

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 647**

51 Int. Cl.:

G01B 11/245 (2006.01)
G06T 7/00 (2007.01)
G06T 7/60 (2007.01)
G06T 7/593 (2007.01)
G01B 5/00 (2006.01)
G01B 11/10 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
G01B 21/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.01.2021** **PCT/IB2021/050445**
87 Fecha y número de publicación internacional: **29.07.2021** **WO21148971**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2021** **E 21705603 (5)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024** **EP 4094040**

54 Título: **Aparato móvil de medición óptica tridimensional para cuerdas con dispositivo de fijación de cuerdas**

30 Prioridad:

21.01.2020 IT 202000001057

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.01.2025

73 Titular/es:

BRIDON INTERNATIONAL LTD (100.00%)
Icon Building, Balby Carr Bank
Doncaster, South Yorkshire DN4 5JQ, GB

72 Inventor/es:

BONETTI, CRISTIANO;
VANLANDEGHEM, BART y
NEWTON, CHRISTOPHER JOHN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 993 647 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

Aparato móvil de medición óptica tridimensional para cuerdas con dispositivo de fijación de cuerdas

5 La presente invención se enmarca en general dentro de los sistemas de medición e inspección de cables o cuerdas estacionarios o móviles, con técnicas no destructivas y sin contacto.

10 En particular, la presente invención se refiere a un aparato de medición óptica tridimensional calibrado y a un método para la medición óptica tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda, mediante la adquisición de imágenes digitales de la superficie exterior de la cuerda o cable. Ejemplos de aplicación de un método de este tipo se refieren a la medición continua de cuerdas o cables, que de otro modo no se podrían implementar con métodos con contacto debido al movimiento del objeto medido. Por ejemplo, tales mediciones se refieren a la inspección de cuerdas o cables de telesillas y/o teleféricos durante el funcionamiento de los mismos. Además, la presente invención se refiere a la medición continua de cuerdas o cables en la línea de producción, para el control de calidad o inspecciones periódicas en funcionamiento. Las técnicas de medición e inspección conocidas en muchos casos incluyen la presencia del operador en condiciones ambientales difíciles y/o peligrosas, tales como mediciones en entornos contaminados por agentes químicos o cuerdas suspendidas. Además, de manera desventajosa, en muchos casos es necesario detener las plantas de producción o manipulación para realizar la medición.

20 Se conocen técnicas para medir parámetros geométricos de cuerdas mediante el procesamiento de imágenes bidimensionales (2D) de la cuerda.

25 Por ejemplo, el documento EP2383566A1 describe un método para adquirir imágenes bidimensionales de una porción de cuerda y medir la extensión de los filamentos en la imagen 2D; el método incluye determinar un valor de calidad en función de la extensión longitudinal de los filamentos calculada con respecto a un valor objetivo de referencia.

30 De manera desventajosa, las técnicas de procesamiento 2D están sujetas a errores de medición debido a la localización en perspectiva entre la cuerda y la cámara.

Además, en el caso de cuerdas especialmente sucias o con presencia de grasa, es muy difícil obtener imágenes que puedan analizarse fácilmente.

35 También se conocen técnicas de medición de parámetros geométricos de cuerdas mediante el uso de cámaras con sensores lineales (es decir, sensores basados en una única línea de píxeles), pero dichas técnicas, además de estar sujetas a errores en caso de perpendicularidad imperfecta entre el plano que pasa por el sensor y el eje de la cuerda, también están afectadas por errores debidos a las vibraciones a las que se somete la cuerda durante la medición.

40 En particular, los sistemas de la técnica anterior suelen ser voluminosos, difíciles de transportar y se ven afectados por las condiciones de iluminación del entorno circundante, lo que compromete la calidad de adquisición de imágenes. El documento US 2009/217954 A1 divulga un sistema de medición tubular para la limpieza, inspección y medición en servicio de un elemento tubular, en el que el perfil geométrico y el área de la sección transversal del elemento tubular se miden por medio de cámaras.

45 El documento JP 2012 163402 A describe un dispositivo de inspección para comprobar el estado de degradación de, por ejemplo, un cable. Puede inspeccionar toda la circunferencia del cable y puede desplazarse a lo largo del mismo.

50 Es objeto de la presente invención proporcionar un aparato y un método para la medición óptica tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda o cable rígido o flexible, que permita superar los inconvenientes antes mencionados.

55 Tal objeto se logra mediante un aparato para la medición óptica tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda (o de manera equivalente de un cable) y mediante un método, de acuerdo con las reivindicaciones independientes adjuntas; las reivindicaciones dependientes de las mismas describen realizaciones alternativas.

60 Preferiblemente, el tipo de cuerdas y cables que pueden ser analizados por el aparato de medición óptica tridimensional incluye tanto cuerdas rígidas como flexibles, hechas de cualquier tipo de material, por ejemplo hierro, acero, fibras naturales o sintéticas, fibras de carbono y similares. En otras palabras, se puede entender por cuerda cualquier objeto axialmente simétrico con una dimensión de extensión preferida (la longitud) mucho mayor que las otras dos dimensiones, por ejemplo, la dimensión de extensión preferida es más de 100 veces más larga que las otras dos dimensiones.

65

Preferiblemente, la cuerda o cable tiene una superficie exterior con una o más de las siguientes características:

- continua o al menos continua en secciones, por ejemplo lisa o con ranuras en la superficie;
- espiral sólida, por ejemplo, barras espirales;
- consistente en una o más subpartes enrolladas en espiral, por ejemplo cables o cuerdas en espiral o trenzados.

Por ejemplo, la cuerda está formada o bien por un solo hilo, o bien por varios hilos entrelazados, que forman el llamado filamento, o bien por varios hilos entrelazados, de modo que la cuerda está formada por varios hilos entrelazados para formar filamentos individuales, estas últimas a su vez entrelazadas entre sí.

La cuerda o cable también puede estar formado por fibras entrelazadas.

El aparato de medición óptica tridimensional calibrado para medir los parámetros geométricos de una cuerda comprende una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes digitales adaptados para adquirir una multiplicidad de imágenes digitales de al menos una región de la superficie exterior de la cuerda.

Preferiblemente, los dispositivos de adquisición de imágenes digitales son cámaras con sensores de imagen de tipo matriciales (es decir, que son capaces de adquirir imágenes digitales sobre una matriz de píxeles). Además, el sistema incluye un dispositivo de procesamiento de imágenes digitales dispuesto para realizar los pasos del método de medición de dichos parámetros geométricos de la cuerda, que se detallarán a continuación del presente documento.

En resumen, en una realización, el aparato de medición óptica tridimensional permite reconstruir fotogramétricamente, en un espacio tridimensional, una pluralidad de puntos de al menos una región de la superficie exterior de la cuerda a partir de puntos correspondientes en cada imagen digital y luego calcular los parámetros geométricos por medio de dicha pluralidad de puntos tridimensionales.

Preferiblemente, los parámetros geométricos medidos por el sistema óptico se refieren al menos a una de las siguientes mediciones:

- diámetro de punto de la cuerda o diámetro medio del cuerpo giratorio que se aproxima o circunscribe a la cuerda;
- redondez de punto de la cuerda o redondez media del cuerpo giratorio que se aproxima o circunscribe a la cuerda;
- posición, orientación y linealidad del eje de la cuerda o del cuerpo giratorio que se aproxima o circunscribe a la cuerda;
- longitud de la cuerda medida a lo largo del eje de la cuerda o cable o del cuerpo giratorio que se aproxima o circunscribe a la cuerda o cable;
- el paso de la cuerda, es decir, la distancia entre las espiras o hélices adyacentes para muestras cuya superficie exterior es una espiral sólida o está formada por una o más subpartes enrolladas en espiral. Por ejemplo, el paso de la cuerda se calcula entre las espiras o hélices formadas por los filamentos o hilos adyacentes que forman la cuerda.

Las características y ventajas del sistema óptico calibrado y del método de medición de parámetros geométricos de una cuerda o cable de acuerdo con la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción, dada a título explicativo y no limitativo, de acuerdo con las figuras adjuntas, en las que:

- la figura 1 muestra un aparato de medición óptica tridimensional calibrado de acuerdo con una realización de acuerdo con la presente invención e instalado en una cuerda;
- la figura 2 muestra una vista axonométrica de una porción del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de la figura 1, en el que el marco 3' ha sido eliminado artificialmente para mayor claridad de visualización;
- la figura 3 muestra una vista en sección del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de la figura 1 a lo largo de un plano de sección perpendicular a la dimensión de mayor extensión de la cuerda;

- la figura 4 muestra un detalle del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de la figura 1;
- 5 • la figura 5 muestra un diagrama del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de acuerdo con una realización de la invención, en la que son visibles los dispositivos de adquisición de imágenes digitales C0...C3 y la cuerda;
- 10 • la figura 6 muestra una parte del diagrama representativo de la figura 5;
- 15 • la figura 7 muestra un diagrama del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de acuerdo con una realización de la invención, en la que la porción de cuerda se muestra virtualmente cercana a cada dispositivo de detección de imágenes digitales (enmarcada y visible por el respectivo dispositivo de adquisición de imágenes y en la que el área común visible para ambos dispositivos se muestra con puntos de red);
- 20 • la figura 8 muestra un par de imágenes digitales adquiridas y procesadas de acuerdo con un paso de una realización de la presente invención, en la que el par de imágenes es adquirido por un par de dispositivos de adquisición de imágenes dispuestos en posiciones diametralmente opuestas, como se muestra en la siguiente figura 9;
- 25 • la figura 8a muestra un par de imágenes digitales adquiridas y procesadas de acuerdo con un paso adicional de una realización de la presente invención, en la que el par de imágenes es adquirido por dos dispositivos de adquisición de imágenes digitales adyacentes, por ejemplo dispuestos a lo largo de una circunferencia sustancialmente centrados en el eje de la cuerda y desplazados 90°;
- 30 • la figura 9 muestra un detalle del diagrama representativo del aparato de medición óptica tridimensional calibrado de acuerdo con una realización de la invención en la que las líneas de contorno de la cuerda comunes a cada campo de visión del par de sistemas de adquisición de imágenes están delineadas con líneas más gruesas, en la que cada dispositivo digital está dispuesto en una posición diametralmente opuesta a lo largo de un eje perpendicular al eje de la cuerda;
- 35 • la figura 10 muestra un diagrama conceptual del método para la reconstrucción de un punto del eje de la cuerda de acuerdo con una realización de la presente invención, a partir de los puntos en los planos de imagen (es decir, los planos de sensores adaptados para adquirir imágenes) de los dispositivos de adquisición de imágenes digitales;
- 40 • la figura 11 muestra una reconstrucción de las líneas de contorno 3D, de los puntos del eje y del eje medio 3D interpolado en un espacio tridimensional de una cuerda (o un cable) de acuerdo con una realización de la presente invención;
- 45 • la figura 12 muestra una reconstrucción de las líneas de contorno 3D, el eje medio 3D interpolado y los diámetros de una cuerda (o un cable) en un espacio tridimensional de acuerdo con una realización de la presente invención;
- 50 • la figura 13 muestra una reconstrucción del eje medio 3D ideal y del eje real obtenido interpolando puntos con una curva de interpolación en un espacio tridimensional de acuerdo con una realización de la presente invención;
- 55 • la figura 14 ilustra una imagen digital de una cuerda de superficie espiral adquirida y procesada de acuerdo con una realización de la presente invención;
- la figura 15 muestra un par de imágenes digitales adquiridas y procesadas de acuerdo con un paso adicional de una realización alternativa de la presente invención, en el caso de una cuerda (o un cable) con una superficie espiral, en la que se obtienen los puntos de intersección entre los contornos de las bobinas y el eje medio de cada imagen;
- 60 • la figura 16 ilustra una reconstrucción del eje y de los puntos de la superficie helicoidal o espiral de una cuerda (o un cable) para calcular el paso de la hélice o de la bobina en un espacio tridimensional de acuerdo con una realización de la presente invención.

El aparato de medición óptica tridimensional 1 calibrado, para la medición tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda 2, comprende un marco 3' que define y está dispuesto alrededor de una cavidad de

recepción de cuerda 29. Además, una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 están adaptados para adquirir una multiplicidad de imágenes digitales de al menos una región de una superficie exterior 21 de la cuerda 2. Tales dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 están fijados al marco 3' y están dispuestos alrededor de la cuerda 2 cuando el aparato de medición óptica tridimensional 1 recibe la cuerda 2 en la cavidad de recepción de cuerda 29.

El aparato de medición óptica tridimensional calibrado 1 comprende también un dispositivo electrónico de procesamiento de imágenes digitales, configurado para procesar la multiplicidad de imágenes digitales y obtener una reconstrucción fotogramétrica tridimensional de los puntos de las imágenes digitales de la cuerda adquiridas por los dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3.

Además, habiéndose definido una dirección circunferencial C que discurre alrededor de un eje de extensión principal de la cuerda 2 y que se encuentra sobre un plano P incidente o perpendicular al eje de extensión principal de la cuerda 2, los dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 están dispuestos en el bastidor 3' espaciados circunferencialmente entre sí a lo largo de dicha dirección circunferencial C.

De acuerdo con una realización preferida, un dispositivo de iluminación I0, I1, I2, I3 adaptado para iluminar al menos una región de la cuerda 2 está dispuesto entre un par de dispositivos de adquisición de imágenes adyacentes C0, C1; C1, C2; C2, C3; C3, C1 a lo largo de la dirección circunferencial C.

Preferiblemente, el dispositivo de iluminación I0, I1, I2, I3 está dispuesto separado circunferencialmente respecto a los dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1; C1, C2; C2, C3; C3, C1 inmediatamente adyacentes a lo largo de la dirección circunferencial C.

En particular, el dispositivo de iluminación I0, I1, I2, I3 no está dispuesto alrededor del dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1; C1, C2; C2, C3; C3, es decir, no está dispuesto concéntricamente alrededor de un sensor de imágenes del dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1; C1, C2; C2, C3; C3, C1.

Preferiblemente, el dispositivo de iluminación I0, I1, I2, I3 se extiende principalmente a lo largo de una dirección paralela a la dirección de extensión principal de la cuerda 2.

Preferiblemente, el dispositivo electrónico de procesamiento de imágenes digitales comprende una unidad de almacenamiento, en la que se almacenan los parámetros de calibración intrínsecos y extrínsecos de cada dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3.

El aparato de medición óptica tridimensional 1 comprende un dispositivo de fijación 4' adaptado para sujetar el aparato de medición óptica tridimensional 1 a la cuerda de una manera relativamente trasladable con respecto a la cuerda 2. Preferiblemente, dicho dispositivo de fijación 4' comprende una pluralidad de superficies de revolución (por ejemplo ruedas) unidas al marco 3' y adaptadas para sujetar de forma deslizante la cuerda 2. Esto permite obtener un aparato de medición óptica tridimensional autoportante y deslizante sobre la cuerda 2.

El término relativamente trasladable significa que el aparato puede deslizarse sobre la cuerda 2 o que la cuerda se mueve con respecto al aparato que, en cambio, está fijo con respecto a un sistema de referencia elegido.

Cada superficie de revolución de la pluralidad de superficies de revolución está adaptada para estar espaciada de manera ajustable a lo largo de un plano transversal o perpendicular al eje de extensión principal de la cuerda 2, para que puede acomodar cuerdas con diferentes diámetros entre la pluralidad de superficies de revolución de vez en cuando.

De acuerdo con una realización de la invención, el marco 3' comprende una carcasa 3 que define y está dispuesta alrededor de la cavidad de recepción de cuerda 29 y una estructura de soporte 10, unida a la carcasa 3. Los dispositivos de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 están fijados sobre la estructura de soporte 10.

Preferiblemente, la estructura de soporte 10 comprende una región de unión 11 unida de forma separable a la carcasa 3.

Preferiblemente, la estructura de soporte 10 está separada de la carcasa 3 en la porción restante de la estructura de soporte, que es diferente de la región de unión 11.

De acuerdo con una realización de la invención, entre la estructura de soporte 10 y la carcasa 3 se interpone un elemento amortiguador 5, fabricado en un material adaptado para amortiguar la transmisión de vibraciones desde la carcasa 3 a la estructura de soporte 10, por ejemplo un material de caucho o elastomérico. Esto permite evitar que las vibraciones que pudieran aplicarse a la carcasa 3 se transmitan a la estructura de soporte 10, generando vibraciones no deseadas en los dispositivos de adquisición de imágenes.

De acuerdo con una realización alternativa de la invención, la carcasa 3 y la estructura de soporte 10 están unidas para formar una única pieza o formar parte de una sola pieza.

De acuerdo con una realización preferida, la estructura de soporte 10 tiene una forma anular abierta y la carcasa 3 tiene una forma de caja. En esta realización, la carcasa 3 está dispuesta alrededor del interior o del exterior de la estructura de soporte 10.

Preferiblemente, la estructura de soporte comprende dos porciones anulares abiertas espaciadas entre sí en la dirección axial X', que alojan los dispositivos de adquisición de imágenes entre ellas.

En la realización alternativa en la que la estructura de soporte 10 está dispuesta alrededor del exterior de la carcasa 3, la carcasa 3 comprende una pared lateral de carcasa 31 que se extiende entre un extremo de cabeza 32 y un extremo de cola 33 a lo largo de una dirección axial X' paralela a un eje de extensión principal de la cuerda 2. Dicha pared lateral de carcasa 31 está adaptada para estar dispuesta separada de la cuerda 2 cuando el aparato de medición óptica tridimensional 1 se desliza relativamente con respecto a la cuerda 2. Al menos una ventana de visualización V0, V1, V2, V3 se obtiene en la pared lateral de carcasa 31 para cada dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 de manera que el dispositivo de adquisición de imágenes puede detectar una imagen digital de la cuerda a través de dicha ventana de visualización V0, V1, V2, V3.

Preferiblemente, la carcasa 3 comprende una pared de cola de carcasa 331 y una pared de cabeza de carcasa 321, que cierran la pared lateral de carcasa 31 de cerca del extremo de cola 33 y del extremo de cabeza 32, respectivamente. Al menos una abertura de paso 6, 6', que es atravesable por la cuerda 2, está obtenida en cada una de dicha pared de cabeza 321 y pared de cola 331. Además, la pared de cola 331 y la pared de cabeza 321 comprenden cada una al menos una primera porción de pared 321', 331' fijada e integral con la pared lateral de carcasa 31 y una porción de pared desmontable 321'', 331'' fijada de manera separable a la primera porción de pared 321', 331'. De este modo, en una configuración de inserción de cuerda, la porción de pared desmontable 321'', 331'' no está fijada a la primera porción de pared 321', 331', de modo que deja una abertura de inserción de cuerda 61 en la pared de cola 331 y/o en la pared de cabeza 321. La abertura de inserción de cuerda 61 también se comunica con la abertura de paso 6 para permitir la inserción de la cuerda 2 en la abertura de paso 6, 6' por medio de un movimiento relativo entre la carcasa 3 y la cuerda 2 perpendicular a la dirección axial X'. Además, en una configuración de instalación de cuerda, la porción de pared desmontable 321'', 331'' está fijada a la primera porción de pared 321', 331' de modo que cierra la abertura de inserción de cuerda 61.

Preferiblemente, la porción de pared desmontable 321'', 331'' define al menos parcialmente la abertura de paso 6, 6'.

De acuerdo con una realización de la invención, la primera porción de pared 321', 331' comprende al menos una guía deslizante en la que la porción de pared desmontable 331'', 321'' se acopla de manera deslizable para cambiar de una configuración extraída, en la que la abertura de inserción de cuerda 61 está expuesta, a una configuración insertada, en la que la porción de pared desmontable cierra la abertura de inserción de cuerda 61.

Preferiblemente, la pared lateral de carcasa 31 comprende una porción fija 31' que define una abertura axial 28 que se extiende principalmente a lo largo de la dirección axial X' entre el extremo de cabeza 32 y el extremo de cola 33. Además, la pared lateral de carcasa 31 comprende una porción móvil 31'', por ejemplo una puerta, adaptada para adoptar una configuración cerrada, en la que la porción móvil 31'' cierra la abertura axial 28, y una configuración abierta, en la que la porción móvil 31'' está en una posición que permite acceder a la abertura axial 28. De este modo, la abertura axial 28 es atravesable por la cuerda en un movimiento relativo entre la carcasa 3 y la cuerda 2 perpendicular a la dirección axial X'.

La abertura axial 28 facilita la instalación del aparato en la cuerda, haciendo que la operación de inserción de la cuerda sea particularmente fácil de realizar y permitiendo instalar el aparato de una cuerda a otra de forma rápida y eficaz, sin complicadas operaciones de fijación.

En una realización ventajosa de la invención, cerca de cada abertura de paso de cuerda 6, 6', el aparato de medición óptica tridimensional 1 comprende una pared de protección 65 que sobresale de la pared de cabeza 321 o de la pared de cola 331 y que se extiende internamente hacia la cavidad de recepción de cuerda 29, de modo que protege al menos parcialmente la entrada de luz desde el exterior de la carcasa hacia la cavidad de recepción de cuerda 29. Esto permite reducir aún más la posible interferencia de luz externa hacia la cavidad de recepción de cuerda 29, asegurando así una mayor robustez, precisión y fiabilidad de reconstrucción 3D.

De acuerdo con una realización ventajosa, el dispositivo de iluminación I0, I1, I2, I3 proyecta un haz de luz B0, B1, B2, B3 que tiene un cono de apertura con un ángulo de vértice $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ de manera que el haz de luz no intercepte un cono de visión w_0, w_1, w_2, w_3 de cada dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 al menos para una distancia predefinida D. Tal distancia predefinida D se calcula como una distancia medida a partir del plano de sensor de imágenes π de un dispositivo de adquisición de imágenes C0, C1, C2, C3 y a lo largo de una dirección perpendicular a dicho plano de sensor de imágenes π , hacia la cavidad de recepción de cuerda 29.

De este modo, durante al menos una distancia predeterminada D , el cono de visión w_0, w_1, w_2, w_3 de cada dispositivo de adquisición de imágenes C_0, C_1, C_2, C_3 no se ve afectado por un haz de luz de los dispositivos de iluminación I_0, I_1, I_2, I_3 . Además, de forma especialmente ventajosa, ningún haz de luz de los dispositivos de iluminación incide directamente sobre el plano de sensor de imágenes π de un dispositivo de adquisición de imágenes C_0, C_1, C_2, C_3 dispuesto en el lado opuesto con respecto a la cuerda 2.

Esto permite mantener una iluminación adecuada de la cuerda, minimizando al máximo cualquier artefacto de iluminación.

Preferiblemente, un material adaptado para absorber la radiación electromagnética de la luz y reducir los reflejos, por ejemplo una pintura negra, está dispuesto sobre una superficie interior 310 de la pared lateral de carcasa 31. Dicha superficie interior 310 está orientada hacia la cavidad de recepción de cuerda 29.

De acuerdo con una realización alternativa, los dispositivos de adquisición de imágenes C_0, C_1, C_2, C_3 comprenden al menos un primer par de dispositivos de adquisición de imágenes C_0, C_2 y un segundo par de dispositivos de adquisición de imágenes C_1, C_3 . En tal realización, los dispositivos de adquisición de imágenes del primer par C_0, C_2 están dispuestos de manera diametralmente opuesta y los dispositivos de adquisición de imágenes del segundo par C_1, C_3 están dispuestos de manera diametralmente opuesta y están alineados a lo largo de una dirección perpendicular con respecto a la dirección de alineación de los dispositivos de adquisición de imágenes del primer par. Además, entre el primer par C_0, C_2 y el segundo par C_1, C_3 de dispositivos de adquisición de imágenes, al menos un dispositivo de iluminación I_0, I_1, I_2, I_3 está interpuesto a lo largo de la dirección circunferencial C y separado circunferencialmente de los dispositivos de adquisición de imágenes. En otras palabras, el dispositivo de iluminación I_0, I_1, I_2, I_3 está interpuesto entre los dispositivos de adquisición de imágenes de cada primer o segundo par y está separado circunferencialmente de cada uno de dichos dispositivos de adquisición de imágenes de cada par.

La presente invención también se refiere a un método de medición óptica tridimensional para la medición tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda 2. El método comprende los pasos de:

a) proporcionar un aparato de medición óptica tridimensional 1, por ejemplo un aparato de medición óptica tridimensional 1 descrito en la presente discusión, que comprende una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes C_0, C_1, C_2, C_3 fijados a un marco 3' y dispuestos espaciados alrededor de la cuerda 2 a lo largo de una dirección circunferencial C que discurre alrededor de un eje de extensión principal de la cuerda 2 y que se encuentra en un plano P incidente o perpendicular al eje de extensión principal de la cuerda 2, y en el que un dispositivo de iluminación I_0, I_1, I_2, I_3 adaptado para iluminar al menos una región de la cuerda 2 está dispuesto a lo largo de la dirección circunferencial C entre un par de dispositivos de adquisición de imágenes $C_0, C_1; C_1, C_2; C_2, C_3; C_3, C_1$ adyacentes;

b) realizar un movimiento relativo entre la cuerda 2 y el aparato de medición óptica tridimensional 1;

c) durante el movimiento relativo del paso b), iluminar la cuerda mediante el dispositivo de iluminación I_0, I_1, I_2, I_3 y adquirir una pluralidad de imágenes digitales de al menos una región de una superficie exterior 21 de la cuerda 2;

e) procesar la multiplicidad de imágenes digitales mediante un dispositivo electrónico y obtener una reconstrucción fotogramétrica tridimensional de puntos de las imágenes digitales de la cuerda 2 adquiridas por los dispositivos de adquisición de imágenes.

En una realización preferida, los dispositivos de adquisición de imágenes C_0, C_1, C_2, C_3 son cámaras con un sensor de imagen matricial (bidimensional). Preferiblemente, las ópticas 400 de las cámaras tienen focos ópticos que se encuentran sobre una circunferencia desfasada 90° y cada óptica 400 está orientada hacia el centro de la circunferencia. En cada cámara se puede identificar un sistema de ejes cartesianos dextrógiros X_i, Y_i, Z_i , por ejemplo con $i = \{0, 1, 2, 3\}$, siendo integrales con la n -ésima cámara, respectivamente, con origen en el foco de las ópticas, teniendo los ejes X_i e Y_i con dirección y orientación coincidentes con los ejes X e Y de cada sensor de imágenes de cámara; preferiblemente, dichas cámaras C_0, C_1, C_2, C_3 están orientadas de forma que los ejes X_i sean perpendiculares al plano que contiene la circunferencia y todos estén orientados en la misma orientación, los ejes Z_i están orientados hacia el centro de la circunferencia. El espacio tridimensional $X_0 Y_0 Z_0$ de la cámara C_0 se toma preferiblemente como sistema de referencia tridimensional absoluto.

Preferiblemente la cuerda se posiciona adecuadamente dentro del sistema, de manera que quede incluida en el campo de visión de cada cámara y las dimensiones del radio de la circunferencia sobre la que se colocan las cámaras, la distancia focal de la óptica, las dimensiones de los sensores de la cámara se ajustan de manera que se adapten a la longitud de la muestra medida a lo largo del eje, al diámetro máximo medible o a la resolución a obtener para el sistema de medición.

Preferiblemente el sistema se somete a calibración, por ejemplo nada más finalizar el paso de montaje de los dispositivos de adquisición de imágenes, con el fin de obtener los parámetros intrínsecos y extrínsecos de cada dispositivo necesarios para los pasos posteriores de reconstrucción fotogramétrica tridimensional de los puntos de las imágenes adquiridas, obteniendo así un sistema intrínsecamente calibrado.

En referencia a la conocida definición de línea epipolar de la geometría epipolar (que describe las relaciones geométricas y las restricciones que unen dos imágenes 2D de la misma escena 3D capturadas por dos cámaras), se sabe que un punto de una imagen subtiende una línea en el mundo, y la línea recta en el mundo proyectada en otra imagen, adquirida por una cámara colocada en un punto de vista diferente, representa la línea epipolar donde se encuentra el homólogo del punto de la primera imagen. Las relaciones entre puntos homólogos, líneas epipolares y la geometría del sistema de adquisición de imágenes se describen por medio de relaciones algebraicas conocidas adecuadas. Para explotar las nociones anteriores de geometría epipolar, por ejemplo, si el dispositivo de adquisición de imágenes es una cámara, se calcula lo siguiente:

- la matriz intrínseca (o de calibración);
- los parámetros d_{ix} de la función de distorsión $f_i(r) = (1 + d_{i1}r + d_{i2}r^2 + d_{i3}r^3 + d_{i4}r^4 + d_{i5}r^5 + d_{i6}r^6)$ de la i -ésima cámara, donde r representa la distancia del punto de la imagen digital en el centro del sensor, en el que tales parámetros permiten corregir las imágenes de los efectos de la distorsión intrínseca de la óptica;
- la matriz de rototraslación entre los sistemas cartesianos de cada cámara;
- la matriz esencial;
- la matriz fundamental;
- las matrices de rectificación;
- las matrices de proyección de los planos rectificadas en espacio 3D.

Preferiblemente, después de la calibración, habiendo calculado los parámetros antes mencionados y las matrices antes mencionadas, por ejemplo, se reconstruye fotogramétricamente un punto cualquiera perteneciente a la cuerda o cable en un espacio tridimensional a partir de dos imágenes adquiridas por dos dispositivos de adquisición de imágenes diferentes que encuadran tal punto de la cuerda o cable.

Más en particular, en una realización preferida, el método para la medición óptica tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda 2, por ejemplo mediante un aparato de medición óptica tridimensional 1 descrito anteriormente, comprende también los pasos de:

- a1) adquirir una primera imagen digital 10', 10" de una primera región 11' de la superficie exterior de la cuerda;
- b1) adquirir una segunda imagen digital 20', 20" de una segunda región 21' de la superficie exterior de la cuerda 2, siendo dicha segunda región 21' al menos parcialmente distinta de dicha primera región 11';
- c1) determinar una primera serie 12, 12' y una segunda serie 22, 22' de líneas de contorno sobre dichas primeras 10', 10" y dichas segundas 20', 20" imágenes digitales de dichas primeras 11' y dichas segundas 21' regiones de la superficie exterior de la cuerda, respectivamente, en las que dichas primeras 12, 12' y dichas segundas 22, 22' series de líneas de contorno comprenden una primera pluralidad de puntos de contorno de imagen y una segunda pluralidad de puntos de contorno de imagen, respectivamente;
- d1) buscar un primer punto de contorno 16, 16a, 16', 16a' y un segundo punto de contorno 26, 26a, 26', 26a' pertenecientes a dicha primera pluralidad de puntos de contorno de imagen y a dicha segunda pluralidad de puntos de contorno de imagen, respectivamente, de manera que el primer punto de contorno 16, 16a, 16', 16a' y el segundo punto de contorno 26, 26a, 26', 26a' sean puntos homólogos o puntos pertenecientes a la misma línea epipolar y representen cada uno la imagen de un punto de superficie 50, 51, 52, siendo dicho punto de superficie 50, 51, 52 un punto compartido por las primera 11' y segunda 21' regiones de la superficie exterior de la cuerda 2;
- e1) retroproyectar fotogramétricamente los primeros 16, 16a, 16', 16a' y segundos 26, 26a, 26', 26a' puntos de contorno en un espacio tridimensional 40, para obtener un punto de contorno 3D 60', 61', 62' referente a dicho espacio tridimensional 40;

f1) repetir los pasos a1) a e1) una pluralidad de veces hasta obtener la representación tridimensional de al menos una primera pluralidad de puntos de contorno 3D 60' y una segunda pluralidad de puntos de contorno 3D 61', 62' referentes a dicho espacio tridimensional 40;

5 g1) calcular al menos uno de los siguientes parámetros geométricos de la cuerda mediante al menos la primera pluralidad de puntos de contorno 3D y/o la segunda pluralidad de puntos de contorno 3D: diámetro de cuerda 80, 81 o redondez de cuerda, o eje de cuerda 30.

Es evidente que el término redondez también significa un índice de la redondez de cuerda.

10 Por ejemplo, la primera serie de líneas de contorno 12 es la representación en la imagen digital de las líneas de contorno de la primera región de la superficie exterior 11' de la cuerda o cable, vista por un primer dispositivo de adquisición de imágenes digitales C1, mientras que la segunda serie de líneas de contorno 22 es la representación en la imagen digital de las líneas de contorno de la segunda región de la superficie exterior 21' de la cuerda o cable, vista por un segundo dispositivo de adquisición de imágenes digitales C0.

Preferiblemente, las operaciones para calcular el eje de la cuerda o cable incluyen el cálculo de la longitud del eje y su orientación.

20 Preferiblemente, además de los pasos mencionados anteriormente, se calculan las líneas de contorno 3D 70a, 70b, 70c, 70d de la superficie exterior de la cuerda o cable, en el que cada línea de contorno 3D 70a, 70b, 70c, 70d se obtiene como una regresión que se aproxima mejor a la primera pluralidad de puntos de contorno 3D 60' o a la segunda pluralidad de puntos de contorno 3D 61', 62'.

25 Por lo tanto, se obtienen preferiblemente al menos dos y preferiblemente cuatro líneas de contorno 3D de toda la superficie de la cuerda o cable.

Cualquiera de los algoritmos de reconstrucción multicámara 3D se utiliza para la retroproyección fotogramétrica de los puntos en el espacio tridimensional, algunos ejemplos no exhaustivos son el algoritmo de triangulación o la reproyección de mapa de disparidad para el algoritmo 3D o combinaciones de los mismos.

30 En una realización del método, se detectan las imágenes digitales respectivas de la muestra estacionaria o en movimiento con respecto a las cámaras. A continuación, cada imagen digital se corrige y se purifica de los efectos de distorsión óptica reconstruyendo, con ayuda de la función $f(r)$ descrita anteriormente, la posición correcta de cada punto.

35 En la siguiente descripción, se entiende por puntos homólogos cada uno de los puntos de las imágenes digitales adquiridas por los respectivos sistemas de adquisición de imágenes digitales, que representan el mismo punto en el mundo tridimensional real. Por ejemplo, dichos puntos homólogos se pueden buscar en las imágenes mediante algoritmos conocidos para la búsqueda de puntos homólogos, como por ejemplo, basado en correlación de imágenes, basado en aristas, basado en segmentos, ventanas adaptativas, de grueso a fino, programación dinámica, campos aleatorios de Markov, cortes de grafos - multi-línea base o combinaciones de los mismos.

40 En una realización del procedimiento, en la que al menos una parte de la primera 12 y una parte de la segunda 22 series de líneas de contorno delimitan una primera 13 y una segunda 23 área de la imagen digital de las primera 10' y segunda 20' imágenes digitales, respectivamente, obtenidas por ejemplo a partir de los pasos a1) a c1) descritos anteriormente, los puntos medios 3D 32' representativos del eje de cuerda 30 se obtienen preferiblemente de acuerdo con los siguientes pasos:

50 c2) calcular un primer eje medio 14 y un segundo eje medio 24 en cada primera 12 y segunda 22 series de líneas de contorno, en el que dichos primer 14 y segundo 24 ejes medios se obtienen como una regresión que se aproxima mejor a al menos una parte de la primera pluralidad de puntos de contorno de imagen y al menos una parte de la segunda pluralidad de puntos de contorno de imagen, respectivamente,

55 y en el que dichos primer 14 y segundo 24 ejes medios dividen las primera 13 y segunda 23 áreas de la imagen digital, respectivamente, en una respectiva primera subárea 13a, 23a y una segunda subárea 13b, 23b;

60 d2) buscar un primer punto medio 15 y un segundo punto medio 25 pertenecientes a los ejes medios primero 14 y segundo 24, respectivamente, de manera que el primer punto medio 15 pertenezca a la misma línea epipolar que el segundo punto medio 25 y de manera que el primer y el segundo puntos medios representen la imagen virtual de un punto 31a perteneciente a un eje medio 3D 30 de la cuerda o cable 2;

65 e2) retroproyectar fotogramétricamente los primeros 15 y segundos 25 puntos medios en un espacio tridimensional 40, para obtener un punto medio 3D 32' referente a dicho espacio tridimensional 40;

f2) repetir los pasos c2) a e2) una pluralidad de veces hasta obtener la representación tridimensional de una pluralidad de puntos medios 3D 32' representativos de los puntos del eje de cuerda 30. Por tanto, tales puntos medios son preferiblemente una serie de puntos identificados mediante tres coordenadas cartesianas y describen la tendencia punto a punto del eje de una parte o de la totalidad de la cuerda a lo largo de una dirección preferencial de dicha cuerda.

Preferiblemente, además de los pasos mencionados anteriormente, se incluye el paso de calcular un eje medio 3D interpolado 33', obtenido como una regresión que se aproxima mejor a la pluralidad de puntos medios 3D 32'. Por ejemplo, dicha regresión es cualquier curva de regresión y preferiblemente una línea de regresión.

En otra realización del método, también es posible medir el diámetro de la cuerda o cable, de acuerdo con los siguientes pasos:

- muestrear el eje medio 3D interpolado 33' para obtener una pluralidad de puntos axiales 3D muestreados que pertenecen a dicho eje medio 3D interpolado 33';
- calcular al menos un primer 72, un segundo 74, un tercer 71 y un cuarto 73 punto de intersección de contorno como la intersección entre un plano perpendicular al eje medio 3D interpolado 33' que pasa por un punto de eje 34 de dicha pluralidad de puntos axiales 3D muestreados y las líneas de contorno 3D 70a, 70b, 70c, 70d;
- calcular al menos una primera distancia de eje 82, una segunda distancia de eje 83, una tercera distancia de eje 84 y una cuarta distancia de eje 85, como la distancia entre el primer punto de intersección de contorno 72 y el punto de eje 34, entre el segundo punto de intersección de contorno 74 y el punto de eje 34, entre el tercer punto de intersección de contorno 71 y el punto de eje 34 y entre el cuarto punto de intersección de contorno 73 y el punto de eje 34, respectivamente;
- calcular al menos un primer diámetro 80 y un segundo diámetro 81, como la suma de la primera distancia de eje 82 y la segunda distancia de eje 83 y como la suma de la tercera distancia de eje 84 y la cuarta distancia de eje 85, respectivamente.

Preferiblemente, la redondez de punta de la cuerda o cable se mide como la relación entre al menos el primer diámetro 80 y el segundo diámetro 81.

Además, en una alternativa del método, en el caso de cables o cuerdas suficientemente simétricos axialmente, el diámetro de cable se calcula como la distancia entre el primer punto de contorno y el segundo punto de contorno.

Posteriormente, también es posible calcular variables estadísticas sobre la base de la población de muestra de las redondeces de puntos calculadas, por ejemplo la redondez media, como la media de las redondeces de puntos o la varianza de las redondeces de puntos.

Además, el método de la presente invención comprende el paso de calcular la ondulación de la cuerda o cable, es decir, una medida de la homogeneidad superficial de la cuerda.

Para calcular la ondulación de la superficie exterior de la cuerda, el método comprende los pasos de:

- w1) calcular al menos la primera distancia de eje 82 o una pluralidad de distancias de eje, por ejemplo la primera 82, la segunda 83, la tercera 84 y la cuarta 85 distancias de eje;
- w2) iterar el cálculo del paso w1) para una longitud dada de la cuerda o para toda la longitud de la cuerda;
- w3) calcular al menos una variable estadística sobre la base de la población de muestra de una pluralidad de primeras distancias de eje 82, adquirida en el paso w2) o de la población de muestra de una pluralidad de distancias de eje 82, 83, 84, 85, por ejemplo la desviación estándar de muestra de las primeras distancias de eje 82, o un procesamiento de las desviaciones estándar de muestra de la pluralidad de distancias de eje 82, 83, 84, 85, o el valor medio de las desviaciones estándar de muestra de la pluralidad de distancias de eje 82, 83, 84, 85.

El valor medio de las desviaciones estándar de muestra de la pluralidad de distancias de eje 82, 83, 84, 85 es un índice preferido para la evaluación de la ondulación de la superficie exterior.

En una realización del método, es preferible adquirir al menos un par de imágenes digitales y para cada par de imágenes de la cuerda o cable realizar las siguientes operaciones:

a3) mediante las matrices de rectificación se transforman los puntos de las imágenes desde los respectivos planos 2D del sensor de cámara a los planos 2D rectificados, obteniendo una primera imagen rectificada y una segunda imagen rectificada;

b3) en cada imagen rectificada, se aísla la imagen de la muestra del fondo, se extraen los puntos que identifican las líneas de contorno del perfil de la cuerda o cable y se calcula la línea de regresión que mejor se aproxima al eje de la imagen rectificada; por ejemplo, si las líneas de contorno del perfil consisten en una línea superior 12a, 22a y una línea inferior 12b, 22b, por ejemplo dispuestas paralelas a una dirección preferencial del sensor, la línea de regresión que mejor se aproxima al eje de la imagen rectificada de la muestra se calcula como la línea de regresión de los puntos obtenidos a partir de la media de las coordenadas de los puntos pertenecientes a la línea superior 12a, 22a y a la línea inferior 12b, 22b;

c3) para cada punto de la línea superior 12a de la primera imagen rectificada, se buscan puntos homólogos en la segunda imagen rectificada;

d3) para cada punto de la línea inferior 22b de la segunda imagen rectificada, se buscan puntos homólogos en la primera imagen rectificada;

e3) para cada punto del eje de la primera imagen rectificada, se busca el punto del eje de la segunda imagen rectificada perteneciente a la misma línea epipolar;

f3) si cada cámara del par de cámaras está situada diametralmente opuesta respecto al eje de la cuerda o cable, para cada punto de la línea superior 12a' de la primera imagen rectificada se busca el punto de la línea superior 22a' o de la línea inferior 22b' de la segunda imagen rectificada perteneciente a la misma línea epipolar y a la misma área común 4 de la región de la superficie exterior 11', 21' de la cuerda visible desde ambas cámaras, y para cada punto de la línea inferior 12b' de la primera imagen rectificada se busca el punto de la línea inferior 22b' o de la línea superior 22a' de la segunda imagen rectificada perteneciente a la misma línea epipolar y a la misma área común 4 de la región de la superficie exterior 11', 21' de la cuerda visible desde ambas cámaras, y para cada punto del eje de la primera imagen rectificada 14' se busca el punto del eje de la segunda imagen rectificada 24' perteneciente a la misma línea epipolar;

g3) se obtiene un primer conjunto de pares de puntos correspondientes pertenecientes a las líneas de contorno de la cuerda, un segundo conjunto de pares de puntos correspondientes pertenecientes a las líneas de contorno de la cuerda y un tercer conjunto de pares de puntos correspondientes pertenecientes a los ejes de las imágenes rectificadas. Por puntos correspondientes se entiende, pues, puntos homólogos o puntos pertenecientes a la misma línea epipolar. Puesto que todos los puntos pertenecientes a los ejes de las imágenes rectificadas pertenecen también a los ejes de simetría de las imágenes de la cuerda, vistas sobre un plano que pasa por los focos de cada una de las cámaras del par de cámaras, tales puntos pertenecientes a los ejes de las imágenes representan las proyecciones de puntos pertenecientes al eje de la cuerda, tal como se muestra en la figura 11.

Preferiblemente, por tanto, mediante las matrices de proyección desde los planos rectificados en el espacio tridimensional, se retroproyectan los conjuntos de los pares de puntos correspondientes pertenecientes a las líneas de contorno de la cuerda o cable y pertenecientes a los ejes de las imágenes rectificadas en el espacio tridimensional, obteniendo la representación tridimensional de los puntos de las líneas de contorno y de los ejes de la cuerda o cable referidos respecto de un espacio tridimensional.

En una realización alternativa del método, se incluyen cuatro cámaras que forman al menos seis pares de cámaras independientes, en el que cada par de cámaras detecta un respectivo par de imágenes digitales y en el que al menos una de las dos imágenes adquiridas por un primer par de cámaras es diferente de al menos una de las dos imágenes adquiridas por un segundo par de cámaras.

En otra realización de la invención, por ejemplo, se mide la linealidad del eje de la cuerda o cable, preferiblemente por medio de un aparato de medición óptica tridimensional 1 calibrado descrito anteriormente, realizando además de los pasos de reconstrucción de la pluralidad de puntos medios 3D 32' representativos de los puntos del eje de la cuerda, los siguientes pasos adicionales:

- Interpolar la pluralidad de puntos medios 3D 32' con una curva de interpolación 90;
- calcular la distancia entre el eje 3D interpolado 33' y un punto medio 3D 32' perteneciente a la curva de interpolación 90.

En otra realización del método, se muestrea la curva de interpolación para obtener una pluralidad de puntos medios 3D muestreados y se calcula un eje medio 3D ideal 35 como una línea de regresión que se aproxima mejor a dicha

pluralidad de puntos medios 3D muestreados y luego se calcula la distancia 38 entre el eje medio 3D ideal 35 y un punto medio 3D muestreado 37 de dicha pluralidad de puntos medios 3D muestreados.

Por ejemplo, la curva de interpolación es cualquier curva geométrica, o por ejemplo, es una curva lineal en secciones obtenida mediante interpolación 3D de los puntos medios 3D.

Preferiblemente, la distancia 38 entre el eje medio 3D ideal 35 y un punto medio 3D muestreado 37 de dicha pluralidad de puntos medios 3D muestreados se calcula como la longitud de la línea que une el punto medio 3D muestreado 37 y un punto de intersección entre un plano perpendicular al eje medio 3D ideal y que pasa a través del punto medio 3D muestreado y el eje medio 3D ideal.

En otra realización del método, se mide también el paso de la hélice o de las espiras de la cuerda, por ejemplo en el caso de que la cuerda esté provista de hebras o presente una superficie exterior en espiral o helicoidal. Preferiblemente, además de los pasos a1), b1), c1) y c2) o además de los pasos a1) a g1) y c2) descritos en los párrafos anteriores, con los que se calculan el primer eje medio 14 y el segundo eje medio 24, se incluyen otros pasos para:

a4) identificar líneas de separación 100, 102, 104, en la primera 10' y en la segunda 20' imagen digital de dichas primera 11' y dichas segunda 21' regiones de la superficie exterior de la cuerda, en el que las líneas de separación 100, 102, 104 delimitan áreas contiguas 101, 103 de las primera 10' y segunda 20' imágenes digitales que se suceden una a otra a lo largo de una dirección sustancialmente paralela con respecto al primer 14 o segundo 24 eje medio y cruzan el primer 14 o segundo 24 eje medio desde la primera subárea 13a, 23a hasta la segunda subárea 13b, 23b;

b4) identificar un punto de intersección 200, 300 entre las líneas de separación 100, 102, 104 y los primeros 14 y/o segundos 24 ejes medios;

c4) buscar un punto de intersección homólogo 200a 300a, de manera que dicho punto de intersección homólogo 200a, 300a represente un punto homólogo de dicho punto de intersección 200, 300 y que dicho punto de intersección 200, 300 y punto de intersección homólogo 200a, 300a representen cada uno las imágenes de un punto común a la primera 11 y a la segunda 21 región de la superficie exterior de la cuerda;

d4) retroproyectar fotogramétricamente el punto de intersección 200, 300 y el punto de intersección homólogo 200a, 300a en un espacio tridimensional 40, para obtener un punto de intersección 3D 210, 310 referente al espacio tridimensional 40;

e4) repetir los pasos a4) a d4) una pluralidad de veces hasta obtener la representación tridimensional de una pluralidad de puntos de intersección 3D 210, 211, 310 pertenecientes a la primera región 11' y a la segunda región 21' de la superficie exterior de la cuerda;

f4) calcular una distancia entre al menos un primer punto de intersección 3D 210 y al menos un segundo punto de intersección 3D 211, siendo dicho segundo punto de intersección 3D 211 relativamente adyacente al primer punto de intersección 3D 210. Preferiblemente, dicha distancia calculada en el paso f4) descrito anteriormente es dicho paso de la bobina o hélice de la cuerda o cable.

Preferiblemente, la distancia entre el primer punto de intersección 3D 210 y el segundo punto de intersección 3D 211 se define como el paso de la hélice o espiral.

Para obtener la representación tridimensional de la pluralidad de puntos de intersección 3D 210, 211, que permiten calcular el paso de las bobinas, por ejemplo, también es posible proceder mediante un paso en el que se utilizan matrices de proyección a partir de los planos tridimensionales rectificadas en el espacio como ya se ha descrito para las líneas de contorno de la cuerda, obteniendo la representación tridimensional de los puntos de intersección 3D de las líneas de contorno referentes a un espacio tridimensional.

En otra realización del método, se incluye un paso adicional en el que se calculan variables estadísticas (media, varianza, percentiles...) sobre la población de las distancias (pasos) entre los primeros puntos de intersección 3D 210 y los segundos puntos de intersección 3D 211, por ejemplo, el paso medio se obtiene como la media de las distancias entre los primeros puntos de intersección 3D 210 y los segundos puntos de intersección 3D 211.

Preferiblemente, en una realización de la invención, la imagen digital es una imagen rectificada, de acuerdo con las técnicas de rectificación de imágenes conocidas en fotogrametría. Por ejemplo, la imagen adquirida por una cámara se somete a rectificación mediante un proceso de transformación generalmente utilizado para proyectar múltiples imágenes sobre una superficie bidimensional común, con un sistema de coordenadas estándar, que modifica las deformaciones en perspectiva de cada imagen.

Preferiblemente, el método de acuerdo con la presente invención se aplica iterativamente sobre porciones de la cuerda 2 que son al menos contiguas en secciones a lo largo de una dirección H-H' paralela a una dimensión principal de la cuerda 2. Tal dimensión también puede tener una longitud indefinida y, en consecuencia, tal método se aplica iterativamente a lo largo de dicha dimensión de longitud indefinida.

Preferiblemente, resulta evidente que el procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende la adquisición simultánea de al menos dos o más imágenes digitales, cada una de ellas adquirida por un respectivo dispositivo de adquisición de imágenes digitales, de una porción de cuerda de longitud predefinida. Por tanto, no se pretende la adquisición de un único punto o de una única línea transversal de la cuerda, sino que se adquiere una porción de la cuerda que se extiende a lo largo de una longitud predefinida a lo largo del eje de la cuerda.

Preferiblemente, el método descrito en los párrafos anteriores puede cargarse directamente en la memoria interna de una computadora en forma de porciones de código de software adaptado para implementar el método de acuerdo con lo descrito hasta ahora cuando el software se ejecuta en una computadora.

Como es evidente, de manera innovadora, el aparato de medición óptica tridimensional calibrado y el método de medición óptica tridimensional de acuerdo con la presente invención permiten reconstruir mediciones tridimensionales de cuerdas o cables o partes de cuerdas o cables que se encuentran estacionarios o en movimiento y por tanto realizar mediciones y controles de calidad de manera no invasiva y no destructiva sobre la cuerda o cable, con continuidad a lo largo de toda la longitud del objeto, sin que un operario necesite realizar mediciones manuales, sin requerir detener el movimiento de la cuerda o cable y de manera precisa y exacta.

En particular, la presencia de un dispositivo de fijación 4' adaptado para sujetar el aparato de medición óptica tridimensional a la cuerda de una manera relativamente trasladable con respecto a la cuerda 2 permite mover todo el aparato, permitiendo así calcular los parámetros geométricos 3D mientras el aparato se mueve a lo largo de la cuerda. Junto con la disposición particular de las cámaras, esto es particularmente ventajoso ya que evita tener que deslizar la cuerda y permite que el aparato se use en una variedad de situaciones en las que la cuerda está fija y el aparato se desliza sobre la cuerda (por ejemplo, para controlar cuerdas de puentes o cuerdas de soporte de teleféricos o cables a grandes altitudes, y similares) o en las que el aparato se mantiene fijo con respecto a una referencia en el suelo y la cuerda se desliza con respecto al aparato (por ejemplo, para controlar cuerdas de elevación o cuerdas de arrastre de teleféricos y similares).

Además, gracias a la abertura axial 28, la operación de instalación en la cuerda es sencilla y rápida de obtener, lo que permite facilitar aún más la instalación móvil del aparato.

Además, ventajosamente, en virtud de la presencia de un dispositivo de iluminación dispuesto entre un par de dispositivos de adquisición de imágenes adyacentes, es posible iluminar adecuadamente la cuerda asegurando al mismo tiempo una compacidad adecuada del aparato y permitiendo evitar posibles reflejos o artefactos, precisamente gracias a tal disposición intercalada entre el dispositivo de iluminación y los dispositivos de adquisición de imágenes.

Además, gracias a la particular disposición de los dispositivos de adquisición de imágenes digitales alrededor de la cuerda, así como de los dispositivos de iluminación, es posible obtener un aparato especialmente compacto y fácil de transportar, sin perder precisión en las medidas.

Además, ventajosamente, proporcionar una estructura de soporte 10 distanciada de la carcasa 3 y unida solo en una región de unión 11, posiblemente provista de un elemento amortiguador, permite limitar cualquier vibración, evitando cualquier vibración hacia los dispositivos de adquisición de imágenes durante el movimiento del aparato con respecto a la cuerda.

Además, de forma aún más ventajosa, el sistema permite obtener la linealidad del eje de la cuerda o cable, la medición del diámetro y de la redondez de un objeto que se aproxima a un cuerpo giratorio y la medición del paso de espiras presentes en la superficie de la cuerda o cable, partiendo únicamente de las imágenes de la superficie exterior del propio objeto y para longitudes indefinidas, simplemente haciendo que la cuerda se desplace relativamente con respecto al aparato. Por ejemplo, esto es útil para la verificación dimensional de cuerdas o cables de longitud considerable.

Además, el aparato es capaz de realizar automáticamente las mediciones de los parámetros geométricos incluso en presencia de condiciones ambientales difíciles desde el punto de vista de la iluminación de la cuerda, como por ejemplo mediciones en entornos contaminados por humos, gases, polvos, agentes atmosféricos. Además, el sistema permite realizar mediciones de forma continua e independientemente de las dimensiones y del material que forma la superficie exterior e interior de la cuerda.

Además, al estar intrínsecamente calibrado, el aparato no requiere operaciones de calibración adicionales antes de cada medición, como sin embargo ocurre desventajosamente con los sistemas de medición ópticos no calibrados.

5 Además, la reconstrucción tridimensional de la pluralidad de puntos de contorno 3D, y por tanto la medición tridimensional de los parámetros de la cuerda, permite superar los problemas de localización en perspectiva entre la cuerda y la cámara, ya que los contornos de la cuerda siempre se reconstruirán en un espacio tridimensional calibrado y siempre es posible calcular los parámetros independientemente de la posición relativa entre la cámara y la cuerda durante la adquisición de imágenes.

10 Además, ventajosamente el uso de cámaras sincronizadas, preferiblemente con sensor de imágenes matricial bidimensional, permite adquirir imágenes de porciones enteras de cuerda en el mismo instante con posterior reconstrucción fotogramétrica, reduciendo o incluso eliminando errores de medición debidos a eventuales vibraciones de la cuerda, alrededor de un eje perpendicular al eje de la cuerda.

15 Además, el uso de cámaras con un sensor matricial acompañado de un dispositivo de iluminación permite adquirir imágenes 2D de una muestra de cuerda con un tiempo de exposición muy corto, minimizando cualquier posibilidad de error debido a la vibración de la cuerda, que en cambio se encontraría si se utilizaran sensores lineales.

Para satisfacer necesidades contingentes, es evidente que los expertos en la materia pueden realizar cambios a la invención descrita anteriormente, todos ellos están contenidos dentro del alcance de protección según se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) calibrado, para la medición tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda (2), que comprende:

- un marco (3') que define y está dispuesto alrededor de una cavidad de recepción de cuerda (29);
- una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) adaptados para adquirir una multiplicidad de imágenes digitales de al menos una región de una superficie exterior (21) de la cuerda (2), estando fijados dichos dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) al marco (3') y estando dispuestos alrededor de la cuerda (2) cuando el aparato de medición óptica tridimensional (1) recibe la cuerda (2) en la cavidad de recepción de cuerda (29);
- un dispositivo de fijación (4') adaptado para sujetar el aparato de medición óptica tridimensional (1) a la cuerda de una manera relativamente trasladable con respecto a la cuerda (2);
- un dispositivo electrónico de procesamiento de imágenes digitales, configurado para procesar la multiplicidad de imágenes digitales y obtener una reconstrucción fotogramétrica tridimensional de los puntos de las imágenes digitales de la cuerda adquiridas por los dispositivos de adquisición de imágenes.

2. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo electrónico de procesamiento de imágenes digitales comprende una unidad de almacenamiento, en la que se almacenan parámetros de calibración intrínsecos y extrínsecos de cada dispositivo de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3).

3. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el marco (3') comprende una carcasa (3) que define y está dispuesta alrededor de la cavidad de recepción de cuerda (29) y una estructura de soporte (10), unida a la carcasa (3), estando fijados sobre dicha estructura de soporte (10) los dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3).

4. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la estructura de soporte (10) comprende una región de unión (11) unida de forma separable a la carcasa (3).

5. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que la estructura de soporte (10) está separada de la carcasa (3) en la porción restante de la estructura de soporte, que es diferente de la región de unión (11).

6. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que, entre la estructura de soporte (10) y la carcasa (3), se interpone un elemento amortiguador (5), fabricado de un material adaptado para amortiguar la transmisión de vibraciones desde la carcasa (3) a la estructura de soporte (10), por ejemplo un material de caucho o elastomérico.

7. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la carcasa (3) y la estructura de soporte (10) están unidas para formar una sola pieza o forman parte de una sola pieza.

8. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en el que la estructura de soporte (10) tiene una forma anular abierta, y la carcasa (3) tiene una forma similar a una caja, estando dispuesta dicha carcasa (3) alrededor del interior o del exterior de la estructura de soporte (10).

9. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la estructura de soporte (10) está dispuesta alrededor del exterior de la carcasa (3) y en el que la carcasa (3) comprende una pared lateral de carcasa (31) que se extiende entre un extremo delantero (32) y un extremo trasero (33) a lo largo de una dirección axial (X') paralela a un eje de extensión principal de la cuerda (2), estando adaptada dicha pared lateral de carcasa (31) para disponerse espaciada respecto de la cuerda (2) cuando el aparato de medición óptica tridimensional (1) se desliza relativamente con respecto a la cuerda (2), obteniéndose al menos una ventana de visualización (V0, V1, V2, V3) en dicha pared lateral de carcasa (31) para cada dispositivo de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) de manera que el dispositivo de adquisición de imágenes puede detectar una imagen digital de la cuerda (2) a través de dicha ventana de visualización (V0, V1, V2, V3).

10. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en el que la carcasa (3) comprende una pared de cola de carcasa (331) y una pared de cabeza de carcasa (321), que cierran la pared lateral de carcasa (31) cerca del extremo de cola (33) y del extremo de cabeza (32), respectivamente, y en el que al menos una abertura de paso (6, 6'), que es atravesable por la cuerda (2), está obtenida en cada una de dichas pared de cabeza de carcasa (321) y pared de cola de carcasa (331), y en el que la pared de cola (331) y la pared de cabeza (321) comprenden cada una al menos una primera porción de pared (321', 331') fijada e integral con la pared lateral de carcasa (31) y una porción de pared desmontable (321'', 331'') fijada de manera separable a la primera porción de pared (321', 331'), de manera que, en una configuración de inserción de cuerda, la porción de pared desmontable (321'', 331'') no está fijada a la primera porción de pared (321', 331') de manera que deja una abertura de inserción de cuerda (61) en la pared de cola (331) y/o en la pared de cabeza (321), comunicándose dicha abertura de inserción de cuerda

(61) con la abertura de paso (6) para permitir la inserción de la cuerda (2) en la abertura de paso (6, 6') mediante un movimiento relativo entre la carcasa (3) y la cuerda (2) perpendicular a la dirección axial (X'), y de manera que, en una configuración de instalación de cuerda, la porción de pared desmontable (321", 331") se fija a la primera porción de pared (321', 331') para cerrar la abertura de inserción de cuerda (61).

11. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que la porción de pared desmontable (321", 331") define al menos parcialmente la abertura de paso (6, 6').

12. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que la primera porción de pared (321', 331') comprende al menos una guía deslizante en la que la porción de pared desmontable (331", 321") se acopla de forma deslizante para cambiar de una configuración extraída, en la que la abertura de inserción de cuerda (61) está expuesta, a una configuración insertada, en la que la porción de pared extraíble cierra la abertura de inserción de cuerda (61).

13. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que la pared lateral de carcasa (31) comprende una porción fija (31') que define una abertura axial (28) que se extiende principalmente a lo largo de la dirección axial (X') entre el extremo delantero (32) y el extremo trasero (33), y una porción móvil (31"), por ejemplo una puerta, adaptada para adoptar una configuración cerrada, en la que la porción móvil cierra la abertura axial (28), y una configuración abierta, en la que la porción móvil (31') está en una posición que permite acceder a la abertura axial (28), siendo dicha abertura axial (28) atravesable por la cuerda durante un movimiento relativo entre la carcasa y la cuerda perpendicular a la dirección axial (X').

14. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que, cerca de cada abertura de paso de cuerda (6, 6'), el aparato de medición óptica tridimensional (1) comprende una pared de protección (65) que sobresale de la pared de cabeza (321) o de la pared de cola (331) y que se extiende internamente hacia la cavidad de recepción de cuerda (29), de modo que protege al menos parcialmente la entrada de luz desde el exterior de la carcasa hacia la cavidad de recepción de cuerda (29).

15. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos un dispositivo de iluminación (I0, I1, I2, I3) adaptado para iluminar al menos una región de la cuerda (2).

16. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que, habiendo definido una dirección circunferencial (C) que discurre alrededor de un eje de extensión principal de la cuerda (2) y que se encuentra sobre un plano (P) incidente o perpendicular al eje de extensión principal de la cuerda (2), los dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) están dispuestos en el marco (3') espaciados circunferencialmente entre sí a lo largo de dicha dirección circunferencial (C), y en el que un dispositivo de iluminación (I0, I1, I2, I3) adaptado para iluminar al menos una región de la cuerda (2) está dispuesto a lo largo de la dirección circunferencial (C) entre un par de dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1; C1, C2; C2, C3; C3, C1) adyacentes.

17. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con la reivindicación 15 o 16, en el que cada dispositivo de iluminación (I0, I1, I2, I3) proyecta un haz de iluminación (B0, B1, B2, B3) que tiene un cono de apertura con un ángulo de vértice ($\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) de manera que se evita que el haz de luz intercepte un cono de visión (w_0, w_1, w_2, w_3) de cada dispositivo de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) al menos para una distancia predefinida (D), calculándose dicha distancia predefinida (D) como una distancia que comienza desde el plano de sensor de imágenes (π) de un dispositivo de adquisición de imágenes y a lo largo de una dirección perpendicular a dicho plano de sensor de imágenes (π) y hacia la cavidad de recepción de cuerda (29).

18. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 17, en el que sobre una superficie interior (310) de la pared lateral de carcasa (31), orientada hacia la cavidad de recepción de cuerda (29), está dispuesto un material adaptado para absorber la radiación electromagnética luminosa y para reducir las reflexiones, tal como una pintura negra.

19. Un aparato de medición óptica tridimensional (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, en el que los dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) comprenden al menos un primer par de dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C2) y un segundo par de dispositivos de adquisición de imágenes (C1, C3), en el que los dispositivos de adquisición de imágenes del primer par (C0, C2) están dispuestos de manera diametralmente opuesta y los dispositivos de adquisición de imágenes del segundo par (C1, C3) están dispuestos de manera diametralmente opuesta y están alineados a lo largo de una dirección perpendicular con respecto a la dirección de alineación de los dispositivos de adquisición de imágenes del primer par, y en el que al menos un dispositivo de iluminación (I0, I1, I2, I3) está interpuesto entre el primer y el segundo par de dispositivos de adquisición de imágenes a lo largo de la dirección circunferencial (C), y separado circunferencialmente respecto de los dispositivos de adquisición de imágenes.

20. Un método de medición óptica tridimensional (1), para la medición tridimensional de parámetros geométricos de una cuerda (2), que comprende los pasos de:

- 5 a) proporcionar un aparato de medición óptica tridimensional (1) que comprende una pluralidad de dispositivos de adquisición de imágenes (C0, C1, C2, C3) fijados a un marco (3') y dispuestos alrededor de la cuerda (2), estando dicho aparato de medición óptica tridimensional (1) sujeto a la cuerda (2) por medio de un dispositivo de fijación (4) de una manera relativamente trasladable con respecto a la cuerda (2);
- b) realizar un movimiento relativo entre la cuerda (2) y el aparato de medición óptica tridimensional (1);
- 10 c) durante el movimiento relativo del paso b), adquirir una multiplicidad de imágenes digitales de al menos una región de una superficie exterior (21) de la cuerda (2);
- e) procesar la multiplicidad de imágenes digitales mediante un dispositivo electrónico y obtener una reconstrucción fotogramétrica tridimensional de puntos de las imágenes digitales de la cuerda (2) adquiridas por los dispositivos de adquisición de imágenes.

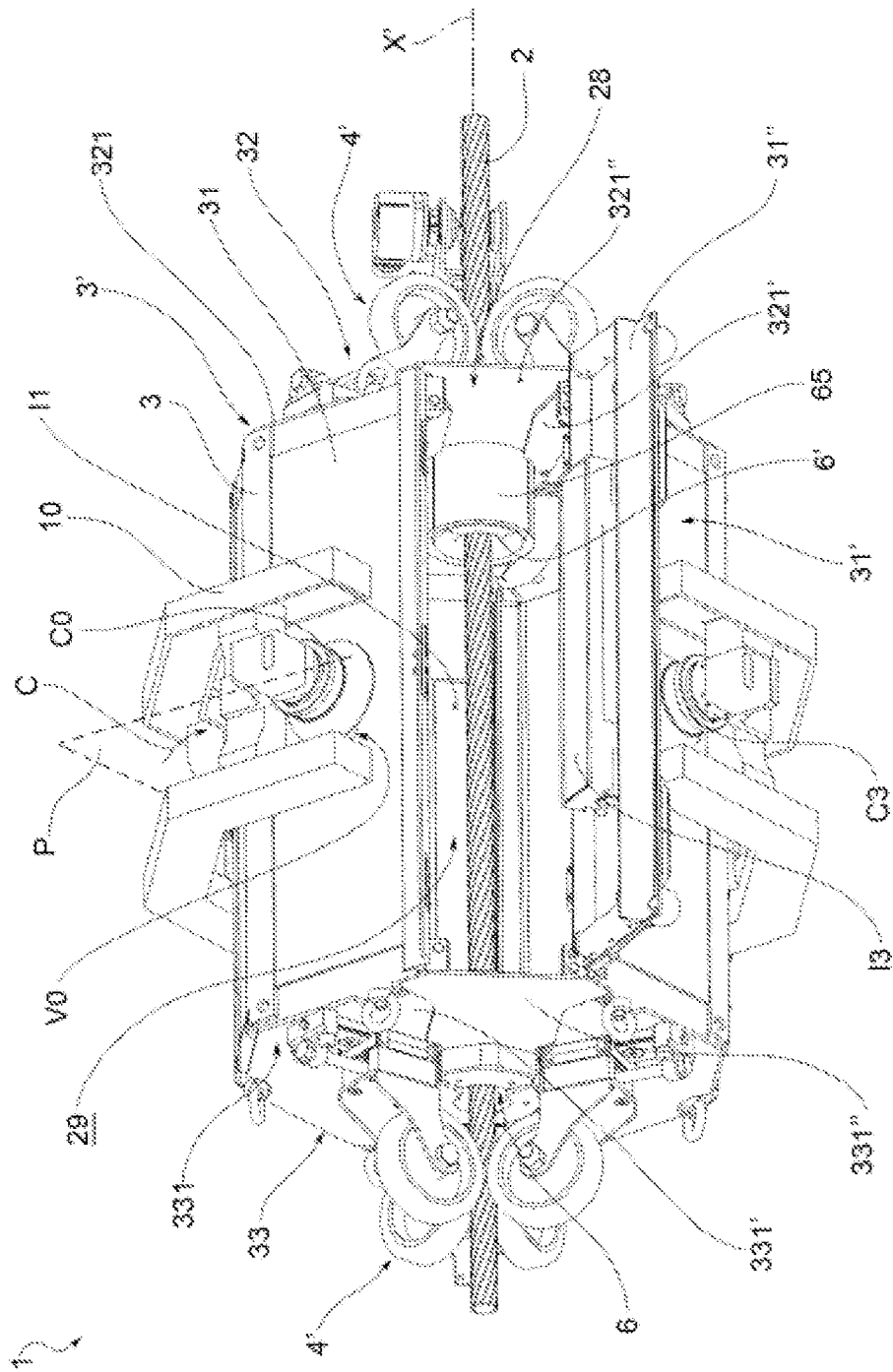


FIG.1

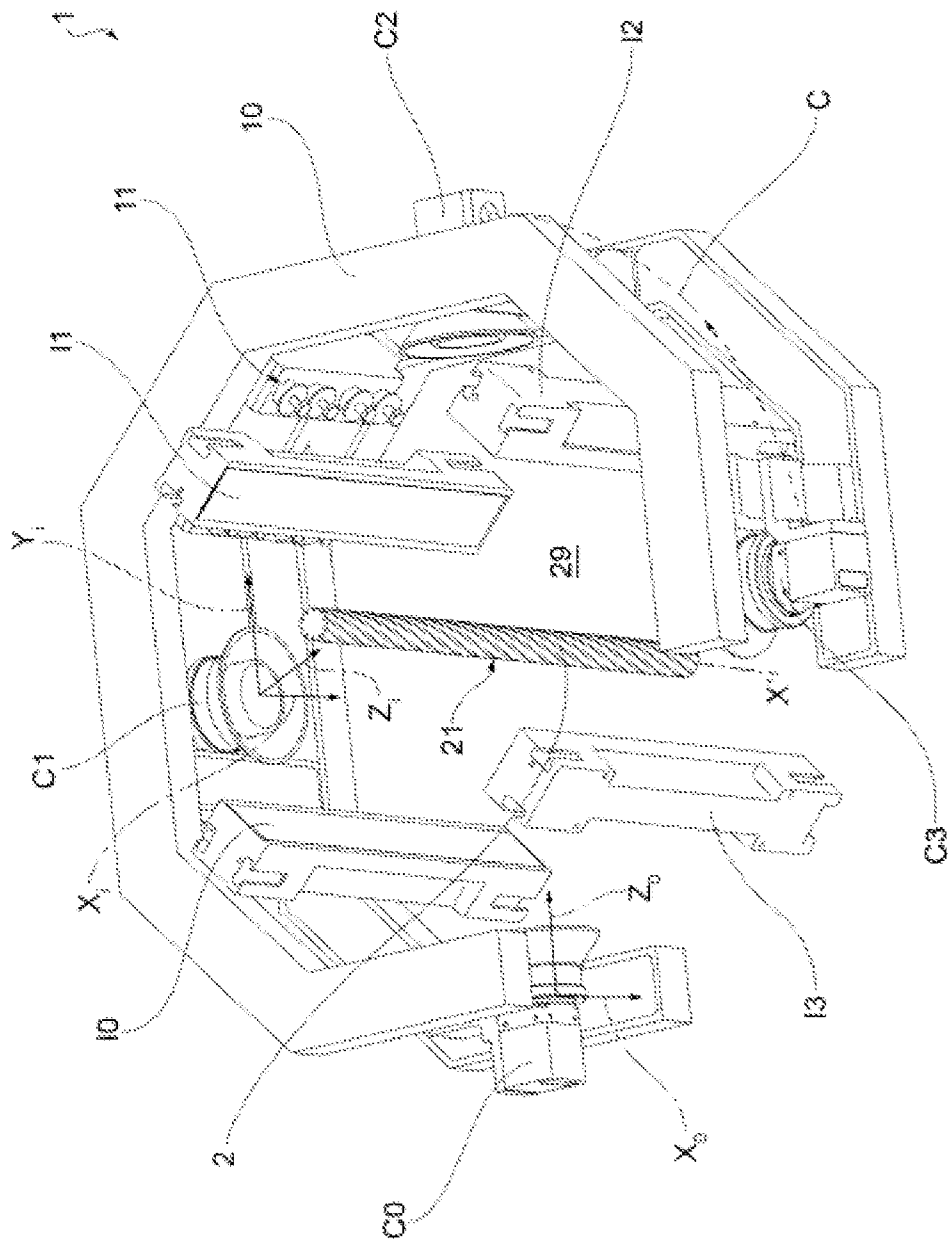
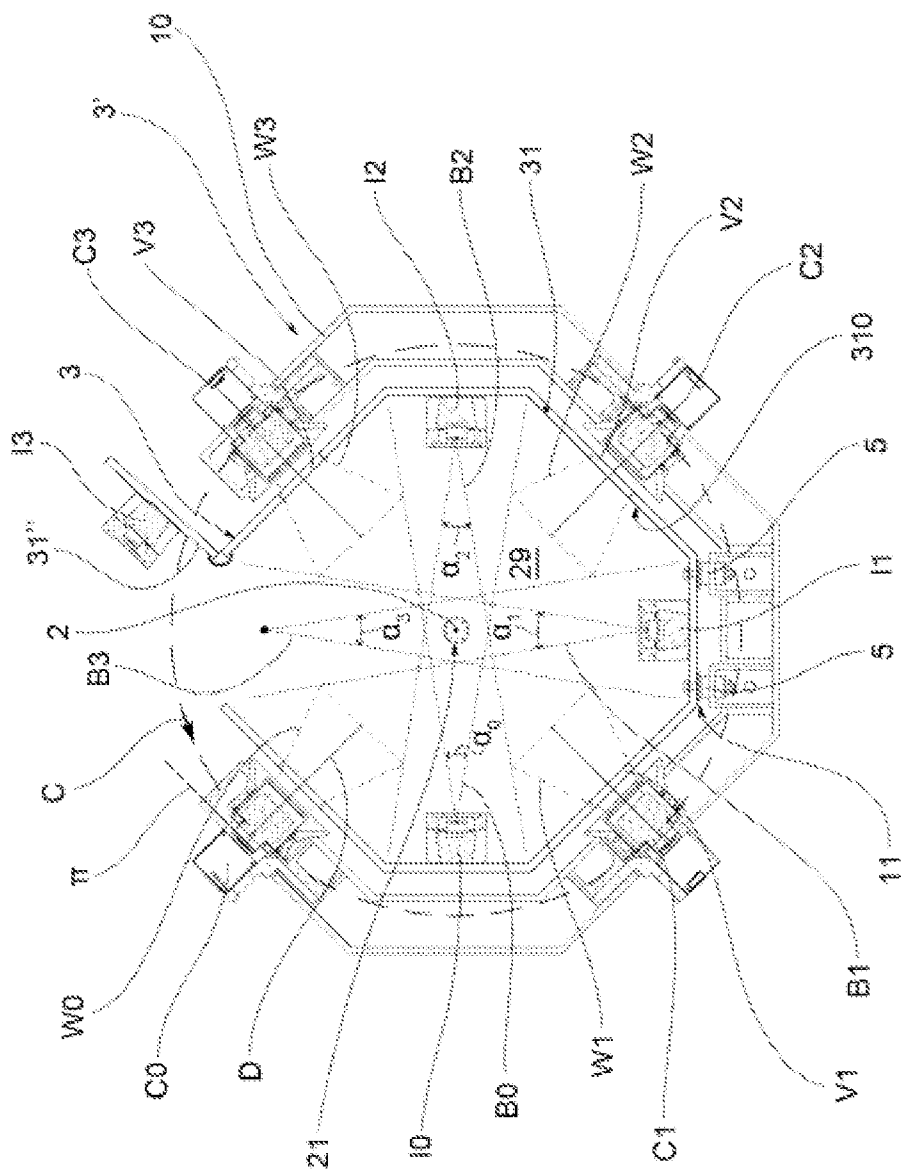
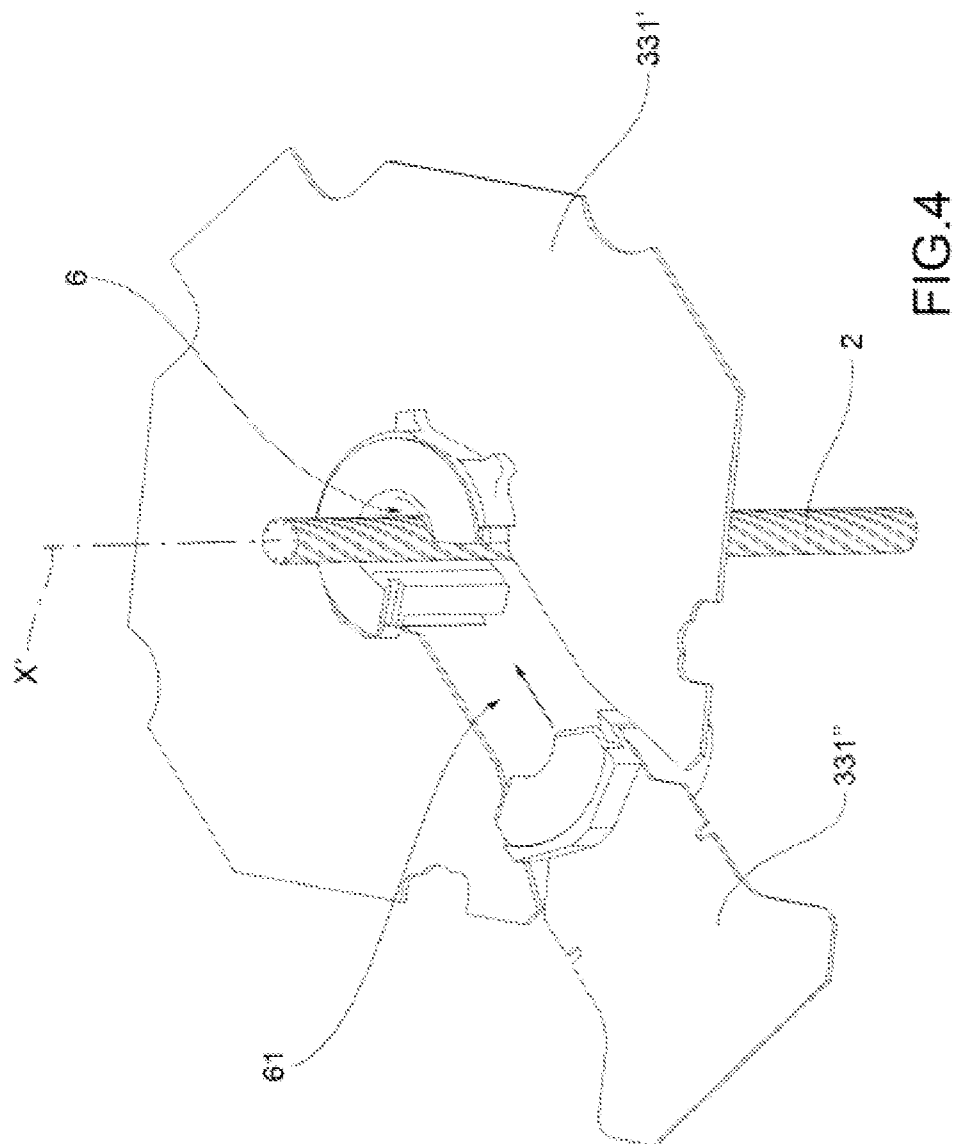


FIG.2



300



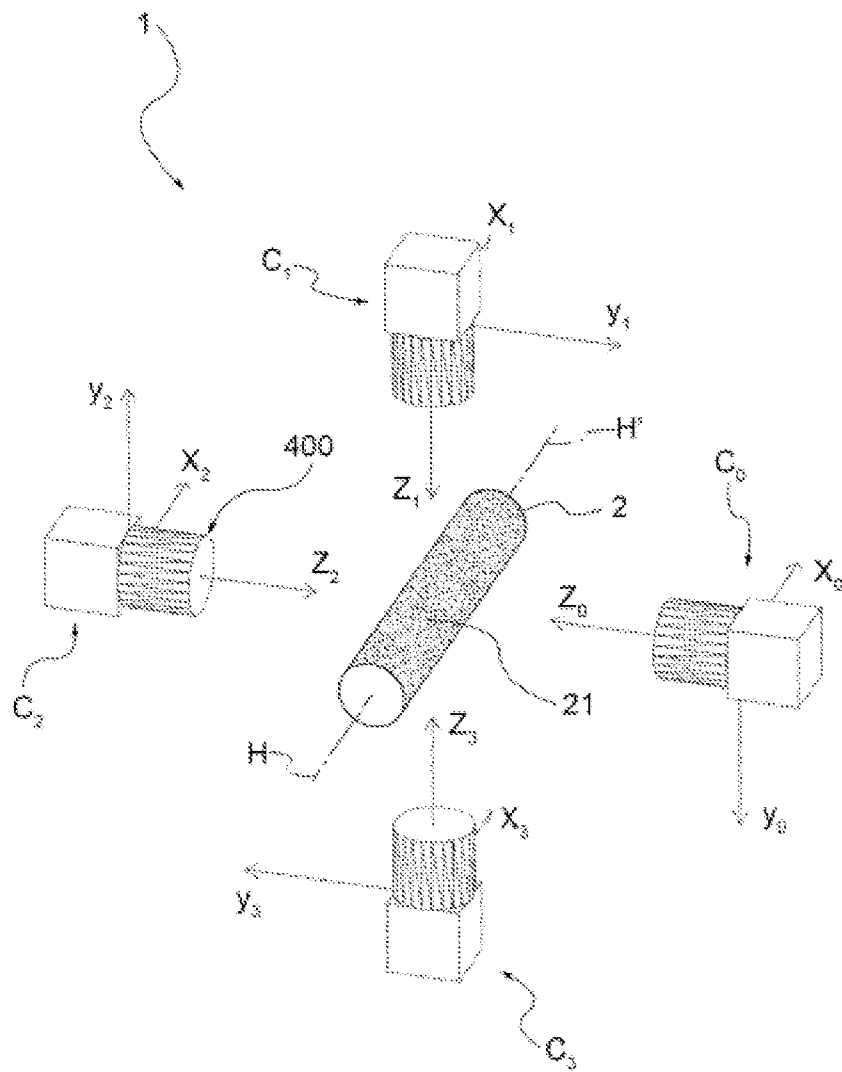


FIG.5

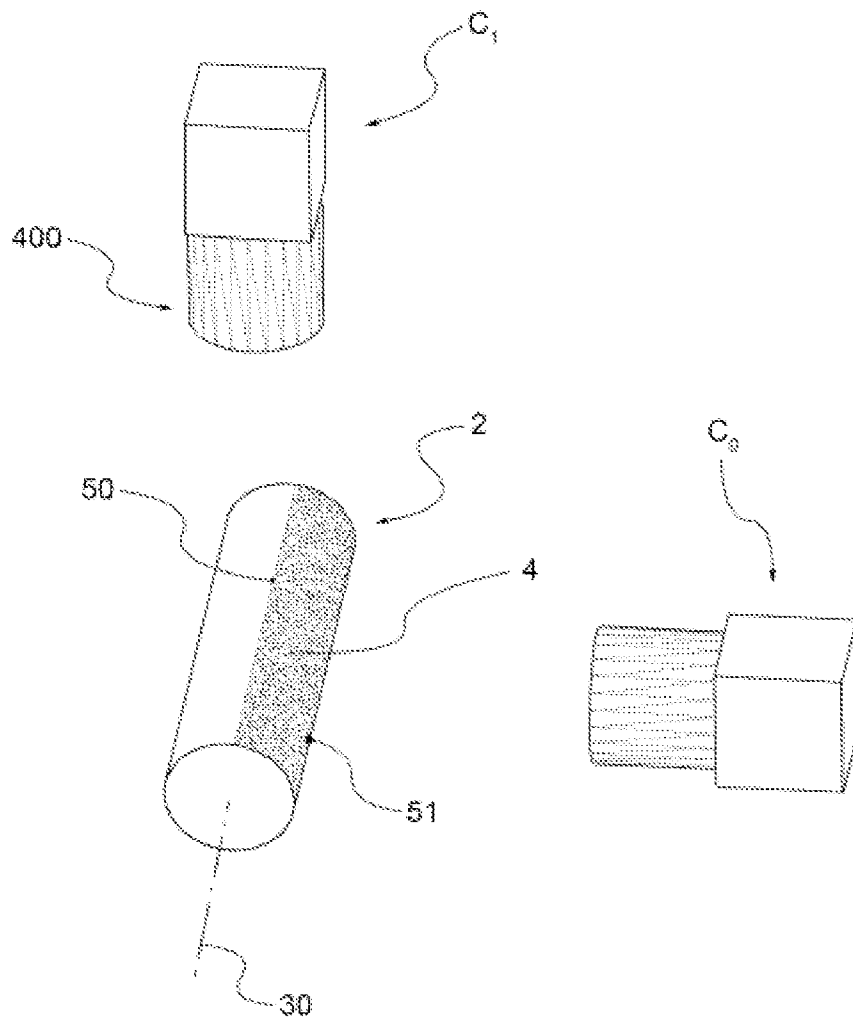


FIG.6

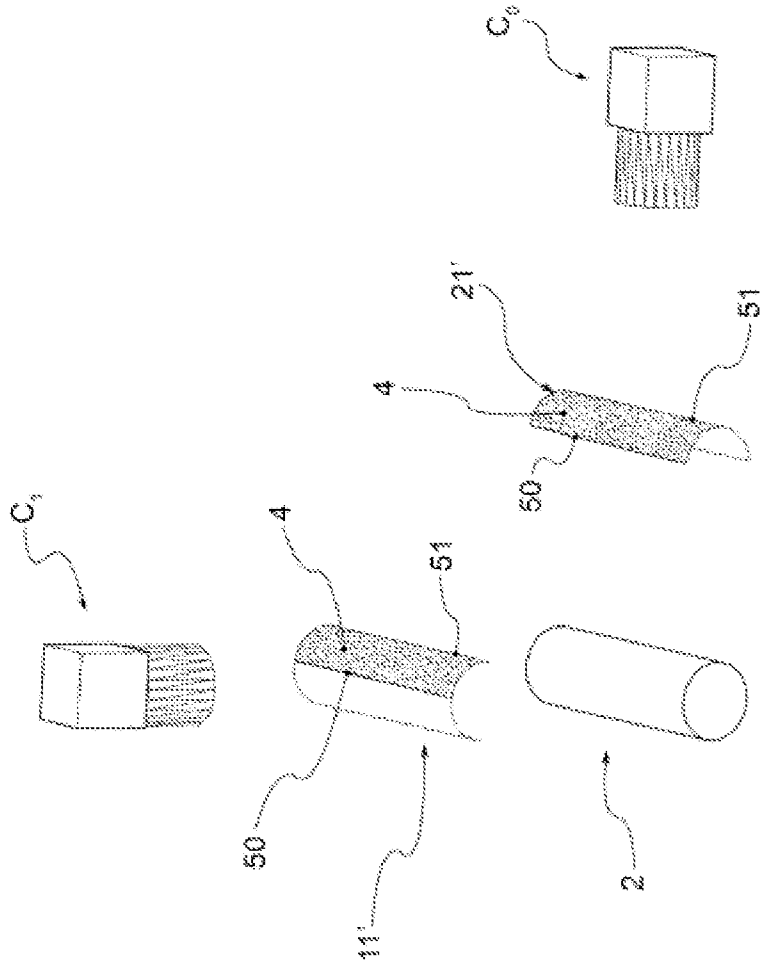


FIG. 2.

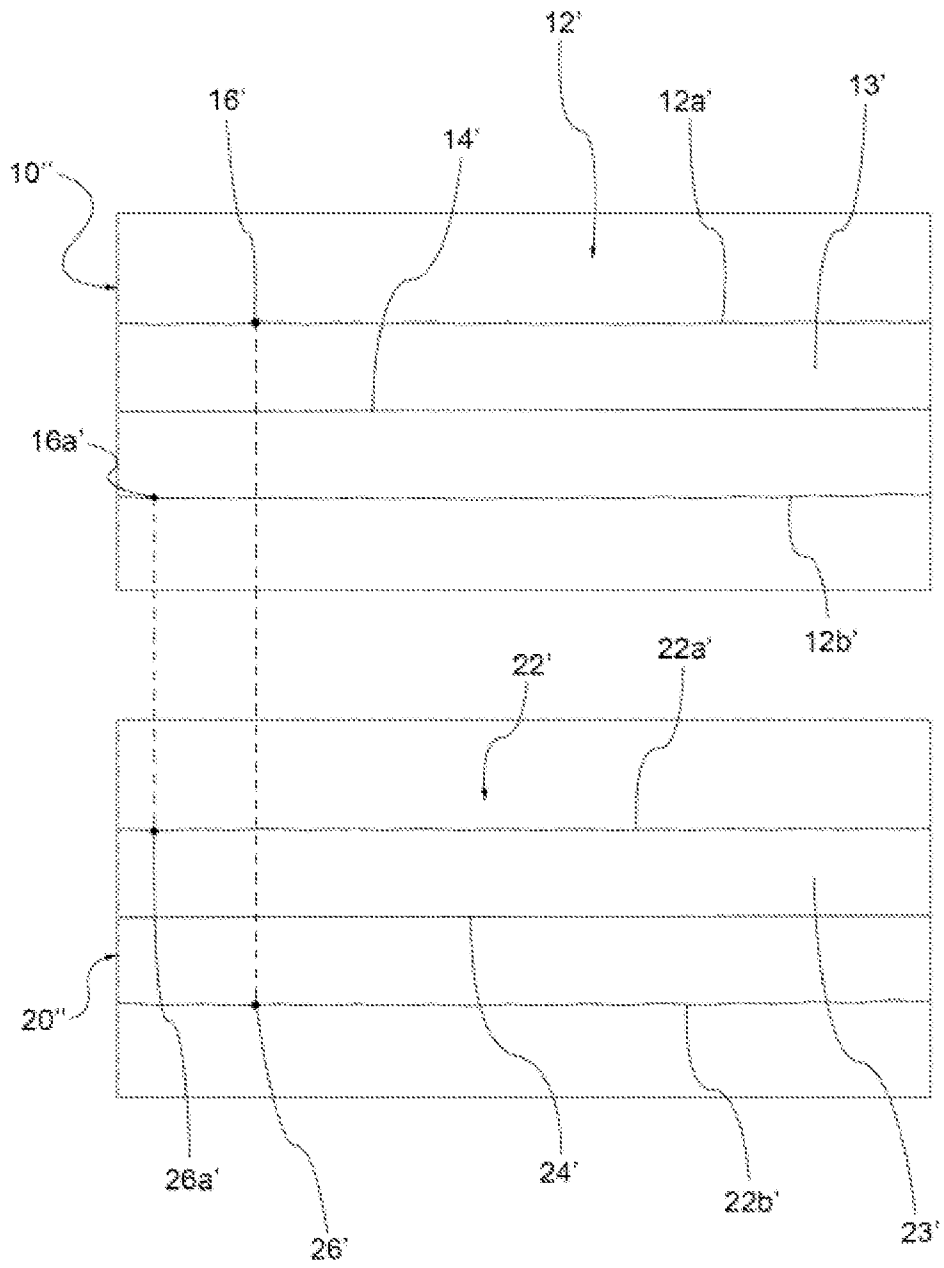


FIG.8

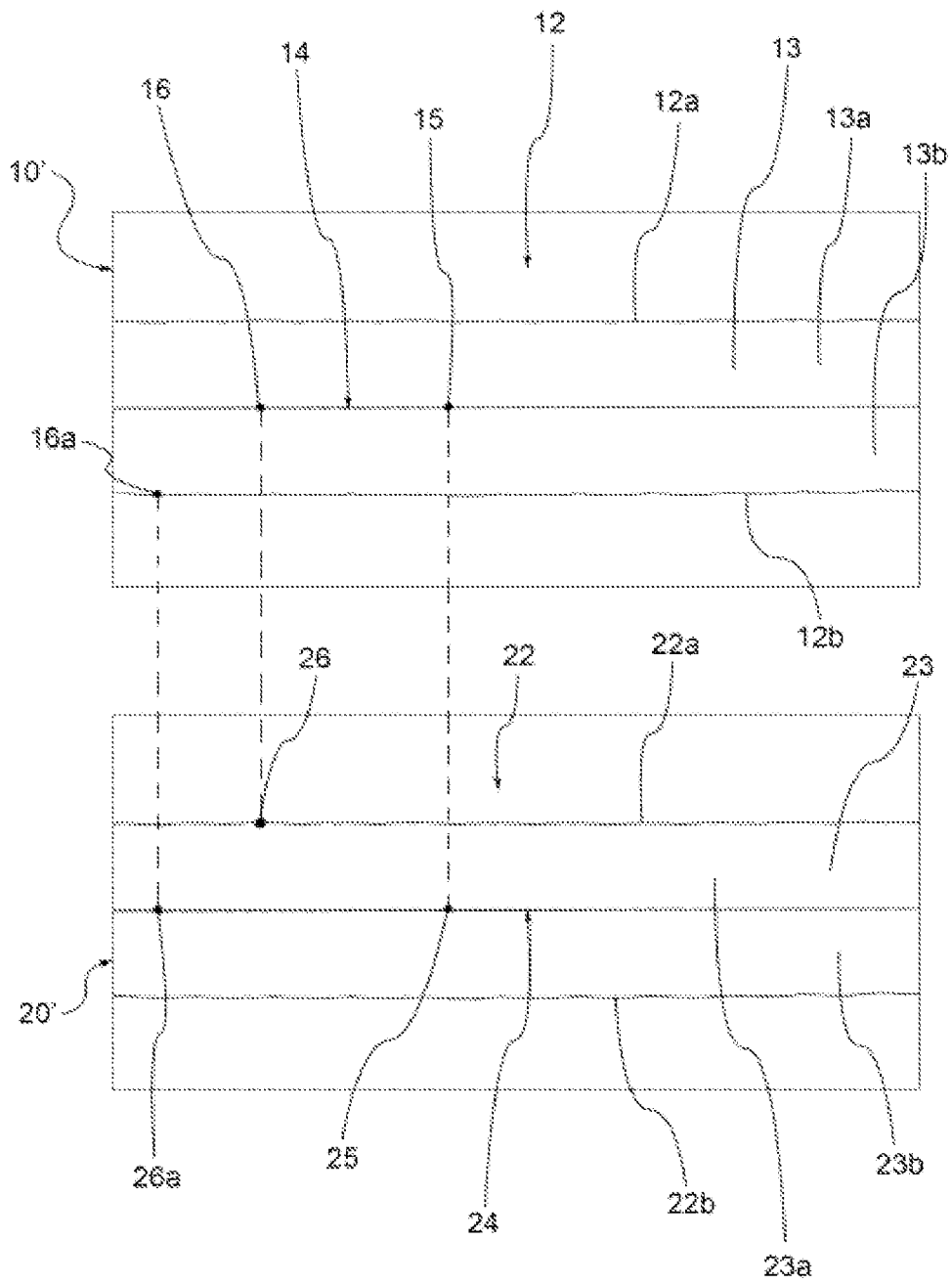
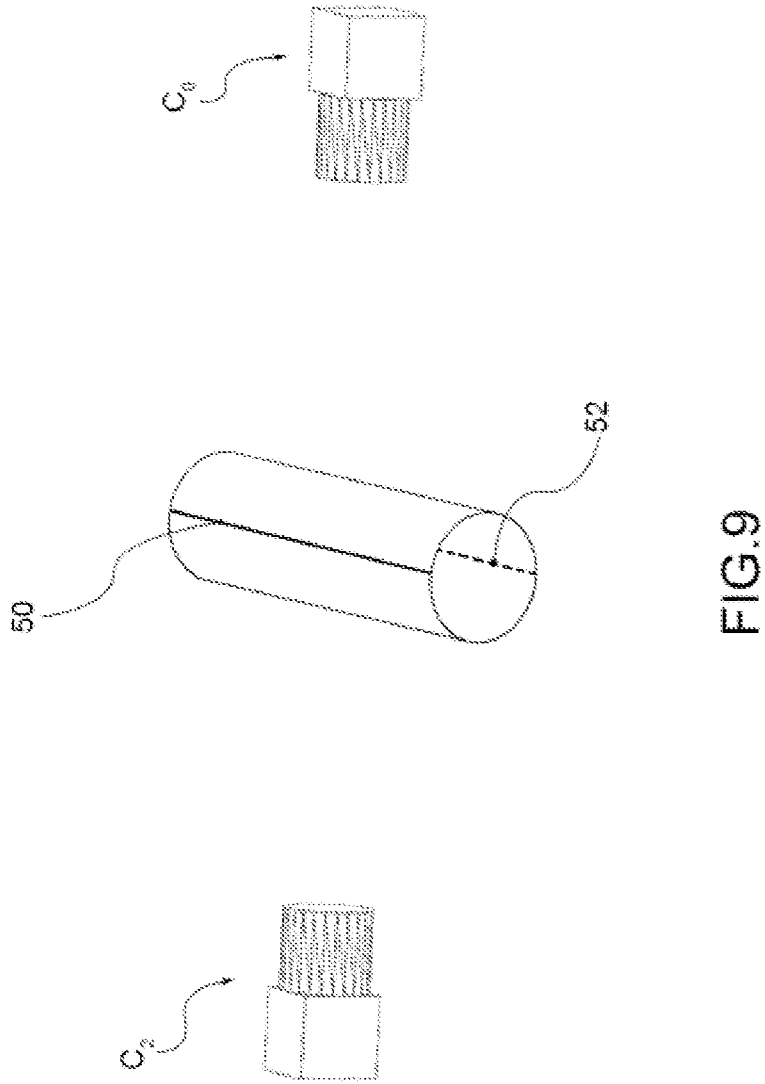


FIG.8a



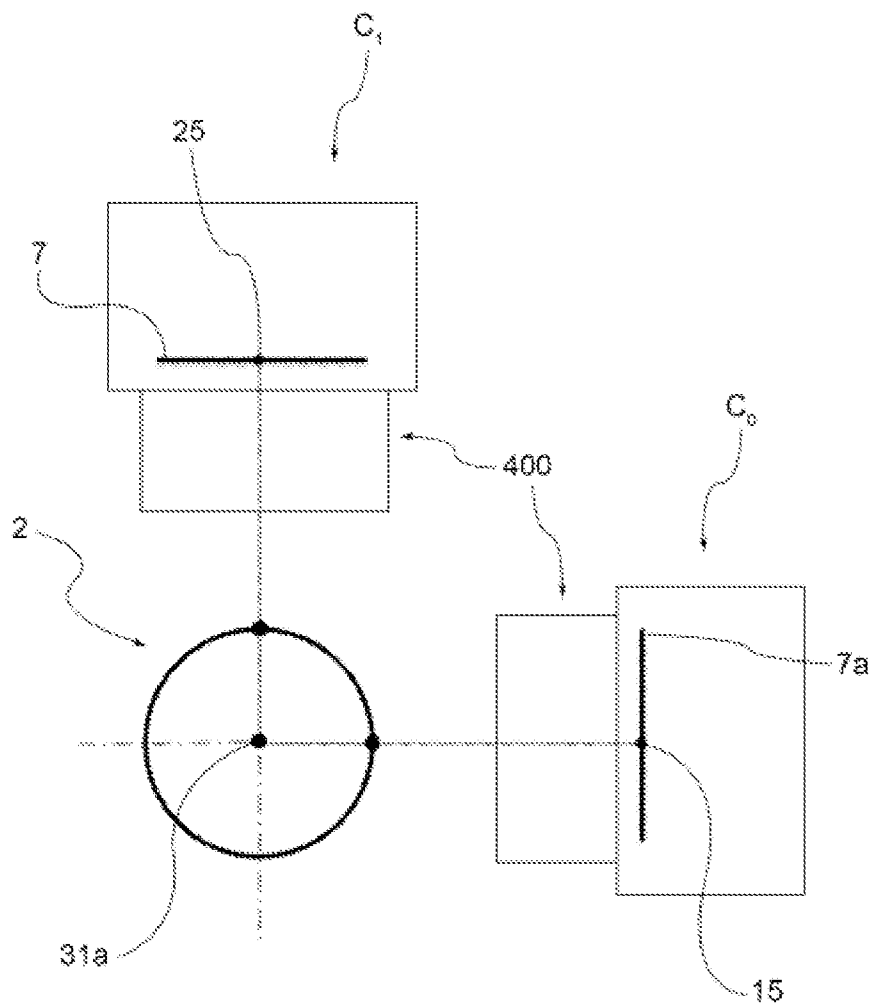


FIG.10

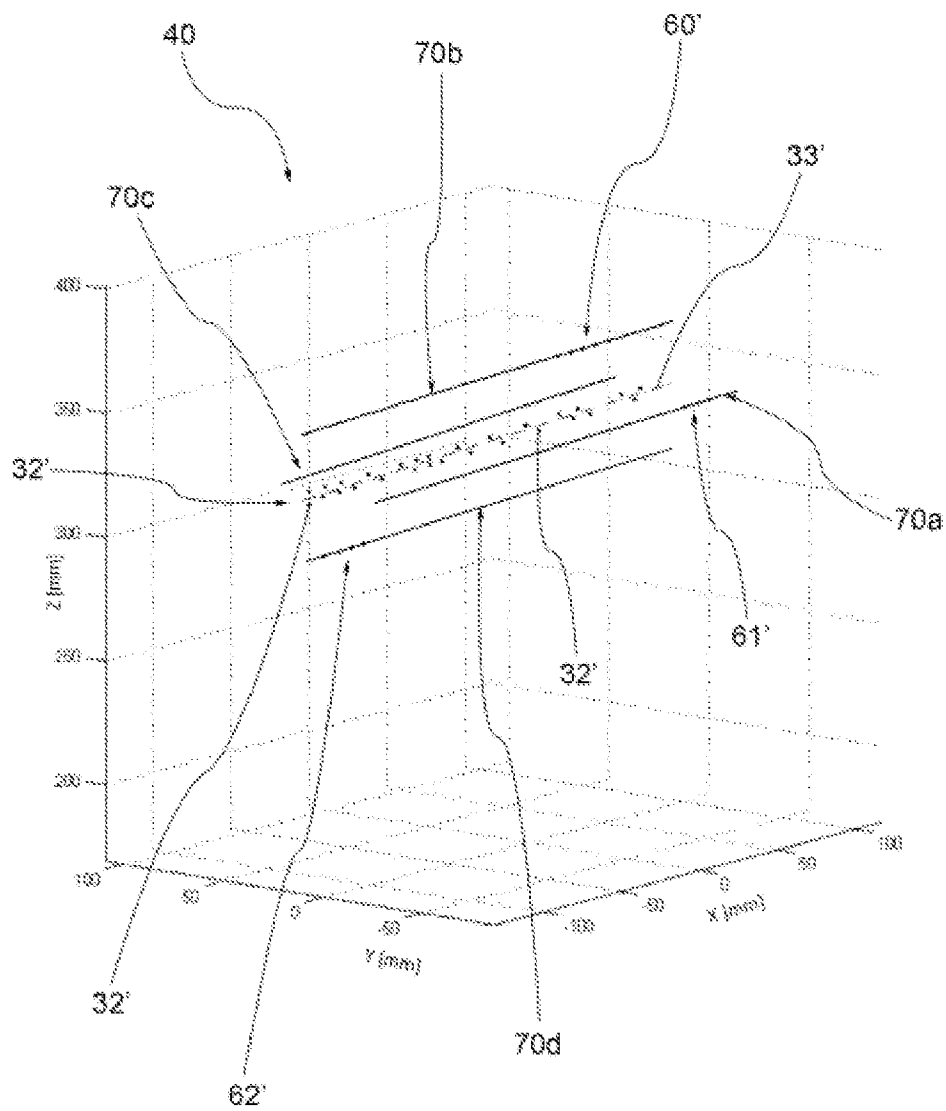


FIG. 11

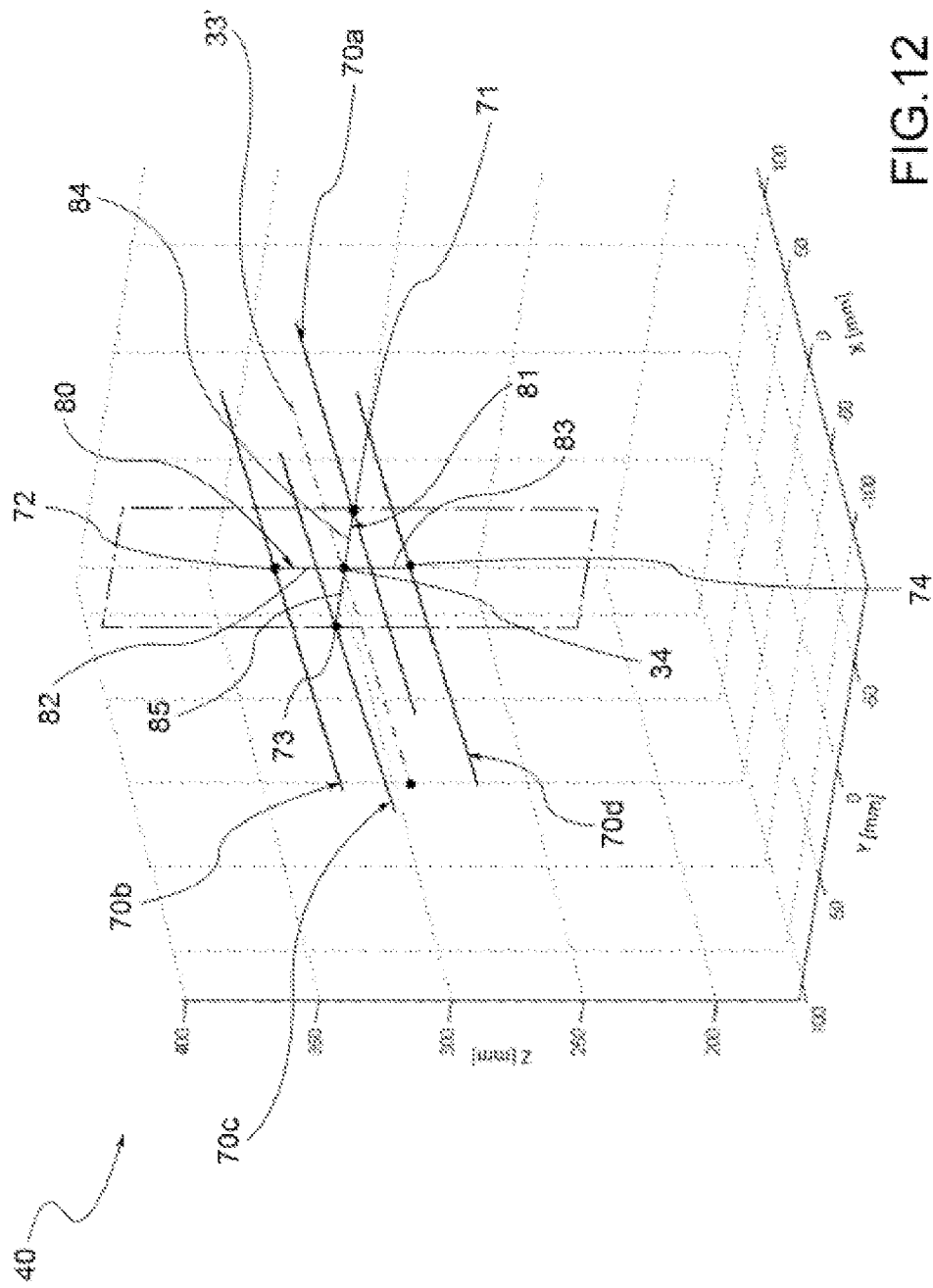


FIG.12

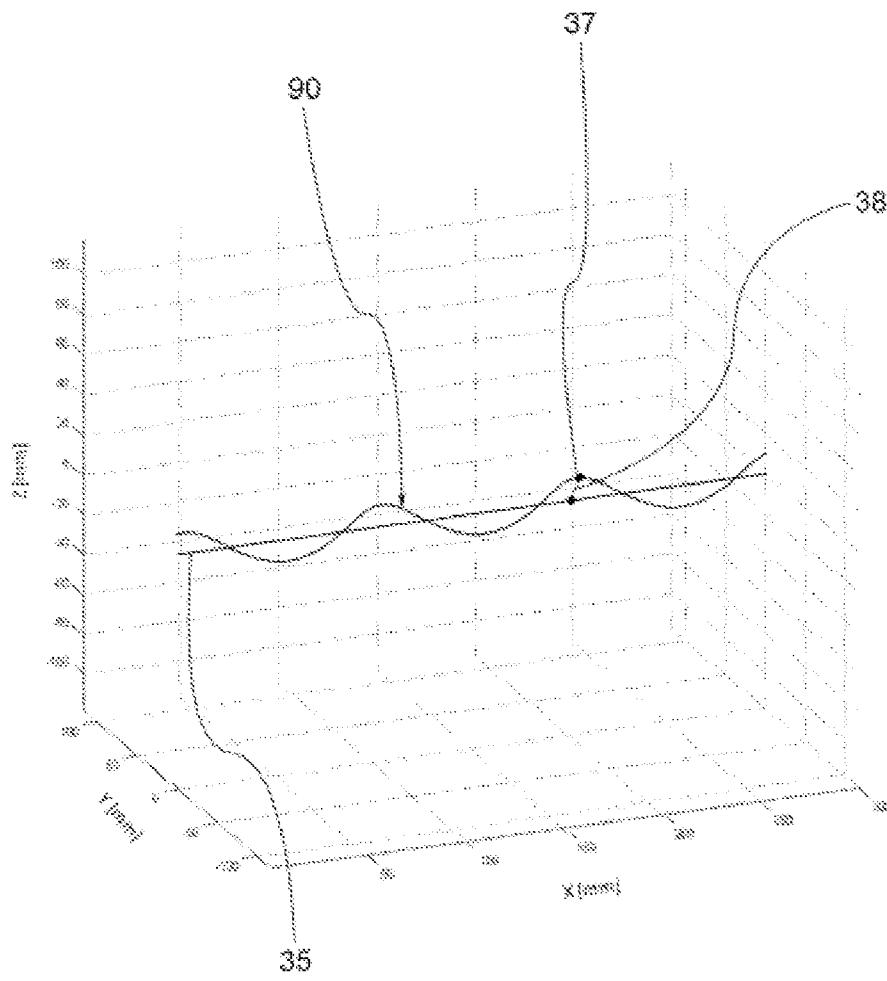


FIG.13

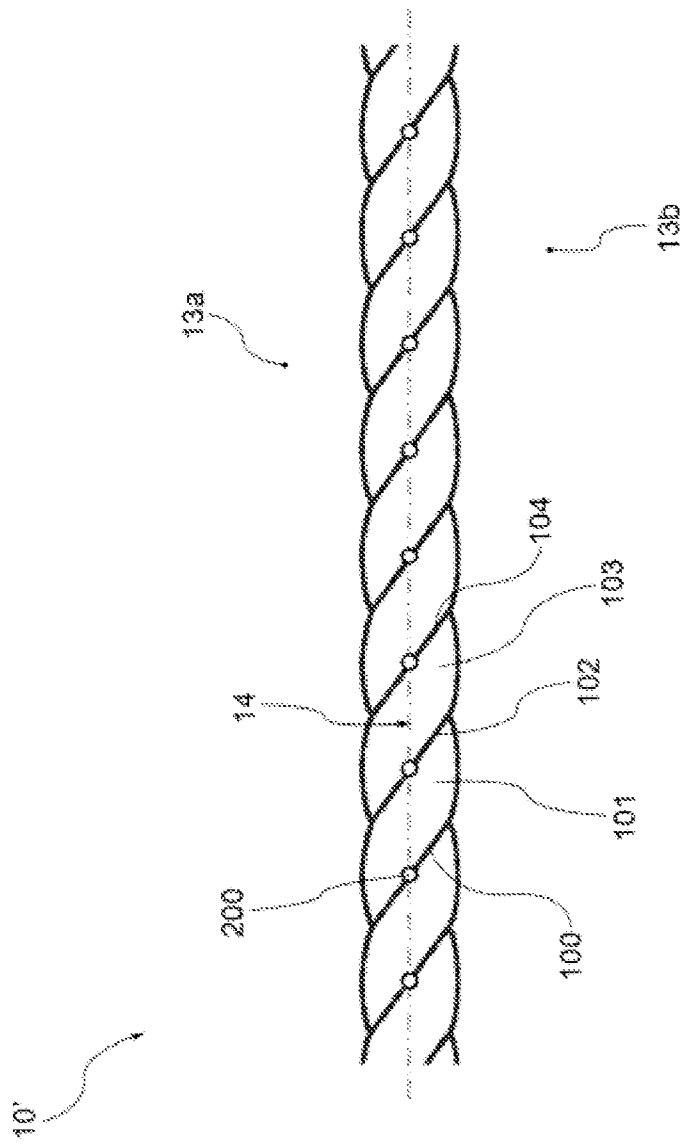


FIG.14

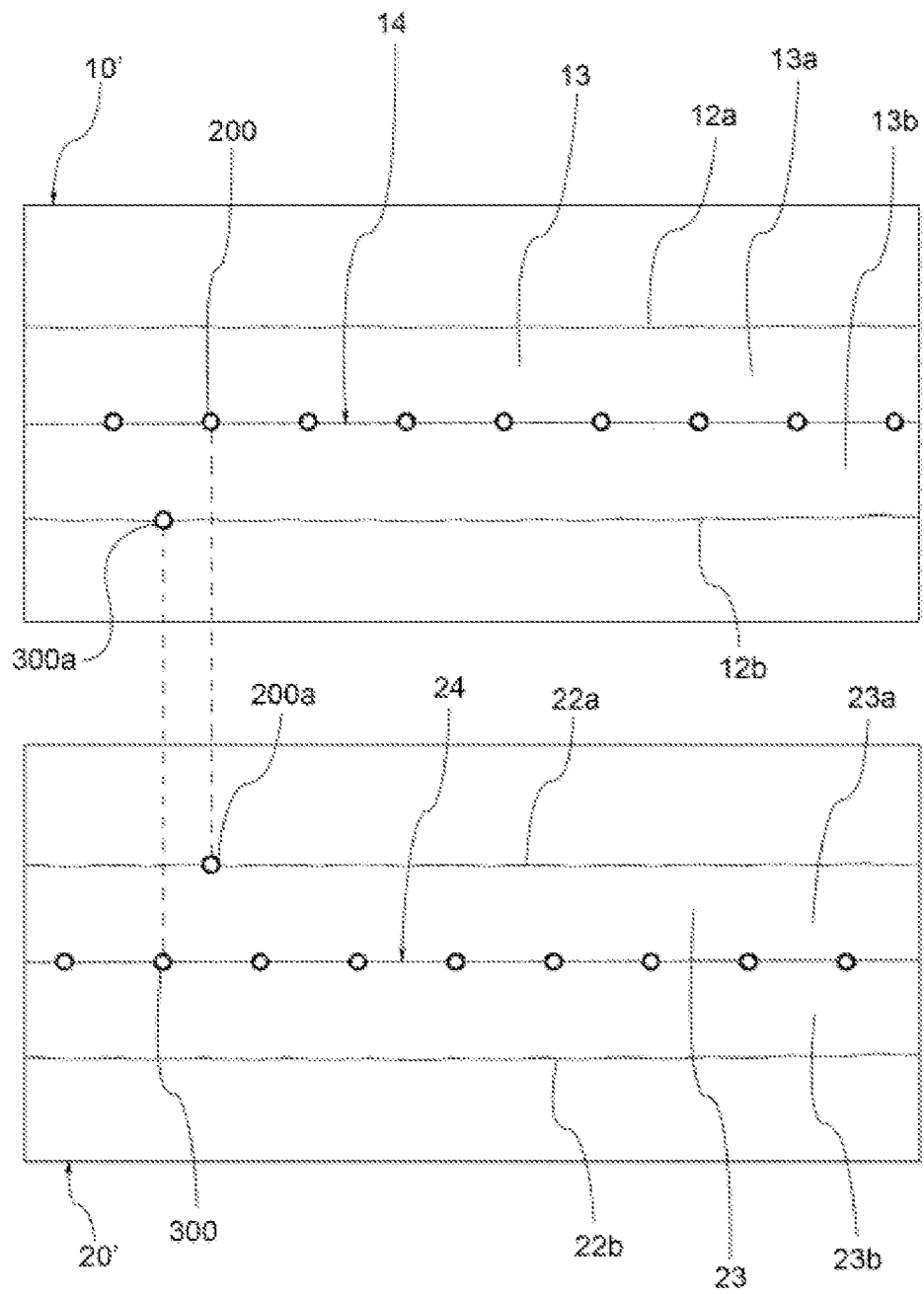


FIG.15

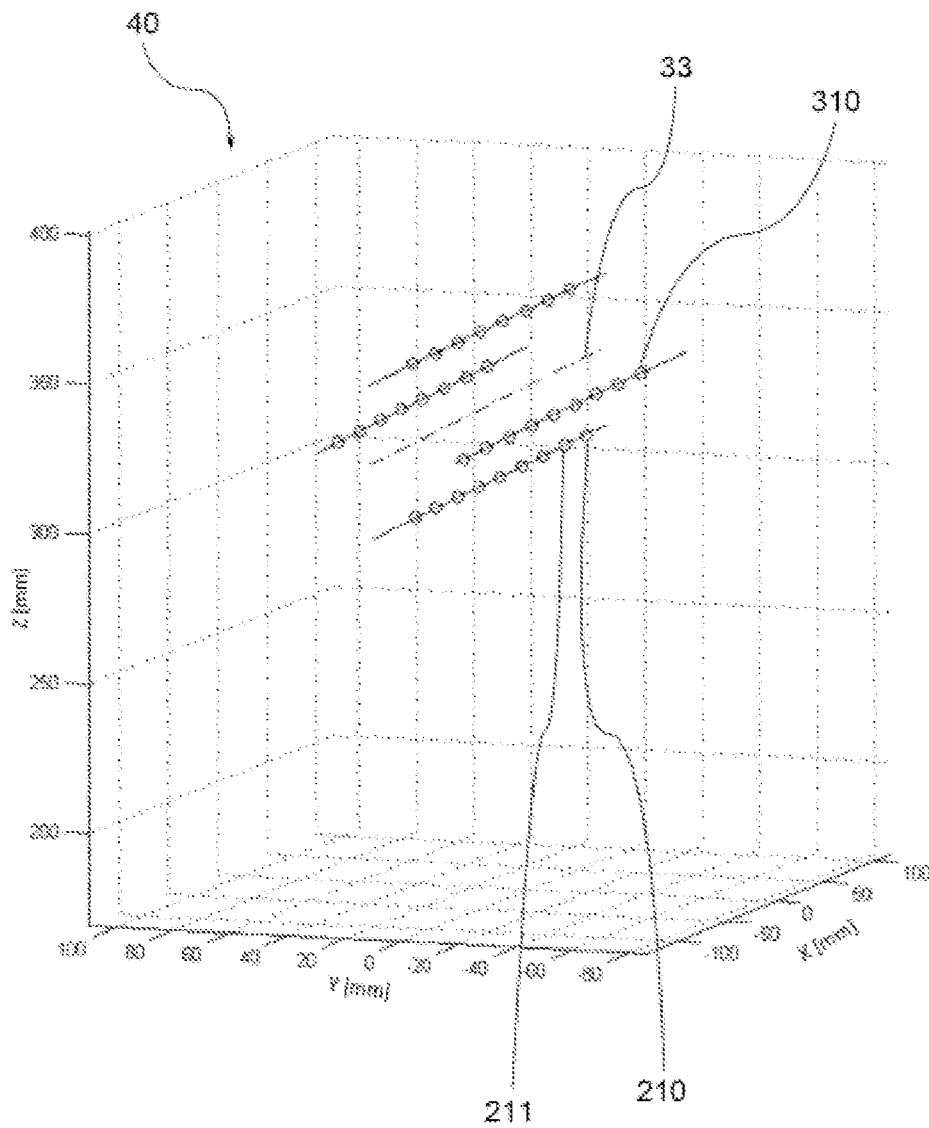


FIG.16