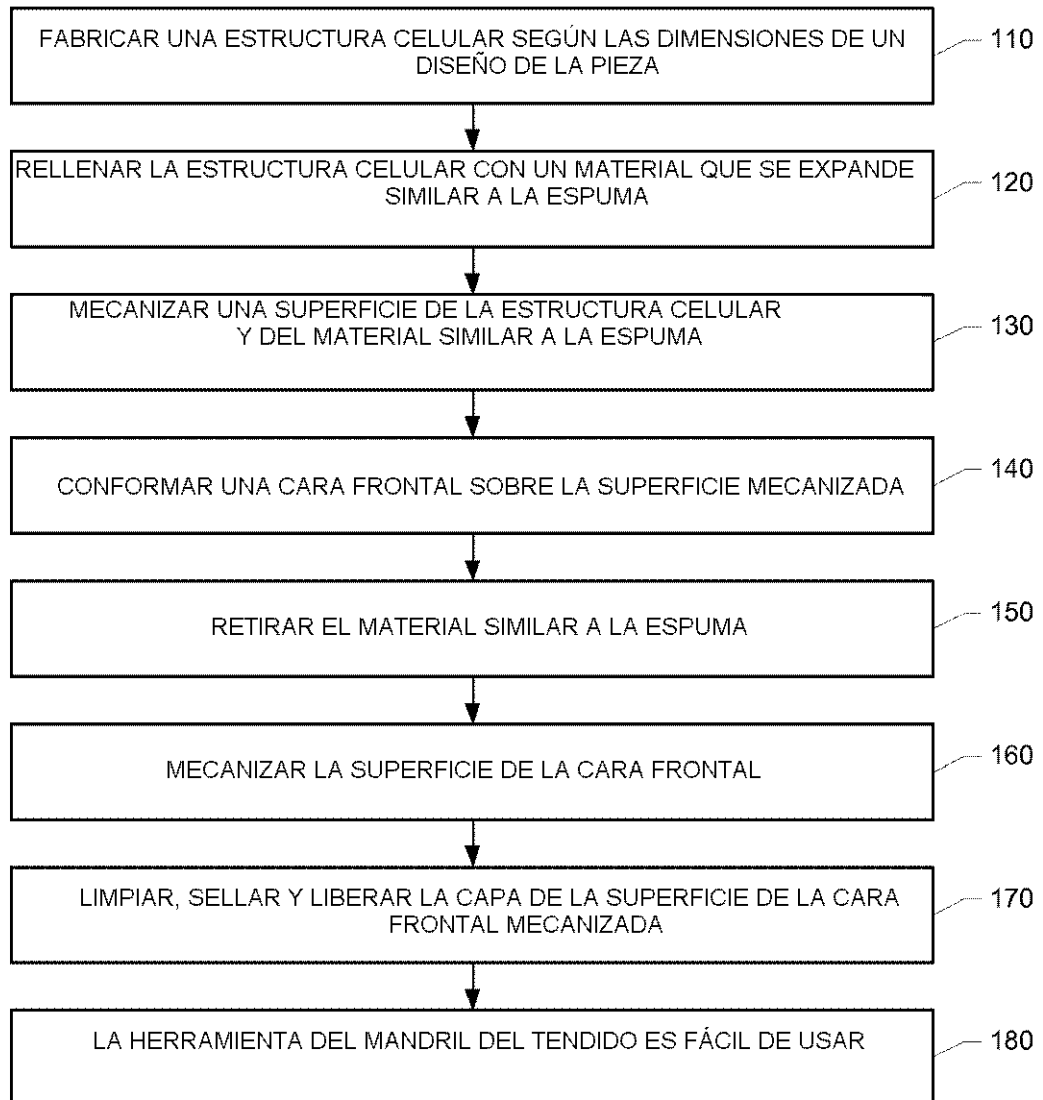
**REIVINDICACIÓN**

1. Un procedimiento de fabricación de una pieza de material compuesto que incluye fibras de refuerzo incrustadas en una matriz, comprendiendo el método:

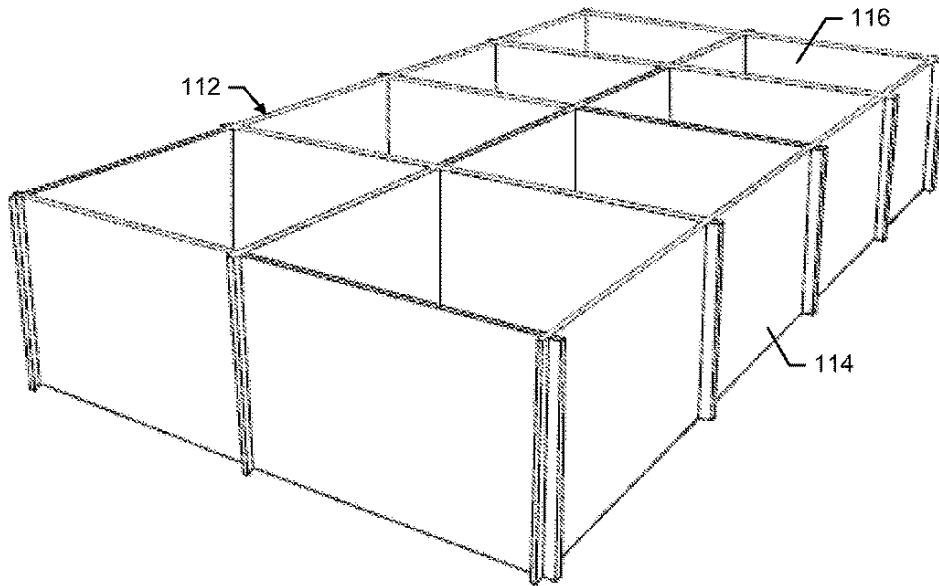
5                    fabricar una herramienta no maestra de mandril de tendido en un sitio (310) de fabricación que tiene una sección (330) limpia y una sección (320) sucia adyacente, incluyendo la herramienta una cara frontal de material compuesto que proporciona una superficie de la línea de molde, donde fabricar la herramienta incluye crear una estructura (112) celular, rellenar células de la estructura (112) celular con un material (122) similar a la espuma, y mecanizar el material (122) similar a la espuma para obtener una superficie mecanizada en la sección (320) sucia, y tender el material compuesto sobre la superficie mecanizada para formar la cara frontal en la sección (330) limpia; y  
10                    utilizar la herramienta no maestra en el sitio para formar un tendido de fibras de refuerzo en la sección (330) limpia.

15

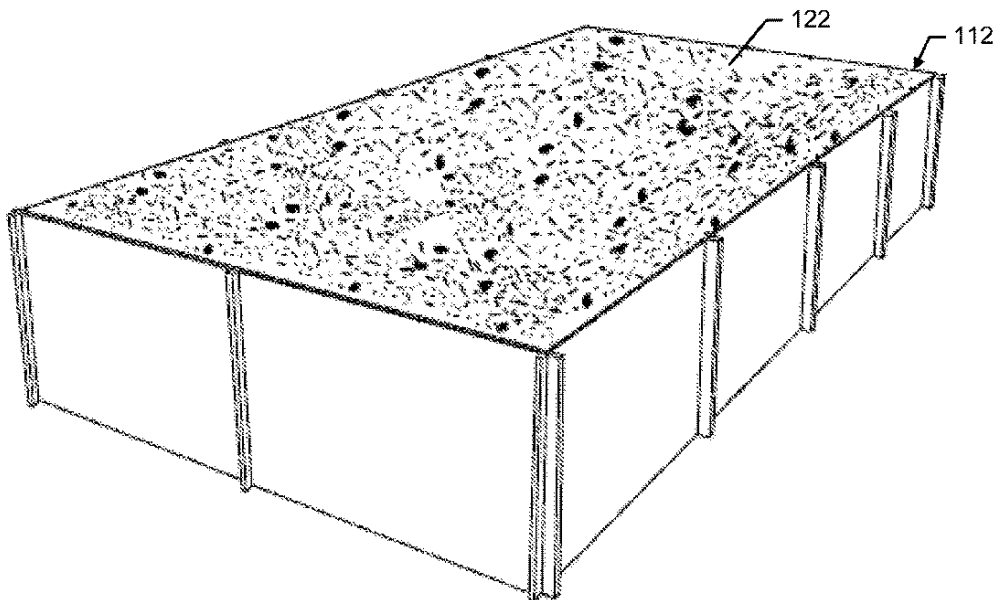
**FIG. 1**



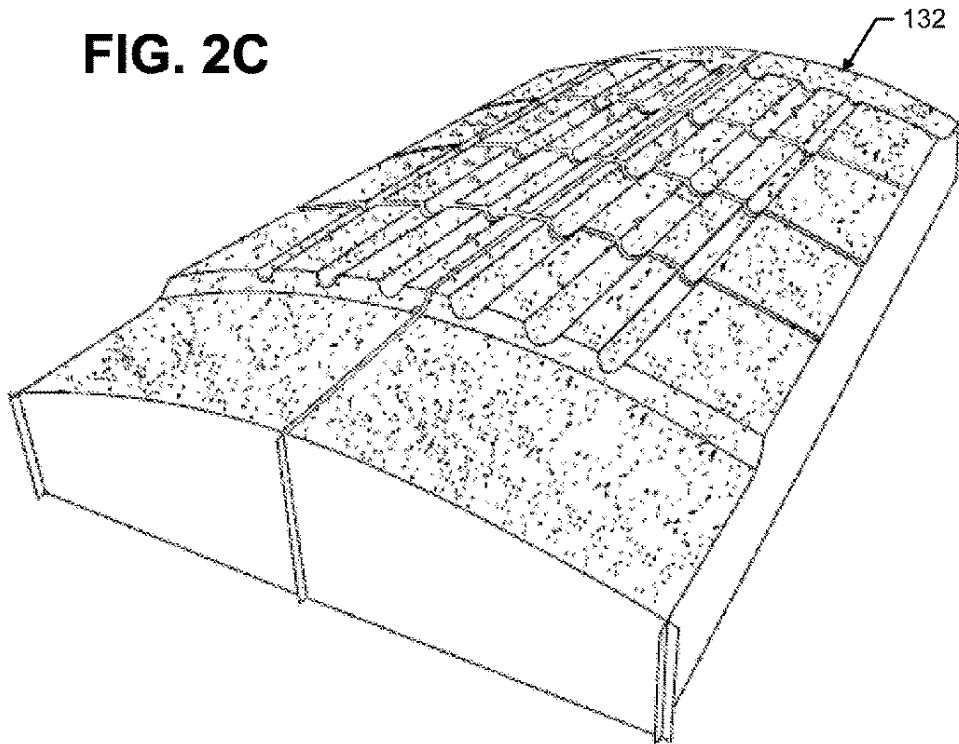
**FIG.2A**



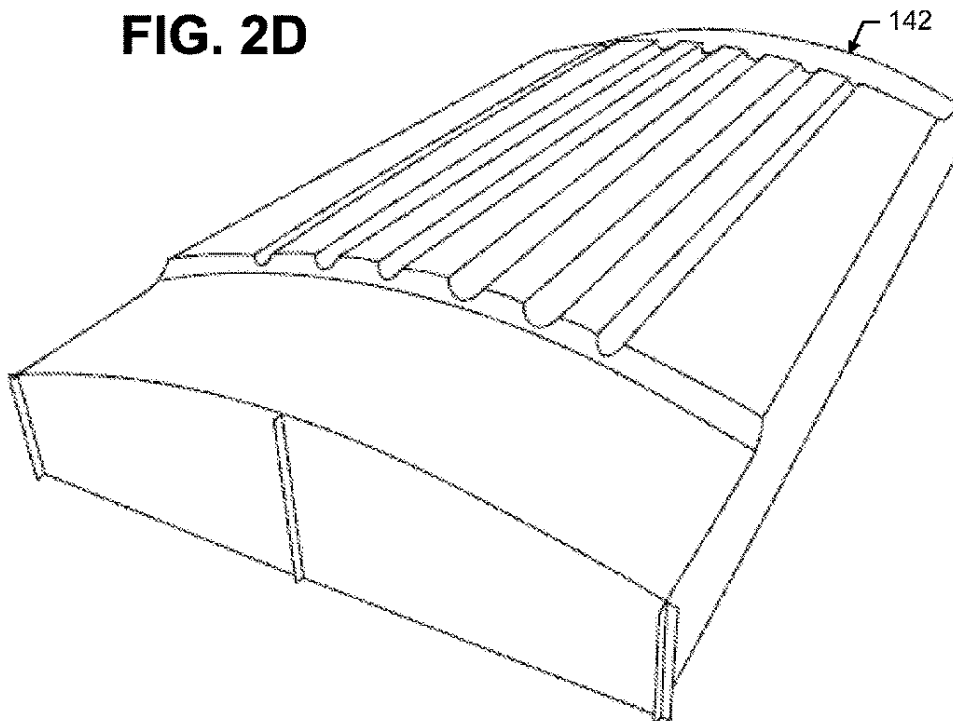
**FIG. 2B**



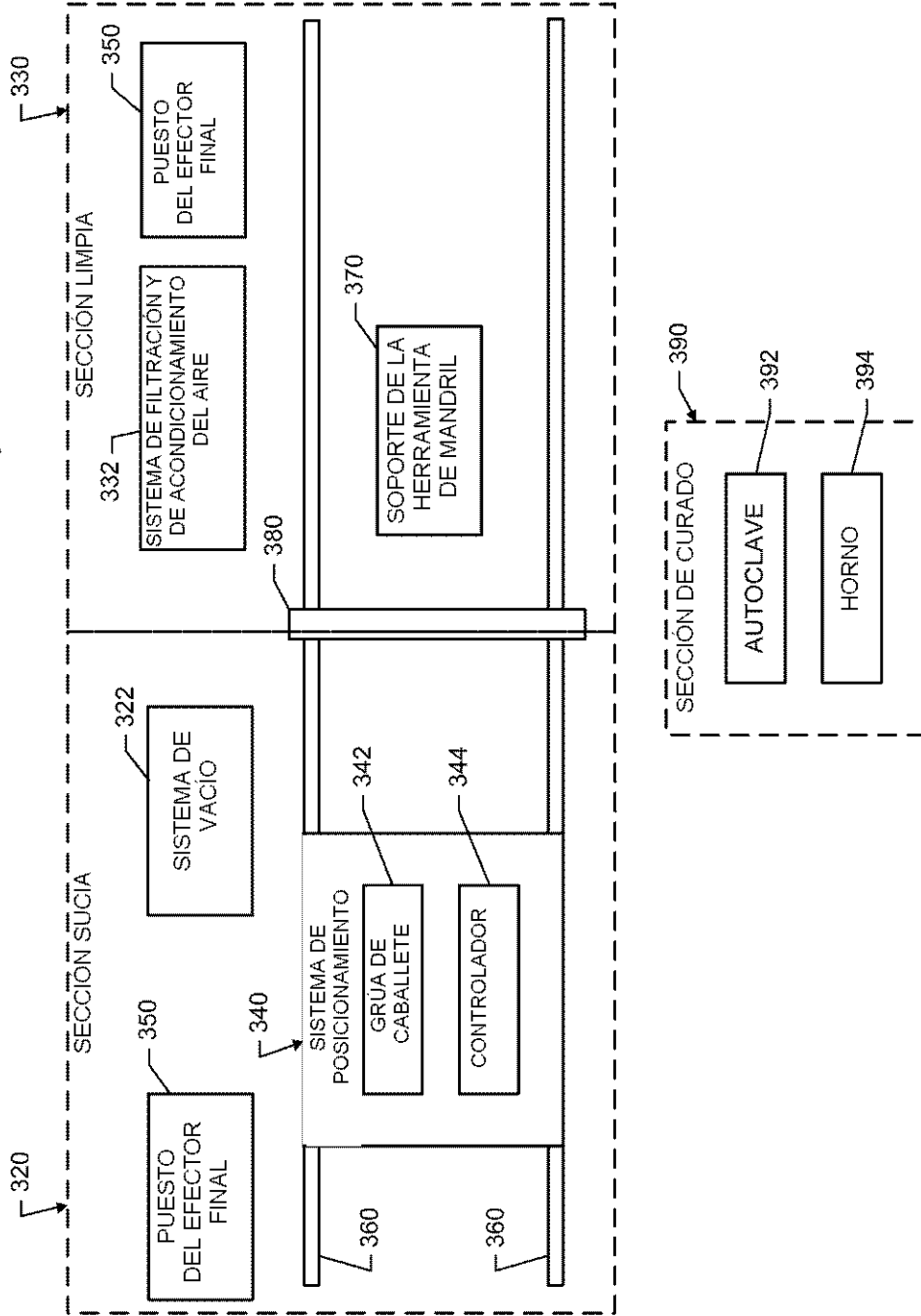
**FIG. 2C**



**FIG. 2D**

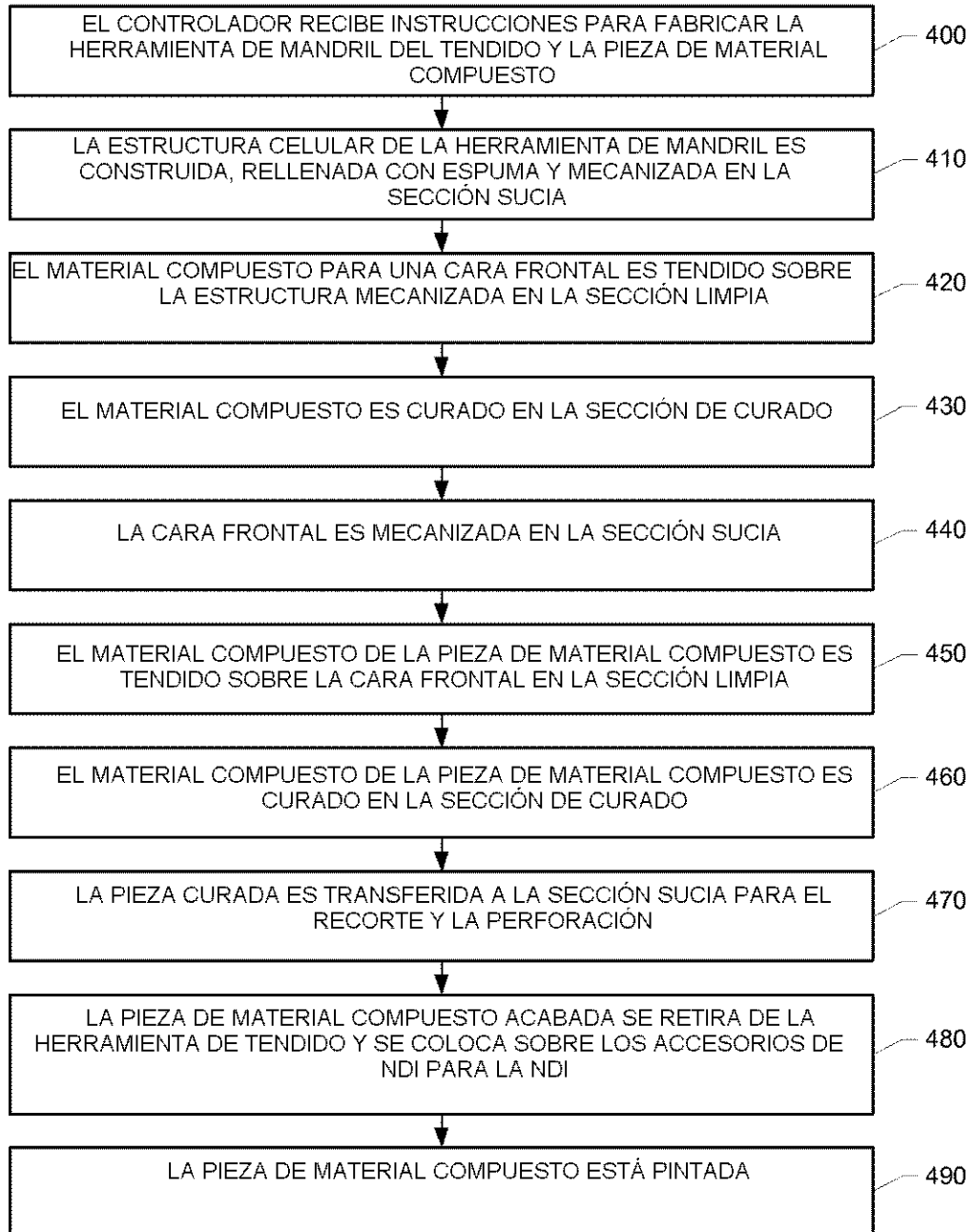


**FIG. 3**





**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7**

