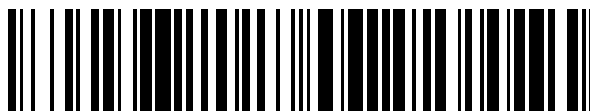


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 805**

51 Int. Cl.:

B29C 70/38 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2008** **E 08797285 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2015** **EP 2188115**

54 Título: **Métodos y sistemas para el automatizado de la capa límite e inspección de orientación**

30 Prioridad:

09.08.2007 US 836242

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.07.2015

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US

72 Inventor/es:

BRENNAN, JOSEPH D.;
ATSEBHA, SOLOMAN T.;
DORSEY-PALMATEER, JOHN W. y
ANDERSON, PATRICK L.

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 541 805 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).

Métodos y sistemas para el automatizado de la capa límite e inspección de orientación

Descripción

5 ANTECEDENTES DEL INVENTO

Este invento se refiere de un modo general a la fabricación de materiales de composite en capas, y más específicamente, a métodos y sistemas automatizados de límites de capas e inspecciones de orientación.

10 En algunos métodos productivos actuales, se requiere que el fabricante realice la inspección del 100 por ciento de las colocaciones de capas de las estructuras de composite utilizando plantillas de láser óptico (OLT). Aunque sea posible utilizar otros métodos de metrología a gran escala, tales como el radar láser, las OLT son actualmente el método de inspección más eficiente. Para algunas estructuras, este proceso de inspección tarda, de media, entre
15 treinta y noventa minutos por capa. Estas estructuras pueden contener de sesenta a setenta capas individuales o incluso más. Como se puede entender fácilmente, esta inspección OLT es una parte significativa del tiempo del flujo total utilizado en la fabricación de la estructura, que en algunos casos puede ser el barril de fuselaje de composite para un avión. Aunque esto pueda ser aceptable en un entorno de creación de prototipos, no es aceptable en un entorno de fabricación. En un entorno de velocidad de producción aumentada, la tarea de la inspección de los límites de las capas utilizando el proceso OLT limita en gran medida las capacidades de ritmo de producción de una
20 instalación. Además, como las estructuras de composite pueden ser modificadas, en una versión alargada del fuselaje de composite, por ejemplo, la OLT puede no tener la capacidad de proyectar con la precisión necesaria sobre una superficie ampliada.

25 Como se describió anteriormente, las OLTs son actualmente el método preferido para la inspección de los límites de las capas y la orientación de las capas individuales. Después de que cada capa es colocada con, por ejemplo, una máquina de colocación de fibras, las unidades OLT se ordenan en un mandril de curado y la capa apropiada es proyectada sobre la superficie de la estructura de composite que está siendo fabricada. Tras establecer cada proyección, un inspector compara visualmente el borde del límite de la capa proyectado con el borde de la capa de composite compuesta recientemente colocada. Todas las áreas dudosas son medidas y rehechas. Cuando se
30 trabaja con una gran estructura, como la superficie completa de un barril de fuselaje, surgen cuestiones relativas al ángulo de incidencia. Concretamente, debido a una limitación en el ángulo de incidencia entre la proyección de láser y la superficie de la pieza, una capa de fuselaje completa debe ser proyectada sobre múltiples segmentos (por ejemplo, al menos seis) de la OLT para cubrir la circunferencia completa del fuselaje.

35 Como se mencionó anteriormente, el proceso actual de OLT consume mucho tiempo. De media, son atribuidas treinta o más horas para la inspección de límites y de orientación de las capas para una pieza completa de fuselaje, lo cual es inaceptable para un entorno de alto ritmo de producción. Además de las limitaciones de la tasa de rendimiento del sistema OLT actual, hay también algunas limitaciones técnicas, como el problema del ángulo de incidencia descrito anteriormente. Cuando una única OLT es llevada a operar por encima de sus capacidades de funcionamiento, la tolerancia de las piezas tiende a suavizarse, se deben de usar múltiples OLTs aumentadas por
40 sistemas de metrología, o se hará necesario un sistema alternativo de verificación del límite de las capas. Actualmente, no existe un proceso de inspección de límites de capas más aceptable y eficiente que las OLT.

45 WO 2006/114216 presenta un método y un dispositivo para el escaneado de un objeto, en el que los medios sin contacto de escaneado incorporados a un efector final de un robot se mueven alrededor del objeto y son rastreados mediante una posición de no contacto y por medio de detección de la orientación.

50 US 2007/0034313 presenta un sistema y un procedimiento para la inspección de piezas durante el uso de máquinas automatizadas, incluyendo máquinas de ensamblaje de composite, y para determinar la presencia de defectos en dichas piezas.

55 US 5562788 presenta un método y un aparato para la detección mediante láser de defectos en materiales de composite. Un sistema de visión es montado en la máquina de modo que tiene un campo de visión de los filamentos de composite después de que éstos hayan sido compactados. El sistema de imágenes proporciona datos sobre los bordes de los filamentos individuales de composite.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL INVENTO

60 El invento proporciona un método para determinar de manera precisa la posición de una máquina de laminación automática según la reivindicación 1 y una máquina de colocación automatizada de fibras (AFP) según la reivindicación 7. Las características opcionales del método y de la máquina se especifican en las reivindicaciones dependientes.

65 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una ilustración del efecto de la tolerancia de la superficie sobre la incertidumbre de la

proyección de la plantilla de láser óptico.

La Figura 2 es una ilustración de un sistema de colocación de capas que incluye un mandril alrededor del cual se coloca fibra de carbono u otro material.

La Figura 3 es una vista detallada de un cabezal (AFP) de colocación automatizada de fibras sobre el cual se monta un sistema de visión y otros componentes.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una transformación de las coordenadas del cabezal AFP a un sistema de coordenadas de un mandril (pieza).

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INVENTO

Para abordar las cuestiones descritas anteriormente sobre la inspección de los límites de las capas y la orientación, se utilizan las realizaciones de los métodos y sistemas descritos para aumentar la capacidad de velocidad, reducir el tiempo de flujo recurrente, reducir las horas de trabajo y habilitar la inspección de capas para futuras versiones y variaciones de la estructura de composite, que es, en la realización particular, un componente de composite para un barril de fuselaje.

Las realizaciones descritas utilizan un sistema de visión combinado con dispositivos de medición de rastreo láser, u otros dispositivos de medición de posición, y codificadores, para mapear dónde el material de fibra de carbono está siendo colocado sobre un mandril de curado (o herramienta) por máquinas de colocación automatizada de fibras. Más específicamente, el sistema registra donde el material está siendo colocado sobre la herramienta y lo compara con el conjunto de datos nominales ingenieriles de la colocación del material para indicar las áreas de colocación que están fuera de las tolerancias de fabricación.

Como se describió anteriormente, el proceso actual de la plantilla de láser óptico (OLT) consume mucho tiempo. De media, se le atribuyen treinta horas o más para la inspección de los límites de capas y de la orientación de un barril de fuselaje. Además de las limitaciones de velocidad del proceso OLT, también hay limitaciones técnicas, tales como las descritas anteriormente con respecto a las estructuras grandes y el ángulo de incidencia del láser en la superficie de la estructura que está siendo fabricada.

Para ilustrar aún más, la Figura 1 es una ilustración del efecto de la tolerancia de la superficie sobre la incertidumbre de proyección para un rayo incidente partir de una plantilla de láser óptico. La Figura 1 ilustra además una de las limitaciones del proceso OLT y la necesidad de limitar el ángulo de proyección en la superficie de un mandril de curado. A medida que el ángulo entre la superficie normal y la luz láser incidente aumenta, predominan los errores potenciales relacionados a la forma del mandril, a diferencia de la ubicación del material. Estos errores pueden ser mitigados limitándose la diferencia entre la superficie normal y el rayo incidente. Sin embargo, el proceso de proyección debe ser repetido en ángulos adicionales de rotación del mandril, ralentizando aún más el proceso de inspección.

La Figura 2 es una ilustración de un sistema de colocación de capas 50 que incluye un mandril 52 alrededor del cual se coloca, por ejemplo, una fibra de carbono o de otro material. El material se coloca sobre el mandril 52 de un cabezal 54 de colocación automatizada de fibras (AFP). Algunos componentes de la realización del sistema automatizado de inspección 100 de límite de capas y de orientación son también ilustrados. En la ilustración de la realización, un sistema de rastreo láser 110 con tres rastreadores láser 112, 114 y 116, un sistema de visión 120, un codificador 130 (lineal o angular, dependiendo de la instalación) son combinados para formar el sistema de inspección de límites 100. De modo opcional, pueden ser usados giroscopios (no representados en la Figura 2), y/o sistemas de posicionamiento global (no representados) individualmente para proporcionar información posicional relacionada con el cabezal AFP 54 o conjuntamente con uno o más rastreadores láser. En algunas realizaciones, son utilizados giroscopios y/o GPS para reducir el número de rastreadores láser necesarios o eliminarlos por completo.

Cada uno de los rastreadores láser 112, 114 y 116 está configurado para proyectar un rayo láser a un espejo o a un espejo reflector esférico montado en el cabezal AFP 54 de modo que siempre refleja el rayo láser hacia donde ha venido. Básicamente, cada rastreador láser 112, 114, 116 mide con mucha precisión la distancia y los ángulos en los que el rayo láser se proyecta. Cada rastreador láser proporciona coordenadas tridimensionales del punto de reflexión, lo cual es remitido al cabezal AFP 54. Con al menos tres rastreadores láser, y tres puntos de reflexión (espejos) en el cabezal AFP, es posible obtener los tres puntos en el espacio en donde los espejos están, y luego calcular una posición para el cabezal AFP 54 y, si está siendo girado o movido hacia arriba y abajo. La posición, o el punto en el espacio, del objetivo del láser (representado en la Figura 3), y a su vez del cabezal AFP 54, puede ser calculada porque se conoce el punto en el espacio donde se han colocado los rastreadores láser, y los rastreadores han medido la distancia y el ángulo de retorno desde los objetivos del láser.

Más concretamente, el sistema de inspección de límites 100 está configurado para utilizar el sistema de visión 120 para determinar automáticamente la colocación del borde de una capa del material mientras está siendo colocado

sobre el mandril 52 teniendo como base la posición del cabezal AFP 54. Las ubicaciones de los bordes de las capas del sistema de visión 120 en el cabezal AFP 54 son transformadas en un sistema de coordenadas de la estructura que se está fabricando mediante el uso de la información de la posición del cabezal 54 AFP. Este sistema de coordenadas se denomina algunas veces sistema de coordenadas de la pieza. La información de la posición es obtenida a través de instrumentos de medición (por ejemplo, sistema de rastreo láser 110 y giroscopio) asociados al sistema de inspección de límites 100 y a la posición de rotación del mandril que se obtiene desde el codificador 130.

Una vez que los bordes de las capas han sido transformados en el sistema de coordenadas de la pieza, se emplea software para comparar los bordes nominales de las capas con los puntos creados utilizando el sistema de inspección de límites 100. En realizaciones específicas, la comparación puede ser presentada como una prueba de pasa/no pasa, o se utiliza una evaluación cuantitativa. La evaluación cuantitativa se utiliza para resaltar gráficamente cualquier área donde las capas son colocadas fuera de los límites de posición aceptables. Esta evaluación se realiza a tiempo real o con un mínimo de tiempo de procesamiento posterior.

Uno de los resultados de la utilización del sistema descrito anteriormente, el sistema de inspección de límites 100, es un método de aceptación del producto utilizando una cámara, un equipo de metrología (por ejemplo, dispositivos de rastreo láser y giroscopios), y un software de análisis utilizado durante la elaboración de la colocación automatizada de fibras a diferencia de la inspección visual de una proyección láser después de que se completara una parte del proceso de fabricación (por ejemplo, el revestimiento de la capa), como se describió anteriormente. La principal diferencia entre la inspección mediante el sistema de inspección de límites 100 y el proceso OLT actualmente existente es que este sistema 100 opera mientras la fibra de carbono u otro material está siendo aplicada. En el proceso OLT, las desviaciones del nominal son normalmente rehechas por los inspectores, por ejemplo, durante el proceso de inspección. Sin embargo, con tal procedimiento los defectos encontrados y las anomalías corregidas a veces no son registradas. Con la automatización del sistema de inspección de límites 100, se hace posible la trazabilidad de todas las colocaciones de las capas. Por lo tanto, se puede registrar cada anomalía y utilizarlas como datos para la mejora continua de la calidad de las técnicas y programas de ensamblaje. En la realización específica, la información de los defectos y sobre las anomalías puede ser reintroducida en la máquina AFP para las correcciones sobre la marcha, resultando un sistema de colocación de capas de circuito cerrado.

Con referencia a los componentes individuales del sistema de inspección de límites 100, el sistema de visión 120, que puede incluir una o más cámaras, sensores de proximidad y láseres, es montado en el cabezal 54 de la máquina de colocación automatizada de fibras e individualmente o conjuntamente observa la colocación del material de fibra sobre el mandril 52. Una salida del sistema de visión está donde los bordes de las capas están en relación con el sistema de visión en si.

El equipo de medición, incluyendo uno o más reflectores de esquina para los rastreadores láser, giroscopios y sistemas de posicionamiento global, es también montado en el cabezal de la máquina AFP, y es utilizado para medir la posición y orientación del cabezal AFP así como el sistema de visión, en relación al mandril asociado a la pieza que está siendo fabricada. El codificador mencionado anteriormente es utilizado para controlar la posición de rotación de la pieza del mandril 52 relativa a los rastreadores láser. Los datos de los componentes individuales del sistema de inspección de límites 100 son utilizados para transformar un conjunto de puntos medidos en un sistema de coordenadas asociado a la pieza que está siendo fabricada. Por ejemplo, para una sección de un fuselaje de una aeronave, los datos son transformados en coordenadas de aeronaves.

Un programa de software es utilizado a continuación para comparar las ubicaciones de estos puntos con las posiciones nominales de los límites de las capas de cada capa. Las comparaciones entre los límites nominales y los observados de las capas pueden ser hechas a tiempo real, o como parte de una operación de

procesamiento posterior. Para resumir, el sistema de inspección de límites 100 es capaz de medir donde el material está siendo colocado sobre el mandril de curado 52, de transformar estas mediciones en coordenadas de piezas, y comparar dichas mediciones con una definición nominal ingenieril de una pieza.

La Figura 3 es una vista más detallada de la realización de un cabezal (AFP) 54 de una colocación automatizada de fibras. Como se ilustra, son montados en el cabezal 54 el sistema de visión 120, los objetivos láser 150 (denominados a veces en este documento como un espejo, un dispositivo reflector o un reflector de esquina), el giroscopio 152 descrito anteriormente, y múltiples sensores de proximidad 154 montados en el o adyacentes al sistema de visión 120. En al menos una realización, los objetivos del láser están situados en el cabezal AFP 54, de modo que, mientras el cabezal 54 gira y los objetivos se van tapando, los rastreadores láser pueden cambiar a otros objetivos 150.

En diversas realizaciones, el sistema de visión 120 es operado para proyectar una o más líneas de láser. En ambas realizaciones, la proyección de láser sobre una superficie de la pieza que está siendo fabricada es hecha en un ángulo de incidencia a la superficie normal. Cualquier variación en la altura de la superficie tiene como resultado una discontinuidad de la perspectiva del sistema de visión 120. Las discontinuidades están en una relación de posición conocida al sistema de visión 120. Las discontinuidades en las líneas de láser proyectadas son utilizadas para determinar dónde están los bordes de las capas que están siendo colocadas en el mandril giratorio 52 dentro

del marco de referencia del sistema de visión 120. Para hacer una correlación entre el marco de referencia del sistema de visión y la superficie de la pieza, ya que las distancias relativas y las orientaciones pueden variar, múltiples sensores de proximidad 154 son utilizados para proyectar los puntos de láser que, en una realización, están más o menos correlacionados con las cuatro esquinas del campo de visión del sistema de visión 120. No es crítico que hayan cuatro puntos de láser, o que los mismos estén ubicados en las cuatro esquinas del campo de visión. Por ejemplo, las realizaciones que utilizan tres o más puntos de láser proyectados en cualquier lugar dentro del campo de visión del sistema de visión 120 pueden ser utilizadas para definir el plano de la superficie. Al hacer una correlación entre la posición de estos puntos de láser en la imagen del sistema de visión, con las posiciones de proyección conocidas de estos sensores, y la lectura de la distancia por cada uno de estos sensores, puede ser interpolada una posición de las coordenadas tridimensionales para cada línea de láser discontinua. Esta correlación produce una coordenada tridimensional de ubicación del borde de la capa relativa al cabezal AFP 54.

Mediante el uso de la posición conocida del cabezal AFP 54, determinada por el sistema de rastreadores láser 112, 114, y 116 (representado en la Figura 2), y el giroscopio 152, la posición tridimensional del borde de la capa puede ser transformada en coordenadas asociadas al giroscopio 152. Para completar este sistema de metrología, es proporcionado un dispositivo que mide la posición y la rotación del mandril, como el codificador 130 (representado en la Figura 2). La transformación de las coordenadas del mandril giratorio en coordenadas asociadas a las coordenadas del rastreador es un proceso de dos etapas. En una primera etapa, la orientación del mandril en un ángulo de rotación conocido es medida con un interferómetro de rastreo, y en una segunda etapa, la orientación del mandril 52 es medida con un codificador 130.

La transformación de las coordenadas del cabezal AFP en coordenadas de piezas es esencialmente dos transformaciones: cabezal AFP a coordenadas de rastreo y coordenadas de rastreo a coordenadas del mandril (o pieza). Un algoritmo calculará las coordenadas de la pieza mientras la posición del cabezal AFP 54 cambia y el mandril 52 gira. Son parámetros estáticos para la orientación inicial del mandril, medidos por el rastreador y cargados para esta función. De este modo, las mediciones registradas por el sistema de visión 120 son transformadas en coordenadas de la pieza.

Una vez que se definen en el sistema de coordenadas de la pieza los bordes de las capas, se realiza una comparación directa entre la posición real y la posición nominal ingenieryl. Un método de comparación de los datos medidos con la posición nominal es definido, por ejemplo, mediante uno o más archivos de diseño asistido por ordenador (CAD) para definir las esquinas del ensamblaje con los puntos y los vectores normales con la línea exterior del molde de la pieza que intersecciona estos vértices. Los puntos medidos son comparados en un plano entre los dos vectores. Las mediciones también pueden ser hechas usando un software de terceros para la verificación del proceso de ensamblaje.

Un software para el análisis de la ubicación del borde de la capa con un contorno sencillo respecto al modelo CAD es incluido en la realización. La información CAD de los vértices de los bordes del modelo es usada y combinada con los vectores normales basados en la línea del molde exterior. Un punto medido en el borde de la capa es comparado con su ubicación nominal examinando la distancia del punto medido a un plano formado entre los dos vectores normales más cercanos. Este análisis elimina la variación radial del análisis debido a la variable compactación del material y a los errores radiales en el mandril 52.

La Figura 4 es un diagrama de flujo 200 que describe aún más la operación del sistema 100 mediante la ilustración del método de transformación de las coordenadas del cabezal AFP al sistema de coordenadas de un mandril (pieza). Los puntos de referencia del mandril 52 son medidos 202 antes que el movimiento del cabezal AFP 54 sea monitorizado o rastreado y el ángulo de giro del mandril es determinado 204. La orientación del mandril con respecto al sistema de rastreo (láser, giroscopio, GPS, o cualquier combinación de los mismos) es calculada 206 utilizando una transformación.

Al menos tres puntos son necesarios sobre un cuerpo dado para conocer su posición x, y, z en el espacio y su orientación i, j, k, o de rotación, en el espacio, como se ilustra en la casilla 208. La realización que utiliza los tres rastreadores láser 112, 114 y 116 de la Figura 2, con sus respectivos reflectores de esquina, es utilizada en el cálculo de la posición y orientación del cabezal AFP 54. En concreto, la ubicación de cada reflector de esquina se mide 210 por el respectivo rastreador láser.

En una realización alternativa, dependiendo de la precisión del giroscopio 152, la posición del cabezal AFP 54 puede ser calculada utilizando un único rastreador láser y el giroscopio 152. Por lo tanto, realizaciones que incorporan el giroscopio 152 proporcionan también una medición 214 de cabeceo, guiñada, y alabeo, eliminando la necesidad de uno o dos rastreadores láser. El diagrama de flujo 200 de la Figura 4 tiene en cuenta que los vectores del reflector de esquina y los rastreadores tienen que ser verificados 216 y redirigir el rastreador a un reflector de esquina con una orientación más óptima (por ejemplo, ángulos de menor incidencia).

Al corregir x, y, z 218 de los objetivos del láser 150 del reflector de esquina que están activos, la corrección o compensación, se basa en el ángulo de incidencia. Cabe señalar que los objetivos del láser 150 pueden ser reflectores de esquina sólidos o reflectores de esquina con juntas cardán. La posición del cabezal AFP 54 descrita

anteriormente es obtenida 220 en función del sistema de coordenadas asociado al sistema de rastreo láser, y se transforma 222 en las coordenadas asociadas al mandril 52 sobre el cual el material es colocado. Con la posición del cabezal AFP 54 en el espacio, y el sistema de visión 120 montado en el cabezal AFP 54 para identificar 224 en donde las fibras están siendo colocadas en relación al sistema de visión, las dos informaciones pueden ser utilizadas para determinar dónde en el espacio el material de fibra está siendo colocado. De ello se deduce que si existe certeza de donde se coloca el material, las inspecciones y/o auditorías pueden ser hechas ocasionalmente o incluso eliminadas.

Como se describió anteriormente y después del procesamiento de los datos, cada rastreador láser 112, 114 y 116 genera una coordenada tridimensional (una posición x, y, z) y una orientación (una dirección i, j, k). Al recopilar estas salidas, la posición del cabezal AFP 54 puede ser calculada. Con respecto al sistema de visión 120, las cámaras individuales proporcionan una imagen bidimensional de la zona donde la fibra está siendo colocada. Usando las imágenes bidimensionales y la posición del sistema de visión dentro del cabezal AFP 54, pueden ser calculadas las coordenadas tridimensionales de donde están siendo colocados los bordes de las capas.

Más específicamente, las coordenadas de la ubicación de los bordes de capas son determinadas mediante el uso de sensores de proximidad, que en la realización son pequeños dispositivos láser de medición de distancias. Como se describió anteriormente, con uno de los sensores de proximidad en cada esquina de la imagen bidimensional, puede ser determinada la distancia de cada punto de láser proyectado desde el sistema de visión. A partir de la distancia de los cuatro puntos, se puede interpolar dónde se localiza la superficie del mandril, aproximado por un plano, basándose en estos cuatro puntos.

Para proporcionar una explicación adicional, a partir de una imagen bidimensional de una superficie, no queda claro si la superficie en la imagen es perfectamente normal desde el punto de vista del sistema de visión 120, o si está sesgada en un ángulo, o sesgada en un ángulo compuesto. Con la información anterior se proporciona una distancia para cada esquina de la imagen desde el punto de vista, se puede calcular en qué ángulo o en qué posición la superficie está en relación al sistema de visión 120. La imagen bidimensional, además de la información de la distancia de los cuatro sensores de proximidad, es utilizada para proporcionar información sobre dónde o cómo el plano es orientado en relación al sistema de visión 120.

En la realización, se proyectan las líneas de láser paralelas a través del centro del campo de visión del sistema de visión y son utilizadas para discernir las discontinuidades en el láser que son indicativas del borde de la capa. Concretamente, el rayo láser es discontinuo donde hay un borde en la capa. En la realización descrita, se proyecta una línea de láser en un ángulo de la superficie de la capa de modo que cuando cambian las alturas de la superficie (debido a la aplicación del material de fibra a la capa) la línea de láser es discontinua. Son utilizados algoritmos conjuntamente a los datos facilitados por el sistema de visión 120 para determinar en qué ubicación de píxel dentro de los datos la discontinuidad en la línea de láser es producida. Conjuntamente con las determinaciones de la posición descritas anteriormente, es posible calcular la posición de la discontinuidad, y por lo tanto la posición del borde de la capa que está siendo colocada sobre el mandril 52.

En la práctica, durante la aplicación de una capa de un material de fibra, se toma una imagen, treinta veces por segundo o aproximadamente, a través del sistema de visión 120, como resultado se construye una nube de ubicaciones de puntos de límite o de borde, donde las capas están siendo colocadas, que puede ser comparada con la definición nominal, o ingeniéril, que resulta en la confirmación de las ubicaciones del borde de una capa de un material.

El ahorro de costes asociado con el sistema automatizado de límites de capas y de inspección de orientación 100 descrito en este documento es sustancial. Como se describió anteriormente, aproximadamente de treinta a cuarenta horas son consumidas por cada inspección de límites de las capas y de orientación en el sector de fuselaje. Mediante la eliminación del tiempo de flujo del proceso de producción, se incrementan enormemente las capacidades de velocidad de producción asociadas a la colocación automatizada de fibra. Un resultado posible es una reducción en el flujo.

La solución descrita anteriormente para las inspecciones de colocación automatizada de fibras es una mejora de los métodos actuales de inspección manual debido a la reducida cantidad de tiempo de flujo necesaria para llevar a cabo las inspecciones requeridas. Tal sistema de inspección posibilita un programa de piezas de composite para ampliar el recubrimiento del tamaño de las piezas producidas sin necesidad de ampliar la tolerancia de las piezas a medida que la ampliación de la tolerancia de las piezas normalmente resulta en un aumento del peso y de las variaciones de la pieza. El sistema 100 es más adaptable a operar en conjunto con los controles de la máquina AFP no sólo para inspeccionar donde las capas están siendo colocadas, sino que corrige los errores de precisión de colocación de la máquina AFP durante el funcionamiento a través de un circuito de retroalimentación a tiempo real. Por lo tanto, el sistema 100 no solo verifica automáticamente los defectos en la pieza que se está fabricando, sino que también reduce el ensamblaje de la capa de los límites de capas definidos en los archivos CAD de la pieza que está siendo fabricada.

Aunque el invento haya sido descrito en términos de varias realizaciones específicas, los expertos en la técnica

observarán que el invento puede ser elaborado con modificaciones en el ámbito de las reivindicaciones.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Reivindicaciones

1. Un método para determinar de manera precisa la posición de una máquina de laminación automatizada durante la fabricación de una o múltiples piezas de capas, dicho método comprende:

la medición, usándose al menos un dispositivo de posicionamiento, de la posición (210) de un cabezal de colocación (54) de una máquina de laminación en un primer sistema de coordenadas; caracterizado por:

la definición de una posición de montaje de múltiples dispositivos de rastreo láser (112) con respecto al cabezal de colocación (54) de la máquina de laminación;

la información de las distancias entre el cabezal de colocación (54) y cada respectivo dispositivo de rastreo láser (112); y

la correlación de las distancias recibidas desde los dispositivos de rastreo láser (112) con sus posiciones de montaje para determinar la posición del cabezal de colocación (54);

la determinación de la ubicación (212) de un borde de la capa con respecto al cabezal de colocación (54) usando una máquina basada en un sistema de visión (120), la posición del cual se conoce con respecto al cabezal de colocación (54);

la transformación (220) de la ubicación del borde de la capa en el primer sistema de coordenadas, basado en la posición del cabezal de medición;

la transformación (222) de la ubicación del borde de la capa del primer sistema de coordenadas en un segundo sistema de coordenadas asociado a la pieza que está siendo fabricada; y

la comparación de la ubicación actual del borde de la capa en el segundo sistema de coordenadas con la ubicación esperada del borde de la capa definida en el segundo sistema de coordenadas para determinar la precisión de la máquina.

2. Un método según la Reivindicación 1 en el que se determina la ubicación del borde de una capa que comprende:

el funcionamiento de la máquina basada en el sistema de visión (120) para proyectar al menos una línea de láser en un ángulo agudo a la tangente de la superficie y de la relación de posición conocida del sistema de visión (120) sobre la superficie de la pieza que está siendo fabricada;

la utilización de discontinuidades en por lo menos una línea de láser proyectada para determinar dónde, dentro de un marco de referencia del sistema de visión, los bordes de las capas están siendo colocados; y

la correlación entre el marco de referencia del sistema de visión y la superficie de la pieza que está siendo fabricada.

3. Un método según la Reivindicación 2, en donde la correlación del marco de referencia del sistema de visión y la superficie de la pieza comprende:

la definición de la posición de montaje de múltiples sensores de proximidad (154) con respecto al sistema de visión (120);

la proyección, la utilización de los múltiples sensores de proximidad (154), en la superficie de la pieza, señales que están sustancialmente correlacionadas con el campo de visión del sistema de visión; y

correlación de la posición de las señales proyectadas en la pieza que está siendo fabricada con las posiciones de montaje definidas por los sensores de proximidad (154).

4. Un método según la Reivindicación 3, en el que la transformación de la ubicación (222) del borde de la capa en el primer sistema de coordenadas comprende la interpolación de una posición de coordenadas tridimensionales para cada discontinuidad de la línea de láser respecto a la posición del cabezal de colocación.

5. Un método según la reivindicación 1 que comprende además la utilización de un giroscopio (152) para proporcionar la orientación del cabezal de colocación (54).

6. Un método según la Reivindicación 1 que comprende además la medición de la orientación y la rotación del mandril (52) asociado a la pieza que está siendo fabricada utilizando al menos un codificador (130), un sistema de posicionamiento global, y un interferómetro de rastreo.

7. Una máquina (100) de colocación automatizada de fibras (AFP) que comprende:

un cabezal AFP (54);

al menos un dispositivo de posicionamiento (112) configurado para proporcionar la posición de dicho cabezal AFP en un sistema de coordenadas; y caracterizado por:

un sistema de visión (120) configurado para determinar la colocación del borde de una capa de un material de fibra como el material colocado por dicho cabezal AFP (54), dicha máquina está programada para calcular la posición del borde de la capa basada en la posición de dicho sistema

- de visión (120) con respecto a dicho cabezal AFP (54);
 en el que dicha máquina está programada para transformar la posición del sistema de
 coordenadas asociado a dicho cabezal AFP (54) a un sistema de coordenadas asociado a una
 pieza fabricada por dicha máquina y comparar la ubicación determinada del borde de la capa en el
 sistema de coordenadas asociado a la pieza fabricada para la ubicación esperada del borde de la
 capa definida en el sistema de coordenadas asociado a la pieza que está siendo fabricada para
 determinar con precisión la colocación de la máquina;
 múltiples dispositivos de rastreo láser cada uno en una posición conocida en el sistema de
 coordenadas asociado a dicho cabezal AFP (54); y
 múltiples dispositivos reflectores montados en dicho cabezal AFP, dichos dispositivos de rastreo
 láser configurados para rastrear la posición de dicho cabezal AFP (54) en el sistema de
 coordenadas basado en las reflexiones recibidas de dichos dispositivos reflectores.
8. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 en la cual dichos múltiples dispositivos de rastreo láser
 están configurados para proporcionar una ubicación tridimensional del respectivo dispositivo reflector mencionado,
 las posiciones de dichos dispositivos reflectores referentes a dicho cabezal AFP (54).
9. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 en donde al menos uno de los mencionados dispositivos
 de posicionamiento que comprende un giroscopio (152) configurado para proporcionar datos de orientación, dicha
 máquina capaz de hacer una correlación entre la orientación recibida de dicho giroscopio (152), y los datos de
 dichos dispositivos de rastreo láser, para proporcionar una posición y una orientación en el sistema de coordenadas
 para dicho cabezal AFP (54).
10. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 en donde al menos uno de los mencionados dispositivos
 de posicionamiento que comprende un sistema de posicionamiento global (GPS), dicha máquina capaz de hacer una
 correlación de la posición recibida de dicho GPS, y los datos de dichos dispositivos de rastreo láser, para
 proporcionar una posición y orientación en el sistema de coordenadas para dicho cabezal AFP (54).
11. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 que comprende además una fuente láser, en la que para
 determinar la colocación de los bordes, dicha fuente láser está configurada para proyectar al menos una línea de
 láser de la conocida relación de posición con dicho sistema de visión (120), la proyección a través del centro del
 campo de visión de dicho sistema de visión (120) de modo que tal discontinuidad, que es indicativa del borde de la
 capa, puede ser discernida por dicho sistema de visión (120), y la ubicación de dicha discontinuidad calculada por
 dicha máquina.
12. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 que comprende además múltiples sensores de
 proximidad (154), dichos sensores de proximidad (154) en posiciones conocidas con respecto a dicho cabezal AFP
 (54) y dispersos de tal manera que, combinados, las proyecciones de dichos sensores de proximidad (154) sobre la
 pieza fabricada por dicha máquina define sustancialmente el campo de visión de dicho sistema de visión (120).
13. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 12, dicha máquina configurada para obtener una medición
 de la distancia desde cada uno de dichos sensores de proximidad (154), dicha máquina comprende además, una
 fuente láser configurada para proyectar al menos una línea de láser de la conocida relación posicional con dicho
 sistema de visión (120) a través del centro del campo de visión de dicho sistema de visión (120) de modo que tal
 discontinuidad, que es indicativa del borde de una capa, puede ser discernida por dicho sistema de visión (120),
 dicha máquina es configurada además para:
- hacer una correlación entre las distancias con una posición conocida para cada uno de dichos sensores de
 proximidad (154); y
 interpolar una posición de coordenadas tridimensional para cada discontinuidad de la línea de láser relativa
 a dicho cabezal AFP (54).
14. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 11 configurada para medir la posición de dicho cabezal
 AFP (54) con respecto a una pieza del mandril asociada a dicha máquina.
15. Una máquina AFP (100) según la Reivindicación 7 que comprende además un codificador configurado para
 generar datos relativos a la posición de rotación del mandril asociado a la pieza relativa a los dichos múltiples
 dispositivos de rastreo láser.

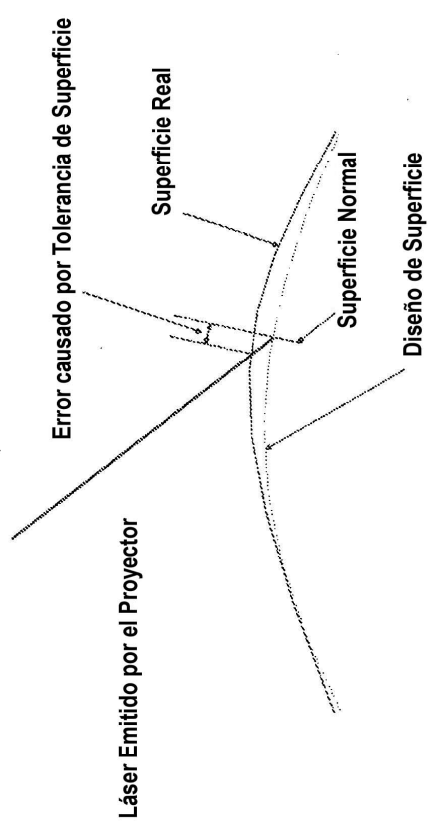
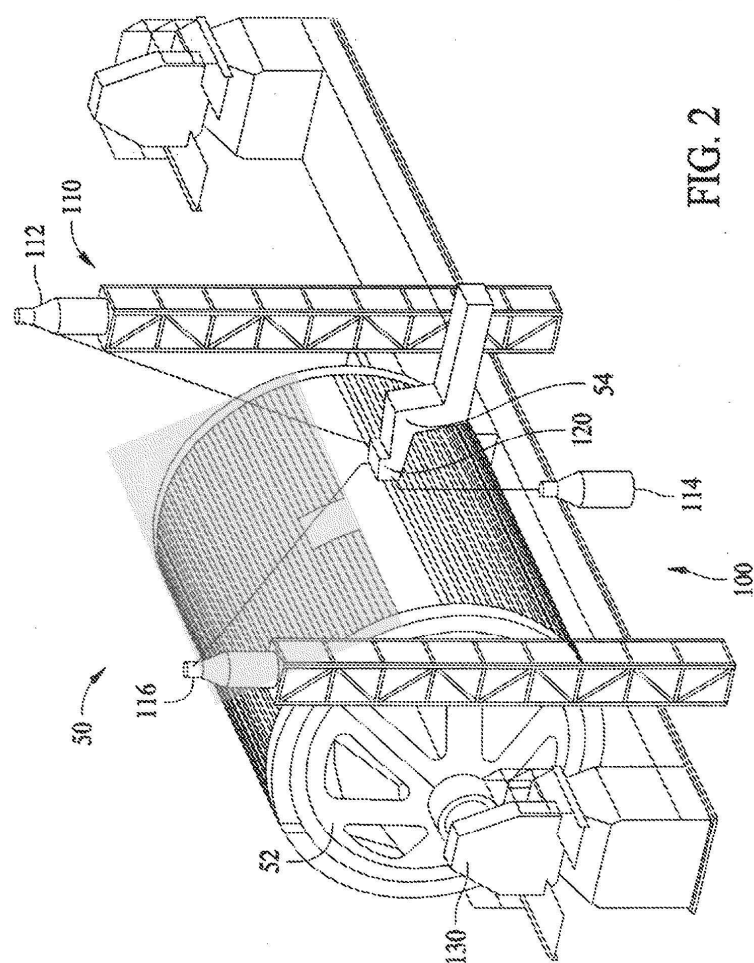


FIG. 1



219x

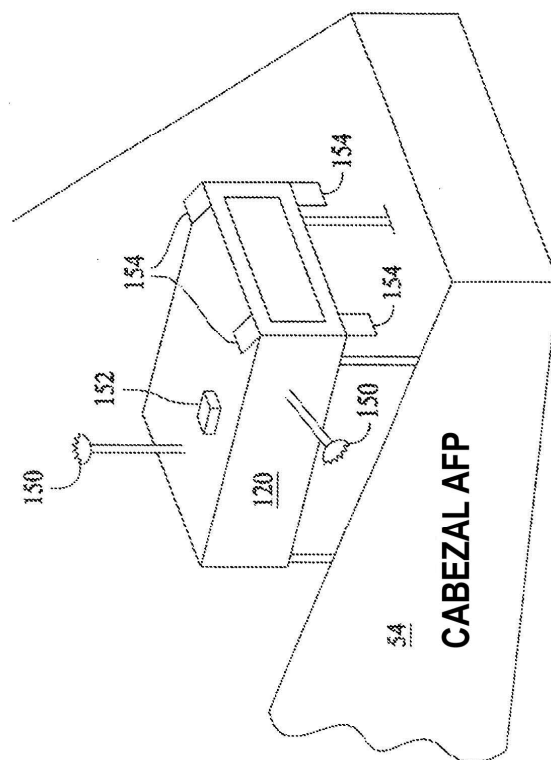


FIG. 3

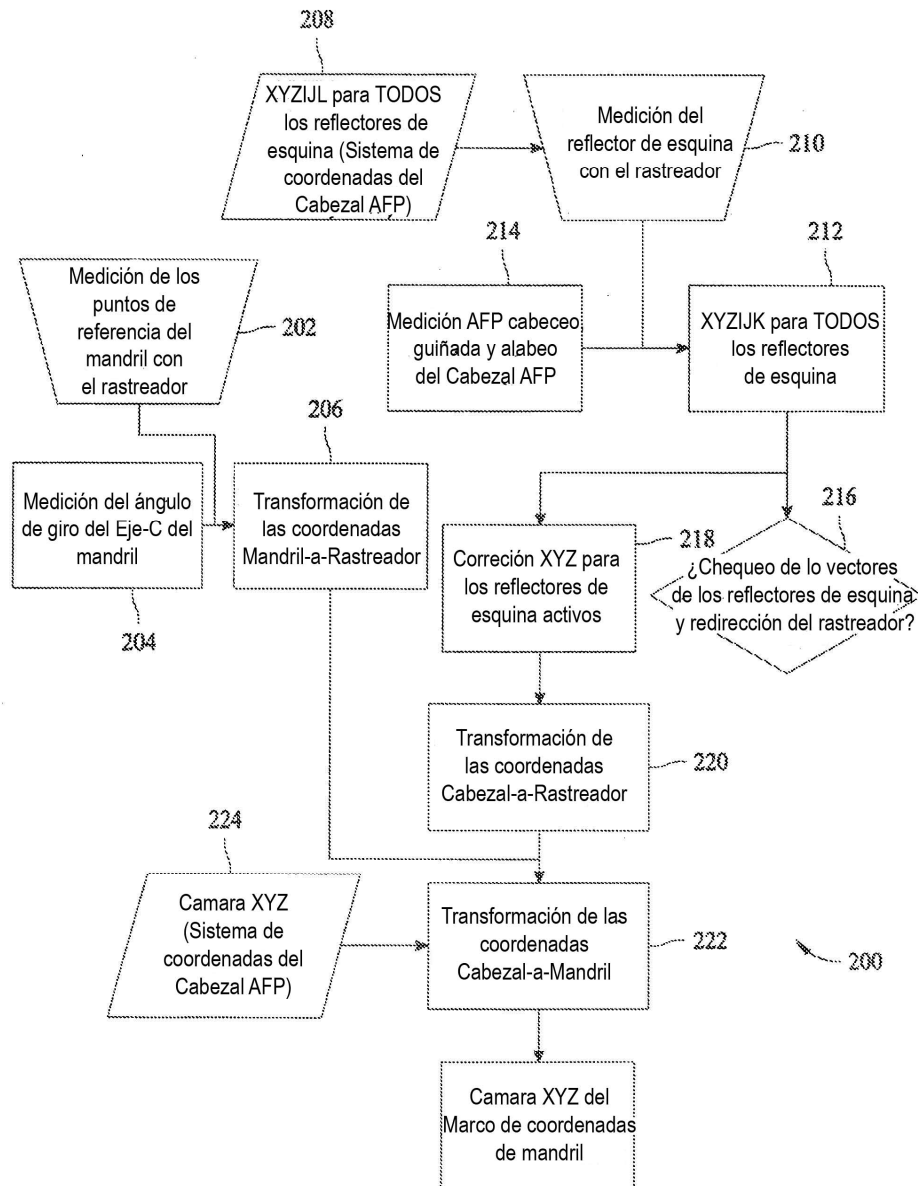


FIG. 4