

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 732 432**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G06T 11/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.08.2014 PCT/DK2014/050252**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2015 WO15028023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2014 E 14758086 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 3039649**

54 Título: **Método para analizar deformaciones en un objeto laminado y sistema acorde**

30 Prioridad:

28.08.2013 DK 201370471

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

22.11.2019

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**ENEVOLDSEN, GEORG HERBORG;
SCHRÖDER, HENNING y
HALLING, KAJ MORBECH**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 732 432 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

Método para analizar deformaciones en un objeto laminado y sistema acorde

5 **1. Campo de la invención**

La presente invención generalmente se refiere a un método para analizar un objeto laminado y un sistema para analizar un objeto laminado. Particularmente, la presente invención se refiere a analizar de manera no destructiva objetos laminados tales como palas de material compuesto para instalaciones de turbina eólica.

10

2. Descripción de la técnica relacionada

15 En general, los defectos en el material de un objeto laminado causan anomalías de deformación que dan como resultado una debilidad estructural que puede afectar negativamente a la calidad de un objeto laminado. En tolerancias particulares y/o problemas que aparecen en una o más etapas de procedimiento de unos procedimientos de fabricación para fabricar objetos laminados representan fuentes de defectos de material, y por tanto anomalías de deformación, y el cumplimiento con las normas de calidad requiere un examen de los productos fabricados a este respecto para aprobar la capacitancia de carga con respecto a futuras aplicaciones.

20 Dependiendo del tipo y el tamaño de productos fabricados que van a examinarse, se usan diversas técnicas para detectar la debilidad en los materiales empleados.

25 Por ejemplo, técnicas de medición que implican métodos de medición por ultrasonido, por radiometría, inductiva o capacitiva y similares permiten examinar el material en la presencia de defectos en pequeños campos de medición. Particularmente con respecto a objetos laminados de gran superficie, por ejemplo, palas de turbina eólica, alas de aeronave, etc., según las técnicas, requieren mucho tiempo puesto que cuando se comprueba una superficie grande con un alto grado de fiabilidad, todo el objeto tiene que dividirse en pequeños campos de medición, donde ambos, fiabilidad y tiempo de medición están directamente relacionados con el número de campos de medición individuales, generalmente que dan como resultado tiempos de medición globales largos. Por otro lado, técnicas de inspección ópticas de superficies grandes permiten llevar a cabo técnicas de medición rápidas que implican sistemas de medición interferométricos tales como, por ejemplo, técnicas de interferencia de mota o técnicas de shearografía.

35 Palas de turbina eólica para instalaciones de energía eólica son estructuras diseñadas aerodinámicamente de gran superficie que están construidas principalmente de materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio o fibra de carbono. La fabricación de estas estructuras de material compuesto grandes es un procedimiento difícil que se realiza normalmente con mano de obra cualificada. Particularmente durante la fabricación de palas para instalaciones de energía de turbina eólica, desperfectos de fabricación tales como delaminación entre capas de material compuesto, arrugas u ondulaciones entre capas de material compuesto, falta de unión o desuniones entre líneas de unión de elementos estructurales y bordes de ataque y de salida de palas y fibras arrugadas o dobladas de materiales de pala de fibra pueden aparecer, por ejemplo, debido a complejidades en el procedimiento de fabricación de pala. Con sus grandes tamaños, las palas de turbina eólica son muy difíciles de inspeccionar, aunque, por otro lado, los posibles desperfectos o daños son de tamaño muy pequeño en comparación con la pala completa. Como muchos desperfectos de fabricación ni siquiera son visibles a la superficie, no puede considerarse que un examen visual de la superficie proporcione un método de verificación efectivo para detectar desperfectos de fabricación y evaluar la calidad de las palas fabricadas.

45 El documento WO 2012/003372 describe el uso de una cámara de shearografía de largo alcance para representar mediante imagen derivados de deformación en grandes distancias. Un mecanismo de estrés de pala y interferometría láser se realizan con el fin de detectar defectos presentes en la superficie de palas de turbina eólica.

50 Sin embargo, métodos de shearografía conocidos no permiten detectar inequívocamente todos los defectos relevantes puesto que, por otro lado, pueden no aparecer defectos acabados en las mediciones, estos defectos que representan "falsos negativos". Por otro lado, señales de artefactos pueden indicar la presencia de defectos en donde no existen defectos, representando estas señales "falsos positivos". En consecuencia, pueden pasarse por alto defectos graves o un objeto examinado puede evaluarse como defectuoso, aunque no esté presente ningún defecto grave.

55 El documento EP 1 061 332 A2 describe un aparato para realizar una shearografía electrónica que comprende una cámara de vídeo para visualizar imágenes de shearograma secuenciales para identificar defectos como objetos que cambian dinámicamente en una visualización animada de una secuencia de shearogramas.

60 El documento US 2006/0050938 A 1 da a conocer aumentar el contraste de imagen mediante escala no lineal del brillo de píxel.

65 En vista de la descripción anterior, es deseable proporcionar un método para analizar un objeto laminado y un sistema para analizar un objeto laminado que permita identificar el tipo, la gravedad y la posición de defectos de

material.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método para analizar un objeto laminado y proporcionar un sistema para analizar un objeto laminado que supere los inconvenientes comentados anteriormente del estado en la técnica.

Sumario de la invención

En un aspecto, la presente invención se refiere a un método para analizar un objeto laminado según la reivindicación 1.

En un procesamiento adicional de la topografía según la realización descrita anteriormente, es posible localizar de manera más exacta defectos en comparación con el uso directo de los propios datos topográficos para localizar defectos, al tiempo que los defectos pueden identificarse y evaluarse de manera más fiable con respecto a su gravedad. De este modo, falsos positivos y falsos negativos pueden identificarse como tales cuando aparecen en los datos topográficos.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el método puede comprender, además, determinar datos topográficos en diferentes estados de carga aplicados al objeto laminado y obtener datos de carga relacionando los datos topográficos procesados adicionalmente a la carga aplicada. Cuando se aplican diferentes estados de carga al objeto laminado y se determinan datos topográficos en los diferentes estados de carga, pueden identificarse defectos de superficie más fácilmente como distorsiones de superficie manifestadas que se desvían en su respuesta tras la aplicación de diferentes estados de carga en comparación con porciones de superficie que no sufren defectos y que se deforman elásticamente en función de las cargas cuando se evalúan datos de carga obtenidos mediante la relación de los datos topográficos procesados adicionalmente con la carga aplicada.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el procesamiento adicional puede comprender integrar los datos topográficos procesados adicionalmente en diferentes estados de carga a lo largo de una curva en el área de superficie para obtener datos de integración relacionados con la carga aplicada. Al integrar datos, pueden obtenerse datos promediados que representan datos de cantidad reducida.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el método puede comprender, además, identificar defectos de superficie basándose en la comparación de los datos de carga o datos de integración con una base de datos que comprende datos de carga o datos de integración conocidos asignados a defectos de superficie conocidos. Por consiguiente, los defectos de superficie pueden identificarse de manera rápida y fácil con una alta precisión.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el método puede comprender, además, presentar visualmente al menos los datos topográficos de procedimiento adicionales a un usuario. El experto en la técnica apreciará que localizar defectos puede efectuarse fácilmente con un alto grado de precisión.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el método comprende además filtrar al menos los datos topográficos procesados adicionalmente según un filtro predeterminado. Por consiguiente, el riesgo de identificar erróneamente señales falsas como defectos de superficie se reduce.

En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el método puede comprender, además, identificar una posición de un defecto de superficie basándose en al menos los datos topográficos de procedimiento adicionales. El experto en la técnica apreciará que, al usar al menos los datos topográficos procesados adicionalmente para identificar una posición de un defecto de superficie, el defecto puede localizarse de manera precisa en la superficie.

En un método ilustrativo adicional, el objeto laminado puede ser una pala de turbina eólica de una instalación de energía eólica y q puede estar fuera de un intervalo desde 1,6 hasta 2,5. El experto en la técnica apreciará que los defectos de superficie de palas de turbina eólica pueden identificarse y caracterizarse rápidamente. Al elegir q fuera del intervalo desde 1,6 hasta 2,5, los datos topográficos procesados pueden procesarse adicionalmente para representar la energía o tensión de superficie de la superficie de manera que los defectos de superficie pueden identificarse fácilmente cuando se atraen por distorsiones de superficie.

De este modo, las anomalías en la energía o tensión de superficie de la superficie pueden usarse para identificar de manera fiable el tipo y la localización de un defecto de superficie.

En un método ilustrativo adicional, el procesamiento adicional de los datos topográficos puede comprender definir n regiones, $n > 1$, que cubren el área de superficie, que se solapan posiblemente entre sí pero no necesariamente, de manera que la unión de las regiones comprende el área de superficie y, en cada región, sumar los datos topográficos procesados adicionalmente para obtener n valores de integración. El experto en la técnica apreciará que sumar los datos topográficos de procedimiento adicionales en cada región puede implicar ponderar los datos

topográficos de procedimiento en cada punto de datos en cada región mediante una función de ponderación apropiada para tener en cuenta errores en la medición. Por tanto, una tendencia de los datos topográficos de procedimiento adicionales en diferentes niveles de "resolución" pueden obtenerse a partir de los datos topográficos procesados adicionalmente.

5 En otro aspecto, la presente invención se refiere a un sistema para analizar un objeto laminado tal como se reivindica en la reivindicación 11.

10 El experto en la técnica apreciará que el sistema según la realización ilustrativa tal como se describió anteriormente puede aplicarse ventajosamente a objetos laminados de diversos tamaños y, particularmente, a objetos laminados que tienen superficies grandes. Además, el sistema posibilita una identificación y localización rápida y fiable de defectos de superficie en una superficie de un objeto laminado.

15 En una realización ilustrativa adicional, el sistema puede comprender, además, un dispositivo de memoria con una base de datos de datos para diversos tipos de defectos de superficie, relacionando los datos valores de carga aplicada a al menos uno de los valores absolutos de datos topográficos y valores de datos topográficos a la potencia de q . El experto en la técnica apreciará que los datos procesados por el procesador pueden proporcionarse a la base de datos que puede "aprender" del funcionamiento del sistema.

20 En una realización ilustrativa adicional, el sistema puede comprender, además, un comparador configurado para comparar datos procesados por el procesador con los datos de la base de datos. El experto en la técnica apreciará que los defectos pueden identificarse de manera fiable por el comparador basándose en la base de datos.

25 En una realización ilustrativa adicional, el dispositivo de memoria puede comprender datos que indican una gravedad de diversas clases de defectos de superficie asociados a valores respectivos de carga aplicada. El experto en la técnica apreciará que una gravedad de defectos puede identificarse de manera fiable e identificación errónea de falsos positivos puede evitarse fácilmente.

30 En una realización ilustrativa adicional en el presente documento, el sistema puede comprender, además, un elemento de corte configurado para generar una imagen cortada en el detector. De este modo, el sistema puede representar ventajosamente un sistema de medición shearográfico.

Breve descripción de los dibujos

35 La invención se describirá a continuación en el presente documento con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la figura 1 ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques esquemático de un sistema según algunas realizaciones ilustrativas de la presente invención;

40 la figura 2a ilustra esquemáticamente, en una vista en perspectiva, dos tipos de defectos en una superficie de un objeto;

la figura 2b ilustra esquemáticamente un patrón de iridiscencia de los defectos tal como se ilustran en la figura 2a;

45 la figura 2c ilustra esquemáticamente un diagrama de pendiente de los defectos tal como se ilustran en la figura 2a, asociado al patrón de iridiscencia en la figura 2b;

50 la figura 2d ilustra esquemáticamente el diagrama topográfico de los defectos tal como se ilustran en la figura 2a a lo largo de la dirección x ;

la figura 2e ilustra esquemáticamente un diagrama de desplazamiento absoluto asociado con la figura 2d;

55 las figuras 3a, 3c, 3e y 3g, respectivamente, ilustran esquemáticamente diagramas de contorno respectivos de pendiente, topografía, desplazamiento y energía, obtenidos mediante mediciones de shearografía según una realización ilustrativa de la presente invención;

60 las figuras 3b, 3d, 3f y 3h, respectivamente, ilustran esquemáticamente diagramas de pendiente, topografía, desplazamiento y energía, asociados con los diagramas de contorno respectivos de las figuras 3a, 3c, 3e, 3g a lo largo de una dirección; y

la figura 4 ilustra esquemáticamente un diagrama que representa energía frente a relaciones de caso de carga según algunas realizaciones ilustrativas de la presente invención.

Descripción detallada

65 La presente invención se refiere a un método para analizar un objeto laminado y a un sistema para analizar un

objeto laminado. Las realizaciones preferidas, tal como se describen posteriormente, ilustran técnicas de interferometría óptica para analizar de manera no destructiva objetos laminados con superficies grandes. En el presente documento, se utilizan diversas técnicas de interferometría óptica para obtener datos relacionados con la topografía de un objeto sometido a examen y, de ahí, determinar datos topográficos del objeto. Los datos topográficos se procesan, además, para identificar el tipo, la gravedad y/o la posición de defectos.

Puede realizarse un método de shearografía para analizar un objeto laminado. En el presente documento, al menos una porción de superficie del objeto laminado se expone a una radiación electromagnética coherente que se detecta, a su vez, por medio de un dispositivo de formación de imágenes. Generalmente, un elemento de corte se dispone en la trayectoria de luz, o bien aguas arriba o bien aguas abajo del objeto laminado, de manera que dos imágenes desplazadas lateralmente del objeto interfieren para formar un patrón de interferencia. En la siguiente descripción de métodos de shearografía, la imagen desplazada lateralmente del objeto provocada por el elemento de corte se denominará imagen cortada. Por tanto, dependiendo del tipo de elemento de corte, o bien una o bien ambas de las imágenes se cortan por medio del elemento de corte, denominándose la imagen o imágenes cortada(s) imágenes cortadas.

Pueden darse elementos de corte ilustrativos mediante prismas cuneiformes, elementos birrefringentes, tales como materiales calcidos, por ejemplo, prismas de Wallenstein y similares. Alternativamente, pueden aplicarse también otros elementos, tales como una crátula de difracción, un espejo de Michaelson o una placa de onda apropiada. Dispositivos de formación de imágenes pueden representarse por cámara de vídeos, cámaras digitales, cámaras de vídeo digitales, dispositivos acoplados cargados (CCD), equipo de detección fotosensible y similares.

Tras deformar el objeto mediante temperatura, presión u otros medios, el patrón de interferencia cambia y, generalmente, la cantidad de cambio depende de la integridad del objeto laminado. Al comparar los patrones de interferencia del objeto laminado en estados deformado y no deformado, se proporciona información en la característica de superficie que permite evaluar la integridad estructural del objeto laminado sometido a examen.

Se observa que, al deformar el objeto laminado, la posición de puntos de reflexión de luz del objeto cambia de manera absoluta y relativa de uno a otro. Es decir, cuando se compara un patrón de interferencia en un estado deformado con el patrón de interferencia en el estado no deformado, el patrón resultante, que, frecuentemente, se denomina "shearograma", proporciona realmente una medida para la pendiente de la deformación a lo largo de la dirección de corte, es decir, la dirección a lo largo de la cual las imágenes se desplazan lateralmente por el elemento de corte, en lugar de representar la topografía de la superficie tal como se obtiene en otras mediciones de interferencia óptica.

Otras técnicas ópticas, denominadas técnicas de fuera de plano, pueden aplicarse en las que se suministra radiación electromagnética coherente a un elemento de escisión de haz antes de iluminar al menos una región de superficie de un objeto laminado. La radiación electromagnética coherente se escinde mediante el elemento de escisión de haz en un haz de medición y un haz de referencia, en el que el haz de medición se dirige posteriormente al objeto laminado y representado por imagen a un dispositivo de formación de imágenes.

La imagen, por consiguiente, obtenida de la superficie se forma mediante un patrón de intensidad de la radiación reflejada en la que cada punto de la superficie actúa como un centro de difracción que contribuye estadísticamente a un patrón de intensidad en el plano de formación de imágenes del dispositivo de formación de imágenes, denominándose, generalmente, dicho patrón de intensidad un patrón de mota. El haz de referencia que también se suministra al dispositivo de formación de imágenes forma un patrón de interferencia junto con el patrón de mota en el plano de imagen del dispositivo de formación de imágenes. Los patrones de interferencia, por consiguiente, obtenidos proporcionan una medida para movimientos de la superficie a lo largo de direcciones fuera del plano de formación de imágenes.

Las denominadas "técnicas en plano" pueden realizarse como técnicas de interferencia ópticamente para examinar ópticamente superficies de objetos laminados. En el presente documento, una radiación electromagnética coherente se suministra a al menos a región de superficie de un objeto laminado que se representa, a su vez, por una imagen en un plano de imagen de un dispositivo de formación de imágenes. La radiación electromagnética coherente puede suministrarse al objeto laminado desde direcciones diferentes, por ejemplo, la radiación puede dirigirse a la región de superficie sometida a examen desde dos direcciones diferentes.

En algunos ejemplos ilustrativos especiales en el presente documento, la radiación puede proporcionarse por medio de dos diferentes fuentes. La radiación suministrada a la región de superficie desde direcciones diferentes se refleja la región de superficie de manera que una imagen o patrón de interferencia se obtiene en el plano de imagen del dispositivo de formación de imágenes. En el presente documento, pueden detectarse movimientos de la región de superficie del objeto laminado a lo largo de direcciones paralelas al plano de formación de imágenes.

Tras comparar imágenes o patrones de interferencia de diferentes estados de carga en técnicas en plano y técnicas de fuera de plano, pueden obtenerse datos que caracterizan deformaciones y/o la topografía de un objeto sometido a examen.

Con respecto a la figura 1, algunas realizaciones ilustrativas especiales se describirán en mayor detalle. En vista de lo comentado anteriormente, el experto en la técnica apreciará que la siguiente descripción solo es para propósitos ilustrativos y otras de las técnicas descritas anteriormente también pueden considerarse.

5 Haciendo referencia ahora a la figura 1, se representa un diagrama de bloques esquemático de un sistema 10 para realizar un método de shearografía. Una fuente 20 de radiación electromagnética coherente se dispone de manera que al menos una región de superficie 35 de un objeto 30 se expone a la radiación electromagnética coherente de la fuente 20.

10 Además, un dispositivo de formación de imágenes 50 se dispone en el sistema 10 para recibir luz emanada desde la región de superficie 35. El sistema 10 comprende además un dispositivo de inducción a estrés 90 para aplicar deformación al objeto 30.

15 En realizaciones ilustrativas, tal como se muestra en la figura 1, la fuente 20 puede comprender un láser 24 y un expansor de haz o iluminador 26 por medio del cual la luz de láser se suministra a al menos la región de superficie 35 del objeto 30.

20 La luz que emana desde la región de superficie 35, luz de láser particular reflejada desde la región de superficie 35, puede representarse mediante imagen por medio de un elemento de formación de imágenes 52 del dispositivo de formación de imágenes 50 en un detector de imagen 54 dispuesto en el plano de imagen del elemento de formación de imágenes 52 tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 1.

25 Tal como se muestra en la figura 1, la luz de láser que se representa mediante imagen en el detector de imagen 54 por el elemento de formación de imágenes 52 puede someterse a un elemento de corte 40 que se dispone aguas arriba del elemento de formación de imágenes 52 del dispositivo de formación de imágenes 50. Sin embargo, la ilustración en la figura 1 ilustra esquemáticamente un prisma como ejemplo del elemento de corte 40, el experto en la técnica apreciará que esto no supone ninguna limitación en la presente invención.

30 El detector de formación de imágenes 54 puede acoplarse a un dispositivo de procesamiento 70 por medio de una línea 62. En algunas realizaciones ilustrativas, la línea 62 puede implementarse mediante una línea de señal para transmitir señales eléctricas, electrónicas y/u ópticas desde el detector de formación de imágenes 54 hasta el dispositivo de procesamiento 70 por cable y/o de manera inalámbrica.

35 El dispositivo de procesamiento 70 puede comprender una unidad de procesamiento central (CPU) 72, uno o más dispositivos de memoria 74 y/o un comparador 76 configurado para acceder a al menos un dispositivo de memoria para recuperar datos guardados y comparar los datos guardados recuperados con datos proporcionados por el detector de formación de imágenes 54. El dispositivo de procesamiento 70 puede comprender, además, (no ilustrados) uno o más extractores lógicos implementados como hardware o software, una tarjeta de vídeo, un puntero de trama, circuitos de captura de vídeo y/o imagen. La CPU puede acoplarse, además, a un dispositivo de presentación visual 80, tal como una pantalla y similar, por medio de una línea de señal 78 para transmitir por cable o de manera inalámbrica señales eléctricas, electrónicas y/u ópticas desde la CPU 72 hasta el dispositivo de presentación visual 80.

45 En funcionamiento, una radiación electromagnética coherente, a continuación, denominada luz, que emana desde el expansor de haz 26 se refleja desde la región de superficie 35. La luz reflejada se somete a una operación de corte por el elemento de corte 40 de manera que dos imágenes desplazadas lateralmente de la región de superficie 35 se representan por imagen en el detector de imágenes 54 por medio del elemento de formación de imágenes 52. De este modo, una imagen de interferencia de una imagen cortada con una imagen de referencia se obtiene mediante las imágenes desplazadas lateralmente tal como se comentó anteriormente, detectándose el patrón de interferencia por el detector de imagen 54. El experto en la técnica apreciará que una de las imágenes desplazadas lateralmente puede representar un patrón de mota de la región de superficie 35 que actúa como una imagen de referencia, al tiempo que la otra imagen puede representar el patrón de mota desplazado lateralmente que representa una imagen cortada.

55 En realizaciones ilustrativas, una primera imagen de interferencia se toma de la región de superficie 35 en una primera condición de estrés impuesta por el dispositivo de inducción a estrés 90, y una segunda imagen de interferencia se toma con el objeto 30 que está en una segunda condición de estrés impuesta por el dispositivo de inducción a estrés 90. Al comparar la segunda imagen de interferencia en la segunda condición de estrés con la primera imagen de interferencia en la primera condición de estrés, puede derivarse un primer shearograma que representa la pendiente de la superficie deformación inducida por el dispositivo de inducción de estrés 90. Por consiguiente, puede obtenerse un segundo shearograma aplicando una tercera condición de estrés o carga al objeto laminado y obteniendo una tercera imagen de interferencia en la tercera condición de estrés. Una comparación de la tercera imagen de corte con una de la primera imagen de interferencia y la segunda imagen de interferencia (dependiendo de si la imagen de interferencia primera o segunda se considera una referencia) pueden proporcionar un segundo shearograma. Por consiguiente, puede obtenerse una pluralidad de shearogramas. Se observa que

cada shearograma representa la pendiente de la deformación presente en el estado de estrés o carga respectivo con respecto al shearograma referenciado. En un ejemplo explícito en el presente documento, el estado o condición descargado puede considerarse que define un estado o condición de referencia con respecto al cual se determinan los shearogramas.

La figura 2a ilustra esquemáticamente una porción de superficie 135 de una superficie de un objeto laminado, tal como por ejemplo una porción de superficie de la región de superficie 35 del objeto laminado 30 tal como se muestra en la figura 1. La figura 2a muestra una protuberancia 140 y una depresión 150 tal como están presentes en la porción de superficie 135 ilustrada.

Lo que se comenta a continuación se realiza con respecto a un sistema de coordenadas KS en el que direcciones x e y orientadas perpendicularmente se entienden que se encuentran dentro del plano representado por imagen correspondiente a la región de superficie 135, mientras que una dirección z va a tomarse como que se extiende perpendicularmente con respecto a las direcciones x e y .

Para facilitar la ilustración, las líneas de coordenadas 142 y 144 se representan con respecto a la protuberancia 140, mientras que las líneas de coordenadas 152 y 154 se ilustran con respecto a la depresión 150. Como resultado de la ilustración esquemática, las líneas de coordenadas 144 y 154 se toman para ser colineales. Además, las líneas de coordenadas 144 y 154 se considera que representan un eje x en la porción de superficie 135 ilustrada. Por consiguiente, las líneas de coordenadas 142 y 152 representan ejes y respectivos de sistemas de coordenadas KS locales respectivamente mapeados asociados con la protuberancia 140 y la depresión 150, respectivamente. La protuberancia 140 se extiende fuera de un plano correspondiente a la porción de superficie 135 que rodea la protuberancia 140 a lo largo de una dirección z (paralela al eje z del sistema de coordenadas KS) en un intervalo caracterizado por los puntos x_D y x_C a lo largo de la línea de coordenada 144. Por consiguiente, se considera que la depresión 150 se extiende fuera del plano correspondiente a la región de superficie 135 que rodea la depresión 150. Además, la depresión 150 se caracteriza por el intervalo x_B a x_A a lo largo de la línea de coordenada 154. Un punto de referencia O se representa en la figura 2a como un punto en la línea de coordenada que se extiende entre la protuberancia 140 y la depresión 150 en alineación con las líneas de coordenadas 144 y 154.

A continuación, se describirá una realización ilustrativa con respecto a una dirección de corte tomada a lo largo del eje x tal como se define por el sistema de coordenadas KS y se representa por las líneas de coordenadas 144 y 154. La figura 2b ilustra patrones de iridiscencia o patrones de interferencia según un shearograma tal como se estableció anteriormente. Particularmente, un patrón de iridiscencia FP1 corresponde a la protuberancia 140, mientras que un patrón de iridiscencia FP2 corresponde a la depresión 150. Se observa que la simetría de la protuberancia 140 y la depresión 150 da como resultado las simetrías especiales de los patrones FP1 y FP2 que representan patrones de círculos concéntricos.

Según explicaciones anteriores, los patrones de iridiscencia FP1 y FP2 corresponden realmente a la pendiente de la deformación, a lo largo de la dirección de corte, provocada por una carga aplicada o condición de estrés inferida por el dispositivo de inducción a estrés 90 en la figura 1A cuando se toma el estado o condición no descargado como referencia.

Los círculos concéntricos en los patrones de iridiscencia FP1 y FP2 representan realmente líneas de contorno de una función de pendiente de la protuberancia 140 y la depresión 150 a lo largo de las líneas de coordenadas 144, 154 (cf. la figura 2a). Por tanto, cuando se ilustra los trazados de contorno como una sección bidimensional a lo largo del eje z en la figura 2b frente a la dirección z , es decir, perpendicular al plano en papel ilustrado en la figura 2b, se obtiene el diagrama de la figura 2c.

La figura 2c ilustra la pendiente de la protuberancia 140 y la depresión 150 tomadas a lo largo de las líneas de coordenadas 144 y 154 y, particularmente, a lo largo de la dirección x que es idéntica a la dirección de corte. El experto en la técnica entenderá que la pendiente representa el primer derivado de la topografía de la superficie 135 (cf. la figura 2a) a lo largo de una línea en la superficie 135 en la figura 2a. A continuación, la topografía a lo largo de la dirección x , es decir a lo largo de las líneas de coordenadas 144, 154 en la figura 2a, se representarán mediante una función $T(x)$ y la pendiente ilustrada en la figura 2c es el primer derivado de $T(x)$ a lo largo de la dirección x en la superficie 135 en la figura 2a.

Particularmente, una curva S1 representa la pendiente de la protuberancia 140 en el intervalo x_C a x_D , mientras que una curva S2 representa la depresión en el intervalo x_B a x_A . Por ejemplo, la pendiente de la curva S1 es positiva cuando empezando desde x_D se mueve a lo largo de la línea de coordenada 144 en la figura 2A a la derecha. En el pico de la protuberancia 140 en la figura 2A, la curva S1 supone una pendiente 0, mientras que continuando adicionalmente a la derecha en la figura 2A, la pendiente pasa a ser negativa. Una descripción acorde se aplica a la curva S2 con respecto a la depresión 150.

Tras integrar la pendiente de $T(x)$ a lo largo de la dirección x , es decir los trazos S1 y S2, respectivamente, las curvas T1 y T2, respectivamente, se obtienen tal como se ilustra en la figura 2d. En el presente documento, las curvas T1 y T2 representan el recorrido de la topografía de superficie tomada a lo largo de las líneas de

coordenadas 144 y 154 en la figura 2a. Particularmente, la curva T1 corresponde a una sección de la protuberancia 140 con un plano definido en la figura 2a por la línea de coordenada 144 y la dirección z. El origen del diagrama ilustrado en la figura 2d corresponde al punto de referencia O en la figura 2a.

5 La figura 2e ilustra el desplazamiento absoluto o valor absoluto de deformación d obtenido mediante la aplicación del valor absoluto a las curvas T1 y T2 tal como se ilustran en la figura 2d. En el presente documento, una curva $d1$ corresponde al valor absoluto de la curva T1, mientras que una curva $d2$ corresponde al valor absoluto de la curva T2. Tal como se ilustran en la figura 2e, el desplazamiento absoluto d representa la magnitud de desplazamiento
 10 impuesta por deformación en un estado cargado con respecto a la superficie en el estado descargado. Particularmente, puede considerarse que el desplazamiento absoluto d representa datos topográficos procesados adicionalmente obtenidos a partir de la topografía representada en la figura 2d.

Por medio de las figuras 3a a 3h, las mediciones realizadas por los inventores se ilustran y se describirán a continuación con respecto a realizaciones ilustrativas adicionales de la presente invención.

15 El diagrama de contorno mostrado en la figura 3a representa un shearograma de una pala de turbina eólica cuando se someta a una medición de shearografía. Los numerales de referencia a1, b1 y c1 indican líneas de contorno en el shearograma 310 que indican potencialmente deformaciones de superficie anómalas.

20 la figura 3b muestra un diagrama del shearograma 310 tomado a lo largo de la línea AA en la figura 3a. Particularmente, una curva 322 del diagrama 320 indica la pendiente de las deformaciones generadas en la región de superficie sometida a medición (cf. descripción de las figuras 2a a 2e). Tal como puede verse a partir del recorrido de curva 322 en la figura 3b, puede considerarse que la región de contorno indicada por a1 representa una porción protuberante con respecto a su superficie circundante. De manera similar, puede considerarse que la
 25 porción de contorno indicada por b1 y la porción de contorno indicada por c1 se atribuyen de manera equitativa a regiones protuberantes con respecto a su superficie circundante.

La figura 3c ilustra un diagrama de contorno relacionado con la topografía de la superficie obtenida integrando la pendiente derivada del shearograma 310. Las regiones de contorno a2, b2 y c2 obtenidas a partir de las correspondientes a las regiones de contorno a1, b1 y c1 en la figura 3A mediante integración se indican en la figura
 30 3c. La figura 3d muestra un diagrama que representa la topografía del diagrama de contorno tomada a lo largo de la línea BB en la figura 3c.

En el presente documento, puede considerarse que una curva 324 representa el recorrido de la topografía tomada a lo largo de una dirección correspondiente a la línea BB en la figura 3c. Tal como puede verse desde el recorrido de la curva 324, la región de contorno a2 en la figura 3c representa una depresión relativamente profunda. Por otro lado, las regiones de contorno b2 y c2, tal como se indica en la figura 3c, representan protuberancias en la superficie sometida a medición.

40 Al aplicar un procesamiento adicional a los datos topográficos tal como se representa en las figuras 3c y 3d se aplica un valor absoluto a los datos topográficos para obtener datos topográficos procesados adicionalmente relacionados con desplazamiento absoluto que indica una medida para la deformación absoluta provocada por una carga. Por tanto, la figura 3e ilustra esquemáticamente el diagrama de contorno correspondiente obtenido tomando el valor absoluto a partir de los datos topográficos. Las regiones de contorno a3, b3 y c3 indican regiones de superficie correspondientes a regiones de contorno a2, b2 y c2 acordes en la figura 3c.
 45

La figura 3f ilustra un diagrama del diagrama de contorno en la figura 3e tomado a lo largo de la línea CC en la figura 3e. Particularmente, una curva 326 en la figura 3f representa el desplazamiento absoluto o deformación en la superficie a lo largo de la línea CC en la figura 3e. Tal como puede verse a partir de la figura 3f, el pico más alto, indicado por a3, de la curva 326 representa el punto central de la región de contorno. Además, el pico indicado por
 50 c3 en la curva de la figura 3f corresponde a la región de contorno c3 en la figura 3e, que indica la protuberancia c2 en la figura 3c.

El procesamiento adicional de los datos topográficos se obtiene aplicando una operación de elevar al cuadrado a los datos topográficos que dan como resultado datos relacionados con $(\text{datos topográficos})^2$. Los inventores entendieron que datos relacionados con $(\text{datos topográficos})^2$ proporcionan una medida para la energía, por ejemplo, relacionados con la deformación de la superficie según el desplazamiento absoluto o la deformación derivada de la topografía. En el presente documento, la operación de elevación al cuadrado se atribuye al entendimiento de las deformaciones en la superficie cuando representan deformaciones elásticas de la superficie y satisfaciendo por tanto
 55 la ley de Hooke. Sin embargo, el experto en la técnica apreciará que contribuciones no elásticas pueden llevar a desviaciones de la ley de Hooke y, por tanto, de la relación cuadrada pura entre energía y deformación.

En un ejemplo comparativo el procesamiento adicional de los datos topográficos puede realizarse con respecto a $(\text{datos topográficos})^q$, en el que q es un número racional > 1 . Por ejemplo, q puede estar en un intervalo desde 1,6 hasta 2,5 o en un intervalo desde 1,8 hasta 2,2. Sin embargo, dependiendo de la gravedad de no elasticidad, tal como está presente particularmente en un material defectuoso, puede tomarse en consideración una desviación más
 65

fuerte desde el exponente de 2, de modo que q mayor que 2, o q igual o mayor que 3, o q menor que 2, o q menor que 1,6.

La figura 3g muestra un diagrama de contorno obtenido mediante el procesamiento adicional de los datos topográficos ilustrados en la figura 3b aplicando una operación de elevar al cuadrado los datos topográficos. Los numerales de referencia a4, b4 y c4 indican regiones de contorno correspondientes a regiones de contorno a2, b2 y c2 respectivas en la figura 3b.

Particularmente, las regiones de contorno a4 y c4 parecen ser de gran relevancia puesto que la densidad de las líneas de contorno dentro de las regiones de contorno a4 y c4 es alta en comparación con la superficie circundante y particularmente con respecto a la región de contorno b4.

La figura 3h ilustra un diagrama del diagrama de contorno en la figura 3g tomado a lo largo de la línea DD en la figura 3g. Una curva 328 en la figura 3h representa el recorrido de energía asociado con la deformación de la superficie a lo largo de la línea DD en la figura 3g. Particularmente, los picos a4 y c4 correspondientes a las regiones de contorno a4 y c4 en la figura 3g indican una energía de deformación muy alta atribuida a las deformaciones presentes dentro de las regiones de contorno a4 y c4. En comparación, la región de contorno b4 en la figura 3g se asocia con energía de deformación baja relativa. A partir de la figura 3h, puede concluirse, por tanto, que las regiones de contorno a4 y c4 que muestran un comportamiento de energía de deformación considerablemente alto indicado por los picos a4 y c4 en la figura 3h identifican realmente una característica crítica de la superficie sometida a estrés o carga aplicada baja. Se hace hincapié en que una conclusión acorde no puede derivarse de manera inequívoca por las figuras 3a y 3c y/o las figuras 3b y 3d solamente. Además, las figuras 3a a 3d que sugieren que las regiones de contorno b1 y b2 respectivas son relevantes, llevan, por tanto, a un falso positivo. En cambio, las figuras 3e a 3g permiten una identificación fácil y rápida de defectos en la superficie, concretamente a4 y c4 en los ejemplos ilustrados.

En algunas realizaciones ilustrativas de la presente invención, puede proporcionarse una base de datos que tiene datos procesados adicionalmente, tal como datos relacionados con deformación/desplazamiento absoluto y datos de energía y/o datos deformación/desplazamiento absoluto correlacionados con respectivamente la carga aplicada y/o datos de energía correlacionados con carga respectivamente aplicada. Adicional o alternativamente, datos procesados adicionales asignados a defectos conocidos y/o correlacionados con información con respecto a la gravedad de los defectos identificados respectivamente pueden proporcionarse, además, por la base de datos.

En funcionamiento, un shearograma medido puede procesarse para obtener datos topográficos asociados con el shearograma. Los datos topográficos obtenidos pueden, en una etapa siguiente, procesarse adicionalmente para proporcionar datos topográficos procesados adicionalmente, tal como datos de deformación/desplazamiento absoluto, datos relacionados con la energía, datos de carga relacionados con la energía en los que los datos de energía se correlacionan con la carga aplicada, estos datos de carga de deformación/desplazamiento absoluto en los que se correlacionan datos de deformación/desplazamiento absoluto con datos de carga aplicados y datos de defecto de gravedad en los que al menos uno de datos deformación/desplazamiento absoluto y datos de energía de defectos conocidos y/o identificados previamente se correlacionan con información que indica la gravedad del defecto, para identificar al menos uno de un tipo, una gravedad y una posición de un defecto. El experto en la técnica apreciará que, en el presente documento, pueden aplicarse técnicas de evaluación adicionales, tal como aplicar transformaciones de Fourier a datos guardados y/u obtenidos para comparar firmas de Fourier con el fin de emparejar datos medidos con datos presentes en la base de datos, tal como frecuencias de espacio y similares. Adicionalmente, los datos procesados adicionalmente pueden procesarse adicionalmente aplicando filtros para aumentar una señal con respecto a la relación de ruido y/o suprimir el ruido.

Los datos topográficos se procesan, además, tomando el valor absoluto de los datos topográficos para obtener datos de desplazamiento absoluto. Alternativamente, los datos topográficos se someten a una operación de elevación al cuadrado para obtener datos de energía. Los datos de desplazamiento absoluto pueden someterse a una operación de elevación al cuadrado. En general, los datos relacionados con energía se obtienen tomando el uno de datos topográficos y datos de desplazamiento absoluto a la potencia de q , siendo q un número racional mayor tal como se describió anteriormente para los datos de desplazamiento absoluto, y $q=2$ para los datos topológicos. Adicionalmente, pueden producirse datos de defecto de gravedad en los que al menos uno de los datos de desplazamiento absoluto y datos de energía de defectos conocidos y/o identificados previamente se correlacionan con información que indica la gravedad del defecto, para identificar al menos uno de a tipo, gravedad y posición de un defecto.

En un ejemplo ilustrativo adicional de operación y procesamiento de datos, al menos dos, preferiblemente todos los cuatro conjuntos de datos que incluyen el shearograma, los datos topográficos, los datos de desplazamiento absoluto, y los datos de energía, posiblemente uno o cada uno mejorado adicionalmente por el procesamiento de filtrado o de transformación de Fourier descrito anteriormente, se consideran juntos y en diferenciación entre sí para analizar resultados de medición y proporcionar una capacidad de detección de defecto mejorada.

En particular, cuando se usan los cuatro conjuntos de datos, los datos a partir de un conjunto pueden usarse para

interpretar o complementar datos de otro, por ejemplo, el respectivo conjunto de datos de nivel superior siguiente, para superar de ese modo ambigüedades potenciales en la interpretación de datos.

En algunos ejemplos ilustrativos adicionales, datos de desplazamiento absoluto y/o datos relacionados con energía pueden correlacionarse con la carga aplicada para obtener datos de carga relacionada con la energía.

El procesamiento adicional de los datos topográficos puede comprender especificar una partición de un campo de medición iluminado por radiación electromagnética en una superficie sometida a examen definiendo n regiones, $n > 1$, dentro del campo de medición de manera que el campo de medición se cubre por la unión de las n regiones, la unión de las n regiones pueden considerarse como representativas de una teselación del campo de medición, con posiblemente, pero no necesariamente, las n regiones solapándose entre sí. Posteriormente, los datos topográficos procesados adicionalmente (datos de deformación/desplazamiento absoluto y/o datos de (datos topográficos)²) pueden sumarse en cada región de manera que se obtienen n valores de integración, atribuyéndose cada valor de integración a una región respectiva de las n regiones.

En un ejemplo ilustrativo, las n regiones pueden elegirse en asociación de píxeles de un dispositivo de detección (por ejemplo, a CCD o similar) de manera que cada región de las n regiones pueden asociarse a uno o más píxeles del dispositivo de detección. De este modo, cada región puede representar uno o más valores obtenidos por uno o más píxeles.

Al sumar valores de medición asociados a los píxeles, puede realizarse la integración numérica de los valores de medición en el campo de medición. El experto en la técnica apreciará que, por consiguiente, pueden obtenerse integrales de línea en lugar de integrales de área, por ejemplo, eligiendo una teselación de una línea y sumando valores de medición a lo largo de la línea. Por ejemplo, una línea puede representarse por un subconjunto de regiones de la teselación que cubre o que se aproxima a la línea.

El experto en la técnica apreciará que pueden realizarse sumas aplicando una función de ponderación a cada región antes de sumar, teniendo la función de ponderación en cuenta efectos tales como errores en sistemas ópticos (por ejemplo, anomalías de lente, etc.), características del material sometido a examen (por ejemplo, características térmicas cuando se aplican mecanismos de inducción de estrés térmico, desviaciones de la ley de Hooke debidas a inelasticidad, etc.) y similares. Al seleccionar subparticiones de la partición en n regiones tomando simplemente un promedio una región con sus regiones directamente adyacentes, puede obtenerse un engrosamiento del conjunto de datos de integración que puede entenderse como un "aumento" del campo de medición.

Por ejemplo, puede obtenerse un valor de integración promediado formando un valor promedio de ponderación de una región dentro de un entorno determinado de la región, en el que una región del entorno puede ponderarse según una función de ponderación predeterminada (por ejemplo, una función constante, una medida estadística, una función dependiente de la distancia y similares). De este modo, puede asignarse un valor de integración promediado a cada región para obtener un conjunto de valores de integración promediados o solamente a un determinado subconjunto de regiones del conjunto de n regiones para obtener un conjunto engrosado de valores de integración promediados.

La figura 4 ilustra una medición ilustrativa proporcionada por los inventores en la que se muestran datos de carga de energía. Particularmente, la figura 4 represente una relación gráfica entre energía y la carga respectivamente aplicada caso a caso al objeto laminado en kilogramos. La energía tal como se traza en la ordenada puede obtenerse calculando numéricamente un valor de energía integrando datos de energía a lo largo de una dirección dentro del shearograma o en una región de superficie determinada del shearograma tal como se describió anteriormente. En el presente documento, las curvas A, B, C, D, y E representan valores de energía obtenidos integrando valores de energía a lo largo de diferentes secciones de caja en una caja de medición de una región de superficie sometido a examen. Al comparar cada una de las curvas A, B, C, D y E con datos de carga de energía de una base de datos es posible identificar defectos presentes en la sección de caja. Por ejemplo, la curva C se parece a datos que indican un defecto de arruga de laminado, mientras que curva D representa defecto de laminado torcido.

Yendo más allá, la curva E representa un defecto tanto torcido como delaminado. Finalmente, en modos similares, las curvas A y B pueden caracterizarse como que proporcionan un comportamiento normal. Por tanto, es posible identificar de manera fiable y rápida el tipo y gravedad de un defecto. Tal como puede verse en conexión con la figura 3a to 3g, es posible, además, localizar los defectos.

En resumen, la presente invención se refiere a un método para analizar un objeto laminado y a un sistema para analizar un objeto laminado. Las realizaciones ilustrativas en el presente documento se refieren a las técnicas de interferometría óptica para analizar de manera no destructiva objetos laminados con superficie grande utilizados para obtener datos relacionados con la topografía de un objeto sometido a examen y para procesar adicionalmente los datos topográficos obtenidos para identificar el tipo y/o la gravedad y/o la posición de defectos de superficie. Las técnicas de interferometría óptica a modo de ejemplo pueden comprender shearografía, métodos holográficos u otras técnicas que implican interferometría óptica.

REIVINDICACIONES

1. Método para analizar un objeto laminado (30), que comprende:
 - 5 exponer un área de superficie del objeto laminado a una radiación electromagnética coherente;
 - detectar un patrón de interferencia inducido por la radiación electromagnética coherente reflejada por el área de superficie;
 - 10 determinar datos topográficos del área de superficie basándose en el patrón de interferencia; caracterizado por
 - procesar adicionalmente, los datos topográficos
 - 15 tomando el valor absoluto de los datos topográficos para obtener datos de desplazamiento absoluto y elevar los datos de desplazamiento absoluto a la potencia de q , en el que q es un número racional y $q > 1$, o
 - sometiendo los datos topográficos a una operación de elevación al cuadrado para obtener datos de energía.
 - 20
2. Método según la reivindicación 1, que comprende, además, aplicar diferentes estados de carga al objeto laminado para determinar datos topográficos procesados adicionalmente en los diferentes estados de carga y obtener datos de carga relacionando los datos topográficos procesados adicionalmente con la carga aplicada.
- 25
3. Método según la reivindicación 2, en el que un procesamiento adicional comprende integrar los datos topográficos procesados adicionalmente en los diferentes estados de carga a lo largo de una curva en el área de superficie para obtener datos de integración relacionados con la carga aplicada, y, opcionalmente, comprender, además, identificar defectos de superficie basándose en la comparación de los datos de carga o datos de integración con una base de datos que comprende datos de carga o datos de integración conocidos asignados a defectos de superficie conocidos.
- 30
4. Método de una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende, además, presentar visualmente al menos los datos topográficos procesados adicionalmente a un usuario.
- 35
5. Método de una de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además, filtrar al menos los datos topográficos procesados adicionalmente según un filtro predeterminado para aumentar una señal con respecto a la relación de ruido y/o suprimir el ruido.
- 40
6. Método de una de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende, además, identificar una posición de un defecto de superficie basándose en al menos los datos topográficos procesados adicionalmente.
7. Método de una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el objeto laminado es una pala de turbina eólica de una instalación de energía eólica y q está fuera de un intervalo desde 1,6 hasta 2,5.
- 45
8. Método de una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el procesamiento adicional de los datos topográficos comprende definir n regiones, $n > 1$, cubrir el área de superficie de manera que la unión de las regiones comprende el área de superficie y sumar en cada región los datos topográficos procesados adicionalmente para obtener n valores de integración.
- 50
9. Método de una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende, además, obtener al menos dos conjuntos de datos, y complementar datos de un conjunto de datos con datos obtenidos de otro conjunto de datos, proporcionándose cada uno de los conjuntos de datos por una de dichas etapas de detección de un patrón de interferencia, determinando datos topográficos, tomando el valor absoluto de los datos topográficos, y elevando los datos topográficos a la potencia de q .
- 55
10. Método de una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que procesar adicionalmente los datos topográficos comprende presentar visualmente los cuatro conjuntos de datos que incluyen el patrón de interferencia, los datos topográficos, los valores absolutos de los datos topográficos y los datos topográficos elevados a la potencia de q , según la reivindicación 1, permitiendo la evaluación de los datos de medición complementando datos de un conjunto con información obtenida de otro conjunto.
- 60
11. Sistema para analizar un objeto laminado (30), que comprende:
 - 65 una fuente (20) de radiación electromagnética que proporciona radiación de medición y radiación de referencia;

- un detector (54) configurado para detectar la radiación electromagnética y para proporcionar datos; y
- 5 un procesador (70) configurado para procesar datos proporcionados por el detector y para determinar datos topológicos basándose en los datos proporcionados,
- caracterizado porque el procesador está configurado, además, para procesar adicionalmente los datos topográficos
- 10 tomando el valor absoluto de los datos topográficos para obtener datos de desplazamiento absoluto y elevar los datos de desplazamiento absoluto to la potencia de q , siendo q un número racional y $q > 1$, o
- 15 sometiendo los datos topográficos a una operación de elevación al cuadrado para obtener datos de energía.
12. Sistema según la reivindicación 11, que comprende, además, un dispositivo de memoria (74) que comprende una base de datos de datos para diversos tipos de defectos de superficie, relacionando los datos valores de carga aplicada con al menos uno de los valores absolutos de valores de datos topográficos de datos topográficos con la potencia de q .
- 20 13. Sistema según la reivindicación 12, que comprende, además, un comparador (76) configurado para comparar datos procesados por el procesador con datos de la base de datos.
- 25 14. Sistema según la reivindicación 12 o 13, en el que el dispositivo de memoria que comprende datos que indican la gravedad de diversas clases de defectos de superficie asociados con valores respectivos de la carga aplicada.
15. Sistema de una de las reivindicaciones 11 a 14, que comprende, además, un elemento de corte (40) configurado para generar una imagen cortada en el detector.
- 30

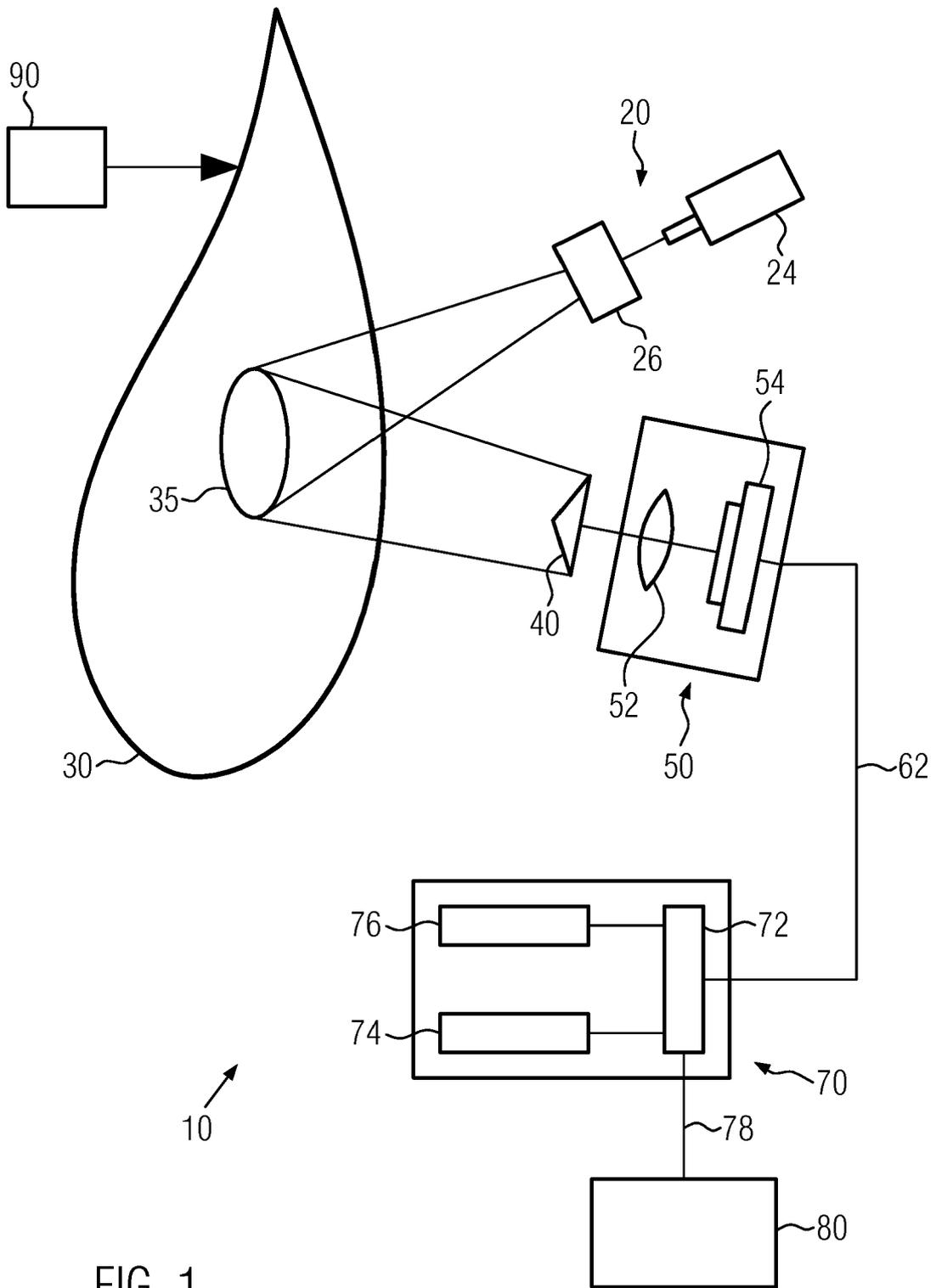


FIG. 1

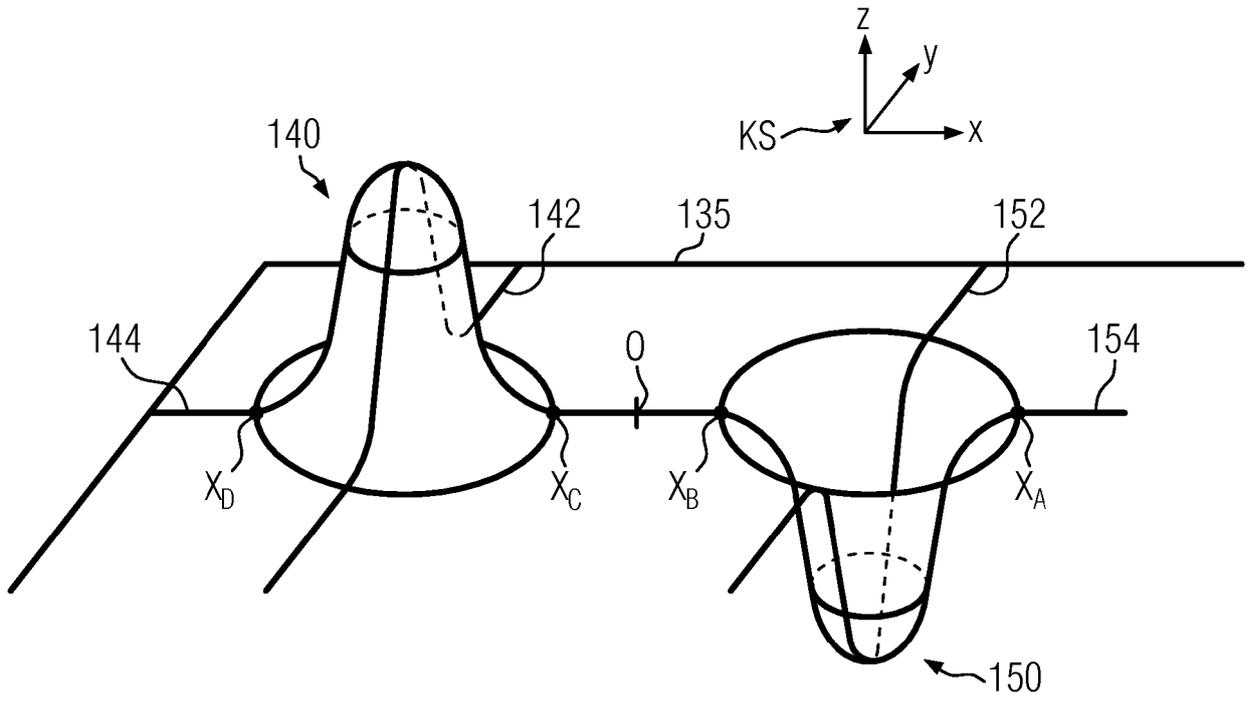


FIG. 2a

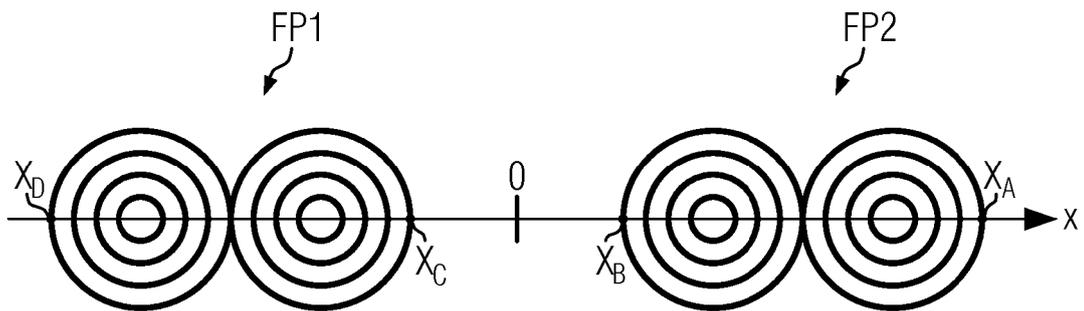


FIG. 2b

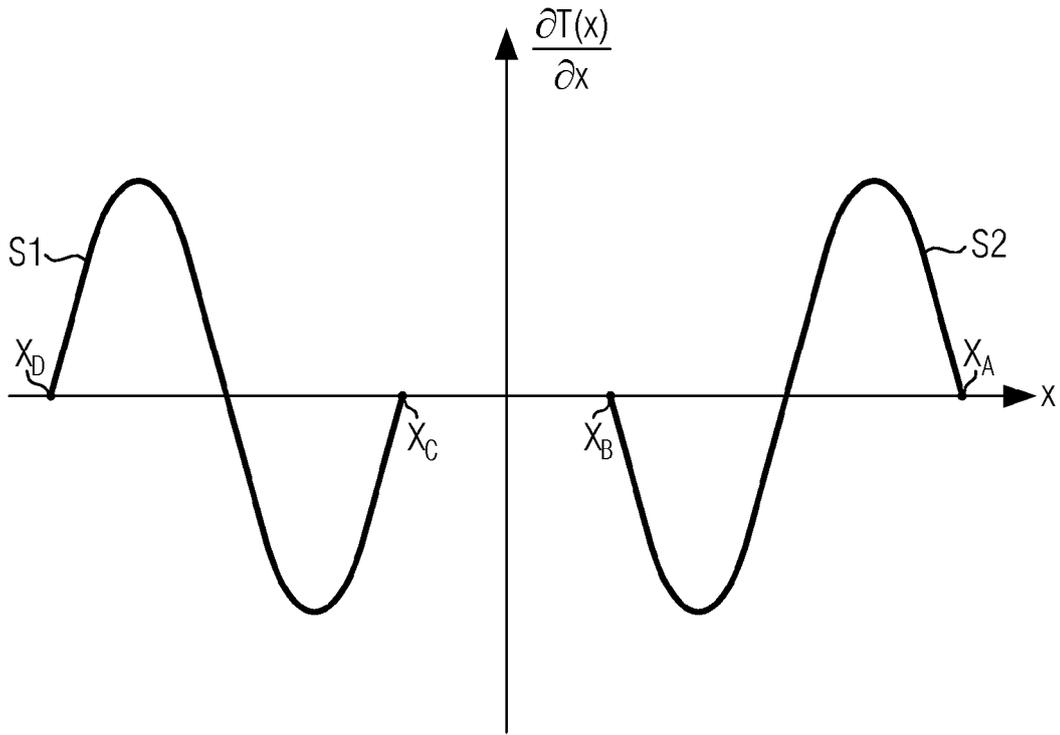


FIG. 2c

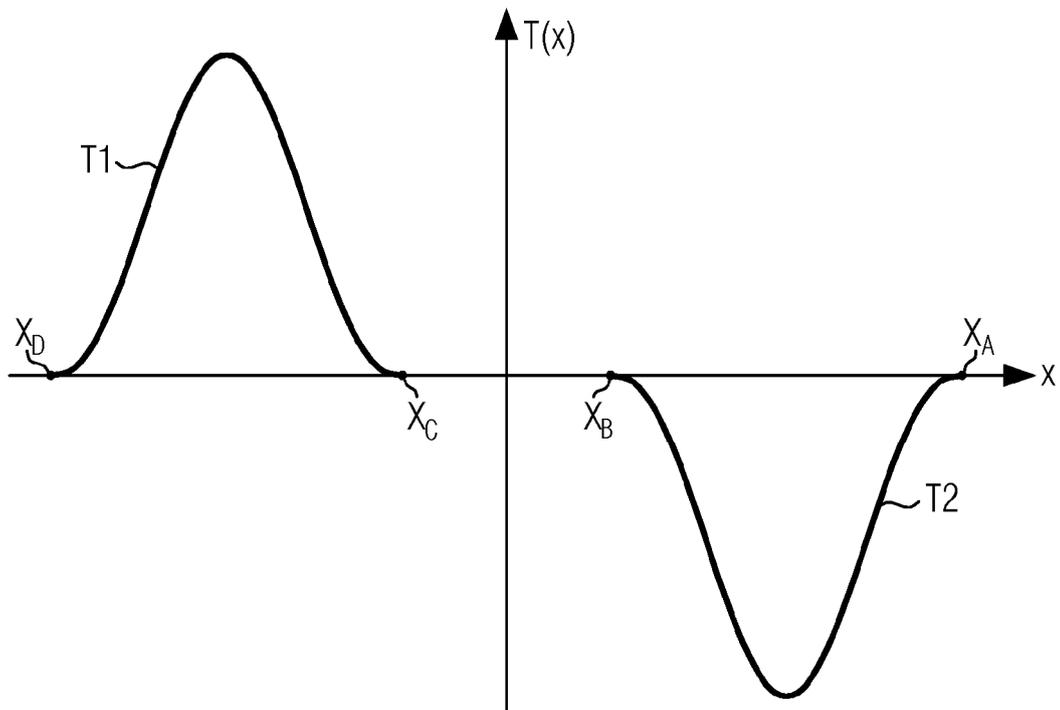


FIG. 2d

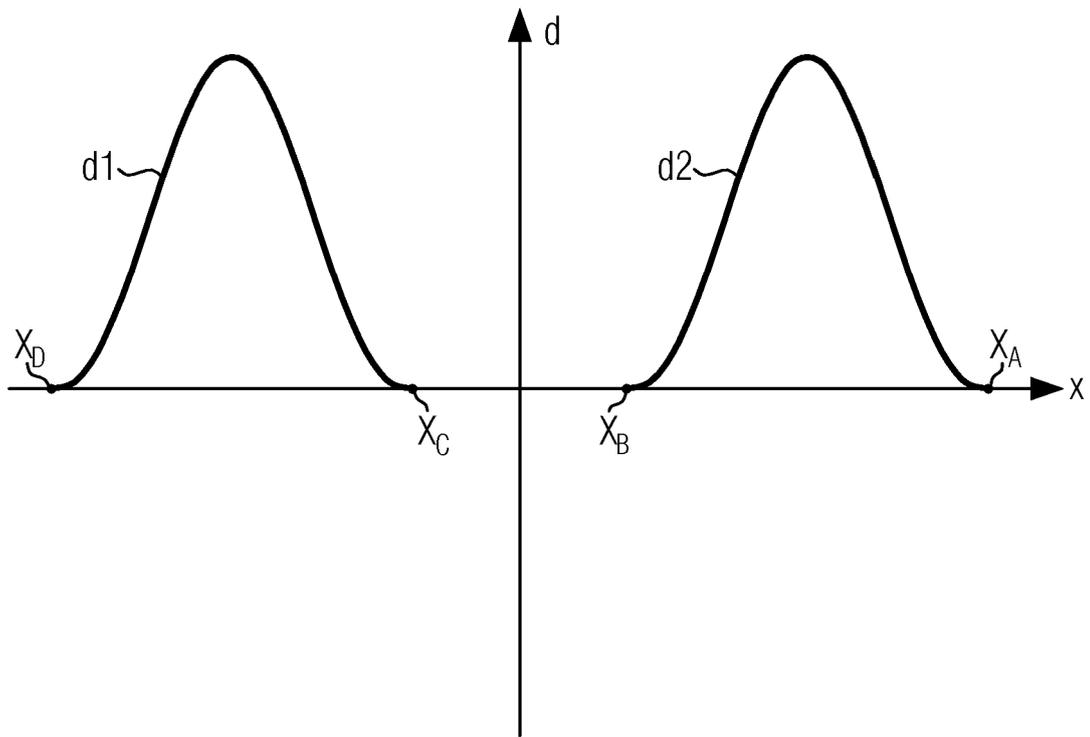


FIG. 2e

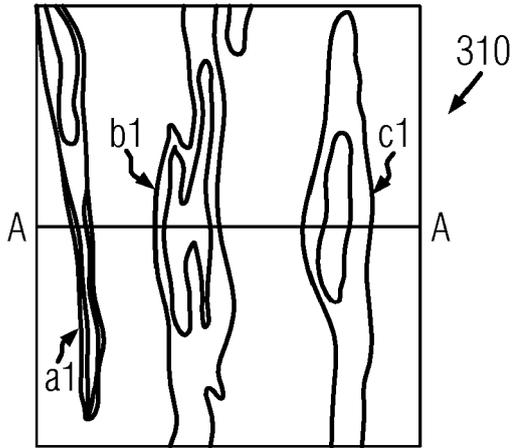


FIG. 3a

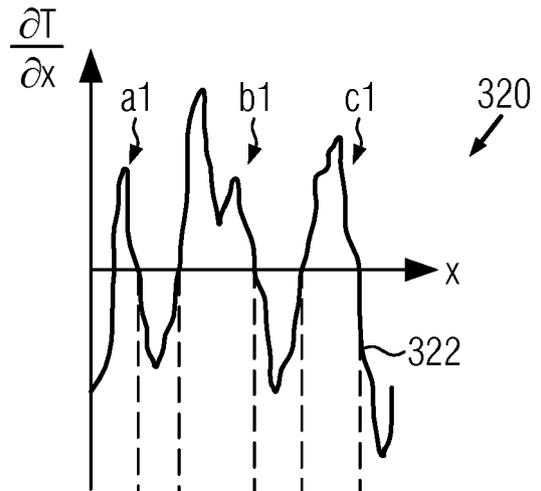


FIG. 3b

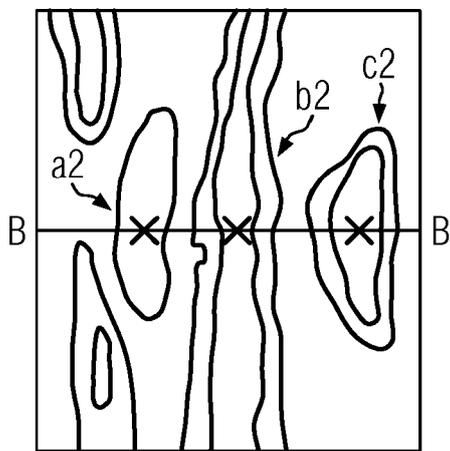


FIG. 3c

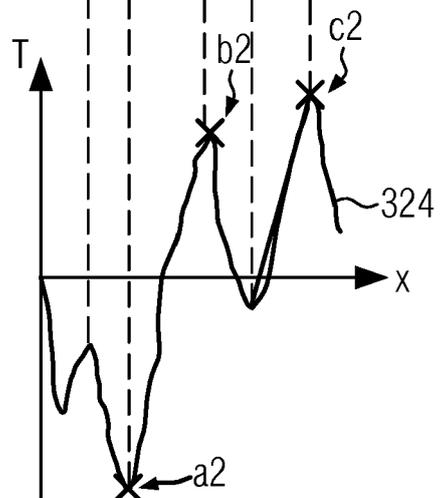


FIG. 3d

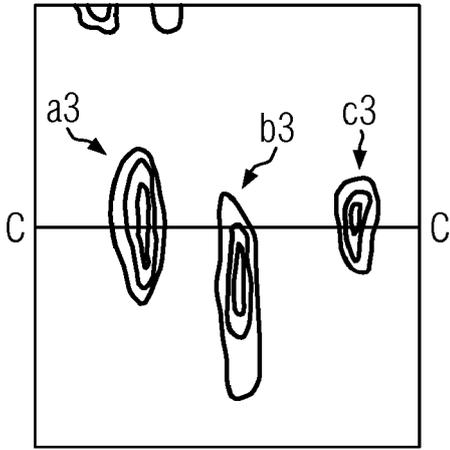


FIG. 3e

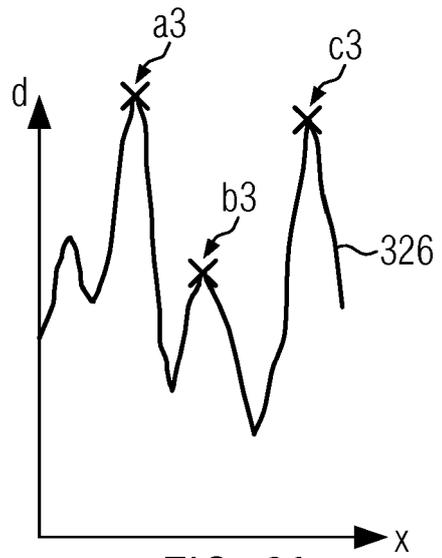


FIG. 3f

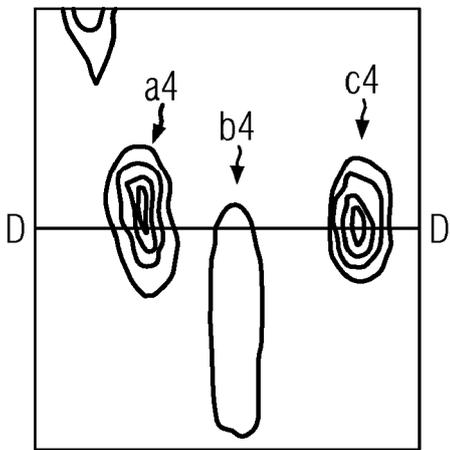


FIG. 3g

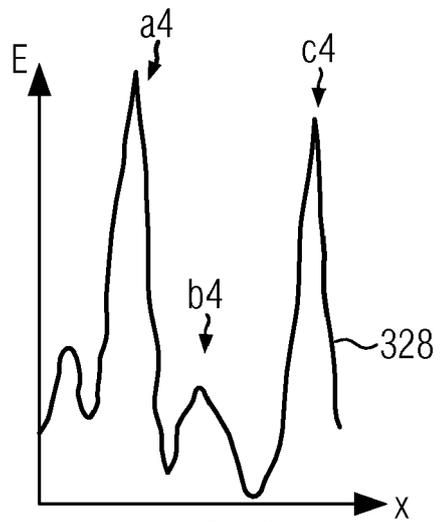


FIG. 3h

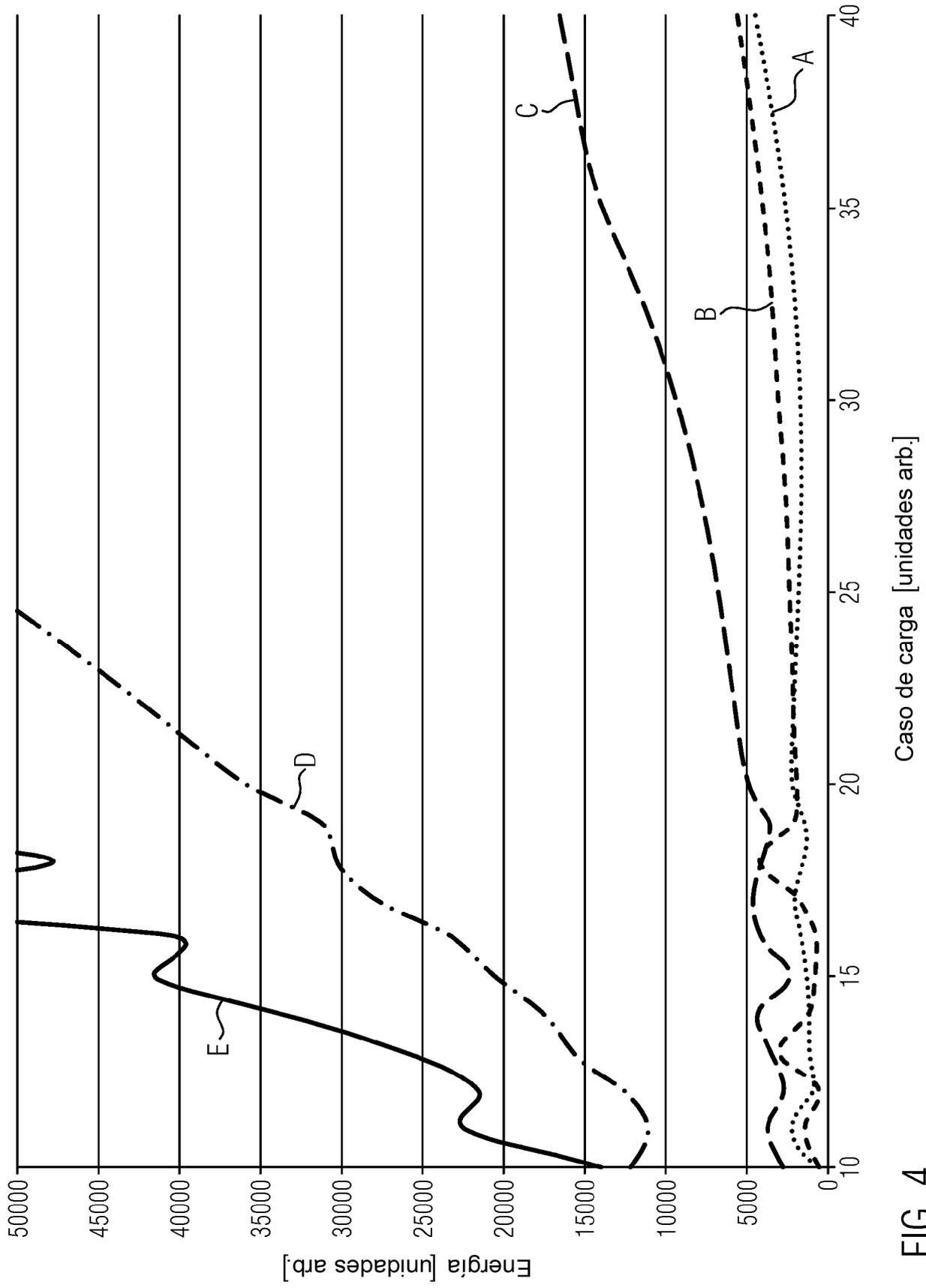


FIG. 4