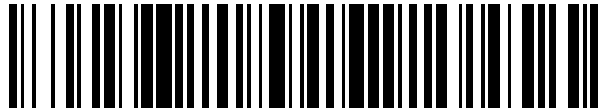


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 884 158**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/16** (2006.01)

**G01K 11/32** (2011.01)

**G01L 1/24** (2006.01)

**G01L 1/26** (2006.01)

**G01M 11/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2018 PCT/IB2018/000585**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2018 WO18220436**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2018 E 18732869 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.06.2021 EP 3631356**

54 Título: **Procedimiento para determinar la deformación y equipo asociado**

30 Prioridad:

**02.06.2017 WO PCT/IB2017/000682**

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

**10.12.2021**

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.0%)  
24-26 Boulevard d'Avranches  
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**AMOURAK, MOUNIR;  
RABELO NUNES CAMPOS, THIAGO;  
PIERRET, HERVÉ;  
KRAUTH, PIERRE-JEAN;  
SERT, DOMINIQUE;  
IEZZI, JOSEPH y  
NOGUES, MICHEL**

74 Agente/Representante:

**PONTI & PARTNERS, S.L.P.**

ES 2 884 158 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 para determinar la deformación y equipo asociado

5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento para determinar la deformación de un equipo en contacto con material caliente y al equipo asociado.

**[0002]** Tal como lo conoce el experto en la materia, algunos equipos comprenden una cara interna (o caliente) en contacto con material caliente y una cara externa (o fría) opuesta a esta cara interna. Este es especialmente el caso de un alto horno que generalmente comprende una pared interna parcialmente cubierta con equipos que definen 10 placas (o duelas) de enfriamiento. En el resto del texto, el término placas o duelas de enfriamiento se usará indiferentemente.

**[0003]** Por ejemplo, en el caso de una placa de enfriamiento, la cara interna puede comprender nervaduras, 15 paralelas entre sí, y ranuras, también paralelas entre sí y cada una de las cuales separa dos nervaduras adyacentes, que permiten el anclaje de un gunitado o revestimiento de ladrillo refractario o de una capa de acreción dentro del alto horno. La placa de enfriamiento también está equipada con tubos de enfriamiento que se extienden a lo largo de la cara externa de la duela para mantenerla enfriada mientras está en funcionamiento.

20 **[0004]** Este cuerpo de duela sufre deformaciones debido a la dilatación diferencial vinculada a la fijación de la duela a la pared del alto horno y a las restricciones térmicas a las que se somete la duela. Estas deformaciones, que aumentan con el tiempo, resultan principalmente en una curvatura (o flexión) en una sección transversal vertical que a menudo se denomina "efecto plátano". La magnitud de esta curvatura puede variar de un lugar a otro en el mismo cuerpo de duela.

25 **[0005]** Las deformaciones de la duela pueden inducir una protuberancia de una parte de la duela en el horno que será golpeada preferentemente por los materiales cargados en el horno. Esto inducirá un desgaste prematuro de la duela y puede conducir a una rotura en la pared del horno que ya no estaría protegida. Por lo tanto, sería útil 30 monitorizar las deformaciones de una duela para reemplazarla cuando la magnitud de sus deformaciones alcance un umbral predefinido.

**[0006]** Pero es muy difícil realizar tal monitorización debido al entorno muy restrictivo y también debido a la falta de espacio disponible sobre o en la duela, y más en general en un equipo sometido a condiciones calientes en su cara interna.

35 **[0007]** El documento DE102008059856 describe un sensor de presión para determinar distribuciones de presión en una superficie con alta fiabilidad y precisión. Este sensor comprende al menos una fibra óptica que comprende varias rejillas de fibra, deformándose estas rejillas según la presión ejercida sobre la superficie donde se encuentran. Este sensor no permite determinar y monitorizar la deformación del equipo.

40 **[0008]** El documento US2011/0144790 describe sistemas y procedimientos para monitorizar condiciones térmicas en conjuntos de procesamiento de materiales, tales como reactores de temperatura elevada. Las fibras ópticas se colocan en conductos formados o instalados en las paredes del horno y se utilizan como sensores térmicos. Este sistema y procedimiento no permite determinar y monitorizar la deformación del equipo.

45 **[0009]** El documento US2009/285521 describe un sensor de fibra óptica para detectar esfuerzos con una fibra óptica que incorpora en el mismo una pluralidad de rejillas para reflejar haces de luz que tienen determinadas longitudes de onda. Este sensor no permite determinar y monitorizar la deformación del equipo.

50 **[0010]** Por lo tanto, un objetivo de la invención es permitir la determinación y monitorización de las deformaciones del equipo.

**[0011]** Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento de monitorización de la deformación a lo largo de una primera dirección de un equipo en contacto con material caliente y que comprende una cara interna en contacto 55 con este material caliente y una cara externa opuesta a esta cara interna.

**[0012]** Este procedimiento comprende las etapas de:

- proporcionar a la cara externa del equipo:

60 o al menos una primera fibras óptica colocada a lo largo de la primera dirección y que comprende al menos dos primeras rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y  
o al menos dos segundas fibras ópticas colocadas a lo largo de al menos una segunda dirección que cruza una 65 primera fibra óptica en un punto de cruce ubicado en las proximidades de una de las primeras rejillas de Bragg, y

que comprenden cada una, en las proximidades de un punto de cruce, una segunda rejilla de Bragg que tiene un período de rejilla para reflejar fotones que tienen una longitud de onda de Bragg,

- introducir fotones que tienen longitudes de onda que pertenecen a un grupo de longitudes de onda que comprende todas estas longitudes de onda de Bragg, en primeros extremos respectivos de la primera y segunda fibra óptica,
  - determinar longitudes de onda de fotones reflejadas por una primera o segunda rejilla de Bragg correspondiente, y
  - determinar una deformación del equipo a lo largo de la primera dirección a partir de los pares correspondientes que comprenden cada uno una longitud de onda determinada y una longitud de onda de Bragg correspondiente.
- 10 El procedimiento de la invención también puede comprender las siguientes características opcionales consideradas por separado o según todas las combinaciones técnicas posibles:
- la etapa de proporcionar puede comprender proporcionar:
    - 15 o dos primeras fibras ópticas colocadas a lo largo de primeras direcciones paralelas y que comprenden al menos tres primeras rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y
    - o tres segundas fibras ópticas colocadas a lo largo de segundas direcciones que cruzan cada una estas dos primeras fibras ópticas en puntos de cruce ubicados en las proximidades de tres de las primeras rejillas de Bragg,
    - 20 y que comprenden cada una al menos dos segundas rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg y ubicadas en las proximidades de puntos de cruce correspondientes;
  - en una primera alternativa, la etapa de determinación de una deformación puede comprender las siguientes subetapas de:
    - 25 o determinar una variación de tensión experimentada por cada primera rejilla de Bragg, considerando que no hay variación de temperatura, a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada de fotones reflejados por esta primera rejilla de Bragg y la longitud de onda de Bragg de esta primera rejilla de Bragg y a partir de una referencia de tensión,
    - 30 o determinar una variación de temperatura en cada segunda rejilla de Bragg a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada de fotones reflejados por esta segunda rejilla de Bragg y la longitud de onda de Bragg de esta segunda rejilla de Bragg,
    - o corregir la variación de tensión determinada de cada primera rejilla de Bragg según la variación de temperatura determinada de al menos una segunda rejilla de Bragg ubicada en las proximidades de esta primera rejilla de Bragg, y
    - 35 o determinar una deformación del equipo a lo largo de la primera dirección a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes de la al menos primera fibra óptica;
  - 40 - en una segunda alternativa, la etapa de determinación de una deformación puede comprender las siguientes subetapas de:
    - o determinar una variación de temperatura en cada segunda rejilla de Bragg a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada de fotones reflejados por la segunda rejilla de Bragg y la longitud
    - 45 de onda de Bragg de la segunda rejilla de Bragg,
    - o determinar una tensión corregida en cada primera rejilla de Bragg utilizando la variación de temperatura previamente determinada,
    - o determinar una variación de tensión corregida experimentada por cada primera rejilla de Bragg a partir de la tensión corregida previamente determinada y a partir de una referencia de tensión, y
    - 50 o determinar una deformación del equipo a lo largo de la primera dirección a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes de la al menos primera fibra óptica.
- [0013]** La invención también se refiere a un equipo destinado a estar en contacto con material caliente y que comprende una cara interna en contacto con este material caliente y una cara externa opuesta a esta cara interna.
- 55 **[0014]** Este equipo está caracterizado porque su cara externa comprende:
- al menos una primera fibra óptica colocada a lo largo de una primera dirección y que comprende al menos dos primeras rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes
  - 60 de onda de Bragg,
  - al menos dos segundas fibras ópticas colocadas a lo largo de al menos una segunda dirección que cruza esta primera fibra óptica en un punto de cruce ubicado en las proximidades de una de las primeras rejillas de Bragg, y que comprenden cada una, en las proximidades de un punto de cruce, una segunda rejilla de Bragg que tiene un período de rejilla para reflejar fotones que tienen una longitud de onda de Bragg,

- fuentes de fotones dispuestas para introducir fotones, que tienen longitudes de onda que pertenecen a un grupo de longitudes de onda que comprende todas estas longitudes de onda de Bragg, en primeros extremos respectivos de estas primera y segunda fibras ópticas,

- sensores acoplados respectivamente a estos primeros extremos y dispuestos para determinar longitudes de onda de fotones reflejados por una primera o segunda rejilla de Bragg correspondiente, y

- medios de procesamiento dispuestos para determinar una deformación del equipo a lo largo de la primera dirección a partir de pares correspondientes que comprenden cada uno una longitud de onda determinada y una longitud de onda de Bragg correspondiente.

10 **[0015]** El equipo de la invención también puede comprender las siguientes características opcionales consideradas por separado o según todas las combinaciones técnicas posibles:

- puede comprender dos primeras fibras ópticas colocadas a lo largo de primeras direcciones paralelas y que comprenden al menos tres primeras rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y tres segundas fibras ópticas colocadas a lo largo de segundas direcciones que cruzan cada una estas dos primeras fibras ópticas en puntos de cruce ubicados en las proximidades de tres de las primeras rejillas de Bragg, y que comprenden cada una al menos dos segundas rejillas de Bragg que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg y ubicadas en las proximidades de puntos de cruce correspondientes;

- en una primera realización, los medios de procesamiento pueden estar dispuestos para determinar una variación de tensión experimentada por cada primera rejilla de Bragg a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada de fotones reflejados por esta primera rejilla de Bragg y la longitud de onda de Bragg de esta primera rejilla de Bragg, y una variación de temperatura en cada segunda rejilla de Bragg a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada de fotones reflejados por esta segunda rejilla de Bragg y la longitud de onda de Bragg de esta segunda rejilla de Bragg, a continuación para corregir la variación de tensión determinada de cada primera rejilla de Bragg de acuerdo con la variación de temperatura determinada de al menos una segunda rejilla de Bragg ubicada en las proximidades de esta primera rejilla de Bragg, a continuación para determinar una deformación del equipo a lo largo de cada primera dirección de una primera fibra óptica a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes de esta primera fibra óptica;

- cada segunda fibra óptica puede estar instalada en un tubo conductor térmico que está colocado a lo largo de una de las segundas direcciones;

➤ cada tubo conductor térmico puede estar instalado de forma fija en una ranura horizontal definida en la cara externa a lo largo de una de las segundas direcciones;

• cada tubo conductor térmico puede estar instalado de forma fija en una ranura horizontal por medio de un pegamento;

➤ cada tubo conductor térmico puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con una pasta de cobre;

• la pasta de cobre puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con una cubierta de cobre;

- todas las segundas direcciones pueden ser paralelas entre sí;

- cada primera fibra óptica puede estar instalada de forma fija en una ranura vertical definida en la cara externa a lo largo de una primera dirección;

➤ cada primera fibra óptica puede estar instalada de forma fija en una ranura vertical por medio de un pegamento;

➤ cada primera fibra óptica puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de sellado;

• el material de sellado puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de protección destinado a protegerlo contra choques térmicos;

- puede definir una placa de enfriamiento de un alto horno;

➤ la primera dirección puede ser una dirección vertical de la placa de enfriamiento y la segunda dirección puede ser una dirección horizontal de la placa de enfriamiento.

**[0016]** La invención también se refiere a un alto horno que comprende al menos un equipo tal como el presentado anteriormente.

**[0017]** Otras características y ventajas de la invención surgirán claramente de la descripción de la misma que se proporciona a continuación a modo de indicación y que no es de ninguna manera restrictiva, con referencia a las figuras adjuntas en las que:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente, en una vista en perspectiva, un ejemplo de realización de una placa de enfriamiento según la invención,

5 - la figura 2 ilustra esquemáticamente, en una vista en perspectiva, una parte de un ejemplo de realización de una primera fibra óptica de la placa de enfriamiento ilustrada en la figura 1,

- la figura 3 ilustra esquemáticamente, en una primera vista en sección transversal, una parte de la placa de enfriamiento ilustrada en la figura 1 en el área de un punto de cruce,

10 - la figura 4 ilustra esquemáticamente, en una segunda vista de sección transversal (en un plano perpendicular al plano de la primera vista de sección transversal), una parte de la placa de enfriamiento ilustrada en la figura 1 en un área que comprende una ranura horizontal que comprende un tubo conductor térmico que comprende una segunda fibra óptica, y

15 - la figura 5 ilustra esquemáticamente, en una vista en perspectiva, otro ejemplo de realización de una placa de enfriamiento según la invención.

- la figura 6 ilustra esquemáticamente las etapas del procedimiento para determinar la deformación del equipo según una realización de la invención

20

**[0018]** La invención tiene como objetivo, en particular, proponer un procedimiento para determinar la deformación de un equipo 1 que se puede utilizar en un sistema o aparato o instalación y que comprende medios de determinación destinados a determinar su deformación a lo largo de una primera dirección D1.

25 **[0019]** En la siguiente descripción se considerará como un ejemplo que el equipo 1 es una placa de enfriamiento que se puede utilizar en un alto horno y que comprende medios de monitorización destinados a monitorizar su deformación a lo largo de una primera dirección D1. Pero el equipo 1 también puede ser un rodillo de colada continua o una tobera de galvanización, por ejemplo.

30 **[0020]** En la figura 1 se ilustra un ejemplo de realización de un equipo 1 (aquí una placa de enfriamiento) según la invención. Tal placa de enfriamiento 1 está destinada a montarse en una pared interna de un alto horno.

**[0021]** Tal como se ilustra, una placa de enfriamiento 1 según la invención comprende un cuerpo de cobre 2 que tiene una cara interna (o caliente) 3 y una cara externa (o fría) 4 opuesta a su cara interna 3. El cuerpo 2 puede estar hecho de cobre, por ejemplo, o de arrabio.

35

**[0022]** La cara interna comprende varias nervaduras 22 paralelas entre sí y separadas por ranuras 23. Una vez que la placa de enfriamiento 1 está montada en la pared interna del alto horno, sus nervaduras 22 y ranuras 23 están dispuestas (o colocadas) horizontalmente.

40

**[0023]** La cara externa 4 está fijada a la pared interna del alto horno. Por lo tanto, la cara interna 3 es la cara del cuerpo en contacto con el material muy caliente y el gas presente dentro del alto horno.

**[0024]** Las nervaduras 22 y ranuras 23 pueden tener una sección transversal de cola de milano para optimizar el anclaje de una capa de acreción generada por el procedimiento.

45

**[0025]** La cara externa 4 comprende al menos una primera fibra óptica  $5_i$ , al menos dos segundas fibras ópticas  $7_k$ , fuentes de fotones 9, sensores 10 y medios de procesamiento 11 que definen juntos medios de determinación.

50 **[0026]** La (cada) primera fibra óptica  $5_i$  está colocada a lo largo de una primera dirección D1 (perpendicular a las nervaduras 22 y ranuras 23) y comprende al menos dos primeras rejillas de Bragg  $6_j$  que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg

**[0027]** En la figura 2 se ilustra un ejemplo no limitativo de una parte de una primera fibra óptica  $5_i$  que comprende tres primeras rejillas de Bragg  $6_{j1}$  a  $6_{j3}$  ( $j = 1$  a  $3$ ). La primera rejilla de Bragg  $6_{j1}$  tiene un primer período de rejilla para reflejar fotones que tienen una primera longitud de onda de Bragg, la segunda rejilla de Bragg  $6_{j2}$  tiene un segundo período de rejilla (diferente del primero) para reflejar fotones que tienen una segunda longitud de onda de Bragg (diferente de la primera), y la tercera rejilla de Bragg  $6_{j3}$  tiene un tercer período de rejilla (diferente del primero y el segundo) para reflejar fotones que tienen una tercera longitud de onda de Bragg (diferente de la primera y la segunda).

60

**[0028]** Se recuerda que una rejilla de Bragg de fibra óptica es un reflector de Bragg distribuido que se define en una porción corta de una fibra óptica y destinado a reflejar fotones que tienen al menos una longitud de onda particular  $\lambda_B$ , denominada longitud de onda de Bragg, mientras que transmite fotones que tienen longitudes de onda diferentes de cada longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  que refleja. Tal rejilla de Bragg puede definirse, por ejemplo, mediante

la creación de una variación periódica en el índice de refracción del núcleo de fibra óptica, que genera un espejo dieléctrico específico de longitud de onda.

**[0029]** La longitud de onda de Bragg reflejada  $\lambda_B$  se define por la siguiente ecuación:

$$\lambda_B = 2 \cdot n \cdot \Lambda,$$

donde  $n$  es el índice de refracción efectivo de la rejilla de Bragg en el núcleo de fibra óptica (que depende de la longitud de onda del fotón y del modo de propagación del fotón (en guías de ondas multimodo)), y  $\Lambda$  es el periodo de la rejilla.

**[0030]** En la figura 2, los fotones, que tienen diferentes longitudes de onda y que entran en la primera fibra óptica  $5_i$  en el lado izquierdo (flecha F0), se propagan en esta última ( $5_i$ ) y cuando alcanzan la primera rejilla de Bragg  $6_{i1}$  los que tienen la primera longitud de onda de Bragg se reflejan (flecha F1), mientras que los que tienen longitudes de onda diferentes de la primera longitud de onda de Bragg se transmiten (flecha F1') y se siguen propagando hacia la segunda rejilla de Bragg  $6_{i2}$ . Cuando los fotones transmitidos alcanzan la segunda rejilla de Bragg  $6_{i2}$ , los que tienen la segunda longitud de onda de Bragg se reflejan (flecha F2), mientras que los que tienen longitudes de onda diferentes de la segunda longitud de onda de Bragg se transmiten (flecha F2') y se siguen propagando hacia la tercera rejilla de Bragg  $6_{i3}$ . Cuando los fotones transmitidos alcanzan la tercera rejilla de Bragg  $6_{i3}$ , los que tienen la tercera longitud de onda de Bragg se reflejan (flecha F3), mientras que los que tienen longitudes de onda diferentes de la tercera longitud de onda de Bragg se transmiten (flecha F3') y se siguen propagando hacia la primera fibra óptica  $5_i$ .

**[0031]** Es importante entender que cuando una fibra óptica comprende una rejilla de Bragg y no está "sometida a esfuerzo" (por una variación de tensión o una variación de temperatura), su longitud de onda de Bragg está predefinida. Pero cuando esta fibra óptica se somete a esfuerzo en una porción que comprende esta rejilla de Bragg, su longitud de onda de Bragg se modifica y, por lo tanto, ya no es la predefinida. Por lo tanto, una variación de esfuerzo o variación de temperatura local de una fibra óptica se puede detectar mediante una modificación de la longitud de onda de Bragg de los fotones reflejados por su rejilla de Bragg local.

**[0032]** Cada segunda fibra óptica  $7_k$  está colocada a lo largo de una segunda dirección D2 que cruza cada primera fibra óptica  $5_i$  en un punto de cruce  $21_{ki}$  ubicado en las proximidades de una de las primeras rejillas de Bragg  $6_{ij}$ . Por lo tanto, las diferentes segundas fibras ópticas  $7_k$  están colocadas a lo largo de al menos una segunda dirección D2. Además, cada segunda fibra óptica  $7_k$  comprende, en las proximidades de cada punto de cruce  $21_{ki}$ , una segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  (no ilustrada pero similar a las ilustradas en la figura 2) que tiene un periodo de rejilla para reflejar fotones que tienen una longitud de onda de Bragg. Por lo tanto, cuando el medio de determinación comprende solo una primera fibra óptica  $5_i$ , cada segunda fibra óptica  $7_k$  comprende al menos una segunda rejilla de Bragg, y cuando el medio de monitorización comprende dos primeras fibras ópticas  $5_i$  ( $i = 1$  o  $2$ , como se ilustra en la figura 1), cada segunda fibra óptica  $7_k$  comprende al menos dos segundas rejillas de Bragg.

**[0033]** En el caso donde el equipo 1 es una placa (o duela) de enfriamiento, la primera dirección D1 puede ser una dirección vertical de esta placa de enfriamiento 1 y la segunda dirección D2 puede ser una dirección horizontal de esta placa de enfriamiento 1. Pero la primera dirección D1 y la segunda dirección D2 del equipo 1 dependen de su disposición. Lo que es importante es que la primera dirección D1 es una dirección a lo largo de la cual el equipo 1 se somete a una deformación debido a las condiciones calientes en su cara interna 3. En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 1, todas las segundas direcciones D2 son paralelas entre sí. Pero en otro tipo de equipo 1 las segundas direcciones D2 podrían ser diferentes entre sí.

**[0034]** En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 1, el medio de determinación comprende tres segundas fibras ópticas  $7_1$  a  $7_3$  ( $k = 1$  a  $3$ ) para la determinación de las variaciones de temperatura con al menos dos segundas rejillas de Bragg  $8_{kn}$ , y dos primeras fibras ópticas  $5_i$  ( $i = 1$  o  $2$ ) para la determinación de las variaciones de tensión, utilizando dichas variaciones de temperatura con al menos tres primeras rejillas de Bragg  $6_{ij}$ . Por lo tanto, cada segunda fibra óptica  $7_k$  cruza las dos primeras fibras ópticas  $5_i$  en dos puntos de cruce  $21_{ki}$  ubicados respectivamente en las proximidades de dos de sus (al menos) tres primeras rejillas de Bragg  $6_{ij}$ , y comprende al menos dos segundas rejillas de Bragg  $8_{kn}$  ubicadas respectivamente en las proximidades de estos dos puntos de cruce  $21_{ki}$ . Siempre hay una primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  y una segunda rejilla de Bragg correspondiente  $8_{kn}$  ubicadas en las proximidades de un punto de cruce de  $21_{ki}$ .

**[0035]** Pero en variantes de realización, los medios de determinación podrían comprender una primera fibra óptica  $5_1$  (con al menos dos primeras rejillas de Bragg  $6_{ij}$ ) y dos segundas fibras ópticas  $7_k$  ( $k = 1$  o  $2$ , con al menos una segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$ ), o dos primeras fibras ópticas  $5_i$  ( $i = 1$  o  $2$ , con al menos dos primeras rejillas de Bragg  $6_{ij}$ ) y dos segundas fibras ópticas  $7_1$  ( $k = 1$  o  $2$  con al menos dos segundas rejillas de Bragg  $8_{kn}$ ), o bien tres o más primeras fibras ópticas  $5_i$  y dos o más segundas fibras ópticas  $7_k$ .

**[0036]** La cantidad de segundas fibras ópticas  $7_k$  se elige ventajosamente según las áreas conocidas sometidas a temperaturas sustancialmente diferentes. En el caso de una implementación en la cara fría de una duela, se sabe

que los bordes superior e inferior son más fríos que la porción central, por lo que se adaptan tres segundas fibras ópticas  $7_k$ .

5 **[0037]** Es importante notar que una longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{kn})$  de una segunda rejilla de Bragg  $\delta_{kn}$  definida en una segunda fibra óptica  $7_k$  puede ser igual a una longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{ij})$  de una primera rejilla de Bragg definida en una primera fibra óptica  $5_i$ , porque se refieren a fotones que se propagan en diferentes fibras ópticas.

10 **[0038]** Las fuentes de fotones 9 están dispuestas para introducir fotones, que tienen longitudes de onda que pertenecen a un grupo de longitudes de onda que comprende todas las longitudes de onda de Bragg, en los primeros extremos respectivos de las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas. Por ejemplo, una fuente de fotones 9 puede comprender al menos un diodo emisor de luz (o LED) que proporciona una luz blanca (es decir, con un amplio espectro que comprende las diferentes longitudes de onda de Bragg de la primera  $6_{ij}$  o segunda rejilla(s) de Bragg  $\delta_{kn}$  definida(s) en la primera  $5_i$  o segunda  $7_k$  fibra óptica que alimenta.

15 **[0039]** En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 1, las fuentes de fotones 9 están ubicadas respectivamente cerca de los primeros extremos de las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas. Pero podrían estar ubicados lejos de estos primeros extremos y acoplados a estos últimos a través de guías de onda u otras fibras ópticas.

20 **[0040]** Los sensores 10 están acoplados respectivamente a los primeros extremos (de las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas) y dispuestos para determinar las longitudes de onda de los fotones reflejados por una primera  $6_{ij}$  o segunda rejilla de Bragg  $\delta_{kn}$  correspondiente. Como se explicó anteriormente, cuando una rejilla de Bragg no se somete a esfuerzo, la longitud de onda determinada de los fotones reflejados por esta rejilla de Bragg es igual a la longitud de onda de Bragg de esta última.

25 **[0041]** Por ejemplo, cada sensor 10 puede ser un espectrómetro compacto.

30 **[0042]** En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 1, los sensores 10 están ubicados respectivamente cerca de los primeros extremos de las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas. Pero podrían estar ubicados lejos de estos primeros extremos y acoplados a estos últimos a través de guías de onda u otras fibras ópticas.

35 **[0043]** También en el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 1, la placa de enfriamiento 1 comprende una ranura protegida 27 que puede comprender, por ejemplo, cables para alimentar y/o controlar eléctricamente las fuentes de fotones 9 y los sensores 10. En este caso, estos cables pueden extenderse hasta una tubería 24 donde pueden agruparse, por ejemplo, en una vaina destinada a protegerlos contra el calor y el esfuerzo mecánico.

40 **[0044]** En una variante de realización ilustrada en la figura 5, los primeros extremos de las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas están ubicados lejos de la placa de enfriamiento 1. De hecho, las primeras  $5_i$  y segundas  $7_k$  fibras ópticas entran en una ranura protegida 28 y se extienden hasta una tubería 24 donde se agrupan en una vaina 25 destinada a protegerlas contra el calor y el esfuerzo mecánico, hasta que alcanzan una caja distante 26 donde sus primeros extremos respectivos se conectan a las fuentes de fotones 9 y sensores 10 correspondientes.

45 **[0045]** El medio de procesamiento 11 está dispuesto para determinar una deformación de la placa de enfriamiento 1 a lo largo de una primera dirección D1 a partir de pares correspondientes que comprenden cada uno una longitud de onda determinada  $\lambda_R$  y una longitud de onda de Bragg correspondiente  $\lambda_B$ . Por lo tanto, el medio de procesamiento 11 recibe las longitudes de onda detectadas por los diferentes sensores 10 y determina una deformación de la placa de enfriamiento a lo largo de la primera dirección D1 a partir de longitudes de onda. Por ejemplo, si se considera la primera dirección D1 de la primera primera fibra óptica  $5_1$  del ejemplo de la figura 1, entonces los pares de longitudes de onda correspondientes son:

- 50
- (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(\delta_{11})$  de fotones reflejados por la primera primera rejilla de Bragg  $\delta_{11}$  de la primera primera fibra óptica  $5_1$  en las proximidades del primer punto de cruce  $21_{11}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{11})$  de esta primera primera rejilla de Bragg  $\delta_{11}$ ),
  - 55 - (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(\delta_{11})$  de fotones reflejados por la primera segunda rejilla de Bragg de la primera segunda fibra óptica  $7_1$  en las proximidades del primer punto de cruce  $21_{11}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{11})$  de esta primera segunda rejilla de Bragg  $\delta_{11}$ ),
  - (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(\delta_{12})$  de fotones reflejados por la segunda primera rejilla de Bragg  $\delta_{12}$  de la primera primera fibra óptica  $5_1$  en las proximidades del tercer punto de cruce  $21_{21}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{12})$  de esta segunda primera rejilla de Bragg  $\delta_{12}$ ),
  - 60 - (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(\delta_{21})$  de fotones reflejados por la primera segunda rejilla de Bragg  $\delta_{21}$  de la segunda segunda fibra óptica  $7_2$  en las proximidades del tercer punto de cruce  $21_{21}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{21})$  de esta primera segunda rejilla de Bragg),
  - (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(\delta_{13})$  de fotones reflejados por la tercera primera rejilla de Bragg  $\delta_{13}$  de la primera primera fibra óptica  $5_1$  en las proximidades del quinto punto de cruce  $21_{31}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(\delta_{13})$  de esta tercera primera rejilla de Bragg  $\delta_{13}$ ), y
- 65

- (la longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{31})$  de fotones reflejados por la primera segunda rejilla de Bragg  $8_{31}$  de la tercera segunda fibra óptica  $7_3$  en las proximidades del quinto punto de cruce  $21_{31}$ , y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{31})$  de esta primera segunda rejilla de Bragg).

5 **[0046]** La determinación de una deformación de la placa de enfriamiento a lo largo de la primera dirección D1 a partir de los pares de longitudes de onda correspondientes se puede realizar mediante el medio de procesamiento 11 según al menos dos maneras diferentes.

10 **[0047]** En términos generales, el medio de procesamiento 11 puede estar dispuesto para determinar:

- tensión  $\sigma(6_{ij})$  y variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  experimentadas por cada primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  a partir de un par correspondiente  $(\lambda_R(6_{ij}), \lambda_B(6_{ij}))$  que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(6_{ij})$  de fotones reflejados por esta primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(6_{ij})$  de esta primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$ , y
- 15 - una temperatura  $T(8_{kn})$  y una variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  en cada segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  de un par correspondiente  $(\lambda_R(8_{kn}), \lambda_B(8_{kn}))$  que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{kn})$  de fotones reflejados por esta segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{kn})$  de esta segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$ .

**[0048]** A continuación, los medios de procesamiento 11 están dispuestos para corregir la variación de tensión determinada  $\Delta\sigma(6_{ij})$  o la tensión  $\sigma(6_{ij})$  de cada primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  según la variación de temperatura determinada  $\Delta T(8_{kn})$  de al menos una segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  ubicada en las proximidades de esta primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$ . A continuación, el medio de procesamiento 11 está dispuesto para determinar una deformación de la placa de enfriamiento 1 a lo largo de la primera dirección D1 de una primera fibra óptica  $5_i$  a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes  $\Delta\sigma(6_{ij})$  de una primera fibra óptica  $5_i$ .

25 **[0049]** En otras palabras, los medios de procesamiento 11 corrigen cada variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  o tensión  $\sigma(6_{ij})$  determinada en una primera fibra óptica  $5_i$  en las proximidades de un punto de cruce  $21_{ki}$  según la variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  determinada en al menos una segunda fibra óptica  $7_k$  en las proximidades de este punto de cruce  $21_{ki}$ .

30 **[0050]** La determinación de una variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  experimentada por una segunda rejilla de Bragg  $(8_{kn})$  se puede realizar mediante el uso de una ecuación que da la temperatura  $T(8_{kn})$  en una segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  en función de una referencia de temperatura  $T_{ref}$  considerada cuando no hay deformación, la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{kn})$  en esta segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$  considerada cuando no hay deformación y cuando la temperatura es igual a la temperatura de referencia  $T_{ref}$ , y la longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{kn})$  de los fotones reflejados por esta segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$ . Por ejemplo,  $T_{ref} = 22,5$  °C, y  $n = 1$  a 3 cuando cada segunda fibra óptica  $7_k$  comprende tres segundas rejillas de Bragg  $8_{kn}$ .

**[0051]** Por ejemplo, la ecuación A puede ser:

40 
$$\Delta T(8_{kn}) = T_{ref} - \left( \frac{S_1}{2S_2} \right) + \sqrt{\left( \frac{S_1}{2S_2} \right)^2 + \frac{1}{S_2} \ln \frac{\lambda_R(8_{kn})}{\lambda_B(8_{kn})}}$$

donde  $S_1$  y  $S_2$  son constantes con respecto a la segunda fibra óptica  $7_k$ .

Tal ecuación se puede usar cuando la segunda fibra óptica considerada  $7_k$  no se tensa, como se detallará a continuación en referencia a las figuras 3 y 4.

45 **[0052]** La variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  también se puede calcular considerando que esta variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  es proporcional a una variación de longitud de onda. A continuación, primero determinamos una diferencia entre cada longitud de onda determinada de fotones  $\lambda_R(8_{kn})$  reflejados por una rejilla de Bragg  $8_{kn}$  y la longitud de onda de Bragg correspondiente  $\lambda_B(8_{kn})$ , y a continuación aplicamos el factor proporcional para calcular la variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  en la segunda rejilla de Bragg  $8_{kn}$ .

**[0053]** De una primera manera, la determinación de una variación de tensión corregida  $\Delta\sigma(6_{ij})$  experimentada por una primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  se realiza mediante el uso de una ecuación que da la tensión corregida  $\sigma(6_{ij})$  en una primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  y según una referencia de tensión  $\sigma_{ref}(6_{ij})$  en esta primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$  considerada cuando no hay deformación a lo largo de D1 y cuando la temperatura es igual a una temperatura de referencia  $T_{ref}$ , por ejemplo, 22,5 °C.

**[0054]** Por ejemplo, esta ecuación B puede ser:

60 
$$\sigma(6_{ij}) = \frac{1}{k} * \left[ \ln \frac{\lambda_R(6_{ij})}{\lambda_B(6_{ij})} - S_1 * \Delta T(8_{kn}) - S_2 * (\Delta T_{ref}^2 - \Delta T_{0,ref}^2) \right] - (\alpha_s - \alpha_f) * \Delta T(8_{kn})$$

donde  $\lambda_R(6_{ij})$  es la longitud de onda determinada en la primera rejilla de Bragg correspondiente  $6_{ij}$ ,  
 donde  $\lambda_B(6_{ij})$  es la longitud de onda de Bragg en la primera rejilla de Bragg correspondiente  $6_{ij}$ ,  
 donde  $\alpha_s$  es el coeficiente de dilatación térmica de la placa de enfriamiento 1,  
 $\alpha_f$  es el coeficiente de dilatación térmica de la primera fibra óptica 5<sub>i</sub> que comprende la primera rejilla de Bragg  $6_{ij}$   
 5 (por ejemplo, igual a 0,5  $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ),  
 k, S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> son parámetros de galgas extensométricas determinados en hojas de calibración,

$$\Delta T_{\text{ref}} = T(8_{kn}) - T_{\text{ref}},$$

10 y  $\Delta T_{0,\text{ref}} = T_0 - T_{\text{ref}}$ , (con T<sub>0</sub> la temperatura al comienzo de la medición y T<sub>ref</sub> = 22,5 °C, por ejemplo).

**[0055]** De una segunda manera y como se ilustra en la figura 6, la determinación de la deformación a lo largo de, por ejemplo, la primera fibra óptica 5<sub>1</sub> entre una primera rejilla de Bragg 6<sub>11</sub> y una segunda rejilla de Bragg 6<sub>12</sub> se realiza mediante:

15

- la determinación de las variaciones de tensión no corregidas  $\Delta\sigma(6_{11})$  y  $\Delta\sigma(6_{12})$  a partir de los pares correspondientes ( $\lambda_R(6_{11})$ ,  $\lambda_B(6_{11})$ ), ( $\lambda_R(6_{12})$ ,  $\lambda_B(6_{12})$ ) utilizando la ecuación anterior B cuando T<sub>0</sub> es igual a T<sub>ref</sub> y cuando  $\Delta T(8_{kn})$  es igual a 0 (sin variación de temperatura),

20

- la determinación de las variaciones de temperatura  $\Delta T(8_{12})$  y  $\Delta T(8_{22})$  a partir de los pares correspondientes ( $\lambda_R(8_{12})$ ,  $\lambda_B(8_{12})$ ), ( $\lambda_R(8_{22})$ ,  $\lambda_B(8_{22})$ ) de una primera segunda rejilla de Bragg 8<sub>12</sub> y de una segunda segunda rejilla de Bragg 8<sub>22</sub> (véase la figura 1) utilizando la ecuación anterior A cuando no hay deformación aplicada a las segundas fibras ópticas 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub> al menos en las proximidades de los puntos de cruce correspondientes 21<sub>11</sub> y 21<sub>21</sub>,

- la corrección de las variaciones de tensión previamente determinadas  $\Delta\sigma(6_{11})$  y  $\Delta\sigma(6_{12})$  con las variaciones de temperatura previamente determinadas  $\Delta T(8_{12})$  y  $\Delta T(8_{21})$ , y

25

- la evaluación de la deformación a lo largo de la primera fibra óptica 5<sub>1</sub> entre la primera rejilla de Bragg 6<sub>11</sub> y la segunda rejilla de Bragg 6<sub>12</sub>.

**[0056]** El mismo procedimiento de determinación se aplica para la otra rejilla de Bragg 6<sub>1j</sub> de la primera fibra óptica 5<sub>1</sub> y para las rejillas de Bragg 6<sub>2j</sub> de la segunda fibra óptica 5<sub>2</sub> con el fin de evaluar la deformación general de la cara externa 4 de la placa de enfriamiento 1.

30

**[0057]** En el caso donde una primera fibra óptica 5<sub>i</sub> comprende varias primeras rejillas de Bragg 6<sub>ij</sub> cerca de un punto de cruce 21<sub>ki</sub>, la variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  de cada una de estas primeras rejillas de Bragg 6<sub>ij</sub> puede determinarse mediante la variación de temperatura determinada  $\Delta T(8_{kn})$  de la segunda rejilla de Bragg 8<sub>kn</sub> que es la más cercana de este punto de cruce 21<sub>ki</sub>. En una variante, en el caso donde una primera fibra óptica 5<sub>i</sub> comprende varias primeras rejillas de Bragg 6<sub>ij</sub> ubicadas entre dos puntos de cruce 21<sub>ki</sub> y 21<sub>ki'</sub>, y donde existe un gradiente de temperatura entre estos dos puntos de cruce 21<sub>ki</sub> y 21<sub>ki'</sub>, la variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  de cada primera rejilla de Bragg 6<sub>ij</sub> (ubicada entre estos dos puntos de cruce 21<sub>ki</sub> y 21<sub>ki'</sub>) puede determinarse mediante una variación de temperatura estimada  $\Delta T_E(8_{kn})$  dependiendo del valor correspondiente del gradiente de temperatura en la ubicación de esta primera  
 40 rejilla de Bragg 6<sub>ij</sub>.

35

**[0058]** Con referencia a las figuras 3 y 4, para evitar cualquier tensión en las segundas fibras ópticas 7<sub>k</sub> y para realizar la determinación de la variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$ , esta segunda fibra óptica 7<sub>k</sub> está dispuesta en un tubo conductor térmico 12 que está colocado a lo largo de una de las segundas direcciones D2 y cuyo diámetro es  
 45 sustancialmente mayor que el de la fibra 7<sub>k</sub>. Por ejemplo, cada tubo conductor térmico 12 puede estar hecho de inox.

45

**[0059]** Cada tubo conductor térmico 12 puede estar instalado de forma fija en una ranura horizontal 13 que está definida en la cara externa 4 del cuerpo 2 a lo largo de una de las segundas direcciones D2. En este caso, cada tubo conductor térmico 12 puede estar instalado de forma fija en una ranura horizontal 13 por medio de un pegamento  
 50 14, por ejemplo. Este pegamento 14 puede ser el producido por Vishay con la referencia M-bond 600 (y utilizable hasta +260 °C), por ejemplo.

50

**[0060]** La profundidad de cada ranura horizontal 13 depende del diámetro del tubo conductor térmico 12 y de su forma. En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 4, cada ranura horizontal 13 tiene una forma de V en sección transversal. Pero, puede tener otras formas en sección transversal, como una forma de U o una forma rectangular. Por ejemplo, cuando la segunda fibra óptica 7<sub>k</sub> tiene un diámetro comprendido entre 240  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ , el diámetro del tubo conductor térmico 12 puede ser igual a 1 mm y la profundidad de la ranura horizontal 13 puede ser igual a 1,2 mm de modo que la segunda fibra óptica 7<sub>k</sub> no se tensa

55

**[0061]** También por ejemplo, y como se ilustra en la figura 4, cada tubo conductor térmico 12 puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con una pasta de cobre 15. Esta última 15 está destinada a evitar la presencia de una capa de aire contra la parte orientada hacia el exterior del tubo conductor térmico 12, debido a la mala conductividad térmica del aire. También podría ser posible utilizar un material de acero inoxidable.

60

**[0062]** También por ejemplo, y como se ilustra en la figura 4, cada pasta de cobre puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con una cubierta de cobre 16. Esta última (16) está destinada a proteger el tubo conductor térmico 12 contra choques.

5 **[0063]** Tal como se ilustra en la figura 3, cada primera fibra óptica  $5_i$  puede estar instalada de forma fija en una ranura vertical 17 definida en la cara externa 4 del cuerpo 2 a lo largo de una primera dirección D1. En cada punto de cruce  $21_{ki}$ , la primera fibra óptica  $5_i$  está preferentemente más cerca del exterior que la segunda fibra óptica  $7_k$ . Por lo tanto, cuando estas últimas ( $7_k$ ) están ubicadas dentro de tubos conductores térmicos 12, estos últimos (12) pueden comprender deformaciones en cada punto de cruce correspondiente  $21_{ki}$  para pasar "por debajo" de las ranuras  
10 verticales 17, o de lo contrario las ranuras horizontales 13 deben tener una profundidad mucho más importante de modo que las segundas fibras ópticas  $7_k$  estén en todas partes "por debajo" del nivel de las ranuras verticales 17 (por ejemplo, esta profundidad puede ser igual a 1,2 cm o 2 cm). En estos casos, los tubos conductores térmicos 12 deben estar instalados de forma fija dentro de las ranuras horizontales 13 antes de que la(s) primera(s) fibra(s) óptica(s)  $5_i$  esté(n) instalada(s) de forma fija en la(s) ranura(s) vertical(es) 17. En una variante de realización, en lugar de definir  
15 ranuras horizontales 13 en la cara externa 4, es posible definir taladros en el cuerpo 2, "debajo" del nivel de las ranuras verticales 17, y a continuación introducir los tubos conductores térmicos 12 dentro de estos taladros del cuerpo.

**[0064]** La profundidad de cada ranura vertical 17 depende del diámetro de la primera fibra óptica  $5_i$ . En el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 3, cada ranura vertical 17 tiene una forma de V en sección transversal. Pero,  
20 puede tener otras formas en sección transversal, como una forma de U o una forma rectangular. Por ejemplo, cuando la primera fibra óptica  $5_i$  tiene un diámetro comprendido entre 240 mm y 250 mm, la profundidad de la ranura vertical 17 puede ser igual a 1 cm.

**[0065]** Por ejemplo, y como se ilustra en la figura 3, cada primera fibra óptica  $5_i$  puede estar instalada de forma  
25 fija en una ranura vertical 17 por medio de un pegamento 18. Este pegamento 18 puede ser el producido por Vishay con la referencia M-bond 600 (y utilizable hasta +260 ° C), por ejemplo.

**[0066]** También por ejemplo, y como se ilustra en la figura 3, cada primera fibra óptica  $5_i$  puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de sellado 19 destinado a proteger contra choques  
30 mecánicos. Este material de sellado 19 puede ser un caucho de silicio producido por Vishay con la referencia RTV3145 (y utilizable hasta +260 ° C), por ejemplo. También es posible insertar un barniz entre cada primera fibra óptica  $5_i$  y el material de sellado 19, para proteger cada primera fibra óptica  $5_i$  y el pegamento 18. Por ejemplo, este barniz puede ser el producido por Vishay con la referencia M-COAT A.

35 **[0067]** También por ejemplo, y como se ilustra en la figura 4, el material de sellado 19 puede comprender una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de protección 20 destinado a protegerlo contra choques térmicos. Por ejemplo, este material de protección 20 puede ser una silicona.

**[0068]** El medio de procesamiento 11 puede estar ubicado en un ordenador, lejos de la placa de enfriamiento  
40 1, por ejemplo. En este caso, preferentemente está hecho de módulos de software, al menos en parte. Pero también podría estar hecho de una combinación de

**[0069]** circuito(s) electrónico(s) (o módulos de hardware) y módulos de software (lo que también requiere una interfaz de software que permita el interfuncionamiento entre los módulos de hardware y software). Entonces, podría  
45 ser un ordenador. En caso de que esté hecho solo de módulos de software, puede almacenarse en una memoria de un ordenador o en cualquier producto de software informático, tal como un CD-ROM, por ejemplo, que pueda ser leído por un ordenador o similar.

**[0070]** Gracias a la determinación permanente de las longitudes de onda de fotones reflejados por las rejillas  
50 de Bragg definidas en las fibras ópticas (dedicadas a medición de tensión y medición de temperatura), ahora es posible monitorizar en tiempo real la evolución de la deformación vertical de las placas (o duelas) de enfriamiento de un alto horno, y más generalmente de la determinación de la deformación en una dirección dada de cualquier equipo en contacto con material caliente.

55 **[0071]** Opcionalmente, la cara interna 3 de la placa de enfriamiento 1 también puede comprender una o más fibras ópticas (no ilustradas) para la determinación de las variaciones de temperatura en esta cara 3 que están colocadas a lo largo de la primera dirección D1 en una disposición que corresponde a las fibras ópticas  $5_i$  de la cara fría 4.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la deformación a lo largo de una primera dirección (D1) de un equipo (1) en contacto con material caliente y que comprende una cara interna (3) destinada a estar en contacto con el material caliente y una cara externa (4) opuesta a la cara interna (3), comprendiendo este procedimiento las etapas de:
- proporcionar a la cara externa (4):
    - o al menos una primera fibra óptica ( $5_i$ ) colocada a lo largo de la primera dirección (D1) y que comprende al menos dos primeras rejillas de Bragg ( $6_{ij}$ ) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y
    - o al menos dos segundas fibras ópticas ( $7_k$ ) colocadas a lo largo de al menos una segunda dirección (D2) que cruza la al menos primera fibra óptica ( $5_i$ ) en un punto de cruce ubicado en las proximidades de una de las primeras rejillas de Bragg ( $6_{ij}$ ), y que comprenden cada una, en las proximidades de un punto de cruce, una segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) que tiene un período de rejilla para reflejar fotones que tienen una longitud de onda de Bragg,
  - introducir fotones que tienen longitudes de onda que pertenecen a un grupo de longitudes de onda que comprende todas las longitudes de onda de Bragg, en primeros extremos respectivos de la primera ( $5_i$ ) y segunda ( $7_k$ ) fibras ópticas,
  - determinar longitudes de onda de fotones reflejados por una primera ( $6_{ij}$ ) o segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) correspondiente, y
  - determinar una deformación del equipo (1) a lo largo de la primera dirección a partir de pares correspondientes que comprenden cada uno una longitud de onda determinada  $\lambda_R$  y una longitud de onda de Bragg  $\lambda_B$  correspondiente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de proporcionar comprende además proporcionar:
- dos primeras fibras ópticas ( $5_i$ ) colocadas a lo largo de primeras direcciones paralelas (D1) y que comprenden al menos tres primeras rejillas de Bragg ( $6_{ij}$ ) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y
  - tres segundas fibras ópticas ( $7_k$ ) colocadas a lo largo de segundas direcciones (D2) que cruzan cada una las dos primeras fibras ópticas ( $5_i$ ) en puntos de cruce ubicados en las proximidades de tres de las primeras rejillas de Bragg ( $6_{ij}$ ), y que comprenden cada una al menos dos segundas rejillas de Bragg ( $8_{kn}$ ) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg y ubicadas en las proximidades de puntos de cruce correspondientes.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que la etapa de determinación de una deformación comprende las subsiguientes subetapas de:
- o determinar una variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  experimentada por cada primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ) considerando que no hay variación de temperatura a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(6_{ij})$  de fotones reflejados por la primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ) y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(6_{ij})$  de la primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ), y a partir de una referencia de tensión  $\sigma_{ref}(6_{ij})$ ,
  - o determinar una variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  en cada segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{kn})$  de fotones reflejados por la segunda rejilla de Bragg y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{kn})$  de la segunda rejilla de Bragg,
  - o corregir la variación de tensión determinada  $\Delta\sigma(6_{ij})$  de cada primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ) según la variación de temperatura determinada  $\Delta T(8_{kn})$  de al menos una segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) ubicada en las proximidades de al menos la primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ),
  - o determinar una deformación del equipo (1) a lo largo de la primera dirección (D1) a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes  $\Delta\sigma'(6_{ij})$  de la al menos primera fibra óptica ( $5_i$ ).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que la etapa de determinación de una deformación comprende además las subetapas de:
- determinar una variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  en cada segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{kn})$  de fotones reflejados por la segunda rejilla de Bragg ( $8_{kn}$ ) y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{kn})$  de la segunda rejilla de Bragg,
  - determinar una tensión corregida  $\sigma'(6_{ij})$  en cada primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ) utilizando la variación de temperatura previamente determinada,
  - determinar una variación de tensión corregida  $\Delta\sigma'(6_{ij})$  experimentada por cada primera rejilla de Bragg ( $6_{ij}$ ) a partir de la tensión corregida previamente determinada  $\sigma'(6_{ij})$  y a partir de una referencia de tensión  $\sigma_{ref}(6_{ij})$ , y
  - determinar una deformación del equipo a lo largo de la primera dirección (D1) a partir de las variaciones de tensión

corregidas correspondientes  $\Delta\sigma'(6_{ij})$  de la al menos primera fibra óptica 5<sub>i</sub>.

5. Equipo (1) destinado a estar en contacto con material caliente y que comprende una cara interna (3) en contacto con el material caliente y una cara externa (4) opuesta a la cara interna (3), comprendiendo la cara externa (4):
- i) al menos una primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) colocada a lo largo de una primera dirección (D1) y que comprende al menos dos primeras rejillas de Bragg (6<sub>ij</sub>) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg,
  - 10 ii) al menos dos segundas fibras ópticas (7<sub>k</sub>) colocadas a lo largo de al menos una segunda dirección (D2) que cruza la al menos una primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) en un punto de cruce ubicado en las proximidades de una de las primeras rejillas de Bragg (6<sub>ij</sub>), y que comprenden cada una, en las proximidades de un punto de cruce, una segunda rejilla de Bragg (8<sub>kn</sub>) que tiene un período de rejilla para reflejar fotones que tienen una longitud de onda de Bragg,
  - 15 iii) fuentes de fotones (9) dispuestas para introducir fotones, que tienen longitudes de onda que pertenecen a un grupo de longitudes de onda que comprende todas las longitudes de onda de Bragg, en primeros extremos respectivos de la primera (5<sub>i</sub>) y segunda (7<sub>k</sub>) fibras ópticas,
  - iv) sensores (10) acoplados respectivamente a los primeros extremos y dispuestos para determinar longitudes de onda de fotones reflejados por una primera (6<sub>ij</sub>) o segunda rejilla de Bragg (8<sub>kn</sub>) correspondiente, y
  - 20 v) medios de procesamiento (11) dispuestos para determinar una deformación del equipo (1) a lo largo de la primera dirección (D1) a partir de pares correspondientes que comprenden cada uno una longitud de onda determinada  $\lambda_R$  y una longitud de onda de Bragg correspondiente  $\lambda_B$ .
6. Equipo según la reivindicación 5, el equipo (1) que comprende dos primeras fibras ópticas (5<sub>i</sub>) colocadas a lo largo de primeras direcciones paralelas (D1) y que comprende al menos tres primeras rejillas de Bragg (6<sub>ij</sub>) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg, y tres segundas fibras ópticas (7<sub>k</sub>) colocadas a lo largo de segundas direcciones (D2) que cruzan cada una dichas dos primeras fibras ópticas (5<sub>i</sub>) en puntos de cruce ubicados en las proximidades de tres de dichas primeras rejillas de Bragg (6<sub>ij</sub>), y que comprenden cada una al menos dos segundas rejillas de Bragg (8<sub>kn</sub>) que tienen diferentes períodos de rejilla para reflejar fotones que tienen diferentes longitudes de onda de Bragg y ubicadas en las proximidades de puntos de cruce correspondientes.
7. Equipo según una de las reivindicaciones 5 y 6, en el que el medio de procesamiento (11) está dispuesto para determinar una variación de tensión  $\Delta\sigma(6_{ij})$  experimentada por cada primera rejilla de Bragg (6<sub>ij</sub>) a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(6_{ij})$  de fotones reflejados por la primera rejilla de Bragg (6<sub>ij</sub>) y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(6_{ij})$  de la primera rejilla de Bragg (6<sub>ij</sub>), y una variación de temperatura  $\Delta T(8_{kn})$  en cada segunda rejilla de Bragg (8<sub>kn</sub>) a partir de un par correspondiente que comprende una longitud de onda determinada  $\lambda_R(8_{kn})$  de fotones reflejados por la segunda rejilla de Bragg (8<sub>kn</sub>) y la longitud de onda de Bragg  $\lambda_B(8_{kn})$  de la segunda rejilla de Bragg, a continuación para corregir la variación de tensión determinada  $\Delta\sigma(6_{ij})$  de cada primera rejilla de Bragg (6<sub>ij</sub>) según la variación de temperatura determinada  $\Delta T(8_{kn})$  de al menos una segunda rejilla de Bragg (8<sub>kn</sub>) ubicada en las proximidades de al menos la primera rejilla de Bragg (6<sub>ij</sub>), a continuación para determinar una deformación del equipo (1) a lo largo de cada primera dirección de una primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) a partir de las variaciones de tensión corregidas correspondientes  $\Delta\sigma'(6_{ij})$  de la primera fibra óptica (5<sub>i</sub>).
8. Equipo según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que cada segunda fibra óptica (7<sub>k</sub>) está instalada en un tubo conductor térmico (12) que está colocado a lo largo de una de las segundas direcciones (D2).
9. Equipo según la reivindicación 8, en el que cada tubo conductor térmico (12) está instalado de forma fija en una ranura horizontal (13) definida en la cara externa (4) a lo largo de una de las segundas direcciones.
10. Equipo según la reivindicación 9, en el que cada tubo conductor térmico (12) está instalado de forma fija en una ranura horizontal (13) por medio de un pegamento (14).
11. Equipo según una de las reivindicaciones 9 o 10, en el que cada tubo conductor térmico (12) comprende una parte orientada hacia el exterior cubierta con una pasta de cobre (15).
12. Equipo según la reivindicación 11, en el que la pasta de cobre (15) comprende una parte orientada hacia el exterior cubierta con una cubierta de cobre (16).
13. Equipo según una de las reivindicaciones 5 a 12, en el que cada primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) está instalada de forma fija en una ranura vertical (17) definida en la cara externa (4) a lo largo de una primera dirección (D1).
14. Equipo según la reivindicación 13, en el que cada primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) está instalada de forma fija en una ranura vertical (17) por medio de un pegamento (18).

15. Equipo según una de las reivindicaciones 13 y 14, en el que cada primera fibra óptica (5<sub>i</sub>) comprende una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de sellado (19).
16. Equipo según la reivindicación 15, en el que el material de sellado (19) comprende una parte orientada hacia el exterior cubierta con un material de protección (20) destinado a protegerlo contra choques térmicos.
17. Equipo según una de las reivindicaciones 5 a 16, en el que el equipo define una placa de enfriamiento de un alto horno.
- 10 18. Equipo según la reivindicación 17, en el que la primera dirección (D1) es una dirección vertical de la placa de enfriamiento y la segunda dirección (D2) es una dirección horizontal de la placa de enfriamiento.
- 15 19. Equipo según una de las reivindicaciones 5 a 18, en el que todas las segundas direcciones son paralelas entre sí.
20. Alto horno que comprende al menos un equipo (1) según una de las reivindicaciones 5 a 19.

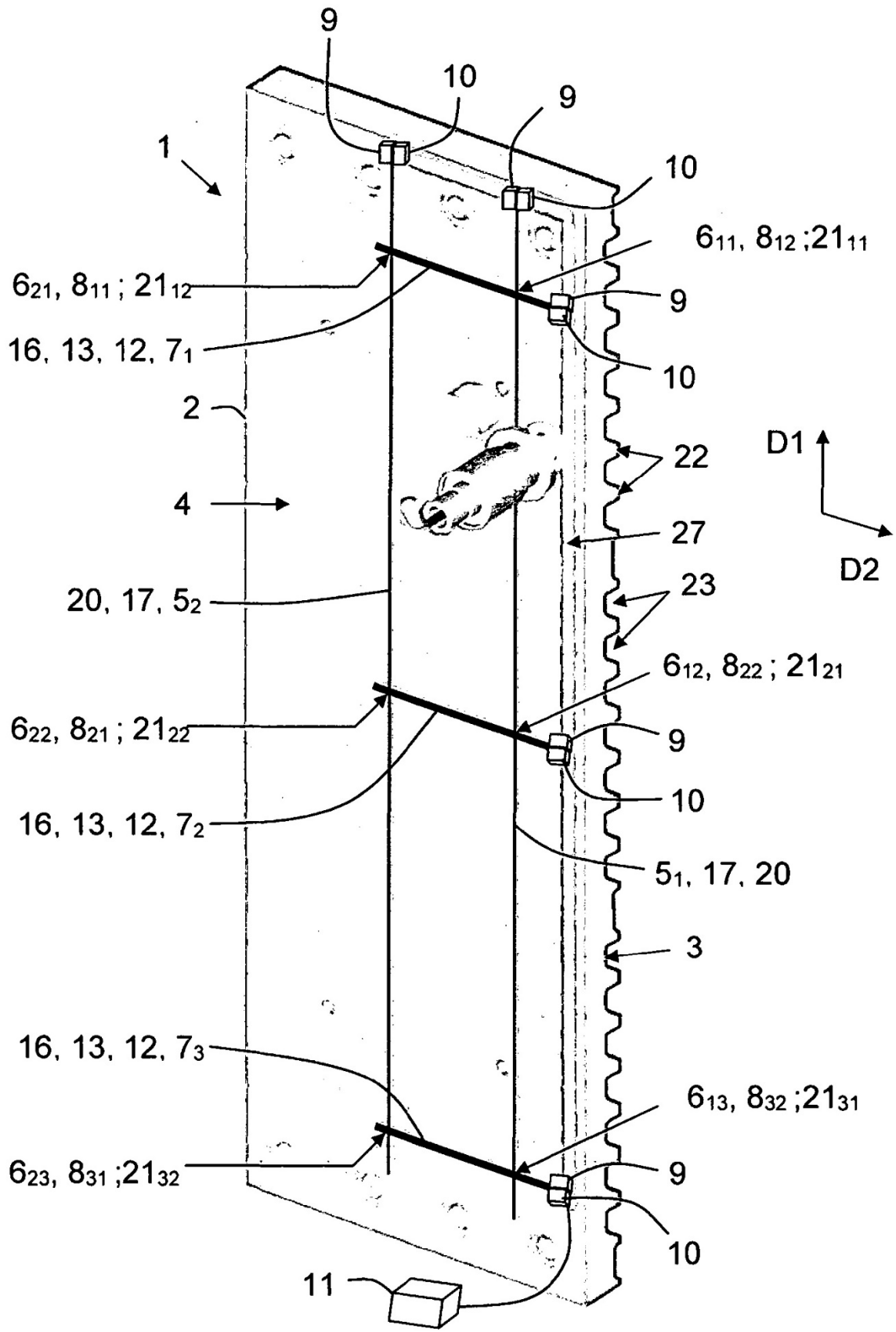


FIG. 1

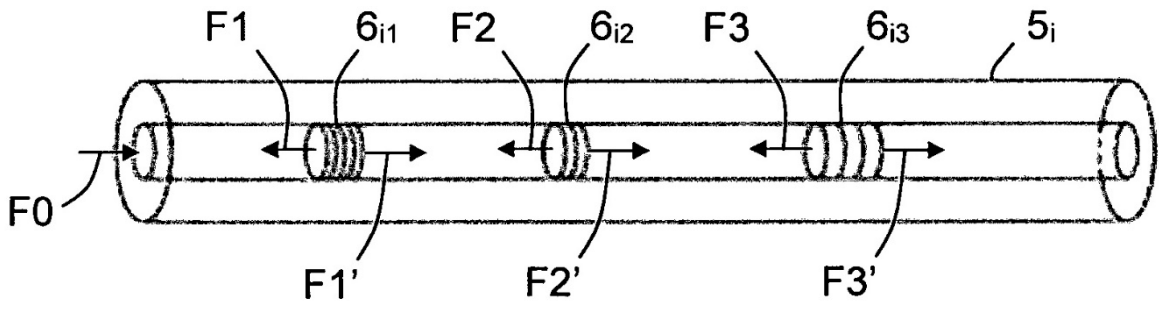


FIG. 2

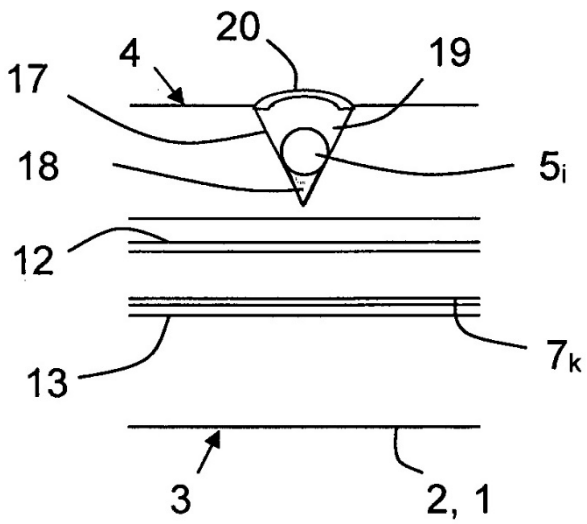


FIG. 3

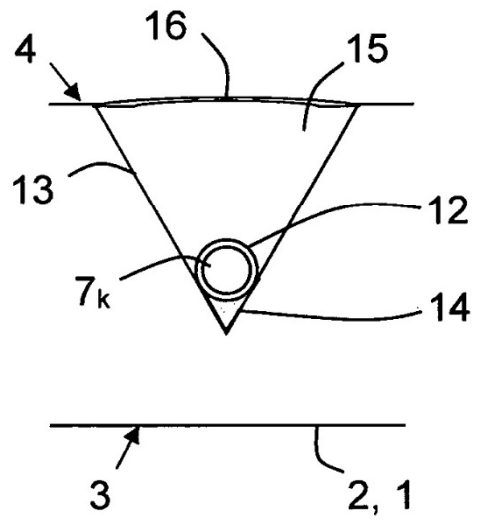


FIG. 4

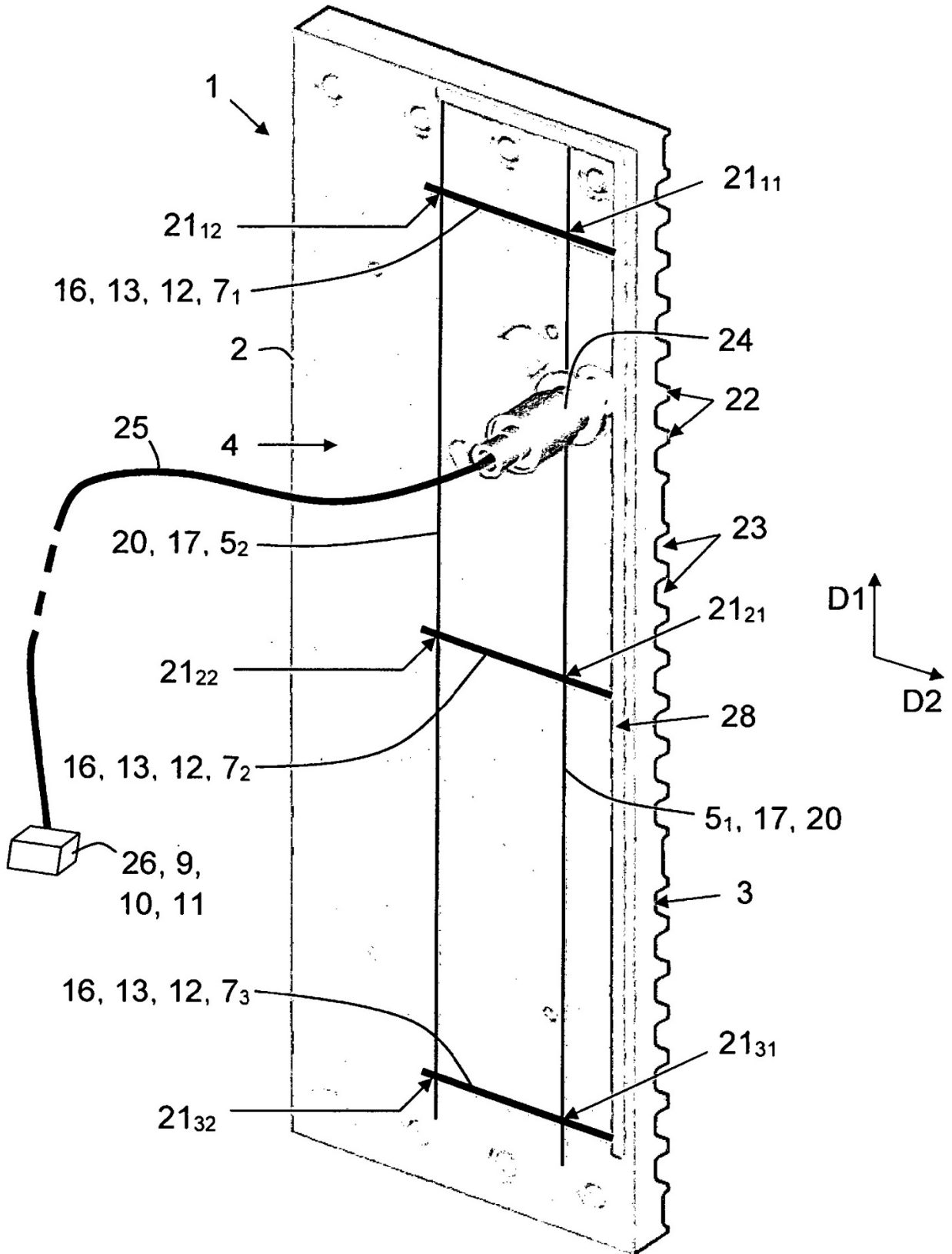


FIG.5

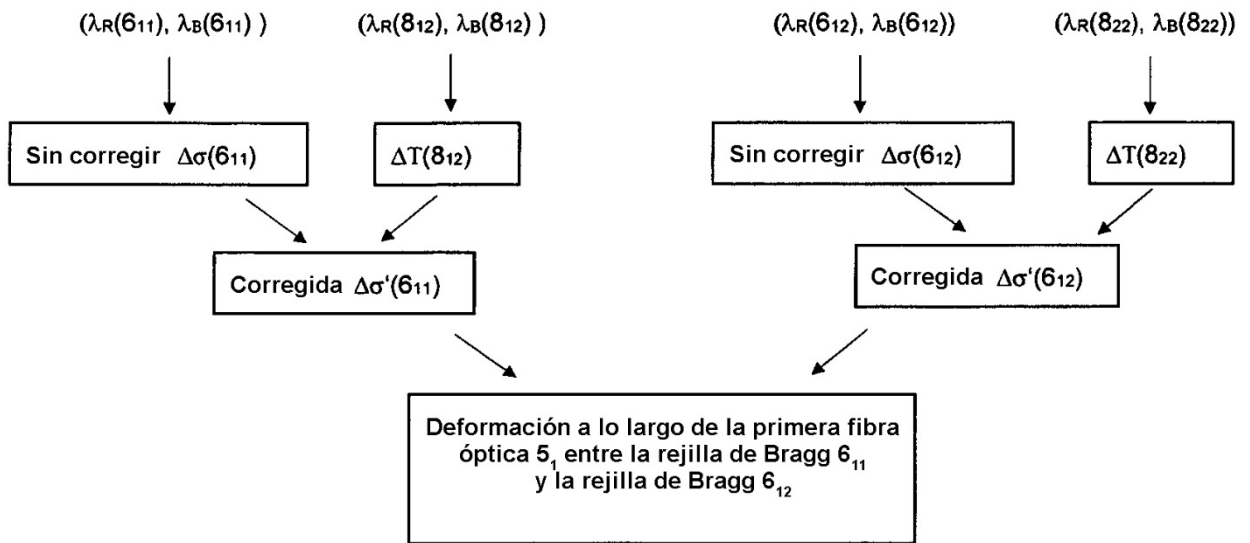


FIG.6