

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 809**

51 Int. Cl.:

G01N 21/954 (2006.01)

G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2020** **PCT/EP2020/000009**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2020** **WO20148085**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2020** **E 20702736 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2023** **EP 3911944**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la inspección con boroscopio**

30 Prioridad:

14.01.2019 DE 102019100822

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

11.05.2023

73 Titular/es:

LUFTHANSA TECHNIK AG (100.0%)

Weg beim Jäger 193

22335 Hamburg, DE

72 Inventor/es:

PETERS, JAN OKE;

THIES, MICHAEL;

RASCHE, SVEN;

DOMASCHKE, TOMAS;

SCHÜPPSTUHL, THORSTEN;

NEDDERMEYER, WERNER y

BAHR, SÖNKE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 940 809 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

Procedimiento y dispositivo para la inspección con boroscopio

La invención se refiere a un procedimiento así como a un dispositivo para la inspección con boroscopio de piezas constructivas, en particular de álabes de turbina y/o de compresor en una turbina de gas, tal como por ejemplo un motor de aeronaves.

En el estado de la técnica se conocen diversos procedimientos para la inspección óptica de turbinas de gas, en particular de motores de aeronaves tales como motores a reacción, en los que se inserta un boroscopio a través de una abertura lateral en una turbina de gas completamente ensamblada para luego poder inspeccionar ópticamente el interior de la turbina de gas.

Debido a las cargas que se producen durante el funcionamiento, se utiliza un boroscopio correspondiente en particular para la inspección de álabes de turbinas y compresores de motores de aeronaves. Para ello, se inserta un boroscopio lateralmente en el motor de la aeronave y se coloca dentro del conducto de gas de modo que un álabe de una etapa de turbina o compresor así como la zona de conexión de álabe del álabe del motor - en el caso de álabes de motor más grandes un intervalo de altura predefinido de la superficie del álabe - se encuentra completamente en la zona de imagen del boroscopio. A continuación, se hace rotar la etapa de turbina o de compresor, con lo que pueden capturarse por el boroscopio dinámicamente todos los álabes de motor en esa etapa correspondiente.

Los registros de imágenes y vídeo generados a este respecto se analizan manualmente para documentar el estado estructural de los álabes de motor. Por el documento US 2007/0132840 A1 también se conoce un procedimiento para documentar automáticamente los daños de álabes de motor de una etapa de turbina por medio registros de imágenes estereoscópicas creadas endoscópicamente.

En el caso de daños significativos puede realizarse una captación en 3D estática manual de un álabe de motor individual para poder analizar los daños con más exactitud. El documento US 2015/0346115 A1 divulga un boroscopio básicamente adecuado para una captación en 3D de este tipo, que sin embargo debe guiarse con precisión a lo largo de un eje recto para un registro suficientemente exacto. El documento US 2015/0146964 A1 propone colorear el modelo 3D resultante de una captación en 3D. Sin embargo, la captación en 3D con este dispositivo o dispositivos similares conocidos es muy costosa y requiere mucho tiempo, de modo que solo se realiza en casos excepcionales.

El documento EP 3 264 341 A1 propone usar la captación en 3D de un álabe de motor para identificar posibles daños mediante comparación con un modelo CAD del álabe de motor en su forma original. Sin embargo, para la captación en 3D allí, el álabe de motor debe retirarse del motor de manera costosa.

La invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento para la inspección con boroscopio de una pieza constructiva así como un dispositivo configurado para ello, que presenten una captación en 3D mejorada de superficies en el interior de una pieza constructiva, en particular de un motor de aeronaves, y una determinación automatizada de daños.

Este objetivo se soluciona mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación principal así como un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9. Los perfeccionamientos ventajosos son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

En consecuencia, la invención se refiere a un procedimiento para la inspección con boroscopio de una pieza constructiva, en el que se utiliza un boroscopio estereoscópico para registrar la pieza constructiva, caracterizado por las etapas:

- generar dos imágenes parciales estereoscópicas mediante el boroscopio estereoscópico;
- calcular datos de triangulación 3D a partir de imágenes parciales estereoscópicas;
- registrar los datos de triangulación 3D en un modelo de referencia CAD 3D de la pieza constructiva captada por el boroscopio estereoscópico, con determinación de un punto de proyección;
- proyectar datos de imagen 2D determinados a partir de las imágenes parciales estereoscópicas sobre el modelo de referencia desde el punto de proyección determinado; y
- determinar daños mediante análisis de imagen de los datos de imagen 2D proyectados y mediante comprobación de desviaciones de los datos de triangulación 3D registrados con respecto al modelo de referencia.

Además, la invención se refiere a un dispositivo para la inspección con boroscopio de una pieza constructiva que comprende un boroscopio estereoscópico y una unidad informática conectada con éste con acceso a una memoria que comprende un modelo de referencia CAD 3D de la pieza constructiva que va a inspeccionarse, en donde el dispositivo está configurado para realizar el procedimiento de acuerdo con la invención.

En primer lugar, se explican algunos términos utilizados en relación con la invención.

En el caso de un "boroscopio estereoscópico" se trata de un boroscopio que está configurado para el registro estereoscópico. Para ello, el boroscopio estereoscópico presenta dos unidades de captación de imágenes distanciadas una de otra, cuyos conos de registro se superponen en un plano de registro, de modo que resulta una zona de registro común en el plano de registro que se capta por ambos conos de registro. El resultado de las dos unidades de captación de imágenes es en primer lugar "datos de imagen 2D", es decir, una disposición de píxeles en forma de cuadrícula que presenta información de color o información de brillo (escalas de grises). Debido a la distancia entre las dos unidades de captación de imágenes y el ángulo de visión divergente que resulta de esto en la zona de registro, la distancia desde las unidades de captación de imágenes puede determinarse como "datos de triangulación 3D" para prácticamente cualquier punto en la zona de registro con ayuda de triangulación. Los procedimientos adecuados para esto se conocen bajo el término visión estereoscópica. Puede generarse un modelo 3D de la zona del objeto o de la imagen registrada por el boroscopio a partir de la información de la imagen junto con los datos de triangulación 3D.

El boroscopio estereoscópico puede basarse en el principio de "videoscopio", en el que las imágenes registradas por un sistema óptico en el extremo libre del boroscopio no se enrutan a través de una línea óptica a un ocular o una cámara en el otro extremo del boroscopio, sino que con la ayuda de elementos semiconductores adecuados como unidades de captación de imágenes se convierten directamente en el extremo libre en información de imagen electrónica, que luego se transmite a través de una conexión de datos, por ejemplo, a una pantalla o a una unidad informática para su procesamiento posterior. Los elementos semiconductores correspondientes, tales como detectores ópticos CCD o CMOS, se conocen en el estado de la técnica. Pueden estar previstos aún otros circuitos integrados directamente en la zona de los elementos semiconductores ópticos, que pueden realizar un procesamiento previo de la información de imagen electrónica captada por los elementos semiconductores para reducir la cantidad de datos que van a transmitirse a través de la conexión de datos, por ejemplo mediante reducción de datos. Una reducción de datos puede conseguirse comprimiendo la información de imagen electrónica que procede de los elementos semiconductores. Adicionalmente o como alternativa también es posible que el circuito integrado, por ejemplo, una "matriz de puertas programables en campo" (FPGA), elimine de la información de imagen electrónica aquellos datos que no representan la zona de registro común final, captada por ambos elementos semiconductores. Los cálculos descritos a continuación, tal como por ejemplo la determinación de datos de triangulación 3D o la generación de datos de imagen 2D, también pueden realizarse al menos parcialmente por un circuito integrado correspondiente. Otras etapas parciales, tal como por ejemplo el registro de los datos de triangulación 3D en un modelo CAD 3D, se realizan preferentemente mediante una unidad informática externa, tal como por ejemplo una computadora, que recibe los datos necesarios para esto del boroscopio estereoscópico a través de la conexión de datos.

En una primera etapa, mediante el boroscopio estereoscópico se generan dos imágenes parciales estereoscópicas, captando las unidades de captación de imágenes simultáneamente una imagen de la zona de registro común o bien de la pieza constructiva que va a registrarse o una parte de la misma. La captación simultánea es ventajosa para poder descartar directamente modificaciones temporales eventuales entre dos registros secuenciales, por ejemplo porque se mueve la pieza constructiva que va a registrarse. Si en el caso de las unidades de captación de imágenes se trata de elementos semiconductores, es preferible cuanto éstas están equipadas con un obturador global para minimizar el riesgo de artefactos de movimiento.

Siempre que sea necesario, las imágenes parciales estereoscópicas captadas por las dos unidades de captación de imágenes pueden rectificarse por medio de una calibración predefinida para compensar las posibles distorsiones y/o realizar un balance de color. Una rectificación correspondiente puede simplificar los cálculos posteriores y/o aumentar la precisión de los resultados del cálculo.

Entonces se generan datos de triangulación 3D a partir de las dos imágenes parciales estereoscópicas, dado el caso rectificadas. Los procedimientos y cálculos de visión estereoscópica requeridos para esto se conocen ampliamente en el estado de la técnica y no requieren explicaciones adicionales en este punto. Como resultado, después del cálculo, la información sobre un gran número de puntos en la zona de registro se encuentra en su distancia con respecto a las unidades de captación de imágenes.

A continuación, los datos de triangulación 3D se registran en un modelo de referencia CAD 3D de la pieza constructiva captada por el boroscopio estereoscópico. Para ello, en un procedimiento automatizado basado en los datos de triangulación 3D, se determina un punto de proyección en relación con el modelo de referencia CAD 3D, a partir del cual los datos de triangulación 3D coinciden de la mejor manera con el modelo de referencia CAD 3D. Dado que el punto de proyección se obtiene directamente a partir de los datos de triangulación 3D, cualquier imprecisión en la determinación de la posición del punto de proyección puede descartarse a través de una posición del boroscopio estereoscópico o sus unidades de captación de imágenes determinada de alguna otra manera. Sin embargo, normalmente es ventajoso cuando la determinación automatizada del punto de proyección se realice comenzando con una posición del boroscopio estereoscópico que pueda determinarse, por ejemplo, a través de un dispositivo de guía de boroscopio. Incluso si esta posición que puede determinarse puede no ser exactamente la misma que el punto de proyección final debido a imprecisiones de medición o similares, por lo general se encuentra sin embargo cerca del punto de proyección buscado. Como resultado, el punto de proyección deseado a menudo puede determinarse más rápidamente a partir de la posición del boroscopio estereoscópico que puede determinarse, que con un punto de partida arbitrario para determinar el punto de proyección. Especificar la posición del boroscopio estereoscópico que puede determinarse como punto de partida también puede contribuir a la determinación inequívoca del punto de proyección en el caso de que sean posibles

básicamente varios puntos de proyección. La posición que puede determinarse comprende por regla general también la orientación de las unidades de captación de imágenes del boroscopio estereoscópico.

La determinación del punto de proyección puede realizarse, por ejemplo, minimizándose las desviaciones entre los datos de triangulación 3D y el modelo de referencia CAD 3D, en el que el punto de proyección se modifica gradualmente hasta que se ajusta un mínimo deseado de las desviaciones de los puntos individuales de los datos de triangulación 3D por el modelo de referencia CAD 3D y/o sea mínima la desviación estándar de estas desviaciones.

Si se ha determinado el punto de proyección, es posible que se adapte a continuación el modelo de referencia CAD 3D de manera correspondiente a los datos de triangulación 3D. En otras palabras, deben adoptarse desviaciones que resultan entre los datos de triangulación 3D y el modelo de referencia CAD 3D, por ejemplo ya que a partir de los datos de triangulación 3D resulta una deformación de la pieza constructiva registrada, en el modelo de referencia CAD 3D, para que ofrezca este entonces una imagen de la pieza constructiva lo más exacta posible.

Independientemente de si el modelo de referencia CAD 3D se adapta o no de manera correspondiente con los datos de triangulación 3D, los datos de imagen 2D se proyectan a continuación sobre el modelo de referencia partiendo del punto de proyección, para texturizar el modelo de referencia CAD 3D de esta manera. Para ello puede utilizarse una de las imágenes parciales estereoscópicas. Sin embargo, se prefiere cuando los datos de imagen 2D se generan superponiendo las dos imágenes parciales estereoscópicas entre sí para reducir así cualquier efecto de sombreado o similar. Realizándose la proyección de los datos de imagen 2D desde el punto de proyección previamente determinado, se consigue una buena coincidencia de la proyección de los datos de imagen 2D sobre el modelo 3D con las condiciones reales de la pieza constructiva.

Debido a la precisión conseguida de acuerdo con la invención para las desviaciones de los datos de triangulación 3D con respecto al modelo de referencia CAD 3D así como para la proyección de los datos de imagen 2D sobre el modelo de referencia, finalmente es posible una determinación automática de daños en la pieza constructiva registrada. A este respecto, los datos de imagen 2D proyectados sobre el modelo de referencia CAD 3D pueden someterse a un análisis de imagen, con el que pueden determinarse daños menores, por ejemplo, debido a modificaciones de los datos de imagen en comparación con un estado de la pieza constructiva previamente documentado con el procedimiento de acuerdo con la invención o mediante comprobación de sombras proyectadas, por ejemplo, en casos de grietas. Las desviaciones de los datos de triangulación 3D registrados del modelo de referencia CAD 3D original o un estado de la pieza constructiva previamente documentado con el procedimiento de acuerdo con la invención también pueden indicar daños en la pieza constructiva. Dado que estos exámenes se realizan por medio del modelo de referencia CAD 3D texturizado por los datos de imagen 2D, es posible una localización exacta de daños eventuales.

En muchos casos, una pieza constructiva no puede captarse mediante un registro individual con el boroscopio estereoscópico. Por lo tanto, se prefiere cuando está previsto un dispositivo de guía de boroscopio con el que el boroscopio estereoscópico y en particular sus unidades de captación de imágenes puedan moverse de manera controlada. Además se prefiere cuando este dispositivo de guía de boroscopio se controla de tal manera que todas las zonas predefinidas de la pieza constructiva se capten secuencialmente por el boroscopio estereoscópico, en donde los datos de triangulación 3D y/o datos de imagen 2D generados en cada caso a través del par de imágenes parciales estereoscópicas se combinan con ayuda del modelo de referencia. Tal como se ha descrito, los puntos de proyección para registrar los datos de triangulación 3D y/o la proyección de los datos de imagen 2D pueden determinarse con precisión a través del modelo de referencia, de modo que si los datos de triangulación 3D y/o los datos de imagen 2D de dos registros se superponen parcialmente, pueden usarse procedimientos conocidos, tal como por ejemplo procedimientos de unión, para combinar los datos de diferentes registros con alta precisión con un único modelo de referencia CAD 3D texturizado.

El procedimiento de acuerdo con la invención es particularmente adecuado para la inspección con boroscopio de álabes de una turbina de gas, en particular de un motor de aeronaves. Como es sabido, los álabes correspondientes están combinados para formar etapas de compresor o de turbina en forma de anillo.

Debido a la uniformidad habitual de los álabes de una etapa de turbina o de compresor, normalmente no es posible determinar solo mediante el registro del boroscopio estereoscópico qué álabe(s) de una etapa de turbina o de compresor se encuentra(n) realmente en la zona de registro del boroscopio estereoscópico, por lo que el registro de los datos de triangulación 3D así como la posterior proyección de los datos de imagen 2D sobre el modelo de referencia CAD 3D normalmente no es claramente posible. Para contrarrestar esto, se prefiere si la posición del ángulo de rotación real de lo(s) álabe(s) que va(n) a registrarse en relación con el eje de rotación de la etapa respectiva se tiene en cuenta al registrar los datos de triangulación 3D en el modelo de referencia. En otras palabras, se realiza la determinación del punto de proyección con referencia a la posición angular real de la etapa de turbina o de compresor registrada en cada caso, de modo que se realiza el registro final de los datos de triangulación 3D así como la proyección de los datos de imagen 2D en lo(s) álabe(s) de motor registrados realmente del modelo de referencia CAD 3D de la etapa de turbina o de compresor.

En la inspección con boroscopio de los álabes de motor de una etapa de turbina o de compresor se prefiere cuando la posición del ángulo de rotación de los álabes de turbina o compresor que van a registrarse se controla de tal manera que todos los álabes de turbina o compresor de una etapa de turbina o de compresor se captan. Esto permite el registro automatizado y el análisis de daños de todos los álabes de una etapa de turbina o de compresor.

Para explicar el dispositivo de acuerdo con la invención, se hace referencia a las realizaciones anteriores.

La invención se describe a modo de ejemplo ahora por medio de una forma de realización ventajosa con referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

- 5 Figura 1: un ejemplo de realización de un dispositivo de acuerdo con la invención para la inspección con boroscopio en caso del uso de un motor de aeronave;
- Figura 2: una representación detallada con respecto al dispositivo de la figura 1;
- Figura 3a-c: representaciones esquemáticas de datos de imagen y de triangulación 3D captados y procesados;
- Figura 4: representación esquemática de un modelo de referencia CAD 3D de los álabes de turbina de la figura 1;
- Figura 5: representación esquemática de un procedimiento de acuerdo con la invención.

10 En la figura 1 está un ejemplo de realización de un dispositivo 1 de acuerdo con la invención durante su uso para la inspección con boroscopio de un motor 80.

15 En el caso del motor 80 representado en la sección se trata de motor de dos ejes en el que el ventilador 81 y el compresor de baja presión 82 están conectados en rotación a la turbina de baja presión 84 a través de un primer eje 83, mientras que el compresor de alta presión 85 está conectado en rotación a la turbina de alta presión 87 a través de un segundo eje 86. La cámara de combustión 88 está dispuesta entre el compresor de alta presión 85 y la turbina de alta presión 87.

 Para inspeccionar los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87, se ha introducido un boroscopio estereoscópico 10 a través de una primera abertura 91 en la pared 90 del motor 80, cuyo extremo libre está representado en detalle en la figura 2.

20 El boroscopio estereoscópico 10 está configurado como boroscopio flexible en el que el eje 11 real es flexible y se empuja a través de un tubo guía 12 curvado por la cámara de combustión 88 del motor 80 y entre los álabes directores 89 de la turbina de alta presión 87. La posición del boroscopio estereoscópico 10 se determina a este respecto decisivamente por el extremo libre 13 del tubo guía 12, que puede controlarse por el dispositivo de guía del boroscopio 14 fijado en el lado exterior de la pared 90 del motor 80. Al mismo tiempo, el dispositivo de guía de boroscopio 14 proporciona información sobre la posición del boroscopio estereoscópico 10 con respecto a los álabes de turbina 87', que puede determinarse basándose en los datos legibles con el dispositivo de guía de boroscopio 14.

25 En el extremo libre del eje 11 del boroscopio estereoscópico 10 están previstas dos unidades de captación de imágenes 15, 16 separadas una de otra, que están dirigidas hacia la misma zona de registro de tal manera que registran imágenes parciales estereoscópicas. En el caso de las unidades de captación de imágenes 15, 16 se trata de detectores CMOS o CCD con obturador global o enrollable.

30 El boroscopio estereoscópico 10 presenta una interfaz 17 a través de la cual pueden transmitirse los datos de imagen de las dos unidades de captación de imágenes 15, 16, pero también la información sobre la posición determinable del boroscopio estereoscópico 10 a una unidad informática 20 supraordinada. El boroscopio estereoscópico 10 también puede recibir órdenes de control de la unidad informática 20 a través de esta interfaz 17 para cambiar la posición del boroscopio estereoscópico 10 con ayuda del dispositivo de guía de boroscopio 14 si es necesario.

35 Además, a la unidad informática 20 está conectado otro boroscopio 18, que se ha introducido por una segunda abertura 92 en la pared 90 del motor 80 y a través de la cual pueden observarse los álabes del compresor de alta presión 85. En el presente caso, el boroscopio 18 sirve para comprobar la posición del ángulo de rotación de los álabes del compresor de alta presión 85, a partir de lo que puede determinarse también la posición del ángulo de rotación de los álabes 87' de la turbina de alta presión 87 debido a la conexión fija del compresor de alta presión 85 así como de la turbina de alta presión 87 con el eje 86. El hecho de que los álabes 87' de la turbina de alta presión 87, debido a la carga predominante de los gases calientes de la cámara de combustión 88, normalmente no presenten una característica de individualización que pudiera captarse por el boroscopio estereoscópico 10, puede comprobarse a través del compresor de alta presión 85, en el que lo correspondiente más bien es posible, así como por el conocimiento exacto de la posición de las dos aberturas 91, 92 en la pared y la posición que puede determinarse a través del dispositivo de guía de boroscopio 14 no obstante cuál de los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87 se encuentra en la zona de registro del boroscopio estereoscópico 10.

40 En la figura 3a están representadas a modo de ejemplo dos imágenes parciales estereoscópicas registradas simultáneamente por las unidades de captación de imágenes 15, 16 del boroscopio estereoscópico 10. Mediante procedimientos conocidos con el nombre de visión estereoscópica, las dos imágenes parciales estereoscópicas pueden combinarse por las unidades informáticas 20 para formar datos de triangulación 3D – dado el caso después de que se hayan rectificado para corregir cualquier error de ángulo o similar – tal como se indica en la figura 3b.

50 Con ayuda de estos datos de triangulación 3D, que, entre otras cosas, pueden proporcionar información sobre la posición relativa de las unidades de captación de imágenes 15, 16 en relación con el objeto registrado, se determina

a continuación un punto de proyección 31 a partir de los datos de triangulación 3D con respecto a un modelo de referencia CAD 3D 30 de las piezas constructivas que van a registrarse – en este caso de los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 78.

5 Un modelo de referencia CAD 3D 30 correspondiente se muestra esquemáticamente en la figura 4. El modelo de referencia CAD 3D 30 comprende a este respecto todos los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87 y se basa en los dibujos de construcción del motor 80.

Debido a la uniformidad de los álabes de turbina 87' individuales, no puede determinarse una posición clara del punto de proyección 31 únicamente en base a los datos de triangulación 3D.

10 Sin embargo, la posición del boroscopio estereoscópico 10 dentro del motor 80 que puede determinarse mediante el dispositivo de guía de boroscopio 14, junto con la posición del ángulo de rotación de la turbina de alta presión 87 y, por lo tanto, de los álabes de turbina 87' que puede determinarse mediante el boroscopio 92, permite determinar una posición 32 al menos aproximada de las unidades de captación de imágenes 15, 16 con respecto a los álabes de motor 87' y con ello del punto de proyección 31 con respecto al modelo de referencia 3D CAD 30. Esta posición 32 aproximada se consulta como punto de partida para determinar la posición real del punto de proyección 31, en donde puede partirse entonces generalmente de que el punto de proyección 31 se encuentra en la proximidad de la posición 32 aproximada.

15 Partiendo del punto de proyección 31 determinado de esta manera, los datos de triangulación 3D se utilizan para adaptar el modelo de referencia CAD 3D 30 a las condiciones reales. En otras palabras, el modelo de referencia CAD 3D 30 se cambia de tal manera que coincida con los datos de triangulación 3D tanto como sea posible.

20 A continuación, los datos de imagen 2D obtenidos mediante superposición de las imágenes parciales estereoscópicas se proyectan sobre el modelo de referencia CAD 3D 30 partiendo del punto de proyección 31 previamente determinado, de manera que éste se texturiza. El resultado se muestra en la figura 3c.

25 En particular, si se han creado sucesivamente muchos registros de los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión y se han transferido al modelo de referencia CAD 3D 30 tal como se describe, de modo que exista un modelo completamente texturizado de toda la etapa de turbina en cuestión, puede realizarse a continuación mediante análisis de imágenes así como mediante comparación de la estructura real registrada con el modelo de referencia CAD 3D 30 original un análisis de daños automatizado. Debido a las decoloraciones en la textura del modelo, se pueden determinar daños menores y, en particular, grietas en los álabes de turbina 87' individuales, mientras que las desviaciones del modelo de referencia CAD 3D 30 original indican deformaciones de los álabes de turbina 87' individuales, que dado el caso han de examinarse más de cerca. Mediante el registro respectivo descrito de los datos de triangulación 3D y la proyección respectiva de los datos de imagen 2D en aquel álabe de turbina del modelo de referencia 3D CAD 30 que se encuentra realmente en la zona de registro del estereoscopio 10, pueden determinarse de manera unívoca los álabes de turbina 87' eventualmente dañados por medio del modelo de referencia CAD 3D 30.

35 En la figura 5 está representado un desarrollo de procedimiento 100 en cuanto a cómo los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87 de un motor de aeronave 80, como se muestra a modo de ejemplo en la figura 1, pueden captarse de manera completamente automatizada y examinarse para determinar daños.

40 Al comienzo 101 del procedimiento 100, se parte de que se ha insertado en el motor 80 un boroscopio estereoscópico 10, cuya posición se puede controlar a través de un dispositivo de guía de boroscopio 14, y se ha dirigido a uno de los álabes de turbina 87' que van a registrarse. Además se parte de que, además de la posición del boroscopio estereoscópico 10 que puede determinarse a través del dispositivo de guía de boroscopio 14, también se conoce la posición del ángulo de rotación de los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87— por ejemplo con ayuda del segundo boroscopio 18.

45 En la etapa 102, las imágenes parciales estereoscópicas se generan por el boroscopio estereoscópico 10. Los datos de imagen captados se transmiten a continuación a la unidad informática 20 (etapa 103). Las imágenes parciales estereoscópicas se rectifican en la unidad informática 20 con ayuda de datos de calibración (etapa 104).

50 A continuación, se obtienen datos de triangulación 3D a partir de las imágenes parciales estereoscópicas (etapa 105), que se registran en un modelo de referencia CAD 3D 30 (etapa 106). Para ello – tal como se ha explicado anteriormente en relación con la figura 4 – se determina un punto de proyección 31 (etapa 107) basándose en los datos de triangulación 3D, en donde puede realizarse esta determinación de forma iterativa, como se muestra en la figura 4. Después de registrar los datos de triangulación 3D y determinar así el punto de proyección 31, en la etapa 108 se proyectan los datos de imagen 2D de las imágenes parciales estereoscópicas capturadas en la etapa 102 sobre el modelo de referencia CAD 3D 30. El modelo de referencia CAD 3D 30 así complementado con una textura se almacena en la memoria (etapa 109).

55 A continuación, en la etapa 110, se comprueba si se han captado todas las zonas deseadas de los álabes de turbina 87' de la primera etapa de la turbina de alta presión 87, en donde puede ser deseable también realizar un registro completo de todos los álabes de turbina 87'. Para ello, por ejemplo, por medio del modelo de referencia 3D CAD 30 puede comprobarse si las zonas en cuestión están texturizadas con datos de imagen 2D o si se han registrado datos

de triangulación 3D en las zonas en cuestión.

De lo contrario, la posición del boroscopio estereoscópico 10 se cambia a través del dispositivo de guía de boroscopio 14 y/o la posición del ángulo de rotación de los álabes de turbina 87' (etapa 111) y las etapas 102 a 110 se repiten hasta que las zonas deseadas se hayan captado completamente.

- 5 Si en la etapa 110 se determina que todas las zonas deseadas se han captado, en las etapas 112 y 113 se realiza un análisis de daños basándose en el modelo de referencia CAD 3D almacenado en la memoria en la etapa 109. Para ello, en la etapa 112 se analizan los datos de imagen 2D procesados para dar la textura del modelo de referencia CAD 3D así como – en la etapa 113 – las desviaciones de los datos de triangulación 3D del modelo de referencia CAD 3D original para determinar así daños eventuales.
- 10 El procedimiento finaliza en la etapa 114 con la indicación de posibles daños o con el mensaje de que no se encontró ningún daño.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la inspección con boroscopio de una pieza constructiva, en el que se usa un boroscopio estereoscópico (10) para el registro de la pieza constructiva, caracterizado por las etapas:

- generar dos imágenes parciales estereoscópicas por medio del boroscopio estereoscópico (10) (etapa 102);
- 5 - calcular datos de triangulación 3D a partir de imágenes parciales estereoscópicas (etapa 105);
- registrar los datos de triangulación 3D en un modelo de referencia CAD 3D (30) de la pieza constructiva capturada por el boroscopio estereoscópico (10), con determinación de un punto de proyección (31) (etapas 106 y 107);
- proyectar datos de imagen 2D determinados a partir de las imágenes parciales estereoscópicas sobre el modelo de referencia CAD 3D (30) desde el punto de proyección determinado (etapa 108); y
- 10 - determinar daños mediante análisis de imagen de los datos de imagen 2D proyectados y mediante comprobación de desviaciones de los datos de triangulación 3D registrados con respecto al modelo de referencia CAD 3D (30) (etapas 112 y 113).

2. Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizado por que

- 15 antes del cálculo de los datos de triangulación 3D, las imágenes parciales estereoscópicas se rectifican por medio de una calibración predefinida (etapa 104).

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

- 20 el modelo de referencia CAD 3D (30) antes de la proyección de los datos de imagen 2D a éste se adapta mediante los datos de triangulación 3D.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

los datos de imagen 2D se generan mediante superposición de las imágenes parciales estereoscópicas.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

- 25 caracterizado por que

la determinación del punto de proyección (31) se realiza comenzando con una posición (32) del boroscopio estereoscópico (10) que puede determinarse mediante un dispositivo de guía de boroscopio (14).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

- 30 uno o el dispositivo de guía de boroscopio (14) se controla de tal manera que todas las zonas predefinidas de la pieza constructiva se capturan secuencialmente por el boroscopio estereoscópico (10), en donde los datos de triangulación 3D y/o datos de imagen 2D generados en cada caso mediante un par de imágenes parciales estereoscópicas se combinan con ayuda del modelo de referencia CAD 3D (30).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

- 35 caracterizado por que

en el caso de la pieza constructiva que va a registrarse se trata de álabes (87') de una turbina de gas, preferentemente de un motor de aeronave (80), en donde la posición del ángulo de rotación de los álabes (87') que van a registrarse se tiene en cuenta durante el registro de los datos de triangulación 3D con respecto al modelo de referencia CAD 3D (30).

8. Procedimiento según la reivindicación 7,

- 40 caracterizado por que

la posición del ángulo de rotación de los álabes (87') que van a registrarse se controla de tal manera que se capturan todos los álabes (87') de una etapa de turbina o de compresor.

9. Dispositivo para la inspección con boroscopio de una pieza constructiva que comprende un boroscopio

estereoscópico (10) y una unidad informática (20) conectada con éste con acceso a una memoria que comprende un modelo de referencia CAD 3D (30), en donde el dispositivo está configurado para realizar un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4.

10. Dispositivo según la reivindicación 9,

5 caracterizado por que

está previsto un dispositivo de guía de boroscopio (14) conectado con la unidad informática (20) para guiar el boroscopio estereoscópico (10), en donde el dispositivo se ha perfeccionado para realizar un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 o 6.

11. Dispositivo según la reivindicación 9 o 10,

10 caracterizado por que

el dispositivo está configurado para determinar y tener en cuenta la posición del ángulo de rotación de los álabes (87') de una turbina de gas, preferentemente de un motor de aeronave (80), como pieza constructiva que va a registrarse y está perfeccionado para realizar un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 u 8.

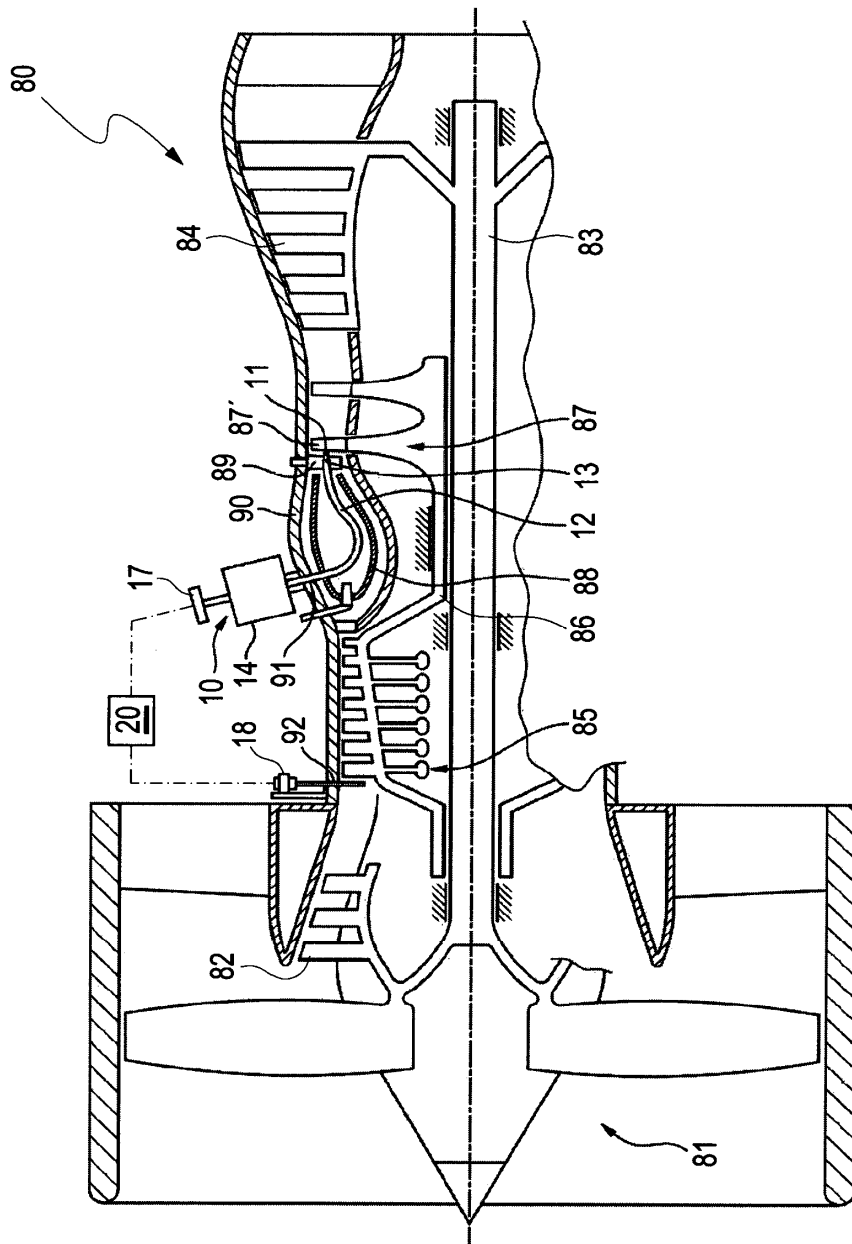


Fig. 1

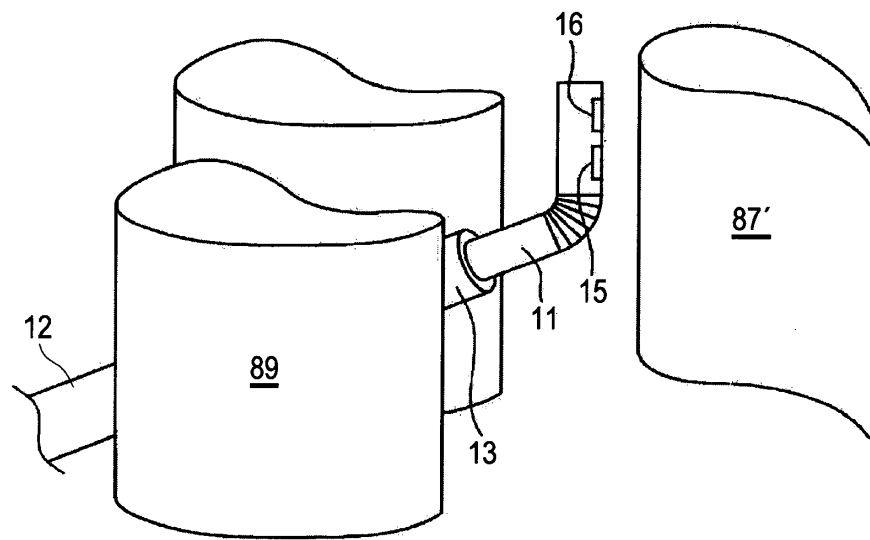


Fig. 2

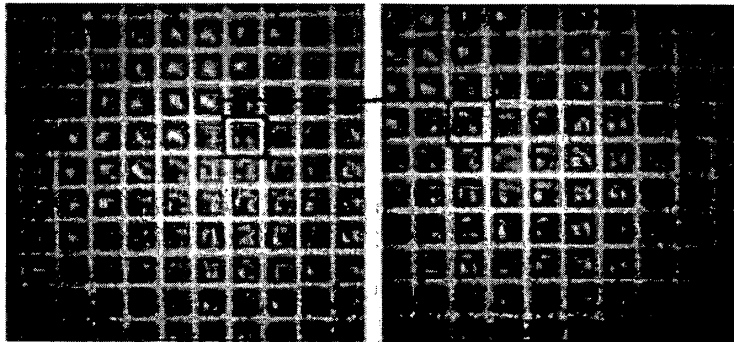


Fig. 3 a

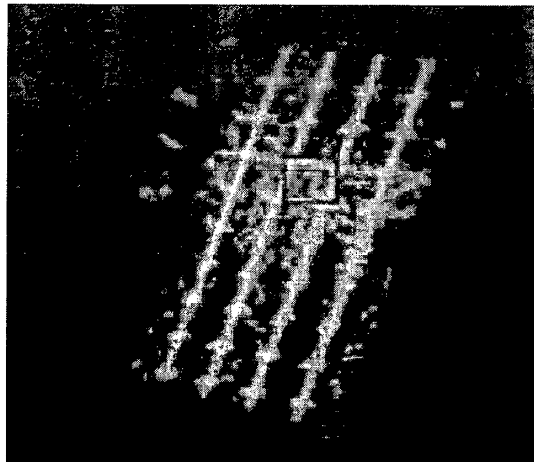


Fig. 3 b

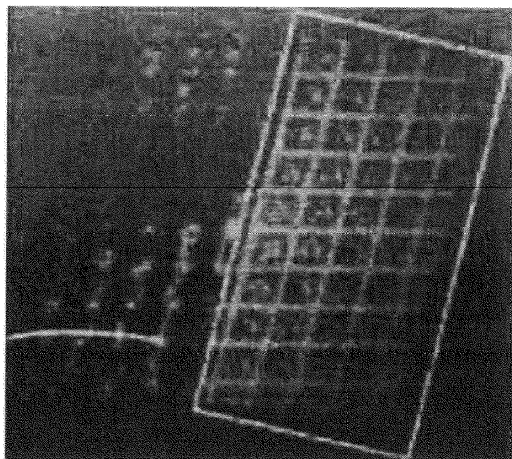


Fig. 3 c

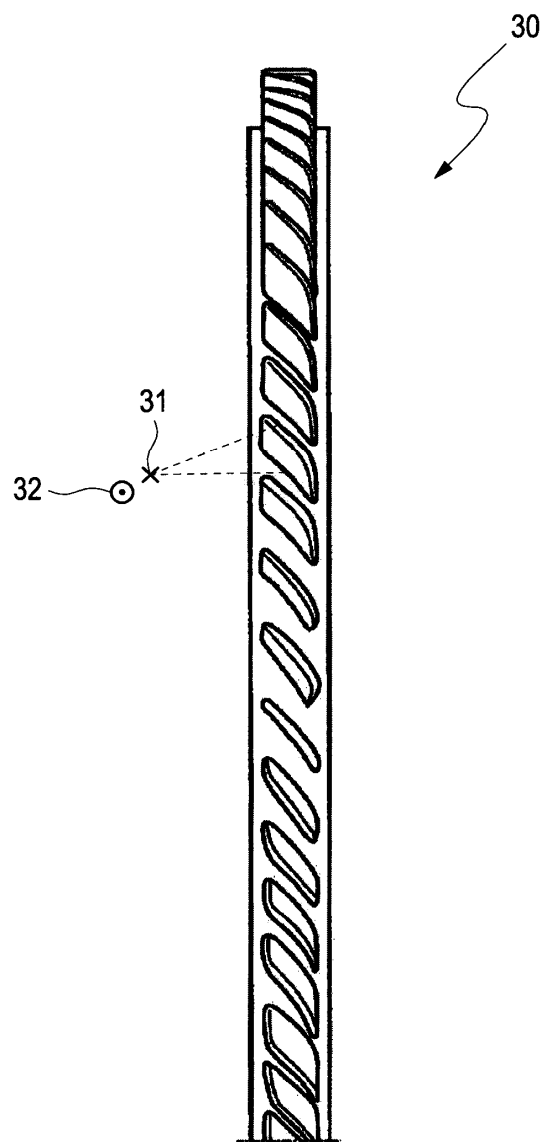


Fig. 4

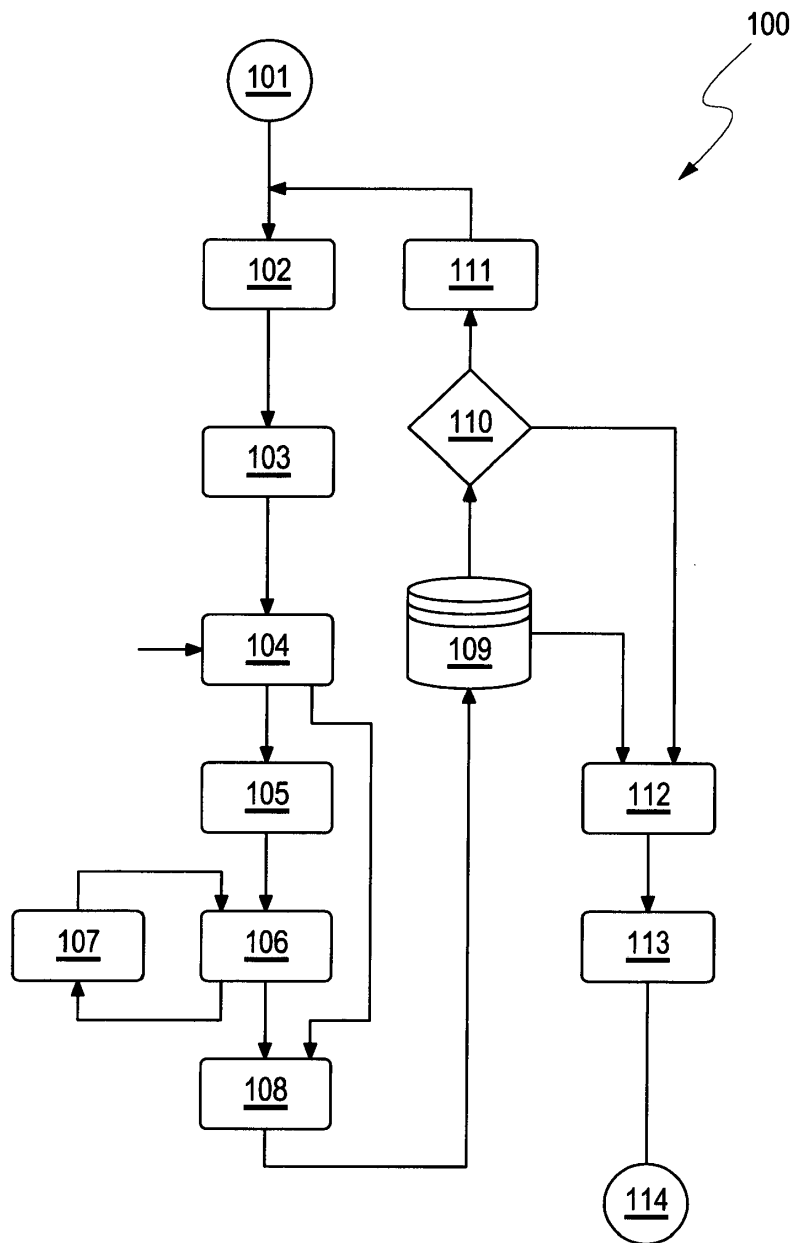


Fig. 5