

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 323**

51 Int. Cl.:

F22B 37/56 (2006.01)

G01G 19/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2014 PCT/FI2014/050469**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.12.2014 WO14199016**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2014 E 14739210 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 3008382**

54 Título: **Método y sistema para vigilar los cambios de masa de intercambiadores de calor de una caldera de vapor**

30 Prioridad:

11.06.2013 FI 20135639

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

13.12.2017

73 Titular/es:

**ANDRITZ OY (100.0%)
Tammasaarekatu 1
00180 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

PÖLLÄNEN, ILKKA

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 646 323 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 y sistema para vigilar los cambios de masa de intercambiadores de calor de una caldera de vapor.

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un método para vigilar los cambios de masa de un banco de intercambiadores de calor de una caldera de vapor, estando soportado el banco de intercambiadores de calor por varillas de colgar y vigas de soporte en las vigas del bastidor de la caldera de vapor. La invención se refiere también a un sistema para vigilar los cambios de masa de tales bancos de intercambiadores de calor.

Antecedentes de la invención

10 La parte superior de una caldera de vapor está provista de un juego de intercambiadores de calor en el que el calor contenido en gases de chimenea es transferido al agua o vapor de agua que circula en una tubería. Una caldera de vapor puede tener, por ejemplo, ocho bancos de intercambiadores de calor conectados en serie, cada uno de los cuales puede tener, por ejemplo, 25 intercambiadores de calor planos, entre los cuales circula el gas de chimenea que se debe enfriar. En los grupos de intercambiadores de calor más fríos el medio de transferencia de calor es agua (precalentadores de agua de alimentación, es decir, economizadores), en el banco de intercambiadores de calor siguiente se vaporiza el agua (evaporador, es decir, grupo generador de vapor) y en los bancos de intercambiadores de calor con la temperatura más alta, que son los más próximos al hogar, el medio de transferencia de calor es el vapor que ha de ser recalentado (recalentadores).

20 Para permitir una expansión térmica libre de obstáculos los intercambiadores de calor se suspenden usualmente por medio de varillas de colgar en vigas de soporte que a su vez están soportadas por las vigas del bastidor de la caldera de vapor. Unas placas de aletas pueden estar dispuestas entre los tubos de una tubería de intercambiador de calor doblada con la forma de un plano, con lo que se forman placas de transferencia de calor. Cada banco de intercambiadores de calor está soportado usualmente por dos vigas de soporte provistas de una pluralidad de varillas de colgar verticales, cada una de las cuales está conectada a un extremo correspondiente de una placa de transferencia de calor individual. Las varillas de colgar pueden soportar también una viga media en la dirección de las vigas de soporte, o de los tubos de alimentación y descarga, que soportan las placas de transferencia de calor.

30 El ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor de una caldera de vapor entorpece la transferencia de calor del gas de chimenea al medio que circula en un intercambiador de calor. Las calderas de recuperación utilizadas para la combustión de leña negra son especialmente propensas al ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor, ya que cantidades considerables de ceniza de chimenea salen del hogar de la caldera de recuperación arrastradas en el flujo de gas de chimenea, cuya ceniza de chimenea forma sobre las superficies de transferencia de calor unos depósitos que son difíciles de retirar.

35 Típicamente, se recuperan impurezas de las superficies de transferencia de calor por medio de un dispositivo de soplado de hollín, cuyo vapor operativo se toma de la producción de vapor de la propia caldera. Se puede utilizar un lavado con agua solamente durante las paradas, ya que, durante el funcionamiento, el lavado con agua ocasionaría choques térmicos que tensionarían el metal de los intercambiadores de calor. El contenido de energía del vapor utilizado para el soplado de hollín disminuye el contenido de energía del vapor que se transfiere de la caldera de vapor a la turbina y otros procesos. La determinación de los intervalos de soplado de hollín es esencial para optimizar la eficiencia global de la caldera de vapor. Los dispositivos de soplado de hollín se someten a diversas condiciones y se utilizan basándose en un modelo de funcionamiento delineado en base a situaciones operacionales y a la experiencia. En las áreas más importantes y más fácilmente ensuciadas los dispositivos de soplado de hollín se hacen funcionar con mayor frecuencia que en otros sitios.

45 El soplado de hollín mantiene la eficiencia y la capacidad de producción de vapor de la caldera retirando regularmente la ceniza y la escoria depositadas de las superficies de calentamiento de la caldera. Por tanto, es importante formarse por medio de mediciones del proceso una idea del requisito de soplado de hollín de la caldera, de modo que el soplado de hollín pueda efectuarse en una parte apropiada de la caldera en un momento apropiado. Efectuando el soplado de hollín según las necesidades, se pueden ahorrar considerables cantidades de vapor y se aumenta la eficiencia obtenida de la caldera.

50 La vigilancia de los cambios de masa de intercambiadores de calor para determinar el intervalo de soplado de hollín óptimo es en sí conocida por la publicación US 6.323.442 A, en la que se mide la masa de un banco de intercambiadores de calor suspendido de varillas de colgar por medio de calibres de esfuerzos acoplados a las varillas de colgar. Se suman los cambios de masa indicados por calibres de esfuerzos individuales, con lo que se obtiene el cambio de masa de todo el banco de intercambiadores de calor. Las varillas de colgar soportan los tubos colectores de los flujos de entrada y salida del banco de intercambiadores de calor, cuyos tubos a su vez soportan los intercambiadores de calor individuales. La estructura basada en varillas de colgar se utiliza, por ejemplo, debido a que es difícil disponer un soporte adecuadamente firme más cerca de los intercambiadores de calor. En el ejemplo de la publicación el número de varillas de colgar y sus calibres de esfuerzos es igual a 20 para cada banco de

intercambiadores de calor. Además, tiene que medirse la temperatura de las varillas de colgar para proporcionar una compensación de temperatura. Así, se requieren un total de 40 canales de medición para cada banco de intercambiadores de calor. En una publicación subsiguiente de la misma solicitante, WO 2004102104 A, se hacen las mediciones correspondientes por medio de sensores de carga de las varillas de colgar. En la práctica, es difícil colocar los sensores de carga en otros sitios de una caldera de vapor existente.

El gran número de canales de medición es un problema notable para la instalación del sistema de medición y el propio equipo cuando se han de medir los cambios de masa de varios bancos de intercambiadores de calor. Así, el gran número de puntos de medición tiene un efecto significativo sobre los costes de equipo e instalación del sistema de medición. Las condiciones en las que se instalan calibres de esfuerzos en varillas de colgar son sumamente desventajosas, lo que incrementa el coste especialmente cuando se instala la disposición de medición en una caldera de vapor existente como un elemento de modernización. Para obtener resultados fiables se han de igualar las cargas de las varillas de colgar y se ha de calibrar regularmente el sistema de medición, lo que es difícil en esta realización.

Se conoce por el documento FR 2555740 A1 una solución en la que se mide la deformación de una viga de bastidor que soporta la carga de toda la caldera alimentada con carbón para vigilar la cantidad de escoria en la caldera. Los sensores utilizados son alambres vibrantes fijados a las alas superior e inferior de la viga de bastidor y que cambian la frecuencia vibracional de acuerdo con cambios en la flexión de la viga de bastidor. Los sensores se fijan centralmente a lo largo de la longitud no soportada de la viga de bastidor. Los sensores fijados al ala superior de la viga de bastidor miden el esfuerzo de compresión y los sensores fijados al ala inferior de la viga de bastidor miden el esfuerzo de tracción. Los sensores permiten obtener una idea del peso de la caldera completa, pero no proporcionan ningún conocimiento del peso de las diferentes partes de la caldera.

El objeto de la invención es eliminar los problemas relativos a la solución de la técnica anterior.

Descripción de la invención

El método según la invención se caracteriza por lo que se define la parte caracterizadora de la reivindicación 1. De manera correspondiente, el sistema según la invención se caracteriza por lo que se define en la parte caracterizadora de la reivindicación 10.

El primer aspecto de la invención es un método para vigilar los cambios de masa de un banco de intercambiadores de calor de una caldera de vapor, estando soportado el banco de intercambiadores de calor por varillas de colgar verticales y vigas de soporte en las vigas del bastidor de la caldera de vapor. Según la invención, unos elementos de soporte verticales de las vigas de soporte están provistos de calibres de esfuerzos por medio de los cuales se miden los cambios en el estado de esfuerzo generado en las vigas de soporte por la masa del banco de intercambiadores de calor.

El segundo aspecto de la invención es un sistema para vigilar los cambios de masa de bancos de intercambiadores de calor de una caldera de vapor, estando soportados los bancos de intercambiadores de calor por varillas de colgar verticales y vigas de soporte en las vigas del bastidor de la caldera de vapor. Según la invención, el sistema comprende una serie de calibres de esfuerzos fijados a las placas de alma de las vigas de soporte para medir el estado de esfuerzo generado en la viga de soporte por la masa del banco de intercambiadores de calor, unos medios de anotación de datos para anotar los datos de medición y un ordenador o una unidad de cálculo semejante para procesar los datos de medición.

En una realización de la invención los calibres de esfuerzos están situados en una viga de soporte cerca de puntos de soporte en los que la viga de soporte descansa sobre una viga del bastidor.

En una realización de la invención los cambios del estado de esfuerzo en cada punto de soporte se miden por cuatro calibres de esfuerzos que forman una conexión en puente completo de Wheatstone.

En una realización de la invención dos de cuatro calibres de esfuerzos están situados en la dirección del esfuerzo principal y los otros dos están situados perpendicularmente a dicha dirección del esfuerzo principal.

En una realización de la invención los esfuerzos principales de una viga de soporte cerca de puntos de soporte, preferiblemente incluyendo las direcciones de los mismos, se determinan por el método de elementos finitos.

En una realización de la invención se fijan calibres de esfuerzos a puntos de soporte de dos elementos de soporte verticales de una viga de soporte para compensar cualquier posible flexión de la viga de soporte.

En una realización de la invención se colocan calibres de esfuerzos en un punto de una placa de alma de una viga de soporte a la que se aplica el esfuerzo principal ejercido por la fuerza de soporte de una viga de bastidor bajo aproximadamente un ángulo de 45°.

En una realización de la invención se calibra el sistema de medición si así se requiere poniendo una masa conocida

en una posición conocida de la viga de soporte, preferiblemente en una o más varillas de colgar.

En una realización de la invención se calibra el sistema de medición si así se requiere por el método de elementos finitos.

5 La invención se basa en la idea de que, midiendo en unos pocos puntos los cambios en el estado de esfuerzo de una vía que soporta un banco de intercambiadores de calor, es posible definir computacionalmente los cambios de masa del banco de intercambiadores de calor en cuestión. El método de medición permite obtener una información adecuada sobre los cambios de masa incluso en extensiones de 2 o 3 dimensiones con un número razonable y factible de puntos de medición y canales de medición.

10 Otra ventaja de la medición realizada en vigas de soporte en comparación con las soluciones de la técnica anterior es el hecho de que, mediante una medición realizada en dos vigas, se puede obtener información en 2 dimensiones sobre la concentración de las capas de ceniza en zonas diferentes del banco de intercambiadores de calor y también información sobre las zonas desde donde se retira masa por medio de un soplado de hollín. Frecuentemente, el ensuciamiento de las superficies de suministro de calor está en un lado o tiene lugar regionalmente.

15 Se podrían medir también reacciones de soporte correspondientes en vigas de bastidor, pero, dado que éstas son mucho más robustas que las vigas de soporte, la resolución de las mediciones sería más pobre.

20 Los dispositivos de soplado de hollín funcionan frecuentemente soplando de una vez un lado de la placa intercambiadora de calor. Además, el soplado de hollín puede tener lugar en la dirección vertical en zonas diferentes del intercambiador de calor. Soplando de una vez el hollín de una zona y vigilando el cambio de masa correspondiente se puede alcanzar un conocimiento en 3 dimensiones de las zonas en las que se acumula ceniza y en las que deberá enfocarse el soplado de hollín.

25 La medición de los estados de esfuerzo de una viga de soporte se realiza preferiblemente utilizando un puente completo de Wheatstone que sea capaz de compensar automáticamente el efecto de la temperatura. Así, no se necesitan canales de medición separados para medir la temperatura y se disminuye el número de canales de medición. En la solución de la técnica anterior las temperaturas de las varillas de colgar pueden variar significativamente durante el funcionamiento y estos cambios pueden afectar a los resultados de medición a pesar de la compensación de temperatura. Las temperaturas de las vigas de soporte más alejadas del hogar son usualmente más bajas y más uniformes que las temperaturas de las varillas de colgar que están en contacto con los intercambiadores de calor.

30 Los puntos de medición están muy preferiblemente localizados en la viga que soporta un banco de intercambiadores de calor en un punto al que se aplica un esfuerzo principal ejercido por la fuerza de soporte de una viga de bastidor aproximadamente bajo un ángulo de 45°. El posicionamiento óptimo y la dirección de los calibres de esfuerzos pueden determinarse por el método de elementos finitos. Colocando los puntos de medición en el área sometida a los esfuerzos principales ejercidos por la reacción de soporte sobre la placa de alma de una viga de soporte se eliminará también de forma óptima los cambios causados por las deformaciones de las vigas de bastidor en los esfuerzos de la viga de soporte.

35 Además del control de los dispositivos de soplado de hollín, se puede utilizar el cambio de masa para determinar cuándo ha de realizarse un ciclo de enfriamiento temporal para desprender depósitos o alternativamente la parada de la caldera de vapor para lavar las superficies de transferencia de calor.

Lista de dibujos

40 La figura 1 ilustra como vista lateral los bancos de intercambiadores de calor de una caldera de recuperación y su soporte en las vigas de bastidor de la caldera.

La figura 2 ilustra las estructuras de soporte de dos bancos de intercambiadores de calor vistos desde arriba.

La figura 3 muestra los puntos de soporte de una viga de soporte.

La figura 4 muestra un ejemplo de la fijación de una varilla de colgar a una viga de soporte.

45 La figura 5 ilustra un punto de medición en el extremo de una viga de soporte.

La figura 6 ilustra un punto de medición en el centro de una viga de soporte.

Descripción detallada de la invención

50 La suspensión de las piezas estructurales de una caldera de vapor en las columnas de bastidor 16 y las vigas de bastidor 15 facilita su expansión térmica sin obstrucciones. La figura 1 ilustra el soporte de los intercambiadores de calor 10, 11, 12 de una caldera de recuperación en las estructuras de bastidor 15, 16 de la caldera. El número de

- bancos de intercambiadores de calor 10, 11, 12 varía según el tipo de caldera. En este caso, la caldera de recuperación comprende ocho bancos de intercambiadores de calor 10, 11, 12, los cinco primeros de los cuales en la dirección de flujo de gas de chimenea son recalentadores 10 que van seguidos por tubos de caldera 11, y los dos últimos bancos de intercambiadores de calor son precalentadores de agua 12. Cada banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 comprende una serie de elementos de placa consistentes en tubos de transferencia de calor, dentro de cuyos elementos circula el medio de transferencia de calor (agua o vapor). El gas de chimenea caliente que cede calor circula entre las placas intercambiadoras de calor que forman el banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12. Cada placa de transferencia de calor se suspende por medio de dos varillas de colgar 13 en dos vigas de soporte 14 que a su vez están soportadas en las vigas de bastidor 15.
- La figura 2 ilustra dos bancos de intercambiadores de calor 10, 11 vistos desde encima de la caldera, cada uno de cuyos bancos está suspendido por medio de varillas de colgar (no mostradas) en dos vigas de soporte 14 que están soportadas por cuatro vigas de bastidor 15. Cada viga de soporte 14 está soportada por cada viga de bastidor 15 en cuatro puntos de soporte s1, s2, s3, s4. La figura 3 muestra la viga de soporte 14 y sus puntos de soporte s1, s2, s3, s4 como una vista lateral. La figura 4 muestra un modo de fijación de la varilla de colgar 13 a la viga de soporte 14. Como se ilustra, la varilla de colgar 13 está concebida para pasar a través de la viga de soporte 14 y el extremo superior de la varilla de colgar 13 está asegurado a la superficie de soporte de la viga de soporte 14 por medio de una tuerca 19.
- La viga de soporte 14 ilustrada en la figura 4 comprende un ala inferior 20, un ala superior 21 y dos placas de alma 22 que conectan el ala inferior 20 al ala superior 21. El ala superior 21 soporta el peso de un banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 transmitido al ala superior 21 por las varillas de colgar 13. El ala inferior 20 recibe fuerzas de soporte R_{FEM} ejercidas por las vigas de bastidor 15 sobre la viga de soporte 14 en los puntos de soporte s1, s2, s3 y s4. Las placas de alma 22 no soportan sustancialmente una carga, pero están sometidas a las fuerzas de cizalladura que surgen debido a las fuerzas de soporte R_{FEM} y la carga transmitida por las varillas de colgar.
- La viga de soporte 14 puede ser, por ejemplo, una viga en I de una sola alma o una viga de cajón de doble alma o una viga rectangular. En todos los casos, la viga de soporte 14 comprende un elemento de soporte horizontal superior, un elemento de soporte horizontal inferior y al menos un elemento de soporte vertical que los conecta. En el elemento de soporte vertical se puede medir el estiramiento causado por los esfuerzos que se generan en la viga de soporte 14 por la reacción de soporte R_{FEM} .
- Los bancos de intercambiadores de calor 10, 11, 12 suspendidos de las varillas de colgar 13 ejercen una fuerza de arrastre hacia abajo sobre una viga de soporte 14, la cual es compensada por una fuerza de soporte, es decir, una reacción de soporte R_{FEM} , aplicada desde una viga de bastidor 15 hasta la viga de soporte 14 en los puntos de soporte s1, s2, s3, s4. Estas fuerzas de carga y estas fuerzas de soporte producen estados de esfuerzo locales en la viga de soporte 14 que pueden ser medidos por medio de calibres de esfuerzos. Por tanto, en el método según la invención los cambios de masa del banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 se miden por medio de calibres de esfuerzos que están encolados a las vigas de soporte 14 que soportan el banco de intercambiadores de calor. Preferiblemente, estos calibres de esfuerzos están situados cerca de los puntos de soporte s1, s2, s3, s4 de las vigas de soporte 14.
- La figura 5 muestra la posición preferida de los calibres de esfuerzos 17 en la placa de alma 22 de una viga de soporte 14 cerca de un punto de soporte s1 o s4 en el extremo de la viga, en cuyo punto de soporte se aplica una fuerza de soporte R_{FEM} a la viga de soporte 14.
- La figura 6 muestra de manera correspondiente la posición preferida de los calibres de esfuerzos 17 en la placa de alma 22 de una viga de soporte 14 cerca de puntos de soporte s2 (mostrados en la figura) y s3 (correspondientes a s2) en el centro de la viga, en cuyos puntos de soporte se aplica una fuerza de soporte R_{FEM} a la viga de soporte 14.
- La figura 6 muestra también que un elemento espaciador 23 puede estar colocado en un punto de soporte s3 (y s2, respectivamente) entre una viga de soporte 14 y una viga de bastidor 15 a fin de limitar el área sometida a la reacción de soporte, lo que facilita la disposición del punto de medición cerca del borde inferior del alma 22 en la posición más preferida en términos de detección del cambio en el estiramiento causado por el esfuerzo principal. Un rigidizador vertical 24 puede estar preferiblemente fijado al alma 22 de la viga de soporte 14 en el punto de soporte s2, s3. Un rigidizador vertical 24 en el punto de soporte impide un pandeo del alma 22 de la viga de soporte.
- Preferiblemente, los calibres de esfuerzos utilizados son dos pares de calibres de esfuerzos 17, estando dispuestos los calibres de esfuerzos bajo un ángulo de 90° uno con otro y estando posicionado un calibre de esfuerzos de los pares de calibres de esfuerzos 17 en la dirección del esfuerzo principal. Así, al medir un punto de soporte s se utilizan un total de cuatro calibres de esfuerzos para realizar simultáneamente mediciones en dos direcciones. Preferiblemente, los pares de calibres de esfuerzos 17 están situados en el alma 22 de una viga de soporte 14 en un punto al que se aplica el esfuerzo principal causado por la fuerza de soporte R_{FEM} de una viga de soporte 15 aproximadamente bajo un ángulo de 45°. Están previstos dos pares de calibres de esfuerzos 17 en conexión con cada punto de soporte s a medir, cuyos calibres están conectados uno a otro de modo que formen un puente de

Wheatstone. Los pares de calibres de esfuerzos 17 están preferiblemente encolados cerca de un agujero o una muesca 18 realizados cerca del punto de soporte s1, s2, s3, s4 de la viga de soporte 14. El agujero o muesca 18 amplifica los estados de esfuerzo de la viga de soporte 14 y mejora la sensibilidad de la medición. Se pueden realizar también mediciones de los cambios de esfuerzo en la dirección de los esfuerzos principales con ayuda de otros métodos de medición conocidos, observando sus limitaciones y características conocidas.

Cuando solamente están dispuestos calibres de esfuerzos 17 en la placa de alma 22 de una viga de soporte 14, la posible torsión de la viga de soporte en la dirección del eje longitudinal puede provocar faltas de precisión en los resultados de medición. Si así se requiere, esto puede eliminarse disponiendo los puntos de medición simétricamente en ambas placas de alma 22 de la viga de soporte 14, con lo que los resultados de medición de cada punto de soporte s1, s2, s3, s4 se obtienen sumando los resultados de medición de los puntos de medición de ambas placas de alma 22. En este caso, es necesario duplicar la cantidad de canales de medición.

Se compensa automáticamente un error causado por cambios de temperatura cuando se conectan calibres de esfuerzos en una conexión de puente completo de Wheatstone y todos los sensores están a la misma temperatura. El puente de medición se conecta de modo que, cuando las resistencias de los sensores cambien en la misma dirección (cambios de temperatura), el puente se mantenga en equilibrio, pero, cuando las resistencias cambien en direcciones diferentes, el puente abandone fácilmente el estado de equilibrio. Cuando se alimenta una fuente de voltaje constante al puente, la pérdida de equilibrio es vista como el voltaje de salida del puente. Así, el voltaje de salida es directamente proporcional al estado de esfuerzo de una viga de soporte. La señal obtenida de la conexión en puente es amplificada e introducida a través de un sistema de anotación de datos en una unidad de cálculo para salvar y analizar los datos.

El sistema de medición comprende al menos un sistema de anotación de datos y un ordenador u otra unidad de cálculo que tenga un programa informático para procesar los datos registrados por medio de los calibres de esfuerzos. El programa informático recibe los datos de medición procedentes del sistema de anotación de datos, los procesa convirtiendo la señal de medición en datos que representan la masa o el cambio de masa del intercambiador de calor, compila datos estadísticos y convierte los datos en otros formatos.

La calibración del sistema de medición puede realizarse como una calibración directa cargando una viga de soporte 14 con masas conocidas o por medio del método de elementos finitos. En la calibración directa se calculan los coeficientes de calibración utilizando señales medidas por medio de masas conocidas. En la calibración dinámica se mueven masas a lo largo de la viga de soporte 14, mientras que en la calibración estática se suspenden masas estáticas conocidas en varios puntos de la viga de soporte 14. En la calibración basada en el método de elementos finitos se calculan coeficientes de calibración teóricos por medio de los valores de ajuste del sistema de anotación de datos, características de los calibres de esfuerzos y valores de estiramiento teóricos en las posiciones óptimas de los calibres de esfuerzos 17 obtenidas por modelación de elementos finitos.

Las señales digitales medidas por medio de los calibres de esfuerzos 17 pueden convertirse en valores representativos de la masa o del cambio de masa de un banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 por medio de la ecuación siguiente:

$$W_{i,s} = CF_{\varepsilon-W,s} \cdot CF_{S-\varepsilon} \cdot (S_{i,s} - S_{0,s}) \quad (1)$$

en la que

$W_{i,s}$ es la masa medida en un punto de soporte s en un instante t_i ;

$CF_{\varepsilon-W,s}$ es el factor de conversión entre el estiramiento y una masa aplicada al punto de soporte (ecuación 2). El valor teórico del factor $CF_{\varepsilon-W,s}$ puede calcularse por el método de elementos finitos a partir de los esfuerzos de la viga;

$CF_{S-\varepsilon}$ es el factor de conversión entre la señal de salida digital del sistema de anotación de datos y el estiramiento medido por los calibres de esfuerzos (ecuación 3). $CF_{S-\varepsilon}$ depende de los ajustes del sistema de anotación de datos y de la configuración de los calibres de esfuerzos (en este caso, un puente completo de Wheatstone con cuatro calibres activos en cada punto de soporte s);

$S_{i,s}$ es la señal de salida producida por el sistema de anotación de datos a partir de los calibres de esfuerzos en el punto de soporte s en un cierto instante t_i ;

$S_{0,s}$ es la señal de salida producida por el sistema de anotación de datos a partir de los calibres de esfuerzos en el punto de soporte s, la cual corresponde a una masa 0 (es decir, la señal de salida al comienzo de las mediciones mientras está limpia la caldera).

El factor de conversión $CF_{\varepsilon-W,s}$ puede calcularse por medio de la ecuación siguiente

$$CF_{\varepsilon-W,s} = \frac{R_{FEM}}{\varepsilon_{1,s} - \varepsilon_{2,s} + \varepsilon_{3,s} - \varepsilon_{4,s}} \quad (2)$$

en la que

R_{FEM} es la reacción de soporte en un punto de soporte s calculada por el método de elementos finitos (a fin de obtener la masa W_i en kilogramos se ha de convertir R_{FEM} en kilogramos);

5 $\varepsilon_{1,s} \dots \varepsilon_{4,s}$ es el estiramiento relativo de calibres de esfuerzos en una dirección específica calculada por el método de elementos finitos (figuras 4 y 5).

El factor de conversión $CF_{S-\varepsilon}$ puede calcularse por medio de la ecuación siguiente:

$$CF_{S-\varepsilon} = \frac{4U_{sal}}{GF \cdot U_{exc}} \quad (3)$$

en la que

U_{sal} es el voltaje de salida, es decir, el voltaje medido del sistema de anotación de datos (ecuación 4);

10 GF es la constante de calibre proporcionada por el productor del calibre de esfuerzos;

U_{exc} es el voltaje de excitación del puente de Wheatstone.

El voltaje de salida U_{sal} puede calcularse por medio de la ecuación siguiente:

$$U_{sal} = \frac{\Delta U}{ganancia \cdot 2^m} \quad (4)$$

en la que

15 ΔU es la zona de medición global del sistema de anotación de datos;

$ganancia$ es el coeficiente de amplificación del sistema de anotación de datos;

m es la resolución del sistema de anotación de datos.

20 Por medio de la suma de las reacciones de soporte R_{FEM} que proporcionan el equilibrio de las cargas aplicadas a una viga de soporte 14 en un cierto instante y la comparación de las mismas con una situación en la que se ha acabado de limpiar el banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12, se obtienen el cambio de la reacción de soporte global después de la limpieza del banco de intercambiadores de calor y así el incremento de masa del banco de intercambiadores de calor.

25 Cuando se comparan los cambios de estado de esfuerzo de las vigas de soporte 14 que soportan el borde frontal y el borde trasero (como se ve en la dirección de flujo) de un banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 en puntos de medición individuales, se puede obtener una idea de cómo se acumulan los incrementos de masa en el plano horizontal, es decir, en el lado izquierdo o en el lado derecho o en el lado del borde frontal o del borde posterior. Dado que los dispositivos de soplado de hollín están también a alturas diferentes, el cambio de masa suministrado como salida durante una operación de soplado de hollín individual permite estimar también la acumulación de masa del banco de intercambiadores de calor 10, 11, 12 y la eficiencia del soplado de hollín en la dirección vertical. Dado
30 que la acumulación de masa es frecuentemente desigual y se obtienen datos bidimensionales o incluso tridimensionales en la acumulación y la salida de masa, los dispositivos de soplado de hollín pueden controlarse de la manera más óptima por medio de los datos de medición obtenidos para retirar los depósitos en un instante apropiado dentro del área operativa de incluso un solo dispositivo de soplado de hollín.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para vigilar los cambios de masa de un banco de intercambiadores de calor (10, 11, 12) de una caldera de vapor, cuyo banco de intercambiadores de calor (10, 11, 12) está soportado por varillas de colgar verticales (13) y vigas de soporte (14) en las vigas de bastidor (15) de la caldera de vapor, **caracterizado** por que unos elementos de soporte verticales (22) de las vigas de soporte (14) se proveen de calibres de esfuerzos (17) para medir los cambios del estado de esfuerzo generado en las vigas de soporte (14) por la masa del banco de intercambiadores de calor (10, 11, 12).
- 10 2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se colocan calibres de esfuerzos (17) cerca de unos puntos de soporte (s1, s2, s3, s4) de una viga de soporte (14), en cuya viga de soporte (14) descansa una viga de bastidor (15).
3. Método según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** por que se miden los cambios del estado de esfuerzo en cada punto de soporte (s1, s2, s3, s4) por medio de cuatro calibres de esfuerzos (17) que forman una conexión en puente completo de Wheatstone.
- 15 4. Método según la reivindicación 3, **caracterizado** por que dos de los cuatro calibres de esfuerzos (17) se disponen en la dirección del esfuerzo principal y los otros dos se disponen perpendicularmente a dicha dirección del esfuerzo principal.
5. Método según la reivindicación 4, **caracterizado** por que los esfuerzos principales de una viga de soporte (14) cerca de los puntos de soporte (s1, s2, s3, s4) se determinan por el método de elementos finitos.
- 20 6. Método según la reivindicación 2, **caracterizado** por que se fijan calibres de esfuerzos (17) a puntos de soporte (s1, s2, s3, s4) de dos elementos de soporte verticales (22) de una viga de soporte (14) para compensar la posible torsión de la viga de soporte (14).
- 25 7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se colocan calibres de esfuerzos (17) sobre un elemento de soporte vertical (22) de una viga de soporte (14) en un punto en el que se aplica el esfuerzo principal proporcionado por la fuerza de soporte (R_{FEM}) de una viga de bastidor (15) aproximadamente bajo un ángulo de 45°.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se calibra el sistema de medición, si se requiere, poniendo una masa conocida en una posición conocida de una viga de soporte, preferiblemente en una o más varillas de colgar.
- 30 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se calibra el sistema de medición, si se requiere, por el método de elementos finitos.
- 35 10. Sistema para vigilar los cambios de masa de bancos de intercambiadores de calor (10, 11, 12) de una caldera de vapor, cuyos bancos de intercambiadores de calor (10, 11, 12) están soportados por varillas de colgar verticales (13) y vigas de soporte (14) en las vigas de bastidor (15) de la caldera de vapor, **caracterizado** por que el sistema comprende una serie de calibres de esfuerzos (17) fijados a elementos de soporte verticales (22) de las vigas de soporte (14) para medir los cambios del estado de esfuerzo generado en la viga de soporte (14) por la masa del banco de intercambiadores de calor (10, 11, 12), unos medios de anotación de datos para anotar los datos de medición y un ordenador o una unidad de cálculo correspondiente para procesar los datos de medición.

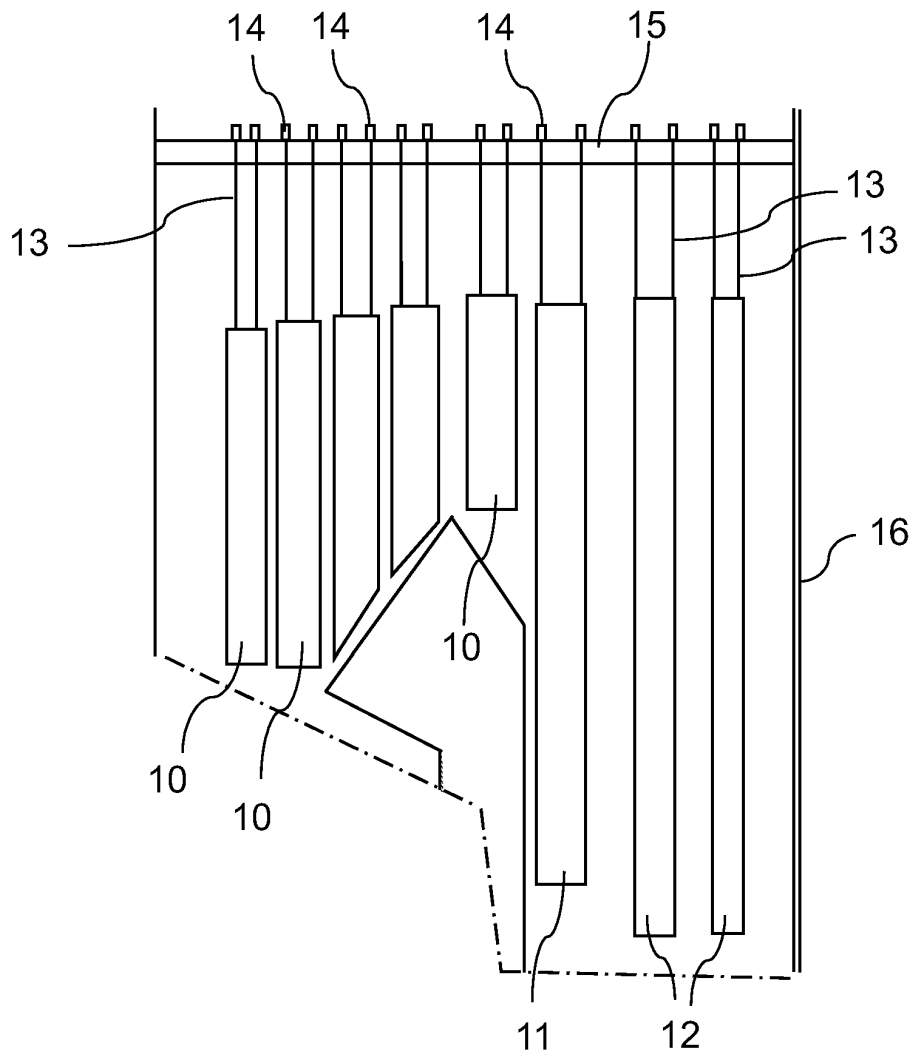


Fig. 1

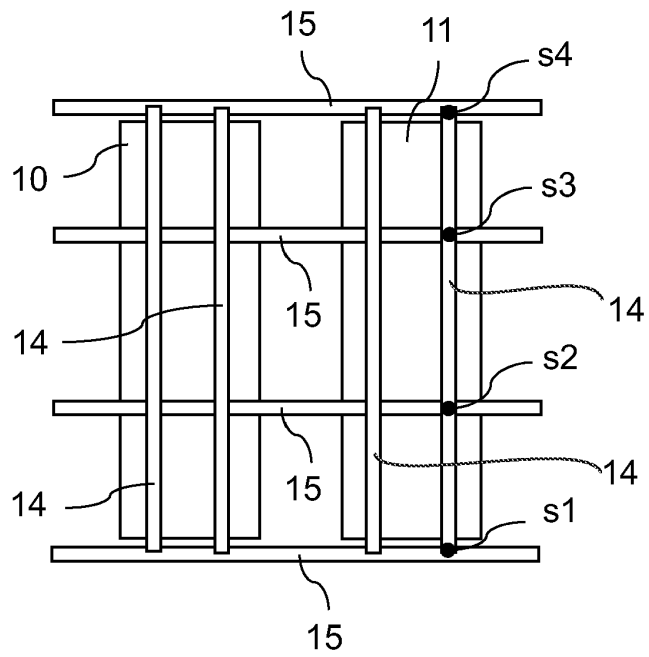


Fig. 2

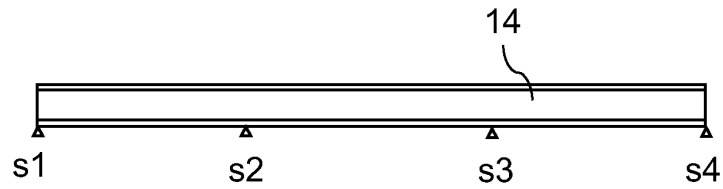


Fig. 3

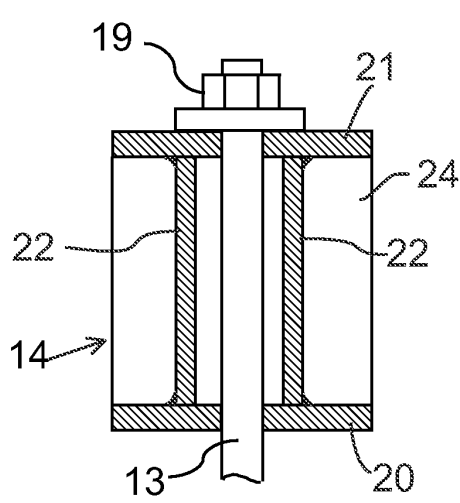


Fig. 4

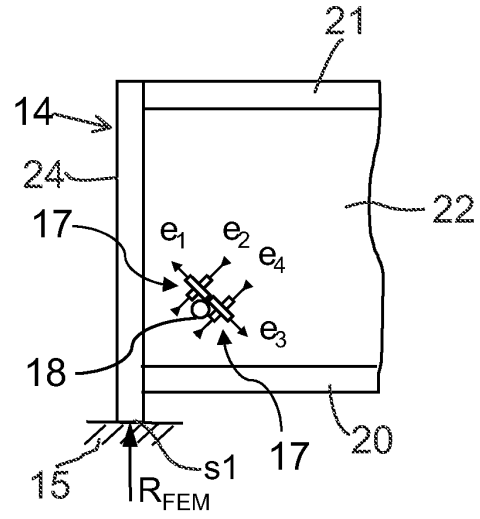


Fig. 5

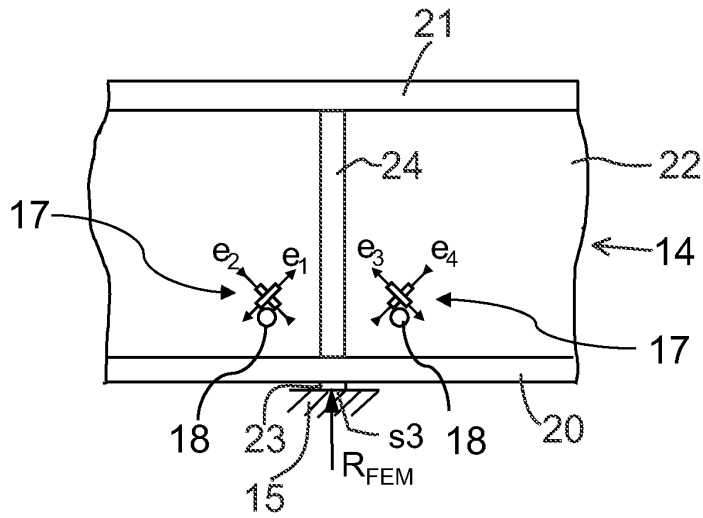


Fig. 6