

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 459**

51 Int. Cl.:

B29C 70/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2007** **E 07101121 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015** **EP 1810816**

54 Título: **Inspección visual de colocación de fibra**

30 Prioridad:

24.01.2006 US 761664 P
23.01.2007 US 656768

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.09.2015

73 Titular/es:

INGERSOLL MACHINE TOOLS, INC. (100.0%)
707 FULTON AVENUE
ROCKFORD IL 61103, US

72 Inventor/es:

OLDANI, TINO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 546 459 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

Inspección visual de colocación de fibra

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere al uso de máquinas de colocación automática de fibras para fabricar estructuras de materiales compuestos, y más específicamente a la realización de la inspección visual de la estructura de material compuesto durante el proceso de colocación automática de fibras.

10 Antecedentes de la invención

La colocación automática de fibras es un proceso que se usa ampliamente para fabricar estructuras de materiales compuestos a partir de materiales compuestos preimpregnados, tales como la fibra de carbono, la fibra de vidrio y el Kevlar (rtm). Los materiales, para su uso en la colocación automática de fibras, normalmente toman la forma de una tira o hilo de material compuesto impregnado con una resina, con tales tiras o hilos que se denominan comúnmente como cintas o haces de filamentos, usándose esos términos de una manera, en general, intercambiable en el presente documento.

Durante la colocación automática de fibras, los grupos de haces de filamentos o cintas se depositan en un molde o herramienta mediante una máquina de colocación automática de fibras, para formar una estructura de material compuesto. La máquina de colocación de fibras incluye normalmente un cabezal de colocación de fibras robótico controlado por ordenador que tiene prestaciones para manipular de manera simultánea grupos de, por ejemplo, 12, 24 o 32 haces de filamentos, que se colocan sustancialmente paralelos entre sí por el cabezal de colocación de fibras para formar una banda sustancialmente contigua de material compuesto preimpregnado. A menudo, una o más bandas de material forman una hilera o capa de material que tiene los haces de filamentos en la capa orientados sustancialmente paralelos entre sí en la capa. Pueden depositarse capas sucesivas en la parte superior de una capa anterior, estando los haces de filamentos en las capas sucesivas orientados en una dirección diferente a las capas adyacentes, para crear una parte terminada que tenga las capacidades estructurales deseadas.

Durante el proceso de colocación de fibras, algunas veces es necesario cortar y detener la alimentación del haz de filamentos individuales, eliminándoles de este modo de la banda de material, con el fin de reducir la anchura de la banda de manera que pueda colocarse sobre la superficie del molde o herramienta de una manera tal que impida tener huecos excesivos entre las bandas sucesivas de material, o que tengan los bordes de las bandas sucesivas de material solapados de manera involuntaria entre sí. De manera similar, puede desearse a menudo añadir haces de filamentos a la banda con el fin de aumentar su anchura en las diversas etapas del proceso de colocación automática de fibras, con el fin de facilitar la fabricación de la estructura de material compuesto. El proceso de eliminación o adición de haces de filamentos se denomina comúnmente como "cortar y añadir". En grandes estructuras, puede necesitarse también empalmar de manera periódica nuevos haces de filamentos durante la fabricación a partir de carretes de recambio de material a medida que se agota el material en el carrete de suministro original.

Las máquinas de colocación automática de fibras son capaces de depositar material sobre una superficie de herramienta a altas velocidades de alimentación, de, por ejemplo, 30,5 metros/minuto (> 1.200 pulgadas/minuto) o más. Para maximizar la productividad, es deseable hacer funcionar una máquina de colocación automática de fibras a tan altas velocidades de alimentación a lo largo de la fabricación de una estructura de material compuesto. Es altamente deseable, por lo tanto, que las máquinas de colocación automática de fibras sean capaces de modificar la anchura de la banda de material que se está aplicando sin parar, o ralentizar, la máquina que corta o añade los haces de filamentos a la banda de material. En la lengua vernácula de la industria de la colocación automática de fibras, es muy deseable que las máquinas de colocación automática de fibras sean capaces de cortar o añadir haces de filamentos "sobre la marcha".

A partir de la descripción anterior, se apreciará que la fabricación de una estructura de material compuesto mediante la colocación automática de fibras es un proceso altamente complejo, que requiere un esfuerzo considerable por adelantado durante el diseño de la estructura, un herramental de producción asociado, y en la configuración de la máquina de colocación automática de fibras, para garantizar que todos y cada uno de los haces de filamentos de material se colocan de manera adecuada durante el proceso de colocación automática de fibras, de una manera que resultará en una estructura que tenga unas propiedades de geometría y estructurales deseadas. Debido a la complejidad involucrada tanto en el diseño como en la producción de la estructura de material compuesto mediante la colocación automática de fibras, es una práctica común utilizar herramientas informáticas tanto para diseñar la estructura, como en la programación de la máquina de colocación automática de fibras para mover y operar de manera adecuada el cabezal de colocación de fibras robótico, alimentar el material, cortar y añadir los haces de filamentos, y en algunos casos para mover también el herramental en sincronización con el cabezal robótico durante la deposición automatizada de la estructura de material compuesto en la herramienta. El proceso de diseño de una estructura de material compuesto para la fabricación automatizada se trata en la patente de Estados Unidos N^o 6.799.081 B1, de Hale et al.

Incluso después de que la estructura de material compuesto, el herramental, y la máquina de colocación automática de fibras estén diseñados y configurados para proporcionar la colocación adecuada de los haces de filamentos durante la fabricación, los problemas inherentes en la producción de estructuras de materiales compuestos hacen necesario que la estructura de material compuesto resultante se inspeccione de cerca para garantizar que todos y cada uno de los haces de filamentos se coloquen de hecho de manera adecuada durante la fabricación. Es necesario, por ejemplo, garantizar que los haces de filamentos y/o las bandas de haces de filamentos se hayan cortado y/o se hayan añadido de manera adecuada en una localización deseada durante la fabricación de la estructura. También es necesario detectar cualquier colocación inadecuada, y/u otras condiciones anómalas, tales como torsiones de fibra, excesiva acumulación de resina, "bolas de pelusa", secciones defectuosas del haz de filamentos, materias extrañas y/o huecos involuntarios o superposición de los haces de filamentos.

Aunque es muy deseable realizar tal inspección sobre la marcha en tiempo real, durante la colocación automática de fibras, factores tales como la alta velocidad a la que se realiza la colocación automática de fibras, la forma compleja y las grandes dimensiones de las estructuras de material compuesto, y el rápido movimiento del cabezal de colocación de fibras robótico hace muy difícil tal inspección en tiempo real. En el pasado, la dificultad implicada ha impedido, sustancialmente, la inspección en tiempo real, sobre la marcha, y ha necesitado una dependencia de los métodos que solo podrían realizarse después de que la estructura estuviese completamente fabricada, o exigir que se detuviese el proceso de colocación automática de fibras durante un período de tiempo para permitir la inspección visual, acústica, por imágenes de resonancia magnética, o por rayos x para determinar la localización de las anomalías.

También es deseable que la inspección se realice en tiempo real, y que los resultados de la inspección estén disponibles sustancialmente en tiempo real, mientras que la estructura de material compuesto se está fabricando, de manera que cualquier anomalía u otros problemas descubiertos durante inspección puedan repararse, o de otro modo tratarse, antes de la finalización de la fabricación de la estructura de material compuesto.

En un intento anterior a la realización de tal inspección en tiempo real, divulgado en la patente de Estados Unidos Nº 5.562.788 de Kitson et al., un sistema de imagen visual utiliza un sensor de desplazamiento analógico láser para detectar los bordes de los haces de filamentos de material compuesto individuales, y utiliza la localización de los bordes de los haces de filamentos individuales, para calcular la localización y el tamaño de los huecos entre los haces de filamentos individuales. La localización y el tamaño de los huecos calculados entre los haces de filamentos se utilizan a continuación como un indicador de defectos, tales como huecos excesivos, superposiciones, haces de filamentos torcidos, o la presencia de material extraño bajo el haz de filamentos. Debido a que la patente de Estados Unidos Nº 5.562.788 de Kitson se basa únicamente en los cálculos basados en los bordes detectados de los haces de filamentos individuales, se proporciona solo una aproximación de alguna condición anómala. Las condiciones tales como, por ejemplo, las torsiones de fibra, la acumulación excesiva de resina, o las bolas de pelusa, no se detectan directamente por los métodos y los aparatos de Kitson. Los métodos y los aparatos de Kitson necesitan también que se recojan, almacenen y analicen cantidades masivas de datos.

Todos los retos y problemas tratados anteriormente se agravan en unas estructuras, tales como las superficies de vuelo de aeronaves y las secciones enteras del fuselaje, del tipo que se utilizan en las aeronaves militares y comerciales modernas. Debido a su gran tamaño y complejidad, y a la necesidad de proporcionar una integridad estructural sustancialmente infalible bajo altas condiciones de carga, es altamente deseable que los procesos de inspección se realicen en tiempo real, durante la fabricación de la estructura de material compuesto mediante la colocación automática de fibras, de manera que cualquier condición anómala pueden identificarse y rectificarse potencialmente antes de continuar con el proceso de fabricación. Debido a la naturaleza compleja de la colocación de tres dimensiones de los haces de filamentos, y los movimientos multi-ejes del cabezal de colocación de fibras robótico y del herramental durante la fabricación, también es altamente deseable que se proporcione un método y un aparato para indicar la localización de las anomalías detectadas y/o posicionar de manera adecuada la estructura de material compuesto para permitir cualquier inspección adicional o acción correctiva a hacerse de manera conveniente una vez que se detecte una condición anómala. Los sistemas de inspección anteriores, tal como el divulgado por la patente de Estados Unidos Nº 5.562.788 de Kitson no contemplan tal conveniente inspección adicional durante el proceso y la acción correctiva.

Con el fin de abordar los problemas singulares de fabricación de, por ejemplo, las muy grandes estructuras de materiales compuestos, tales como las superficies de control de aeronave y los fuselajes, el cesionario de la presente invención ha desarrollado una serie de capacidades avanzadas, que incluyen el uso de múltiples cabezales de colocación de fibras controlados de manera robótica y filetas reemplazables de manera automática para mantener los carretes de material compuesto preimpregnado. Estos y otros métodos y aparatos avanzados para realizar la colocación automática de fibras se divulgan en una serie de solicitudes de patente de Estados Unidos relacionadas del cesionario, tales como: el documento 2006/0070697 A1, de Hoffmann, titulado, METHOD AND APPARATUS FOR DIRECTING RESIN-IMPREGNATED TAPE; el documento 2005/0247396 A1, de Oldani et al., titulado, AUTOMATED FIBER PLACEMENT USING MULTIPLE PLACEMENT HEADS, REPLACEABLE CREELS, AND REPLACEABLE PLACEMENT HEADS; el documento 2005/0236735 A1, de Oldani et al., titulado, FORMING A COMPOSITE STRUCTURE BY FILAMENT PLACEMENT ON A TOOL SURFACE OF A TABLET; el documento 2005/0269016 A1, de Oldani et al., titulado, AUTOMATED FORMING OF A PRE-IMPREGNATED COMPOSITE

STRUCTURAL ELEMENTS; y el documento 2005/0240291 A1, de Oldani et al., titulado PERFORMING HIGH-SPEED EVENTS "ON-THE-FLY" DURING FABRICATION OF A COMPOSITE STRUCTURE BY AUTOMATED FIBER PLACEMENT.

5 Los métodos de inspección previa y los aparatos, que incluye la patente de Estados Unidos Nº 5.562.788 de Kitson, no abordan la complejidad adicional y los problemas singulares implicados en realizar la inspección, en los que se utilizan métodos y aparatos del estado de la técnica avanzados del tipo descrito en las solicitudes de patentes del cesionario mencionadas.

10 El documento EP-A-1391721 divulga un método y un aparato de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 28 respectivamente.

Lo que se necesita, por lo tanto, es un método y un aparato mejorados para realizar una inspección de alta velocidad, preferentemente sobre la marcha, en tiempo real, durante la fabricación de una estructura de material compuesto mediante la colocación automática de fibras. También es deseable que un aparato y un método mejorados de este tipo incluyan prestaciones para indicar la localización de cualquier anomalía durante la fabricación, para permitir una inspección adicional y una posible corrección durante el proceso. Además, es deseable que tales métodos y aparatos mejorados contemplen un procesamiento posterior para grabar uno o más de entre: una colocación adecuada y/o inadecuada de las fibras; y/o las anomalías detectadas. Es aún más deseable que un aparato y/o un método mejorado proporcionen imágenes que muestren algunas o todas las condiciones anómalas detectadas.

Breve resumen de la invención

25 La invención proporciona un método mejorado tal como se define en la reivindicación 1 y un aparato como se define en la reivindicación 28 para inspeccionar una estructura de material compuesto formada por una máquina de colocación automática de fibras, comparando una imagen visual de al menos una parte de la estructura con una imagen virtual de la estructura. Puede verificarse una formación adecuada de la estructura comparando la imagen visual con la imagen virtual. Como alternativa, la formación inadecuada de una parte de la estructura puede determinarse comparando la imagen visual con la imagen virtual.

Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

35 La invención puede incluir además manipular la máquina de colocación automática de fibra, y/o el herramental sobre el que se coloca la fibra, para facilitar la inspección y/o la reparación de una formación inadecuada.

La invención puede proporcionar también una indicación visual de una imperfección detectada. En algunas formas de la invención, la indicación visual incluye proporcionar una localización de la imperfección en la estructura. Puede proporcionarse una indicación visible de la localización de la imperfección mediante un método apropiado, tal como iluminar la imperfección con una fuente de luz, tal como un puntero láser. En algunas formas de la invención, la estructura y/o al menos una parte de la máquina de colocación automática de fibras y/o el herramental puede moverse a una posición en la que puede indicarse la imperfección mediante un puntero láser, u otra fuente de luz, dirigido por la máquina de colocación automática de fibras.

45 Cuando se practica la invención para formar una estructura de material compuesto que tenga uno o más recorridos y/o capas que incluyan múltiples haces de filamentos, la invención puede incluir además comparar la imagen visual de los haces de filamentos en un recorrido y/o capa determinada con una imagen virtual de los haces de filamentos en un recorrido o capa determinada.

50 La imagen visual proporciona una representación gráfica del perfil de dos dimensiones de una superficie exterior de los haces de filamentos en la capa determinada.

En algunas formas de la invención, una máquina de colocación automática de fibras incluye un cabezal de colocación de fibras, y la imagen visual se detecta mediante un elemento de captura de visión unido de manera operativa al cabezal de colocación de fibras. En algunas formas de la invención, el elemento de captura de visión puede montarse directamente en el cabezal de colocación de fibras.

60 Cuando el cabezal de colocación de fibras incluye un dispositivo de alimentación para alimentar uno o más haces de filamentos de material, el aparato puede incluir además conectar de manera operativa un sensor de movimiento al dispositivo de alimentación para sincronizar la imagen visual con la imagen virtual.

Un sistema de programación de material compuesto (CPS) determina dónde se descartarán y/o se añadirán todos los haces de filamentos para satisfacer los criterios de separación/solapamiento entre bandas y de límite establecidos por un diseñador de una estructura de material compuesto. Las salidas del CPS incluyen: 1) un archivo de NC (de control numérico), que representa la trayectoria de un rodillo de compactación en un cabezal de colocación de fibras de una máquina de colocación de fibras; y 2) una imagen virtual, en la forma de un perfil de

capas teórico que representa cada banda de haces de filamentos a medida que se coloca, como un recorrido, sobre la superficie de una herramienta, o la superficie de una capa anteriormente depositada de la estructura de material compuesto. El archivo de NC se envía a un sistema de control de máquina (MCS), y el perfil de capas teórico se envía a un dispositivo de comparación de material compuesto (CCD). El MCS procesa las órdenes del archivo de NC para accionar la máquina de colocación de fibras y/o una herramienta de una manera tal a medida que deposita un haz de filamentos, o una banda de haz de filamentos, en una localización deseada en la herramienta. El MCS también proporciona órdenes de sincronización al CCD, de manera que tanto el MCS como el CCD pueden calibrarse en la misma posición a lo largo de cada recorrido. Mientras que la capa está depositándose, el CCD captura una imagen de la superficie de deposición real. A continuación, el CCD puede comparar el perfil de capas real, a partir de la imagen, con el perfil de capas teórico, para detectar y registrar cualquier discrepancia entre los perfiles de capas real y teórico, y también puede producir un archivo para varios usos futuros, tales como transferir los resultados al MCS, que a continuación pueden utilizarse para guiar a un operador de la máquina de colocación de fibra a cada localización de anomalías, para su reparación o cualquier otra acción que se considere adecuada.

Algunas formas del aparato incluyen múltiples cabezales de colocación de fibras, teniendo cada cabezal de colocación de fibras unido de manera operativa al mismo un elemento de captura de visión separada. Las imágenes visuales proporcionadas por los elementos de captura de visión separados pueden proporcionarse a un CCD único común. Como alternativa, cada elemento de captura de visión puede estar unido a un CCD individual dedicado a ese elemento de captura de visión específico.

Algunas formas del aparato pueden incluir también unas filetas reemplazables y/o unos cabezales de colocación de fibras reemplazables. Algunas formas de la invención pueden incluir la capacidad de generar imágenes de cualquier condición anómala identificada a través de la práctica de la invención.

En algunas formas, la imagen virtual define una así llamada posición del eje "U", asociada con el movimiento de un rodillo de alimentación del cabezal de colocación de fibras, durante la fabricación de la estructura de material compuesto mediante la máquina de colocación automática de fibras. La posición del eje "U" puede restablecerse para cada recorrido. La localización de una anomalía, o de cualquier punto específico dentro de la estructura de material compuesto, puede identificarse por una dimensión lineal a lo largo del eje "U" en un recorrido determinado, en combinación con un número de capas de la imagen virtual. La incorporación del eje "U", proporciona por lo tanto un mecanismo eficiente y eficaz para localizar un punto específico en la estructura de material compuesto, de una manera que, por ejemplo, facilite en gran medida la identificación de la localización de una anomalía o el movimiento de la máquina de colocación automática de fibras y/o la herramienta sobre la que se está formando la estructura de material compuesto, para facilitar la inspección fuera de línea y/o para reparar la anomalía.

Un aparato para inspeccionar una estructura de material compuesto formada a partir de uno o más haces de filamentos de material compuesto mediante una máquina de colocación automática de fibras, puede incluir, un dispositivo de comparación de material compuesto (CCD), para comparar una imagen visual de al menos una parte de la estructura de material compuesto con una imagen virtual de la al menos una parte de la estructura de material compuesto. El aparato puede incluir también un elemento de captura de visión, para tomar una imagen visual de un perfil de capas en la al menos una parte de la estructura de material compuesto, en tiempo real, sobre la marcha, a medida que la capa se deposita mediante la máquina de colocación automática de fibras, y para proporcionar la imagen visual al CCD.

La invención puede practicarse con varios tipos diferentes de sensores de captura de visión, incluyendo: sensores láser; cámaras; sensores de dos dimensiones y de tres dimensionales; escáneres; etc. El término "elemento de captura de visión", como se usa en el presente documento, se pretende que abarque cualquier dispositivo de detección y/o sensor adecuado que pueda usarse para generar la imagen visual a usarse en la práctica de la invención.

Independientemente del tipo específico de dispositivo de detección o sensor usado en la práctica de la invención, se procesa una imagen visual a medida que se ve por el dispositivo de detección o sensor de una forma completamente diferente, elegantemente simple, y directa, en la presente invención en comparación con la técnica anterior, tal como en el documento US-A-5562788, para comparar sustancialmente de manera directa una imagen vista en general de una zona de la estructura de material compuesto con una imagen en general virtual de la misma zona, de una manera que se elimine la necesidad de cálculos tediosos que necesitan grandes cantidades de memoria de ordenador necesitada por el documento US-A-5562788. Debido a que la presente invención puede comparar toda la imagen vista con la imagen virtual, la presente invención puede proporcionar sustancialmente más y mejor información con respecto a la construcción adecuada e inadecuada de la estructura de material compuesto que los métodos anteriores, tal como el método de Kitson que solo encontraba los bordes de los haces de filamentos en la zona visualizada después de cálculos arduos, usándose la información de localización de borde calculada a continuación solo como un indicador limitado de parte de la calidad.

Otros dispositivos, tales como los sensores de alimentación de haces de filamentos pueden utilizarse también para generar información a usarse en generar la imagen visual, comparando las imágenes visual y virtual.

Un aparato, de acuerdo con la invención, puede incluir además, un sistema de programación de material compuesto

(CPS), y un sistema de control de máquina (MCS), estando el CPS configurado para determinar dónde se descartarán y/o se añadirán los haces de filamentos individuales o los grupos de haces de filamentos para satisfacer los criterios de separación/solapamiento entre bandas y de límite establecidos por un diseñador de una estructura de material compuesto, y proporcionar salidas del CPS que incluyan un archivo de control numérico (NC) y un perfil de capas teórico, representando el archivo de NC la trayectoria de un rodillo de compactación en un cabezal de colocación de fibras de una máquina de colocación de fibras, y proporcionándose como una entrada al MCS, y el perfil de capas teórico que representa cada banda de haces de filamentos a medida que se deposita, como un recorrido, sobre la superficie de una herramienta, o la superficie de una capa anteriormente depositada de la estructura de material compuesto, y que se proporciona como una entrada al CCD. Las salidas del CPS también pueden designar dónde se añaden, se descartan y/o se empalman los haces de filamentos individuales para lograr las propiedades de configuración y estructurales deseadas en la estructura de material compuesto.

Un MCS puede estar configurado para utilizar el archivo de NC para accionar la máquina de colocación de fibras y/o una herramienta de una manera tal como para depositar un haz de filamentos, o una banda de haces de filamentos, en una localización deseada en la herramienta. El MCS puede estar configurado también para proporcionar órdenes de sincronización al CCD, de manera que tanto el MCS como el CCD puedan calibrarse en la misma posición a lo largo de cada recorrido.

Un CCD puede estar configurado para capturar una imagen visual de la superficie de deposición real de los haces de filamentos, a medida que se depositan mediante el cabezal de colocación, y para comparar el perfil de capas real a medida que se captura en la imagen visual con el perfil de capas teórico.

Un método, de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 1.

La invención también toma la forma de un medio legible por ordenador que tiene unas instrucciones ejecutables por ordenador para realizar las etapas de un método, de acuerdo con la invención.

Otros aspectos, objetivos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que forman una parte de la memoria descriptiva, ilustran varios aspectos de la presente invención y que, junto con la descripción, sirven para explicar la invención. En los dibujos:

La figura 1 es una ilustración combinada de un esquema y un diagrama de flujo de una realización a modo de ejemplo de un método y un aparato, de acuerdo con la invención, que proporciona una inspección en tiempo real, sobre la marcha de una estructura de material compuesto formada por una máquina de colocación automática de fibras, comparando una imagen visual de al menos una parte de la estructura con una imagen virtual de la al menos una parte de la estructura.

Las figuras 2-4 son, respectivamente, una vista superior en planta, una vista en alzado lateral, y una gráfica de capas de una estructura de material compuesto a modo de ejemplo del tipo que podría inspeccionarse usando un aparato y/o un método de acuerdo con la invención.

Las figuras 5A-5E son ilustraciones esquemáticas de recorridos a modo de ejemplo de los haces de filamentos de fibras, del tipo que podría inspeccionarse usando un aparato y/o un método de acuerdo con la invención.

Aunque la invención se describirá en relación con ciertas realizaciones preferidas, no se pretende limitarla a esas realizaciones. Por el contrario, la intención es cubrir todas las alternativas, modificaciones y equivalentes como incluidos dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 es un esquema y un diagrama de flujo combinados que ilustran una primera realización a modo de ejemplo de un aparato 100 y un método (200) para inspeccionar una estructura de material compuesto 102 formada a partir de uno o más haces de filamentos de material compuesto 104, alimentados desde una fileta 105, y depositados sobre una superficie de herramienta 106 de una herramienta móvil 108 mediante una máquina de colocación automática de fibras (AFPM) 110, comparando (201) una imagen visual 112 de al menos una parte de la estructura de material compuesto 102 con una imagen virtual 114 de la parte de la estructura de material compuesto 102 capturada en la imagen visual 112.

Como se describirá en más detalle a continuación, la imagen virtual 114 proporciona una representación teórica de la forma en que debería aparecer cada uno de los haces de filamentos en cada capa de la estructura de material compuesto, de acuerdo con el diseño de la estructura 102, para un elemento de captura de visión 116, que está montado de manera operativa o física en un cabezal de colocación de fibras 118 de la AFPM 110, para ver los haces

de filamentos de fibra 104 a medida que se depositan de manera secuencial sobre la superficie de herramienta 106 o en la parte superior de los recorridos anteriormente depositados de los haces de filamentos de fibra 104 de la estructura de material compuesto 102. Las imágenes visual y virtual 112, 114 se alimentan a un dispositivo de comparación de material compuesto (CCD) 120, para la comparación de la imagen visual 112 con la imagen virtual 114. El dispositivo de comparación de material compuesto (CCD) 120 compara las imágenes visual y virtual 112, 114, y proporciona varias salidas, en diversas realizaciones de la invención, indicando la formación adecuada y/o inadecuada de la estructura de material compuesto 102, en comparación con una parte teórica de material compuesto “perfectamente construida” de acuerdo con lo interpretado por los diseñadores de la parte de material compuesto y utilizada para generar la imagen virtual 114 de acuerdo con la invención.

Como se muestra en las figuras 2-4, una estructura de material compuesto típica, de un tipo que podría beneficiarse de la inspección usando un aparato o un método de acuerdo con la invención, consiste en una pluralidad de hileras, o recorridos, que comprenden múltiples bandas de haces de filamentos de fibras, que están depositados de manera secuencial sobre la superficie de herramienta 106 en varios patrones para formar la estructura de material compuesto 102. Específicamente, las figuras 2 y 3 son unas vistas de la parte superior y en alzado lateral, respectivamente, de una parte de material compuesto representativo 102 construida de múltiples secuencias de múltiples capas, de acuerdo con una tabla de capas mostrada en la figura 4.

Tal como se comprenderá, a partir de un examen de las figuras 2-4, las capas P1-P14, están depositadas de manera secuencial en una serie de pasadas por el cabezal de colocación de fibras 118 a través de la superficie de herramienta 106, estando las secuencias indicadas con los números de referencia S1-S8, para indicar que se deposita la primera secuencia S1 que incluye solo una capa, P1, seguida por la segunda secuencia S2, que incluye las capas P2 y P3, etc., hasta la secuencia S8, que consiste en las capas P12, P13 y P14. Como se muestra de manera adicional en la tabla de capas de la figura 4, cada una de las capas P1-P14 pueden tener una orientación variable, mostrando la tabla de capas a modo de ejemplo de la figura 4 orientaciones de 0, +/- 45 y +/- 90 grados. En la realización a modo de ejemplo de la figura 4, como se muestra en la columna de material de la figura 4, todas las capas P1-P14 de la realización a modo de ejemplo mostradas en las figuras 2 y 3 están construidas del mismo material M1. Sin embargo, se entenderá que en otras realizaciones de la invención el material usado para cada una de las capas P1-P14 puede ser diferente.

Como se muestra en las figuras 5A-5G, un recorrido determinado de capas depositadas en cada pasada secuencial del cabezal de colocación de fibras 118 sobre la superficie de herramienta 106 puede constituir un recorrido de ancho completo, un recorrido de menos que el ancho completo, y puede configurarse de otra forma con colas iniciales o finales, muescas laterales izquierdas y/o derechas, roturas, y/o muescas centrales.

Las imágenes visual y virtual 112, 114 de la invención, se calibran entre sí, en la realización a modo de ejemplo de la invención, por referencia al mismo número de recorrido, el número de capas y una denominada “posición del eje U”, usada por una unidad de control de máquina (MCU) 122 durante la formación de la estructura de material compuesto 102, para controlar el movimiento de la máquina de colocación automática de fibras (AFPM) 110 y la herramienta móvil 108 y que alimenta los haces de filamentos de material compuesto 104 sobre la herramienta 106, o un haz de filamentos anteriormente depositado 104.

En virtud de esta disposición, la invención permite una comparación sustancialmente literal a hacerse por el CCD 120 entre la imagen virtual 114, de una parte de la imagen virtual 114 dentro de la vista del elemento de captura de visión 116, y la apariencia visual real de la parte de la estructura de material compuesto 102 dentro de la vista del elemento de captura de visión en una localización específica dentro de la estructura de material compuesto 102.

Como se muestra en la figura 1, las diversas etapas del método de inspección 200, de acuerdo con la invención, pueden realizarse de manera parcial en una zona de oficinas y de manera parcial en el suelo de la fábrica por conveniencia, en función de las circunstancias específicas que rodeen la práctica de la invención.

El hardware, el software y/o los métodos 124 del diseño asistido por ordenador (CAD) se usan para crear (200) un modelo de sistema de programación de material compuesto (CPSM), que incluye la definición de las geometrías de soporte y el CPST. Las geometrías de soporte pueden incluir la definición de: la superficie de herramienta; las superficies intermedias; las superficies de inserción principales; los límites; los puntos; los vectores; las curvas; y los ejes. Las tablas del CPS definen los elementos de orden de deposición y de referencia dentro del modelo de diseño.

El dispositivo CAD, los métodos, y/o el software 124 ejecutan también (204) un programa de interfaz de sistema de programación de material compuesto (CPSINT 128), extrayendo el programa CPSINT 128 datos (206) a partir del modelo CPS 126 para crear (208) archivos de datos de proyectos 130. El dispositivo CAD, el método y/o el software 124 transfieren también (210) los archivos de datos de proyectos 130 a un dispositivo de sistema de programación de material compuesto (CPS) y/o a un software 132, que genera 210 la imagen virtual 114 a partir de los archivos de datos de proyectos y transmiten (212) la imagen virtual al CCD 120.

El CPS 132 genera también (214) trayectorias de fibra 134, y genera (216) archivos de datos de control numérico (archivos de datos de NC 136). El CPS 132 puede usar también 218 los archivos de datos de NC 136 para ejecutar

(220) una simulación, para verificar o modificar las trayectorias de fibra u otra información en los archivos de datos de NC 136.

A continuación, el CPS 132 transmite (222) los archivos de datos de NC 136 a un dispositivo de extremo frontal inteligente (IFE) y/o a un software, que forma parte de la unidad de control de máquina (MCU 122), de la realización a modo de ejemplo del aparato de inspección 100, de acuerdo con la invención. El IFE 140 procesa (224) los archivos de datos de NC 136 recibidos desde el CPS 132, y envía un fichero procesado por la estructura de material compuesto 102 (denominado como parte 'A' en la figura 1) que incluye datos de proceso de control lógico programable (PLC) 144 y datos de control de máquina de control numérico por ordenador (CNC) 146 a un dispositivo de control numérico por ordenador (CNC) y/o a un software 146, que es parte de la unidad de control de máquina 122 de la realización a modo de ejemplo del aparato de inspección 100, de acuerdo la invención.

El CNC 146 utiliza los datos de proceso de PLC 144 y los datos de control de máquina de CNC 146 para comandar y controlar la máquina de colocación automática de fibras 110 y la herramienta móvil 108. Además de controlar las posiciones relativas de la AFPM 110 y la superficie de herramienta 106 de la herramienta móvil 108, de tal manera que un rodillo de compactación (no mostrado) del cabezal de colocación automática de fibras 118 se mueva a través de la superficie de herramienta de una manera adecuada durante la formación de la estructura de material compuesto, el CNC 146 controla también el movimiento de una pluralidad de rodillos de alimentación 148, dentro del cabezal de colocación de fibras 118, de tal manera que los haces de filamentos de fibras individuales se alimentan por los rodillos de alimentación al cilindro de compresión en los momentos apropiados durante la construcción de la estructura de material compuesto 102 a lo largo del eje U, estando el eje U definido sustancialmente como una línea formada en una dirección sustancialmente perpendicular a un eje de rotación de los rodillos de alimentación 148, a medida que el cabezal de colocación de fibras 118 se mueve con respecto a la superficie de herramienta 106 mediante la AFPM 110, durante la construcción de la estructura de material compuesto 102.

Como se conoce en la técnica, el CNC 146 comanda los rodillos de alimentación 148, junto con otros elementos dentro del cabezal de colocación de fibras 118, para añadir y/o cortar los diversos haces de filamentos individuales 104 en posiciones selectivas a lo largo del eje U, durante cada secuencia de movimiento del cabezal de colocación de fibra a través de la superficie de herramienta 106 en la que el cabezal de colocación de fibra está depositando uno o más recorridos o haces de filamentos, para colocar de manera adecuada los haces de filamentos y/o los recorridos en los patrones y las orientaciones deseadas, tal como las descritas anteriormente en relación con las figuras 2-4 y las figuras 5A-5E.

Para proporcionar la sincronización entre la imagen virtual 114, generada por el CPS 132, y la imagen visual 112 registrada por el elemento de captura de visión 116, la realización a modo de ejemplo del aparato de inspección 100 incluye un codificador 150, unido de manera operativa a los rodillos de alimentación 148, para detectar y transmitir al CCD 120 la posición del eje U correspondiente a la parte de la estructura de material compuesto 102 dentro de la vista del elemento de captura de visión 116. El CCD 120 usa la posición del eje U 152 del codificador 150 para sincronizar la imagen visual 112 con la misma posición del eje U de la imagen virtual 114, de un recorrido determinado de la estructura de material compuesto 102, para hacer de ese modo una comparación sobre la marcha en tiempo real sustancialmente instantánea entre las imágenes visual y virtual 112, 114. En la realización a modo de ejemplo del aparato de inspección 100 y el método 200, se contempla que la posición del eje U debería restablecerse a la posición de partida para cada secuencia sucesiva de deposición de un recorrido de haces de filamentos de fibras durante la construcción de la estructura de material compuesto.

La posición del eje U 152 se realimenta también 228 al CNC 146, para su uso por el CNC en comandar y controlar la AFPM 110, la herramienta móvil 108, y/o un dispositivo señalador láser 154 de la realización a modo de ejemplo del aparato de inspección 100, que puede hacerse funcionar mediante el CNC 146 para apuntar a las zonas de la estructura de material compuesto 102, para facilitar de ese modo a un operador la localización de un punto específico dentro de la estructura de material compuesto.

Se contempla, por ejemplo, que el puntero láser podría usarse para precisar la localización de una discrepancia entre las imágenes visual y virtual 112, 114, para ayudar de ese modo al operador a inspeccionar rápidamente la zona indicada y determinar si podría necesitarse tomar la acción correctiva antes de continuar con la formación de la estructura de material compuesto 102. Se contempla además, que el puntero láser 154 podría ser útil también para facilitar y acelerar otras operaciones durante la formación de la estructura de material compuesto, tales como precisar las localizaciones en las que podrían necesitarse refuerzos localizados, núcleos, etc. que deban insertarse manualmente por el operador.

Se entenderá, por los expertos en la materia, que pueden usarse también dispositivos distintos de los punteros láser para proporcionar una indicación visible de una localización específica en la estructura de material compuesto 102. Se contempla también, que en algunas realizaciones de la invención, pueden utilizarse múltiples punteros láser u otros dispositivos indicadores visuales o de forma individual o en combinación para apuntar a una posición específica en la estructura de material compuesto que podría localizarse fuera de una línea de visión directa con uno de los que dispositivos de indicación determinado. Se contempla además, que en algunas realizaciones de la invención, el CNC 146 puede enviar señales de órdenes y control coordinadas a la AFPM 110, a la tabla movable

108 y al puntero láser 154, para mover la estructura de material compuesto 102 a una posición en la que el puntero láser 154 pueda iluminar la zona específica de interés en la estructura de material compuesto 102. En algunas realizaciones de la invención, un puntero láser u otro dispositivo de iluminación puede montarse en un cabezal de colocación de fibra, en un soporte separado, o incluso ser inalámbrico y portátil en la práctica de la invención.

Como se muestra además en la figura 1, el CCD 120 transmite de nuevo los datos de imagen visual al IFE 140, de manera que el IFE 140 puede registrar 234 los datos de imagen visual 112 en una historia 156 de la estructura de material compuesto 102, o generar una imagen en una pantalla de ordenador, por ejemplo, de cualquier anomalía o zona de interés registrada en los datos de imagen visual 112.

Se contempla que la historia 156 pueda incluir una variedad de información útil en diversas realizaciones de la invención. Por ejemplo, cuando el CCD 120 determina que la imagen visual 112 se corresponde exactamente, o dentro de las tolerancias preestablecidas, con la imagen virtual 114, la imagen visual podría simplemente almacenarse con la historia 156 como parte de la documentación general relativa a la construcción exitosa de la estructura de material compuesto 102. Tales registros se producen y se archivan comúnmente dentro de la industria aeroespacial, en particular los expertos en la materia reconocerán que la invención proporciona un método y un aparato eficientes y eficaces para compilar y guardar tal información. Cuando el CCD 120 encuentra discrepancias entre las imágenes visual y virtual, la historia 156 puede incluir también registros adicionales con respecto a la extensión de la discrepancia, y los registros de cualquier acción correctiva o de otras actividades realizadas por el operador después de la notificación por el CCD 120 de la presencia de la discrepancia.

Se observará también por los expertos en la materia, que un aparato y/o método, de acuerdo con la invención, pueden usarse en las operaciones de colocación automática de fibras que tienen múltiples máquinas de colocación automática de fibras o cabezales de colocación de fibras de manera simultánea, o aplicar de manera secuencial recorridos de fibra durante la construcción de la estructura de material compuesto. En tales realizaciones, o en las realizaciones que tienen filetas sustituibles, las salidas de múltiples elementos de captura de visión 116 pueden alimentarse a un CCD común 120, o como alternativa, 120 pueden usarse múltiples sensores CCD para procesar la imagen visual 112 de cada elemento de captura de visión 116.

En virtud de la comparación, puede verificarse la colocación adecuada de los haces de filamentos. La comparación entre las imágenes virtual y real de las superficies exteriores de los haces de filamentos puede configurarse también para detectar y registrar solo las discrepancias entre los perfiles de capas real y teórico, en lugar de verificar la colocación adecuada de todos los haces de filamentos. Aunque se contempla que, en general, será preferible verificar la colocación adecuada de todos los haces de filamentos en ciertas circunstancias, tales como cuando el almacenamiento del ordenador o la capacidad de procesamiento son limitados, puede ser deseable centrarse solo en algunas discrepancias detectadas.

Los datos recopilados durante el proceso de comparación pueden almacenarse también de una forma adecuada para varios usos, tales como la transferencia de los resultados al MCS, utilizando a continuación el MCS los datos almacenados para guiar al operador de la máquina de colocación de fibras a la localización de cualquier anomalía detectada por la comparación, para facilitar la reparación de la anomalía o cualquier otra acción que se considere adecuada.

En la realización a modo de ejemplo de la invención mostrada en la figura 1, un elemento de captura de visión está montado directamente en un cabezal de colocación de fibras de la máquina de colocación de fibras, en las proximidades de un rodillo de compactación del cabezal de colocación de fibras para proporcionar de este modo una imagen visual de las superficies exteriores de los haces de filamentos de material compuesto en una posición, tan cerca como sea razonablemente posible, hasta el punto en el que los haces de filamentos se presionan sobre la superficie de herramienta por el rodillo de compactación. El elemento de captura de visión de la realización a modo de ejemplo, utiliza un haz de propagación, que proporciona una imagen de perfil lineal de dos dimensiones de una parte de la estructura de material compuesto, que puede extenderse a través de una serie de haces de filamentos y/o bandas de los materiales compuestos en un recorrido determinado de material, a medida que se deposita sobre la herramienta. Sin embargo, en otras realizaciones de la invención, puede usarse cualquier otro tipo de elemento de captura de visión adecuada. Los elementos de captura de visión que tienen tres dimensiones, o mayor capacidad pueden usarse también en algunas realizaciones de la invención.

En algunas realizaciones de la invención, ciertos tipos de anomalías, tales como los haces de filamentos defectuosos pueden detectarse también, usando métodos de detección adecuados antes de que el haz de filamentos se coloque en la superficie del haz de filamentos por el rodillo de compactación.

En las realizaciones a modo de ejemplo de la invención mostradas en la figura 1, el cabezal de colocación de fibras de la máquina de colocación automática de fibras incluye uno o más rodillos de alimentación, para alimentar de haces de filamentos de material compuesto al cabezal de compactación, cuando se dirige a hacerlo, de acuerdo con los datos de proceso y de control de máquina suministrados a un control numérico informatizado (CNC), proporcionando el CNC a su vez órdenes y controles a la máquina de colocación automática de fibras. Un sensor de rotación, en la forma de un codificador, está unido de manera operativa al rodillo de alimentación para detectar y

proporcionar una posición del eje U de cada haz de filamentos dentro de cada recorrido de la estructura de material compuesto. Mediante el uso de los datos de posición del eje U, en combinación con un número de capas y un número de recorridos de la imagen virtual, puede identificarse la localización precisa de cualquier punto específico dentro de la estructura de material compuesto mediante una dimensión lineal a lo largo del eje U.

5 Los expertos en la materia reconocerán que la invención puede encontrar una eficacia específica en aplicaciones complejas, tales como las divulgadas en las solicitudes de patentes de Estados Unidos, del cesionario, el documento 2006/0070697 A1, de Hoffmann, titulado, METHOD AND APPARATUS FOR DIRECTING RESIN-IMPREGNATED TAPE; el documento 2005/0247396 A1, de Oldani et al., titulado, AUTOMATED FIBER PLACEMENT USING
10 MULTIPLE PLACEMENT HEADS, REPLACEABLE CREELS, AND REPLACEABLE PLACEMENT HEADS; el documento 2005/0236735 A1, de Oldani et al., titulado, FORMING A COMPOSITE STRUCTURE BY FILAMENT PLACEMENT ON A TOOL SURFACE OF A TABLET; el documento 2005/0269016 A1, de Oldani et al., titulado, AUTOMATED FORMING OF A PRE-IMPREGNATED COMPOSITE STRUCTURAL ELEMENTS; y el documento 2005/0240291 A1, de Oldani et al., titulado PERFORMING HIGH-SPEED EVENTS "ON-THE-FLY" DURING
15 FABRICATION OF A COMPOSITE STRUCTURE BY AUTOMATED FIBER PLACEMENT, que usan múltiples AFPM, múltiples cabezales de colocación de fibras, y/o filetas reemplazables, y/o cabezales reemplazables, debido a la complejidad adicional de las trayectorias de herramienta, la necesidad de hacer cortes y empalmes coordinados, etc., durante la fabricación de la estructura de material compuesto.

20 A partir de lo anterior, los expertos en la materia reconocerán que la invención proporciona un método y un aparato eficientes y eficaces para realizar una inspección de alta velocidad, sobre la marcha, en tiempo real, durante la fabricación de una estructura de material compuesto mediante la colocación automática de fibras. Los expertos en la materia también reconocerán que, usando una comparación de una imagen visual real de una zona de la estructura de material compuesto con una imagen virtual de una imagen virtual teóricamente perfecta de la misma zona, la
25 invención proporciona un método y un aparato sustancialmente más eficientes y eficaces para inspeccionar una estructura de material compuesto, durante la fabricación de la estructura, que los métodos y los aparatos de la técnica anterior, tales como los descritos en la patente de Estados Unidos N° 5.562.788 de Kitson referenciada, tratada anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un método (200) para inspeccionar una estructura de material compuesto (102) formada a partir de uno o más haces de filamentos de material compuesto (104) mediante una máquina de colocación automática de fibras (110),
5 **caracterizado por** que el método (200) comprende, comparar una imagen visual (112) de la superficie de deposición real de los haces de filamentos de material compuesto en una localización deseada de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con una imagen virtual (114) en forma de un perfil de capas teórico que representa cada haz de filamentos de material compuesto a medida que se deposita como un recorrido sobre la superficie de una capa depositada anteriormente
10 de la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102).
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además, determinar la formación adecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).
15
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además, determinar la formación inadecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).
- 20 4. El método de la reivindicación 3, que comprende además manipular la máquina de colocación automática de fibras (110) para facilitar la inspección y/o la reparación de la formación inadecuada.
5. El método de la reivindicación 3, en donde el método incluye proporcionar una indicación visual de una imperfección detectada de la estructura de material compuesto (102).
25
6. El método de la reivindicación 3, que comprende además, proporcionar una localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).
7. El método de la reivindicación 6, que comprende además, proporcionar una indicación visible de la localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).
30
8. El método de la reivindicación 7, en el que, la indicación visible la proporciona un puntero láser dirigido de manera automática (154).
- 35 9. El método de la reivindicación 8, que comprende además, mover la estructura de material compuesto (102) y/o al menos una parte de la máquina de colocación automática de fibras (110) a una posición en la que pueda indicarse la imperfección mediante el puntero láser dirigido de manera automática (154).
- 40 10. El método de la reivindicación 1, en el que la estructura de material compuesto (102) está formada a partir de una o más capas (P1-P14) que tienen múltiples haces de filamentos (104), y el método incluye además comparar una imagen visual (112) de los haces de filamentos (104) en una capa determinada (P1-P14) con una imagen virtual (114) de los haces de filamentos (104) en una capa determinada (P1-P14).
- 45 11. El método de la reivindicación 10, en el que la imagen visual (112) de los haces de filamentos (104) es una representación gráfica del perfil de dos dimensiones de una superficie exterior de los haces de filamentos (104).
12. El método de la reivindicación 1, en el que la máquina de colocación automática de fibras (110) incluye un cabezal de colocación de fibras (118) y la imagen visual (112) se toma mediante un elemento de captura de visión (116) conectado de manera operativa al cabezal de colocación de fibras (118).
50
13. El método de la reivindicación 12, en el que el elemento de captura de visión (116) está montado en el cabezal de colocación de fibras.
14. El método de la reivindicación 12, en el que el cabezal de colocación de fibras (118) incluye un rodillo de alimentación (148) para alimentar uno o más haces de filamentos de material (104), y el método comprende además utilizar un sensor de rotación (150) conectado de manera operativa al rodillo de alimentación (148) para la sincronización de la imagen visual (112) con la imagen virtual (114).
55
15. El método de la reivindicación 1, en el que una de entre la imagen virtual (114) y la imagen visual (112) o ambas están localizadas a lo largo de un eje U (u) que se extiende a través de al menos una parte de al menos un recorrido de material (M1) depositado por el cabezal de colocación automática de fibras (118) durante la formación de la estructura de material compuesto (102).
60
16. El método (200) de la reivindicación 1 que comprende, además, formar una estructura de material compuesto (102) mediante una máquina de colocación automática de fibras (110) a partir de una pluralidad de haces de filamentos de fibras (104) depositados por la máquina de colocación automática de fibras (110):
65

construir una imagen virtual (112) de la estructura de material compuesto (102), antes de formar la estructura de material compuesto (102), definir una colocación y una configuración adecuadas de cada uno de la pluralidad de haces de filamentos de fibras (104) dentro de la estructura de material compuesto (102);

tomar una imagen visual (112) del aspecto de los haces de filamentos (104) que forman al menos una parte de la estructura de material compuesto (102), en tiempo real, a medida que se forma la estructura de material compuesto (102) mediante la máquina de colocación automática de fibras (110); y a continuación

comparar la imagen visual (112) del aspecto de los haces de filamentos de fibras (104) en la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la configuración y la colocación adecuadas de los haces de filamentos de fibras (104) como se definen en la imagen virtual (112) de la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102).

17. Un medio legible por ordenador **caracterizado por** tener instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el método de la reivindicación 1.

18. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de determinar la formación adecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).

19. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de determinar la formación inadecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).

20. El medio legible por ordenador de la reivindicación 19, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de manipular la máquina de colocación automática de fibras (110) para facilitar la inspección y/o la reparación de la formación inadecuada.

21. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de proporcionar una localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).

22. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de proporcionar una indicación visible de la localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).

23. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, **caracterizado por** tener instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el método de la reivindicación 16 y que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de determinar la formación adecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).

24. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, **caracterizado por** tener instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el método de la reivindicación 16 y que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de determinar la formación inadecuada de la estructura de material compuesto (102), comparando la imagen visual (112) de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con la imagen virtual (114) de la estructura de material compuesto (102).

25. El medio legible por ordenador de la reivindicación 24, que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de manipular la máquina de colocación automática de fibras (110) para facilitar la inspección y/o la reparación de la formación inadecuada de la estructura de material compuesto (102).

26. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, **caracterizado por** tener instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el método de la reivindicación 16 y que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de proporcionar una localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).

27. El medio legible por ordenador de la reivindicación 17, **caracterizado por** tener instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el método de la reivindicación 16 y que tiene instrucciones ejecutables por ordenador adicionales para realizar la etapa de proporcionar una indicación visible de la localización de la imperfección en la estructura de material compuesto (102).

28. Un aparato (100) para inspeccionar una estructura de material compuesto (102) formada a partir de uno o más haces de filamentos de material compuesto (104) mediante una máquina de colocación automática de fibras (110), **caracterizado** el aparato (100) **por** que comprende, un dispositivo de comparación de material compuesto (120), para comparar una imagen visual (112) de la superficie de deposición real de los haces de filamentos de material

compuesto en una localización deseada de al menos una parte de la estructura de material compuesto (102) con una imagen virtual (114) en forma de un perfil de capas teórico que representa cada haz de filamentos de material compuesto a medida que se deposita como un recorrido sobre la superficie de una herramienta o la superficie de una capa depositada anteriormente de la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102).

29. El aparato de la reivindicación 28, que comprende, además, un elemento de captura de visión (116), para tomar una imagen visual (112) de un perfil de capas en la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102), en tiempo real, sobre la marcha, a medida que la capa es depositada por la máquina de colocación automática de fibras (110), y para proporcionar la imagen visual (112) al dispositivo de comparación de material compuesto (120).

30. El aparato de la reivindicación 28, que comprende además:

un sistema de programación de material compuesto (132); y

un sistema de control de máquina;

estando el sistema de programación de material compuesto (132) configurado para determinar dónde se descartarán y/o se añadirán todos los haces de filamentos (104) para satisfacer los criterios de separación/solapamiento entre bandas y de límite establecidos por un diseñador de una estructura de material compuesto (102), y proporcionar salidas del sistema de programación de material compuesto (132) que incluyan un archivo de control numérico (136) y un perfil de capas teórico;

representando el archivo de control numérico (136) la trayectoria de un rodillo de compactación en un cabezal de colocación de fibras (118) de una máquina de colocación de fibras (110), y proporcionándose como una entrada al sistema de control de máquina;

proporcionándose la imagen virtual en forma de un perfil de capas teórico como una entrada al dispositivo de comparación de material compuesto (120);

estando el sistema de control de máquina configurado para utilizar el archivo de control numérico (136) para accionar la máquina de colocación de fibras (110) y/o una herramienta (108) de una manera tal como para depositar una haz de filamentos (104), o una banda de haces de filamentos, en una localización deseada en la herramienta (108);

estando el sistema de control de máquina configurado también para proporcionar órdenes de sincronización al dispositivo de comparación de material compuesto (120), de manera que tanto el sistema de control de máquina como el dispositivo de comparación de material compuesto (120) puedan calibrarse en la misma posición a lo largo de cada recorrido;

estando el dispositivo de comparación de material compuesto (120) configurado para capturar la imagen visual (112) de la superficie de deposición real de los haces de filamentos de material compuesto (104), a medida que son depositados mediante el cabezal de colocación (118), y para comparar el perfil de capas real a medida que se captura en la imagen visual (112) con el perfil de capas teórico.

31. El aparato de la reivindicación 28, que comprende, además, un elemento de captura de visión (116), para tomar una imagen visual (112) de un perfil de capas en la al menos una parte de la estructura de material compuesto (102), en tiempo real, sobre la marcha, a medida que se deposita la capa mediante la máquina de colocación automática de fibras (110), y para proporcionar la imagen visual (114) al dispositivo de comparación de material compuesto (120).

32. El aparato de la reivindicación 30, en el que el dispositivo de comparación de material compuesto (120) está configurado además para producir un registro de archivo transferible de los resultados de la comparación del dispositivo de comparación de material compuesto (120) de la imagen visual (122) con el perfil de capas teórico.

33. El aparato de la reivindicación 32, en el que el dispositivo de comparación de material compuesto (120) está configurado además para detectar y registrar cualquier discrepancia y/o anomalía entre los perfiles de capas real y teórico.

34. El aparato de la reivindicación 33, en el que el sistema de control de máquina está configurado además para recibir los resultados de la comparación del dispositivo de comparación de material compuesto (120) y proporcionar una salida para guiar a un operador de la máquina de colocación de fibras (110) a cada localización de discrepancia y/o anomalía, para facilitar de este modo la evaluación, la reparación o cualquier otra acción que se considere adecuada.

35. El aparato de la reivindicación 34, que incluye, además, un dispositivo de señalización (154), que produce una salida en forma de un haz de luz visible dirigido por el sistema de control de máquina para indicar la localización de una o más discrepancias y/o anomalías en la estructura de material compuesto (102).

36. El aparato de la reivindicación 35, en el que el haz de luz visible es un haz láser.

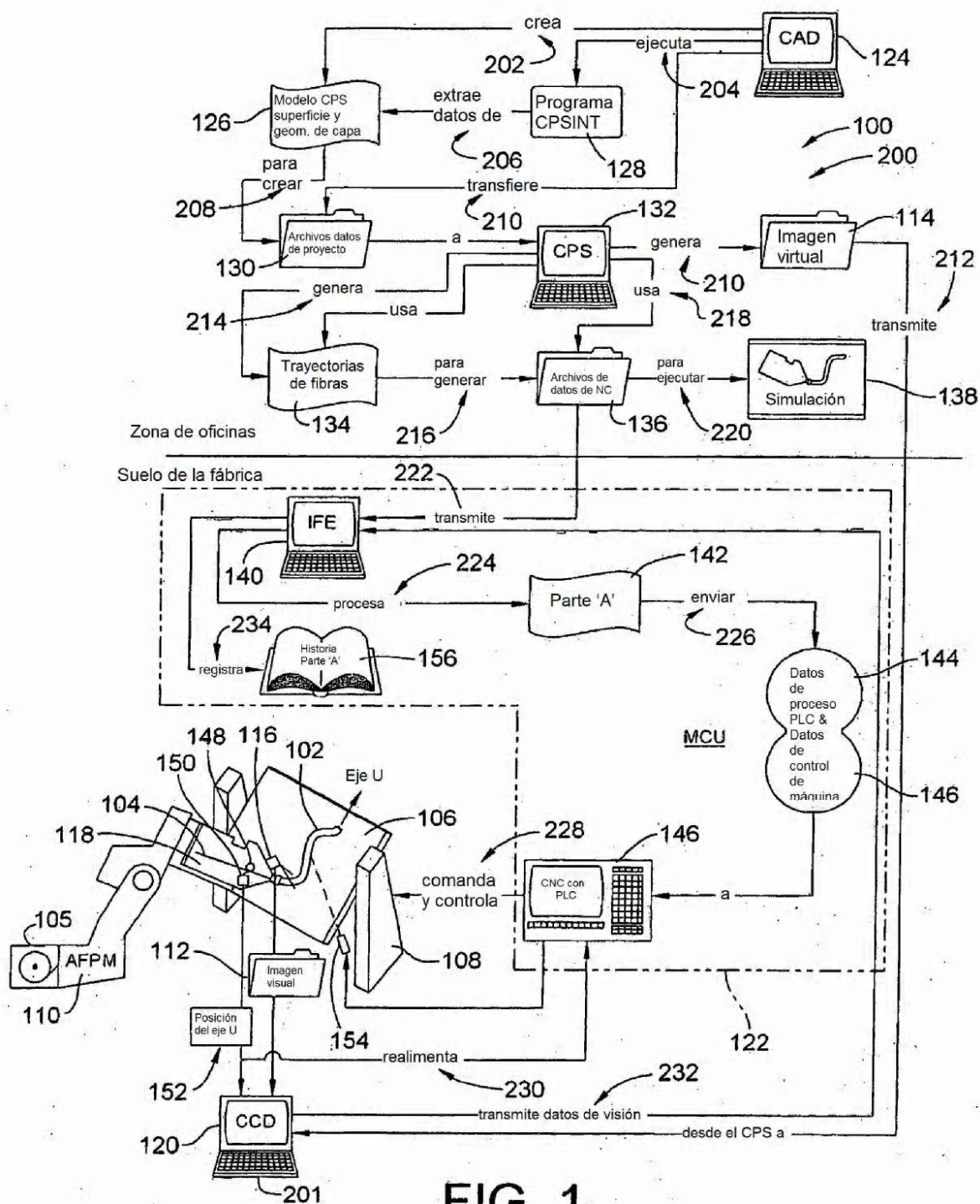


FIG. 3

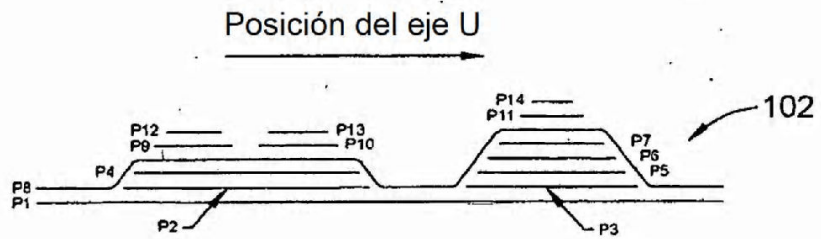
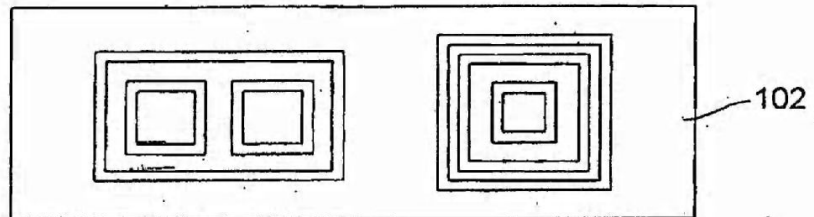


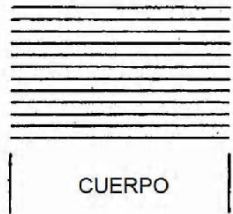
FIG. 2



SECUENCIA	CAPA	ORIENTACIÓN	MATERIAL
S1	P1	0	M1
S2	P2	45	M1
	P3	45	
S3	P4	90	M1
	P5	90	
S4	P6	-45	M1
S5	P7	0	M1
S6	P8	90	M1
S7	P9	45	M1
	P10	45	
	P11	-45	
S8	P12	-45	M1
	P13	-45	
	P14	90	

FIG. 4

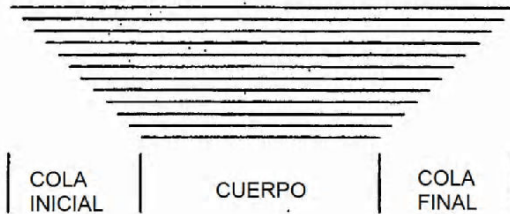
POSICIÓN DEL EJE U



CUERPO

FIG. 5A

DIRECCIÓN DE DEPOSICIÓN

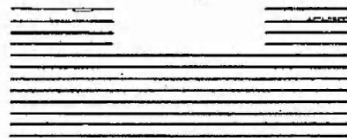


COLA INICIAL

CUERPO

COLA FINAL

FIG. 5G

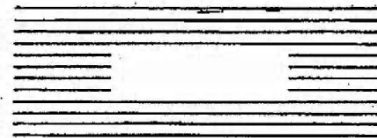


MUESCA LATERAL IZQUIERDA

ROTURA

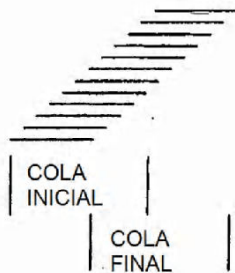
CUERPO

FIG. 5B



MUESCA CENTRAL

FIG. 5F



COLA INICIAL

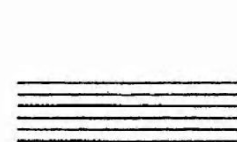
COLA FINAL

FIG. 5C



RECORRIDO DE ANCHURA TOTAL

FIG. 5D



RECORRIDO MENOR QUE LA ANCHURA TOTAL

FIG. 5E

ANCHURA DEL RODILLO