

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 497 868**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2011 E 11776789 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2636019**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de evaluación para determinar la ubicación de una estructura que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X**

30 Prioridad:

02.11.2010 DE 102010043226

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

23.09.2014

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (50.0%)
Hansastraße 27c
80686 München, DE y
MAHLE INTERNATIONAL GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**OECKL, STEVEN;
SCHÖN, WERNER;
SCHNELL, HOLGER;
MÜLLER, GUSTAV y
PAPADOPOULOS, IOANNIS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 497 868 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 de evaluación para determinar la ubicación de una estructura que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de evaluación para determinar la ubicación de una estructura que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X.

10 El examen automático y sin destrucción de objetos o componentes constructivos mediante tomografía computarizada de rayos X adquiere cada vez más importancia en el aseguramiento de calidad. El desafío consiste, por un lado, en detectar de manera fiable defectos de material, como, por ejemplo, poros o grietas. Por otro lado, la medición dimensional de componentes constructivos es muy importante. Sin embargo, esta medición de componentes constructivos para comprobar si se cumplen las tolerancias de fabricación exigidas resulta difícil. En principio, a partir del conjunto de datos de volumen determinado mediante tomografía computarizada de rayos X del componente constructivo a examinar se puede determinar la distancia entre dos puntos seleccionados, por ejemplo, para determinar la ubicación de una estructura situada en el interior en el componente constructivo, sin embargo, esta determinación de distancia se dificulta por efectos perturbadores, como, por ejemplo, ruido, radiación difusa o endurecimiento de haz, ya que estos efectos perturbadores modifican o falsifican los valores de gris de los vóxeles en el conjunto de datos de volumen. Además, en la transición entre dos medios diferentes, como, por ejemplo, el material de objeto y el aire que se encuentra en un espacio hueco situado en el interior, se producen emborronamientos de valores de gris que dificultan una medición dimensional del componente constructivo.

25 El artículo especializado Lin X. *et al*: "*Visualisation of Left Ventricular Dysfunction in the Virtual Pathological Heart*", 14th International Conference Information Visualisation, IEEE, 26/07/2010, páginas 635 a 640, se refiere a un procedimiento para visualizar la cámara izquierda del corazón humano mediante datos que se detectaron mediante tomografía de resonancia magnética. Para la visualización de la cámara izquierda del corazón se reconstruye la superficie de la misma o la superficie interior del corazón. Para la determinación de la superficie se forman cortes bidimensionales a partir de una nube de puntos tridimensional cuyos píxeles se binarizan en función de la asociación a la cámara izquierda del corazón. A continuación, los cortes binarizados se unen para formar una superficie tridimensional.

35 El artículo especializado Russ J.C.: "*Measurement of Depletion Layer Thickness in Metal Grains*" Journal of Computer-Assisted Microscopy, tomo 3, n° 1, 1991, páginas 7 a 13, da a conocer un procedimiento para la medición de grosor de una capa útil en la que existe un número reducido de partículas de carbono a lo largo de los límites de grano de granos de metal. El grosor de capa se determina mediante la distancia euclidiana de las partículas de carbono individuales con respecto al límite de grano.

40 La invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento sencillo, exacto y automático para determinar la ubicación de una estructura anular que se encuentra en un objeto o un componente constructivo a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X.

45 Este objetivo se consigue mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. A partir de los conjuntos de datos de proyección determinados mediante tomografía computarizada de rayos X del objeto o componente constructivo a examinar se reconstruye en primer lugar de manera habitual un conjunto de datos de volumen. A continuación se define un plano de sección a través de la estructura que se encuentra en el objeto y que se va a determinar con respecto a su ubicación espacial. Esta estructura es, por ejemplo, un espacio hueco. En principio, el plano de sección se puede elegir libremente y resulta de la tarea de medición. A partir del conjunto de datos de volumen se determina, mediante el plano de sección definido, un conjunto de datos de intersección que reproduce el objeto en el plano de sección. Para poder determinar de manera sencilla y exacta la ubicación de la estructura con respecto a una superficie del objeto, el conjunto de datos de intersección en primer lugar se binariza, de modo que se genera un conjunto de datos binarios. Para conseguir una alta precisión, la binarización se debe realizar de manera lo más exacta posible, de modo que, a ser posible, vóxeles del conjunto de datos binarios no se asocian de manera errónea al objeto o no se asocian al objeto. Por tanto, el conjunto de datos binarios contiene vóxeles con un primer valor binario que caracterizan el objeto y vóxeles con un segundo valor binario que no caracterizan el objeto, esto es, el fondo, artefactos, estructuras que no son de interés alrededor de la estructura a determinar con respecto a su ubicación.

60 A partir de los vóxeles del conjunto de datos binarios que presentan el segundo valor binario se determinan a continuación los vóxeles que reproducen exclusivamente la estructura que es de interés. Estos vóxeles se denominan vóxeles de estructura. Éstos vóxeles se determinan, por ejemplo, de modo que vóxeles adyacentes, que presentan todos el segundo valor binario, se analizan con respecto a su forma, tamaño, ubicación y/o entorno, de modo que se pueden determinar de manera unívoca la estructura que es de interés o los vóxeles de estructura correspondientes. Para poder determinar la ubicación de la estructura que es de interés con respecto a la superficie de objeto, se determinan además los vóxeles que reproducen la superficie de objeto en el conjunto de datos binarios. Estos vóxeles se denominan vóxeles de superficie. Los vóxeles de superficie resultan en el conjunto de datos binarios de la transición entre los vóxeles que presentan el primer valor binario, que caracterizan el objeto, y

los vóxeles que presentan el segundo valor binario, que no caracterizan el objeto. Los vóxeles que se encuentran en esta transición, que presentan el primer valor binario, constituyen los vóxeles de superficie.

5 Mediante los vóxeles de superficie determinados se determina a continuación un conjunto de datos de distancia. Los vóxeles del conjunto de datos de distancia se denominan vóxeles de distancia. A cada vóxel de distancia se asigna un valor de distancia que caracteriza la menor distancia del respectivo vóxel de distancia con respecto a los vóxeles de superficie. La menor distancia se puede calcular según diferentes métricas, por ejemplo, según la métrica euclidiana o según la métrica Manhattan o la métrica Cityblock. Preferiblemente, a los vóxeles de distancia se asignan valores de distancia que caracterizan la menor distancia con respecto a los vóxeles de superficie en vóxeles enteros.

10 Partiendo del conjunto de datos de distancia se puede determinar de manera sencilla la ubicación espacial de la estructura con respecto a la superficie de objeto al evaluarse a partir del conjunto de datos de distancia los vóxeles de distancia correspondientes a los vóxeles de estructura y sus valores de distancia.

15 La definición de varios planos de sección y la determinación y la evaluación de conjuntos de datos de intersección asociados posibilita la comprobación de estructuras anulares, en particular de canales o espacios huecos anulares. La determinación de ubicación se realiza en particular mediante cortes centrales, esto es, planos de sección que discurren a través de un eje común. Por tanto, se puede determinar en distancias angulares previamente definidas la ubicación de la estructura en el objeto. Esto se puede aplicar de manera ventajosa, por ejemplo, en el caso de émbolos, en particular en el caso de émbolos de cilindro, que presentan un canal de refrigeración anular cuya ubicación se debe comprobar.

20 Si se determina a partir de estos valores de distancia, por ejemplo, el valor mínimo, entonces éste caracteriza la distancia mínima de la estructura con respecto a la superficie de objeto. De manera correspondiente, el valor máximo de los valores de distancia caracteriza una distancia máxima de la estructura con respecto a la superficie de objeto.

25 El procedimiento según la invención no se basa en que se determine una distancia entre dos puntos o vóxeles seleccionados, sino determina la ubicación espacial de la estructura que es de interés, por ejemplo, la distancia mínima con respecto a la superficie de objeto, independientemente de cómo está dispuesta la estructura en el objeto. Debido al hecho de que la ubicación de la estructura en el objeto puede variar debido a tolerancias de fabricación, una determinación de distancia de dos puntos o vóxeles seleccionados de manera estática o manual lleva a una determinación imprecisa de la ubicación. En cambio, en el procedimiento según la invención se posibilita una determinación de ubicación sencilla, precisa y dinámica de la estructura que es de interés mediante el cálculo y la evaluación del conjunto de datos de distancia, ya que el procedimiento proporciona de manera automática e independiente de la ubicación los valores de distancia deseados. Los valores de distancia se pueden convertir en una medida de longitud métrica mediante un cálculo con el tamaño de vóxel conocido, de modo que es posible una comparación directa con los datos de construcción para comprobar el cumplimiento con tolerancias de fabricación.

30 Un procedimiento según la reivindicación 2 garantiza una determinación sencilla y precisa de la ubicación, ya que debido a la orientación de los vóxeles de superficie se puede determinar de manera sencilla el conjunto de datos de distancia. Operaciones de cálculo necesarias se pueden realizar por líneas y/o por columnas debido a la orientación.

35 Un procedimiento según la reivindicación 3 posibilita de manera sencilla una corrección de ubicación del objeto con respecto al sistema de coordenadas cartesianas de evaluación. En particular, la corrección o transformación del conjunto de datos de volumen posibilita una corrección de ubicación del objeto con respecto al sistema de coordenadas en cualquier plano de sección. Con sólo una transformación está orientado por tanto el objeto en cualquier plano de sección con respecto al sistema de coordenadas. Para corregir la ubicación se binariza en primer lugar el conjunto de datos de volumen. Esto se realiza, por ejemplo, mediante una binarización de valores umbrales que clasifica los vóxeles del conjunto de datos de volumen en dos clases, al calcularse, a partir de la función de distribución de los valores de gris que pertenecen a los vóxeles, un valor umbral que separa los valores de gris que pertenecen al objeto con respecto a los valores de gris que no pertenecen al objeto. Mediante el valor umbral se realiza a continuación la binarización del conjunto de datos de volumen. Para detectar la ubicación del objeto con respecto al sistema de coordenadas se definen en primer lugar dos planos de sección de corrección diferentes a través del objeto. Con respecto a estos planos de sección de corrección se determinan a partir del conjunto de datos de volumen binario los conjuntos de datos de intersección de corrección binarios asociados que reproducen el objeto en el respectivo plano de sección. A partir de cada uno de los conjuntos de datos de intersección de corrección se determina un ángulo de ladeo que caracteriza la ubicación de los vóxeles de superficie que reproducen la superficie de objeto con respecto a uno de los ejes de coordenadas. Los vóxeles de superficie utilizados para corregir la ubicación se pueden diferenciar, según la definición de los planos de sección de corrección, de los vóxeles de superficie utilizados para determinar el conjunto de datos de distancia y, siempre que sea necesaria una diferenciación, también se denominan vóxeles de superficie de corrección. A partir del punto de intersección de los planos de sección de corrección situado sobre la superficie y los ángulos de ladeo queda determinada de manera unívoca la ubicación del objeto con respecto al sistema de coordenadas. Con el punto de intersección y los ángulos de ladeo se realiza una transformación por afinidad del conjunto de datos de volumen y se orienta el objeto

reproducido por los vóxeles de objeto mediante una rotación y una traslación con respecto al sistema de coordenadas.

5 Un procedimiento según la reivindicación 4 posibilita una binarización extremadamente exacta del conjunto de datos de intersección. En primer lugar, mediante el algoritmo de Canny conocido en el procesamiento digital de imágenes se detectan los cantos del objeto y se determinan los vóxeles de canto asociados. Partiendo de los cantos determinados se realiza la binarización de modo que a través de cada vóxel del conjunto de datos de intersección se colocan varias líneas rectas virtuales y orientadas de diferente manera y se determina el número de los puntos de intersección de la respectiva línea recta con los cantos. El respectivo vóxel recibe en el conjunto de datos binarios un primer valor binario que caracteriza el objeto cuando la mayoría de las líneas rectas tiene un número impar de puntos de intersección con los cantos. De manera correspondiente, el respectivo vóxel en el conjunto de datos binarios recibe un segundo valor binario que no caracteriza el objeto cuando la mayoría de las líneas rectas tiene un número par de puntos de intersección con los cantos. Un número par también incluye el cero. A continuación, este procedimiento de binarización se denomina también binarización Canny.

15 Un procedimiento según la reivindicación 5 garantiza de manera sencilla la determinación de los vóxeles de estructura que reproducen la estructura. En primer lugar, basándose en el conjunto de datos binarios se realiza un análisis de interconexión con el que se determinan regiones interconectadas, definiéndose éstas como tales. Las regiones interconectadas también se denominan objetos largos binarios (blobs). Para ello, vóxeles interconectados o adyacentes que presentan un valor binario unitario se asignan en cada caso a una región, y las regiones determinadas así como los vóxeles asociados se registran en una lista. A continuación, las regiones determinadas se evalúan con respecto a sus propiedades para poder identificar de manera unívoca la región que reproduce la estructura. Propiedades típicas evaluables son, por ejemplo, la forma, el tamaño, la ubicación y/o el entorno de una región. Para ello, por ejemplo, se evalúan el número de los vóxeles que pertenecen a una región así como la altura y la anchura de la región. Mediante las propiedades evaluadas se clasifican las regiones de modo que se determina de manera unívoca la región que reproduce la estructura con los vóxeles de estructura asociados.

20 Un procedimiento según la reivindicación 6 facilita la evaluación del conjunto de datos de distancia, ya que éste se puede calcular de manera sencilla con el conjunto de datos binarios de estructura para determinar la ubicación de la estructura.

35 Un procedimiento según la reivindicación 7 posibilita una determinación sencilla de la superficie con respecto a la que se debe determinar la ubicación de la estructura. Los vóxeles de superficie que reproducen la superficie se determinan de modo que los vóxeles en el conjunto de datos binarios son recorridos en cualquier dirección de marcha, esto es, según la ubicación de la superficie a determinar, por filas o por líneas. Si, al pasar por los vóxeles en la dirección de marcha se detecta por primera vez un vóxel que está asignado al objeto y que presenta el primer valor binario, entonces este vóxel constituye un vóxel de superficie y se registra de manera correspondiente. Los vóxeles son recorridos en particular por filas y/o por líneas.

40 Un procedimiento según la reivindicación 8 simplifica el cálculo del conjunto de datos de distancia. Debido al hecho de que en el conjunto de datos binarios de superficie exclusivamente los vóxeles de superficie tienen el primer valor binario, el punto de partida para el cálculo del conjunto de datos de distancia está previamente establecido de manera sencilla.

45 Un procedimiento según la reivindicación 9 garantiza un cálculo sencillo del conjunto de datos de distancia. Partiendo del conjunto de datos binarios de superficie en el que exclusivamente los vóxeles de superficie presentan el primer valor binario, se puede asignar a todos los demás vóxeles en cada caso un valor de distancia que caracteriza la menor distancia del respectivo vóxel con respecto a los vóxeles de superficie. Mediante esta asignación, el conjunto de datos binarios de superficie se convierte de manera sucesiva en el conjunto de datos de distancia. El conjunto de datos de distancia contiene por tanto los vóxeles de superficie que tienen un valor de distancia de cero y los vóxeles de distancia que tienen valores de distancia en cada caso asociados. El conjunto de datos binarios de superficie se convierte por tanto en el conjunto de datos de distancia mediante una transformación de distancia.

50 Un procedimiento según la reivindicación 10 posibilita de manera sencilla el cálculo de los vóxeles de distancia correspondientes a los vóxeles de estructura. De manera ilustrativa se troquea la estructura mediante el conjunto de datos binarios de estructura a partir del conjunto de datos de distancia, al multiplicarse éste con el conjunto de datos binarios de estructura.

55 Un procedimiento según la reivindicación 11 garantiza de manera sencilla la comprobación del cumplimiento con tolerancias de fabricación. En particular se determina un valor mínimo. Mediante la determinación del valor mínimo, por ejemplo, se pueden determinar grosores de pared mínimos que son especialmente importantes para el aseguramiento de calidad.

60 Un procedimiento según la reivindicación 13 garantiza una evaluación sencilla y precisa de los valores extremos determinados a lo largo de la estructura anular. Debido al hecho de que los valores extremos se representan en

función de la ubicación de los planos de sección, se pueden detectar de manera sencilla cambios de ubicación. Mediante el procesamiento posterior de los valores extremos se reducen en particular errores de medición. El procesamiento posterior se realiza, por ejemplo, de modo que los valores extremos determinados se alisan o se aproxima una curva continua basándose en los mismos. Además, mediante el tamaño de vóxel conocido se puede calcular la distancia métrica a partir de los valores extremos determinados.

La invención se basa además en el objetivo de crear un dispositivo de evaluación para la determinación sencilla, precisa y automática de la ubicación de una estructura anular que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X.

Este objetivo se consigue mediante un dispositivo de evaluación con las características de la reivindicación 14. Las ventajas del dispositivo de evaluación según la invención se corresponden con las ventajas ya descritas del procedimiento según la invención. En particular, el dispositivo de evaluación también se puede perfeccionar de manera correspondiente a las reivindicaciones 2 a 13.

Un tomógrafo computarizado de rayos X según la reivindicación 15 posibilita un ensayo del objeto a examinar directamente tras su fabricación, de modo que se puede conseguir un ensayo en línea. Una instalación de ensayo en línea correspondiente presenta, por ejemplo, un dispositivo de fabricación y un aparato de manipulación asociado mediante el que el componente constructivo u objeto fabricado se extrae del dispositivo de fabricación y se suministra al tomógrafo computarizado de rayos X. El tomógrafo computarizado de rayos X crea de manera conocida conjuntos de datos de proyección del objeto a partir de los que se reconstruye a continuación el conjunto de datos de volumen. El conjunto de datos de volumen, que está dividido en vóxeles y que presenta valores de gris en cada caso asociados, constituye la base del procedimiento según la invención. El conjunto de datos de volumen se proporciona al dispositivo de evaluación que determina de la manera descrita la ubicación de la estructura a examinar. A continuación, mediante una evaluación de los valores de distancia o valores extremos determinados se puede tomar la decisión respecto a si el componente constructivo cumple o no con los requisitos de calidad.

Características, ventajas y detalles adicionales de la invención resultan de la siguiente descripción de un ejemplo de realización. Muestran:

- la figura 1 una representación esquemática de una instalación de ensayo en línea con un tomógrafo computarizado de rayos X que presenta un dispositivo de evaluación para determinar la ubicación de una estructura que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X,
- la figura 2 una representación en corte a través de un objeto configurado como émbolo con una estructura configurada como canal de refrigeración a lo largo de un plano de sección S_1 ,
- la figura 3 una representación principal de un conjunto de datos de intersección del émbolo asociado al plano de sección S_1 ,
- la figura 4 una representación principal del conjunto de datos de intersección asociado al plano de sección S_1 con el émbolo orientado en un sistema de coordenadas de evaluación, y
- la figura 5 una representación principal de un conjunto de datos de distancia para determinar la ubicación del canal de refrigeración con respecto a la superficie del émbolo.

Una instalación de ensayo en línea 1 presenta un dispositivo de fabricación 2, un aparato de manipulación 3 y un tomógrafo computarizado de rayos X 4. La instalación de ensayo en línea 1 sirve para realizar ensayos de objetos 5 o componentes constructivos en forma de émbolos directamente tras su fabricación. En el caso de los émbolos 5 se trata, por ejemplo, de émbolos de cilindro. Mediante el aparato de manipulación 3, los émbolos 5 fabricados en el dispositivo de fabricación 2 se pueden suministrar al tomógrafo computarizado de rayos X 4 que realiza un ensayo de los émbolos 5 fabricados.

El tomógrafo computarizado de rayos X 4 presenta una fuente de rayos X 6 y un detector de rayos X 7 asociado. Entre la fuente de rayos X 6 y el detector de rayos X 7 está dispuesto un soporte de objeto 8 mediante el que se pueden colocar los émbolos 5 a examinar.

La fuente de rayos X 6 sirve para generar una radiación de rayos X 9 que sale de forma cónica en la dirección de los émbolos 5. La radiación de rayos X 9 discurre fundamentalmente de manera simétrica con respecto a un eje longitudinal central 10 del tomógrafo computarizado de rayos X 4. La fuente de rayos X 6 está configurada, por ejemplo, como tubo de rayos X o como acelerador lineal cuya estructura se conoce.

El detector de rayos X 7 se extiende fundamentalmente en un plano X-y que está definido por una dirección X y una dirección y que discurre de manera perpendicular a la misma. El eje longitudinal central 10 define una dirección z que discurre fundamentalmente de manera perpendicular al plano X-y. El detector de rayos X 7 presenta una

pluralidad de píxeles p en las direcciones X e y que se denominan cada uno $p(x, y)$, siendo válido para $X=1$ a n_x y para $y=1$ a n_y . El detector de rayos X 7 está configurado, por ejemplo, como panel detector plano cuya estructura se conoce.

5 El soporte de objeto 8 se puede girar alrededor de un eje de giro 12 que discurre de manera paralela a la dirección y mediante un motor de accionamiento eléctrico 11. La posición de giro del soporte de objeto 8 y , por tanto, del émbolo 5 dispuesto por encima del mismo, se identifica mediante un ángulo de giro ϕ que define una dirección de proyección. La fuente de rayos X 6, el detector de rayos X 7 y el motor de accionamiento 11 están conectados a través de líneas de señal 13 con un dispositivo de evaluación 14. El dispositivo de evaluación 14 sirve, por un lado, para controlar la fuente de rayos X 6 así como el motor de accionamiento 11 y, por otro lado, para evaluar la radiación de rayos X 9 detectada mediante el detector de rayos X 7.

15 El émbolo 5 a examinar presenta una base de émbolo 15 y un vástago de émbolo 16 dispuesto en la misma que están configurados fundamentalmente de manera simétrica con respecto a un eje de émbolo central 17. El émbolo 5 presenta un soporte de anillo 19 colado en una ranura 18 que habitualmente está compuesto por hierro fundido austenítico. En el interior del émbolo 5 está configurada una estructura interior 20 en forma de un canal de refrigeración 20 circundante anular. El canal de refrigeración 20 puede estar dispuesto de manera inclinada con respecto a la base de émbolo 15, de modo que su distancia mínima A_B con respecto a la base de émbolo 15 así como su distancia mínima A_S con respecto al vástago de émbolo 16 varían en general a lo largo del canal de refrigeración 20. El tomógrafo computarizado de rayos X 4 así como el dispositivo de evaluación 14 asociado sirven para determinar la ubicación del canal de refrigeración 20 en el vástago de émbolo 16, esto es, para determinar las distancias mínimas A_B y A_S , en particular como función de su ubicación circunferencial o del ángulo de giro ϕ .

25 A continuación se describe el ensayo del émbolo 5. El émbolo 5 se extrae del dispositivo de fabricación 2 mediante el aparato de manipulación 3 y se dispone sobre el soporte de objeto 8. Mediante la fuente de rayos X 6 se irradia el émbolo 5 de manera habitual con radiación de rayos X 9. El detector de rayos X 7 detecta la radiación de rayos X 9 que incide sobre el mismo. Para cada píxel $p(x, y)$ se convierte la radiación de rayos X 9 detectada en un valor de gris correspondiente. El conjunto de datos de proyección correspondiente con los valores de gris se transmite al dispositivo de evaluación 14 para evaluarse. Este proceso de irradiación se repite para una pluralidad de ángulos de giro ϕ . A partir de los conjuntos de datos de proyección con respecto a los ángulos de giro ϕ se reconstruye un conjunto de datos de volumen del émbolo 5 mediante el dispositivo de evaluación 14. El conjunto de datos de volumen tridimensional reproduce el émbolo 5 y presenta una pluralidad de unidades de volumen, denominadas vóxeles, que tienen respectivos valores de gris. El conjunto de datos de volumen forma el punto de partida para la determinación de ubicación del canal de refrigeración 20.

35 En primer lugar se realizan una detección de ubicación y una corrección de ubicación del émbolo 5 con respecto a un sistema de coordenadas cartesianas de evaluación que está formado por ejes de coordenadas que discurren de manera perpendicular entre sí. Los ejes de coordenadas se denominan a continuación u , v y w . Para la corrección de ubicación se definen dos planos de sección de corrección S_1 y S_2 que se intersecan en el eje de émbolo 17. Estos planos de sección S_1 y S_2 discurren de manera perpendicular entre sí y están representados en la figura 2. El conjunto de datos de volumen se binariza en primer lugar de modo que se forma un conjunto de datos de volumen binario. Esto se realiza mediante una binarización de valor umbral que asigna los vóxeles del conjunto de datos de volumen al émbolo 5 o no los asigna al émbolo 5. A partir de la función de distribución de todos los valores de gris con respecto a los vóxeles del conjunto de datos de volumen se calcula un valor umbral que separa de manera fiable los valores de gris en estas clases. A partir del conjunto de datos de volumen binario se determinan o se extraen a continuación dos conjuntos de datos de intersección de corrección que reproducen el émbolo 5 en el respectivo plano de sección S_1 y S_2 .

50 La figura 3 muestra el conjunto de datos de intersección de corrección con respecto al plano de sección de corrección S_1 , estando ilustrado, en lugar de los vóxeles que reproducen el émbolo 5, el propio émbolo 5 para proporcionar una mejor ilustración. Con el fin de proporcionar una representación más sencilla, el conjunto de datos de intersección de corrección tiene sólo una resolución baja, es decir, un número pequeño de vóxeles. En el conjunto de datos de intersección de corrección, los vóxeles que reproducen el émbolo 5 tienen un primer valor binario. Estos vóxeles se denominan a continuación vóxeles de objeto o . Los vóxeles que no reproducen el émbolo 5, esto es, los vóxeles que reproducen el fondo y el canal de refrigeración 20, tienen un segundo valor binario. Estos vóxeles se denominan a continuación vóxeles de fondo h . Además, los vóxeles de objeto o que caracterizan la superficie del émbolo 5 se denominan vóxeles de superficie f . Mediante los vóxeles de superficie f de la base de émbolo 15 se determina un ángulo de ladeo α con respecto al eje de coordenadas u . De manera correspondiente, en el conjunto de datos de intersección de corrección con respecto al plano de sección S_2 se determina un ángulo de ladeo α con respecto al eje de coordenadas w . A partir de los ángulos de ladeo α así como del centro M de la base de émbolo 15 está determinada de manera unívoca la ubicación del émbolo 5 en el sistema de coordenadas cartesianas K . Mediante una transformación por afinidad del conjunto de datos de volumen mediante los ángulos de ladeo α y el centro M se convierte el conjunto de datos de volumen de modo que los vóxeles de superficie f de la base de émbolo 15 discurren de manera paralela con respecto al eje de coordenadas u y w . El émbolo 5 o los vóxeles de objeto o que reproducen el émbolo 5 están orientados por tanto en el sistema de coordenadas de evaluación K . Esto se representa en la figura 4.

Para determinar la ubicación del canal de refrigeración 20 se realizan ahora una pluralidad de cortes centrales. Para ello, planos de sección S_1 a S_n se colocan en distancias angulares previamente definidas a través del eje de émbolo 17. Por ejemplo, se definen en distancias angulares de 1° planos de sección, de modo que resultan 360 planos de sección S_1 a S_{360} para el ensayo del canal de refrigeración 20. A continuación, con respecto a cada uno de los planos de sección S_1 a S_n a partir del conjunto de datos de volumen convertido para la corrección de ubicación se determina o extrae un conjunto de datos de intersección que reproduce el émbolo 5 en este plano de sección S_1 a S_n . En la figura 4 se representa de manera correspondiente a la figura 3 el conjunto de datos de intersección con respecto al plano de sección S_1 .

En primer lugar se binariza este conjunto de datos de intersección de modo que se forma un conjunto de datos binarios. Para conseguir una binarización lo más exacta posible, se determinan en primer lugar los cantos del émbolo 5 en el conjunto de datos de intersección mediante el algoritmo de Canny conocido. Los cantos resultan fundamentalmente de la superficie del émbolo 5, del anillo de hierro 19 dispuesto en la ranura 18 y del canal de refrigeración 20. Los cantos del émbolo 5 se caracterizan por véxeles de canto no representados de manera más detallada. A continuación, a través de cada véxel del conjunto de datos de intersección se colocan varias líneas rectas G_1 a G_8 orientadas de diferente manera y se determina el número de los puntos de intersección de estas líneas rectas G_1 a G_8 con los cantos. Esto se ilustra en la figura 4 para un véxel de fondo h y un véxel de objeto o con ocho líneas rectas G_1 a G_8 en cada caso.

Las líneas rectas G_1 a G_8 asociadas al véxel de fondo h o no tienen punto de sección o tienen un número par de puntos de intersección con los cantos. En cambio, las líneas rectas G_1 a G_8 asociadas al véxel de objeto o tienen en cada caso un número impar de puntos de intersección con los cantos. De este modo, véxeles se pueden asignar de manera unívoca al émbolo 5 o no se pueden asignar al émbolo 5. Incluso se pueden compensar errores en el desarrollo de canto, ya que se decide mediante la mayoría de las líneas rectas G_1 a G_8 . A los véxeles de objeto o se asigna en el conjunto de datos binarios un primer valor binario, mientras que a los véxeles de fondo h se asigna un segundo valor binario.

A partir del conjunto de datos binarios se determinan a continuación los véxeles que reproducen el canal de refrigeración 20. Estos véxeles se denominan a continuación véxeles de estructura s . Para ello se realiza un denominado análisis de interconexión. Véxeles interconectados que tienen un valor binario unitario se asignan en cada caso a una región. Estas regiones también se denominan objetos largos binarios. Las regiones así como los véxeles asociados se registran en una lista. A continuación, se evalúan las regiones con respecto a su forma, tamaño, ubicación y/o entorno. Regiones típicas son el émbolo 5, el canal de refrigeración 20, artefactos debido al anillo de hierro 19 y el fondo que rodea el émbolo 5. Mediante la evaluación de la forma, del tamaño, de la ubicación y/o del entorno de estas regiones se pueden determinar los véxeles de estructura s que pertenecen al canal de refrigeración 20. Para evaluar las regiones se recurre, por ejemplo, sólo a la mitad del émbolo 5 que está dispuesta a la izquierda del eje de émbolo 17, de modo que sólo se determina una región que se clasifica como canal de refrigeración 20. Con respecto a esta región se genera a continuación un conjunto de datos binarios de estructura en el que los véxeles de estructura s tienen un primer valor binario y todos los demás véxeles tienen un segundo valor binario.

A continuación se determinan a partir del conjunto de datos binarios los véxeles de superficie f con respecto a una superficie del émbolo 5. Una vez que se deban determinar las distancias A_B y A_S , se deben determinar, por un lado, los véxeles de superficie f de la base de émbolo 15 y, por otro lado, los véxeles de superficie f del vástago de émbolo 16. Para determinar los véxeles de superficie f de la base de émbolo 15, el conjunto de datos binarios es recorrido por filas en una respectiva dirección de marcha partiendo del lado opuesto al eje de coordenadas u . Si en una de las filas recorridas se determina por primera vez un véxel que es un véxel de objeto o y, por tanto, pertenece al émbolo 5, entonces este véxel de objeto o constituye al mismo tiempo un véxel de superficie f . De manera correspondiente, para determinar la superficie del vástago de émbolo 16 se pasa por líneas por el conjunto de datos binarios partiendo del eje de coordenadas v . Si en una de las líneas se determina por primera vez un véxel que es un véxel de objeto o y que pertenece al émbolo 5, entonces este véxel de objeto o constituye al mismo tiempo un véxel de superficie f . Con respecto a cada una de las superficies determinadas se genera un conjunto de datos binarios de superficie en el que los véxeles de superficie f tienen un primer valor binario y todos los demás véxeles tienen un segundo valor binario.

A continuación se describe la determinación de la distancia A_S partiendo del conjunto de datos binarios de superficie con respecto al vástago de émbolo 16. La determinación de la distancia A_B con respecto a la base de émbolo 15 se realiza de manera correspondiente partiendo del conjunto de datos binarios de superficie con respecto a los véxeles de superficie f de la base de émbolo 15.

Partiendo del conjunto de datos binarios de superficie se determina un conjunto de datos de distancia A de modo que a cada véxel o véxel de distancia a del conjunto de datos de distancia A se asigna un valor de distancia w_i con $i = 1, 2, 3, \dots$ que caracteriza la menor distancia del respectivo véxel de distancia a con respecto a los véxeles de superficie f . Esta etapa de procedimiento se denomina transformación de distancia. Los valores de distancia w se pueden calcular, por ejemplo, según una métrica euclidiana o una métrica Manhattan o Cityblock. En la figura 5 se

5 representa el conjunto de datos de distancia A con los vóxeles de superficie f del vástago de émbolo 16 en una resolución mayor en comparación con las figuras 3 y 4. Partiendo de los vóxeles de superficie f, los vóxeles de distancia a presentan valores de distancia $w_1, w_2, w_3...$ que describen la distancia en vóxeles enteros. El canal de refrigeración 20 se reproduce mediante un vóxel de estructura s que también se representan en la figura 5. La ubicación de los vóxeles de estructura s se conoce por el conjunto de datos binarios de estructura, de modo que los valores de distancia w_3 a w_5 asociados se pueden determinar de manera sencilla mediante el conjunto de datos binarios de estructura a partir del conjunto de datos de distancia A.

10 El valor de distancia mínimo w_3 es una medida para la distancia A_S del canal de refrigeración 20 con respecto a la superficie del vástago de émbolo 16. Si el valor de distancia w_3 se multiplica con la magnitud de vóxel, entonces resulta la distancia mínima A_S en unidades métricas.

15 Los conjuntos de datos representados en las figuras 3 a 5 tienen sólo un menor número de vóxeles para proporcionar una ilustración más sencilla. La precisión de la determinación de ubicación es mayor cuanto mayor es el número de los vóxeles de los conjuntos de datos. El canal de refrigeración 20 se reproduce entonces mediante una pluralidad de vóxeles de estructura s que tienen diferentes valores de distancia w. Los vóxeles de estructura s se deben evaluar de la manera descrita con respecto a los valores de distancia w asociados. Para determinar la distancia mínima A_S se debe determinar el valor mínimo a partir de los valores de distancia que pertenecen a los vóxeles de estructura s.

20 La evaluación descrita se realiza para todos los planos de sección S_1 a S_n y para las distancias A_B y A_S . Si los valores mínimos determinados para la distancia A_B o A_S se indican sobre todos los planos de sección S_1 a S_n , entonces resulta en cada caso un desarrollo de curva que aún se puede procesar posteriormente con métodos matemáticos. Por ejemplo, se pueden eliminar valores individuales que constituyen valores extraños y/o se puede aproximar un desarrollo de curva continuo mediante los valores mínimos.

30 Con el procedimiento según la invención así como el dispositivo de evaluación según la invención no se realiza una medición de la distancia entre dos puntos o vóxeles previamente definidos. El procedimiento según la invención así como el dispositivo de evaluación según la invención proporcionan de manera sencilla, precisa y automática la distancia mínima A_S o A_B del canal de refrigeración 20 con respecto a la superficie de la base de émbolo 15 o del vástago de émbolo 16 independientemente de cómo está dispuesto el canal de refrigeración 20 en el vástago 5.

35 Si se queda por debajo de una distancia admisible, entonces se puede clasificar el respectivo émbolo 5 mediante la instalación de ensayo en línea 1.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la ubicación de una estructura anular que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X, que comprende las etapas:
- 5 - proporcionar un conjunto de datos de volumen determinado mediante tomografía computarizada de rayos X del objeto (5) a examinar,
 - definir varios planos de sección (S_1 a S_n) a través de la estructura (20) que se encuentra en el objeto (5) y que se va a determinar con respecto a su ubicación espacial,
 - 10 - determinar en cada caso conjuntos de datos de intersección a partir del conjunto de datos de volumen que reproducen el objeto (5) en el respectivo plano de corte (S_1),
 - evaluar los respectivos conjuntos de datos de intersección de la siguiente manera:
 - binarizar el conjunto de datos de intersección para formar un conjunto de datos binarios,
 - 15 - determinar los vóxeles de estructura (s) que reproducen la estructura (20) en el conjunto de datos binarios,
 - determinar los vóxeles de superficie (f) que reproducen una superficie de objeto del objeto (5) en el conjunto de datos binarios,
 - determinar un conjunto de datos de distancia (A) de modo que a cada vóxel de distancia (a) del conjunto de datos de distancia (A) se asigna un valor de distancia (w) que caracteriza la menor distancia del respectivo vóxel de distancia (a) con respecto a los vóxeles de superficie (f),
 - 20 - determinar los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s) en el conjunto de datos de distancia (A), y
 - evaluar los valores de distancia (w) de los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** antes de determinar el conjunto de datos de distancia (A) se transforma al menos uno de los conjuntos de datos de modo que al menos una parte de los vóxeles de superficie (f) quedan orientados de manera paralela con respecto a un eje de coordenadas (u, v, w) de un sistema de coordenadas cartesianas (K).
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el conjunto de datos de volumen se transforma mediante las siguientes etapas:
- binarizar el conjunto de datos de volumen para formar un conjunto de datos de volumen binario,
 - 35 - definir dos planos de sección de corrección (S_1 , S_2) que se intersecan a través del objeto (5),
 - determinar conjuntos de datos de intersección de corrección a partir del conjunto de datos de volumen binario que reproducen el objeto (5) en el respectivo plano de sección (S_1 , S_2),
 - determinar dos ángulos de ladeo (α) a partir de los conjuntos de datos de intersección de corrección, caracterizando cada ángulo de ladeo (α) la ubicación de los vóxeles de superficie (f) que reproducen una superficie de objeto con respecto a un eje de coordenadas (u, v, w) de un sistema de coordenadas cartesianas (K), y
 - 40 - transformar el conjunto de datos de volumen mediante los ángulos de ladeo (α) determinados de modo que los vóxeles de superficie (f) utilizados para determinar los ángulos de ladeo (α) discurren de manera paralela en cada caso con respecto a uno de los ejes de coordenadas (u, v, w).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la binarización del conjunto de datos de intersección se realiza de modo que
- los vóxeles de canto que reproducen los cantos del objeto (5) se determinan en el conjunto de datos de intersección,
 - 50 - mediante los vóxeles de canto determinados para cada vóxel en el conjunto de datos de intersección se determina el número de los puntos de intersección de varias líneas rectas (G_1 a G_8) orientadas de diferente manera á través del vóxel con los cantos, y
 - el respectivo vóxel en el conjunto de datos binarios
- 55 -- se asigna al objeto (5) cuando la mayoría de las líneas rectas (G_1 a G_8) tiene un número impar de puntos de intersección y
 - no se asigna al objeto (5) cuando la mayoría de las líneas rectas (G_1 a G_8) tiene un número par de puntos de intersección.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la determinación de los vóxeles de estructura (s) se realiza en el conjunto de datos binarios de modo que
- vóxeles interconectados con un valor binario unitario se asignan en cada caso a una región,
 - las regiones se evalúan con respecto a al menos una propiedad, y
 - 65 - una de las regiones se clasifica como la estructura (20) con los vóxeles de estructura (s) asociados.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** se genera un conjunto de datos binarios de estructura en el que los vóxeles de estructura (s) tienen un primer valor binario y todos los demás vóxeles tienen un segundo valor binario.
- 5 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** la determinación de los vóxeles de superficie (f) se realiza en el conjunto de datos binarios de modo que
- 10 - los vóxeles se recorren en una dirección de marcha, y
 - el vóxel se determina en cada caso como vóxel de superficie (f) que se detecta como asignado al objeto (5) por primera vez al pasar en la dirección de marcha.
- 15 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** se genera un conjunto de datos binarios de superficie en el que los vóxeles de superficie (f) tienen un primer valor binario y todos los demás vóxeles tienen un segundo valor binario.
- 20 9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado por que** se determina el conjunto de datos de distancia (A) partiendo del conjunto de datos binarios de superficie al asignarse en éste a los vóxeles provistos del segundo valor binario en cada caso un valor de distancia (w) y al formar los vóxeles provistos del valor de distancia (w) los vóxeles de distancia (a).
- 25 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizado por que** la determinación de los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s) se realiza mediante el conjunto de datos binarios de estructura.
- 30 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** la evaluación de los valores de distancia (w) de los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s) se realiza de modo que se determina un valor extremo.
- 35 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado por que** los planos de sección (S_1 a S_n) discurren a través de un eje común (17).
- 40 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado por que** la evaluación de los valores de distancia (w) de los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s) en los conjuntos de datos de distancia (A) que pertenecen a los conjuntos de datos de intersección se realiza de modo que
- 45 - se determina en cada caso un valor extremo,
 - los valores extremos se representan en función de los planos de intersección (S_1 a S_n), y
 - los valores extremos se procesan posteriormente.
- 50 14. Dispositivo de evaluación para determinar la ubicación de una estructura anular que se encuentra en un objeto a examinar mediante tomografía computarizada de rayos X que está configurado de modo que
- 55 - se puede proporcionar un conjunto de datos de volumen determinado mediante tomografía computarizada de rayos X del objeto (5) a examinar,
 - se pueden definir varios planos de sección (S_1 a S_n) a través de la estructura (20) que se encuentra en el objeto (5) y que se va a determinar con respecto a su ubicación espacial,
 - se pueden determinar respectivos conjuntos de datos de intersección a partir del conjunto de datos de volumen que reproducen el objeto (5) en el respectivo plano de sección (S_1),
 - se pueden evaluar los respectivos conjuntos de datos de intersección de la siguiente manera:
 - el conjunto de datos de intersección se puede binarizar para formar un conjunto de datos binarios,
 - se pueden determinar los vóxeles de estructura (s) que reproducen la estructura (20) en el conjunto de datos binarios,
 - se pueden determinar los vóxeles de superficie (f) que reproducen una superficie de objeto del objeto (5) en el conjunto de datos binarios,
 - se puede determinar un conjunto de datos de distancia (A) de modo que a cada vóxel de distancia (a) del conjunto de datos de distancia (A) se asigna un valor de distancia (w) que caracteriza la menor distancia del respectivo vóxel de distancia (a) con respecto a los vóxeles de superficie (f),
 - se pueden determinar los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s) en el conjunto de datos de distancia (A), y
 - se pueden evaluar los valores de distancia (w) de los vóxeles de distancia (a) correspondientes a los vóxeles de estructura (s).
- 60 15. Tomógrafo computarizado de rayos X, con
- 65 - una fuente de rayos X (6) para irradiar un objeto (5) a examinar desde varias direcciones de proyección (ϕ) con radiación de rayos X (9),

ES 2 497 868 T3

- un detector de rayos X (7) para detectar la radiación de rayos X (9),
- un soporte de objeto (8) para colocar el objeto (5) entre la fuente de rayos X (6) y el detector de rayos X (7), y
- un dispositivo de evaluación (14) según la reivindicación 14.

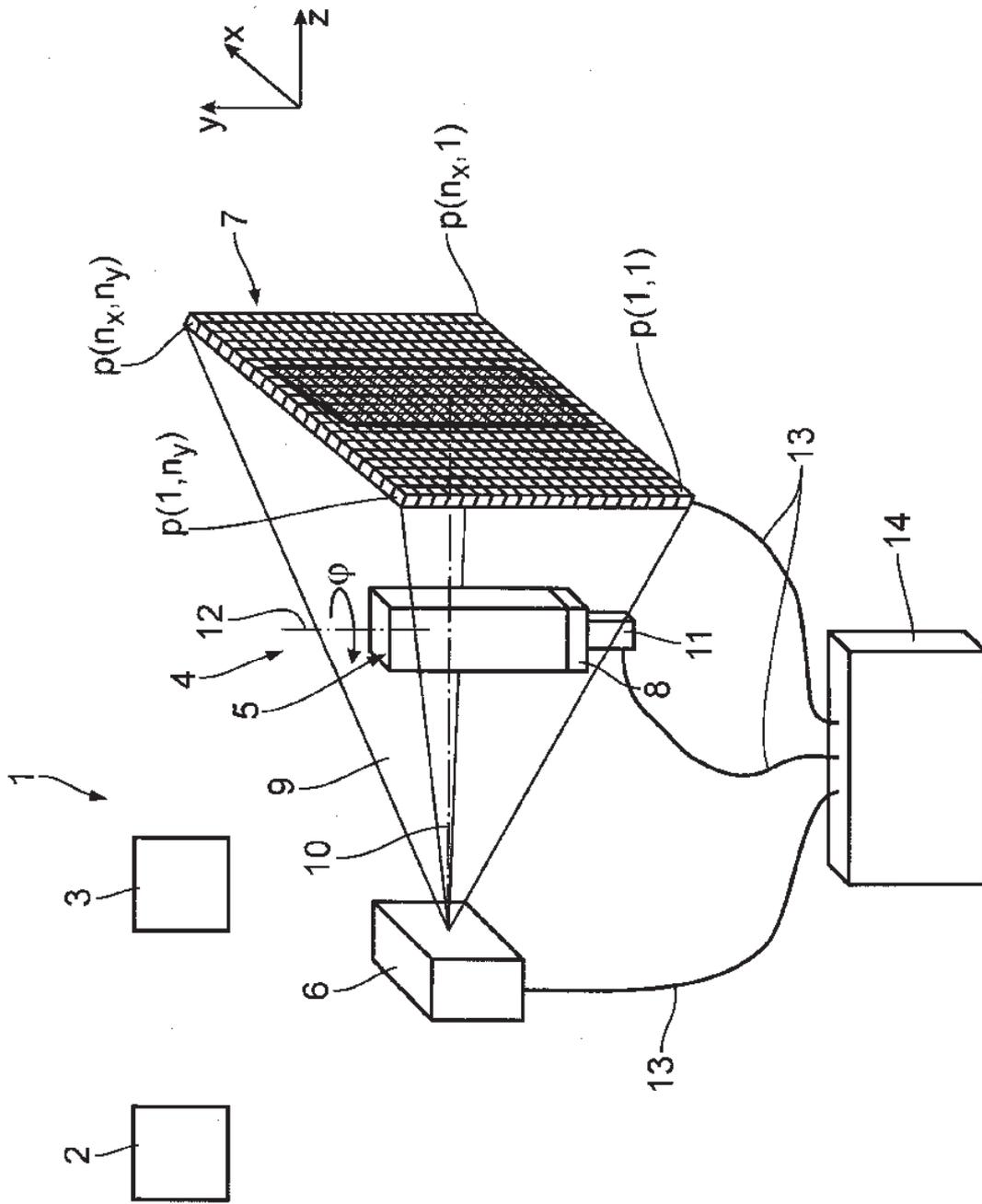


Fig. 1

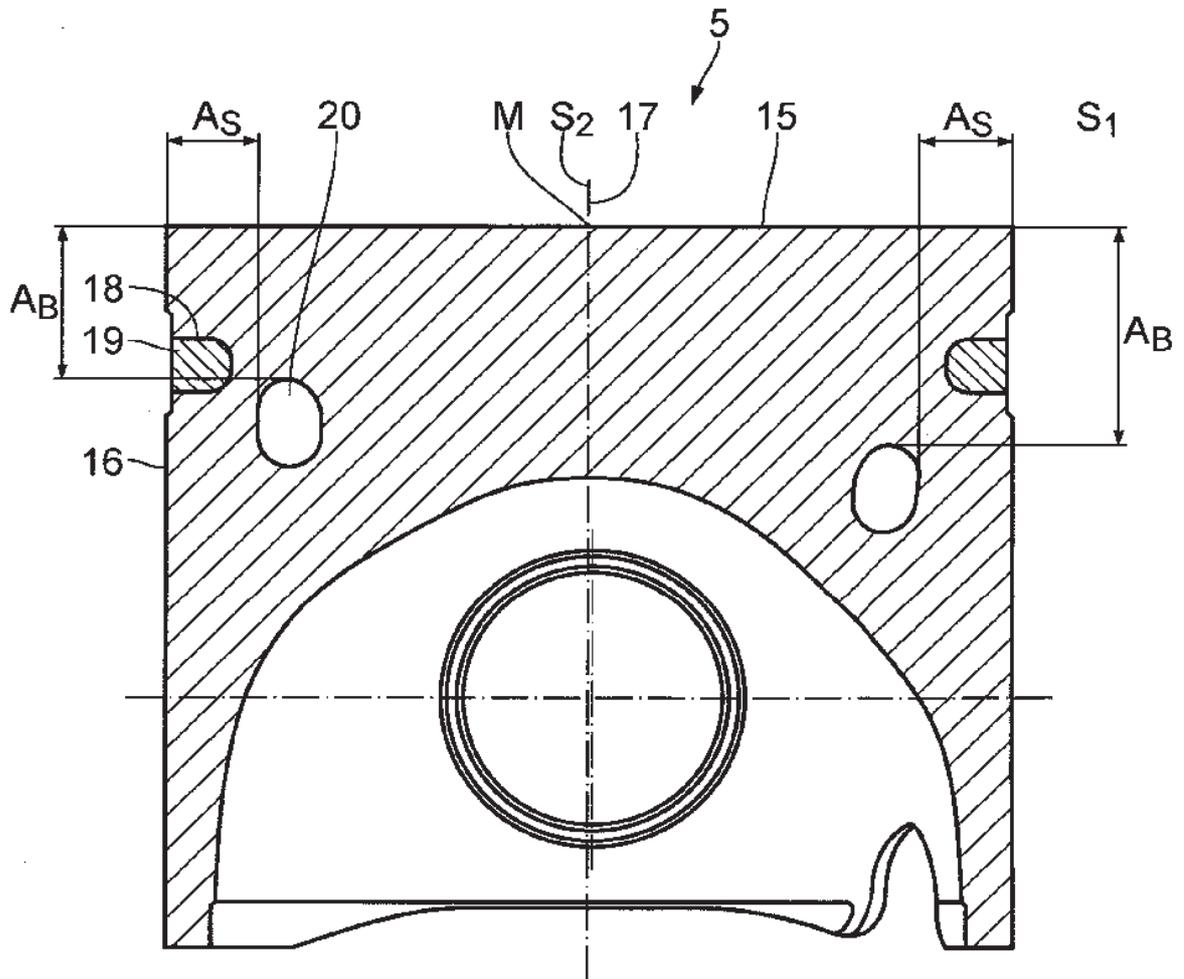


Fig. 2

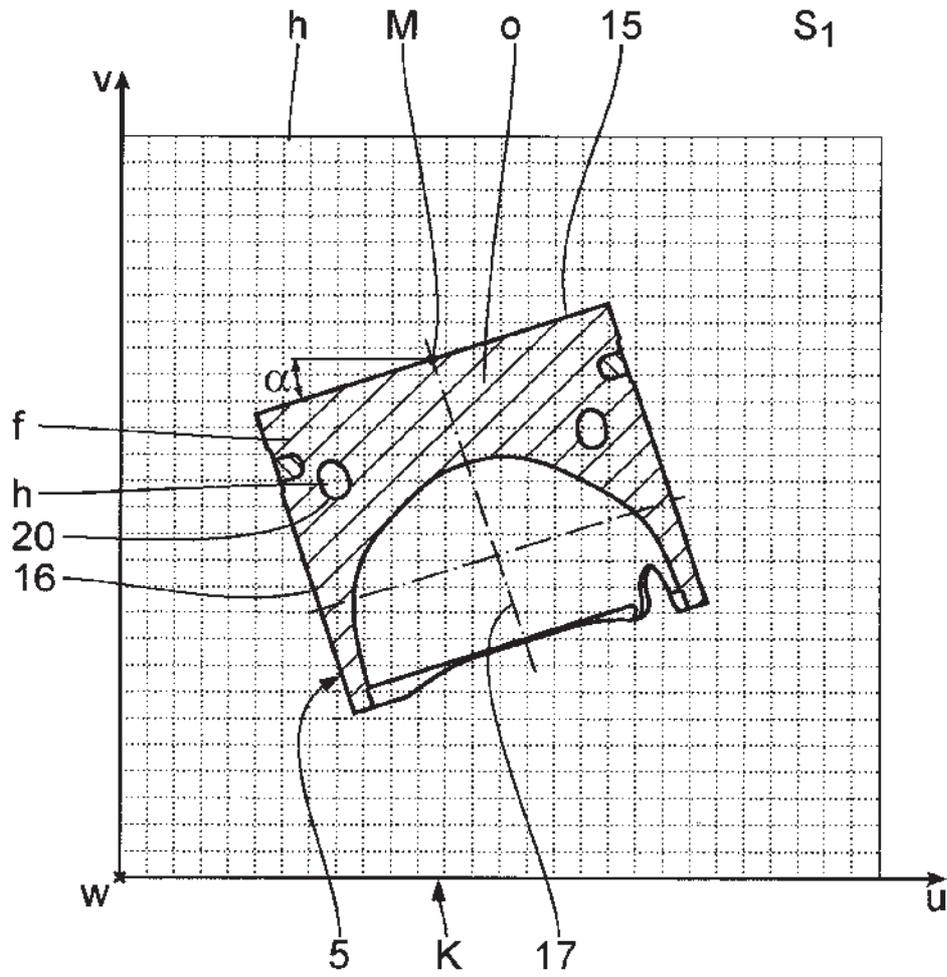


Fig. 3

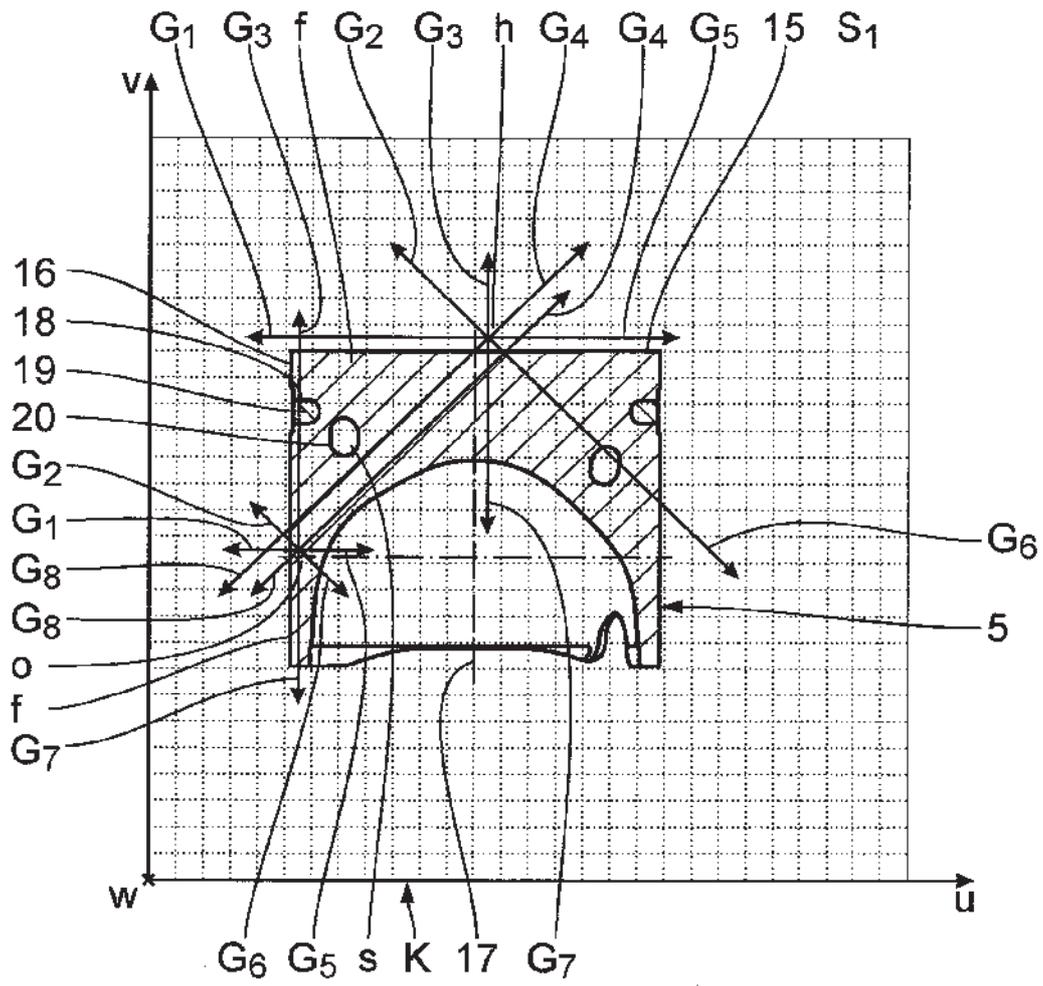


Fig. 4

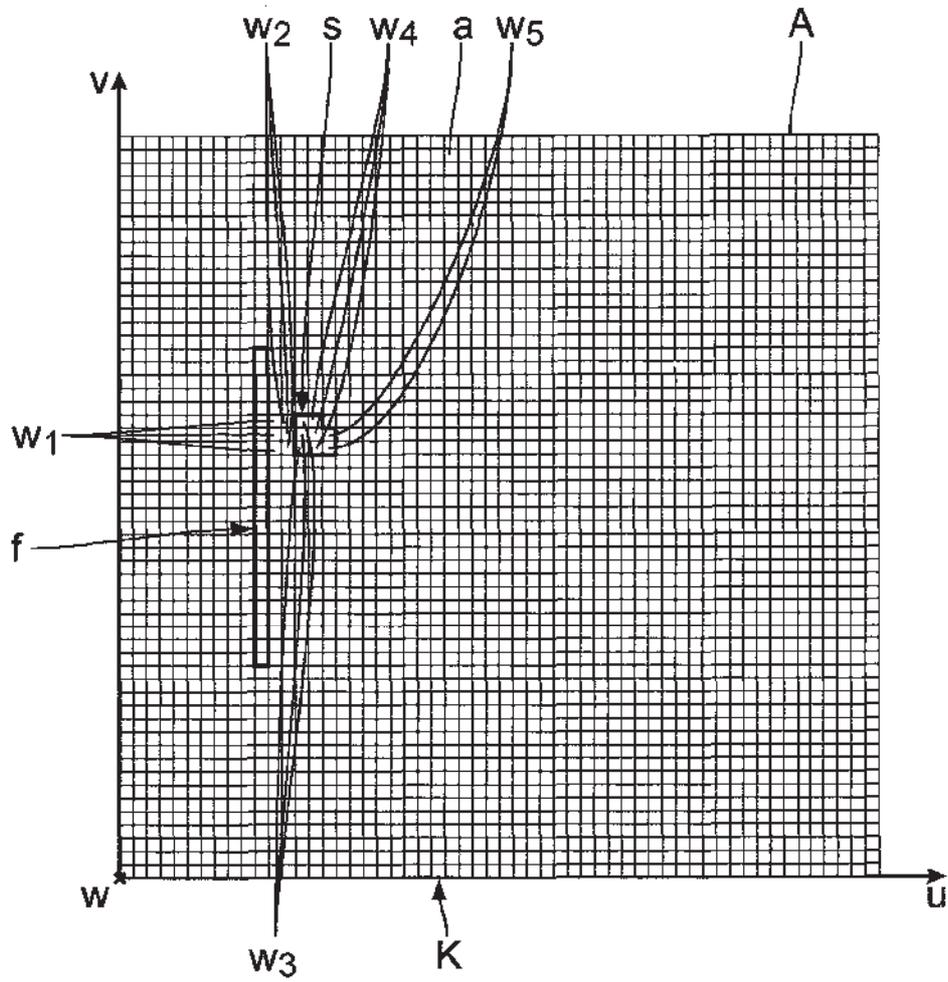


Fig. 5