

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 587 752**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/00** (2006.01)

**G01B 11/245** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.08.2013 PCT/EP2013/066603**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.02.2014 WO14029625**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2013 E 13753825 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2016 EP 2885603**

54 Título: **Procedimiento para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible de un elemento combustible de un reactor de agua en ebullición**

30 Prioridad:

**20.08.2012 DE 102012214730**  
**24.05.2013 DE 102013105365**

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

**26.10.2016**

73 Titular/es:

**AREVA GMBH (100.0%)**  
**Paul-Gossen-Strasse 100**  
**91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**HUMMEL, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 587 752 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 medir la flexión de una carcasa de elemento combustible de un reactor de agua en ebullición

5 La invención se refiere a un procedimiento para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible de un elemento combustible de un reactor de agua en ebullición.

10 En el caso de un elemento combustible de un reactor de agua en ebullición, las barras combustibles están dispuestas dentro de una carcasa de elemento combustible. Los elementos combustibles y, por consiguiente, las carcasas de elemento combustible pueden experimentar en el transcurso de su funcionamiento, dependiendo de su posición en el núcleo, una flexión que, en el peor de los casos, puede conducir a una dificultad a la hora de mover los elementos de control o a problemas al intercambiar elementos combustibles. Para poder evaluar si, dónde y con qué orientación de giro puede seguir usándose un elemento combustible o una carcasa de elemento combustible en el núcleo, se requiere, por tanto, determinar la flexión de las carcasas de elemento combustible.

15 Por tanto, la invención tiene por objetivo indicar un procedimiento para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible de un elemento combustible de un reactor de agua en ebullición que pueda llevarse a cabo de manera sencilla y con poca inversión de tiempo.

20 El objetivo mencionado se soluciona de acuerdo con la invención con un procedimiento con las características de la reivindicación 1. En el procedimiento para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible de un elemento combustible de un reactor de agua en ebullición se captura con una cámara una imagen de la carcasa de elemento combustible y se analiza por fotogrametría con las siguientes etapas de procedimiento:

25 a) la carcasa de elemento combustible se coloca en una pila inundada,  
b) la cámara se coloca por encima de la carcasa de elemento combustible y desplazada lateralmente con respecto a la carcasa de elemento combustible, de modo que

30 b1) su eje óptico está orientado en un ángulo agudo con respecto a un eje longitudinal central ideal de la carcasa de elemento combustible, y de modo que

b2) su plano focal está orientado en paralelo a un borde de lado frontal de la carcasa de elemento combustible, y de modo que

35 b3) los dos bordes de lado frontal de la carcasa de elemento combustible dirigidos hacia la cámara están reproducidos en la imagen,

c) en la imagen capturada por la cámara se miden las posiciones de imagen de los vértices de los bordes de lado frontal dirigidos hacia la cámara, orientados en paralelo al plano focal,

40 d) a partir de la longitud y el ancho conocidos de la carcasa de elemento combustible, de las posiciones de imagen de los vértices de los bordes de lado frontal y de la distancia respecto a la imagen conocida de la cámara o bien se calcula la ubicación de una línea de intersección en la imagen, en la que un plano intermedio perpendicular al eje longitudinal central ideal y predefinido por lo que respecta a su posición axial interseca la superficie lateral de la carcasa de elemento combustible dirigida hacia la cámara, o bien se calcula, a partir de la ubicación de una línea de intersección predefinida en la imagen, la posición axial de esta línea de intersección,

45 e) la línea de intersección se inserta en la imagen y se miden las posiciones de imagen de los vértices de la carcasa de elemento combustible que se sitúan sobre esta línea de intersección,

f) a partir de las posiciones de imagen de los vértices se calcula la posición de imagen del punto medio de un segmento que une los vértices, que discurre en paralelo a los bordes de lado frontal,

50 g) con ayuda del ancho conocido de la carcasa de elemento combustible y de la escala de reproducción de la cámara conocida en esta línea de intersección se calcula, a partir de la posición de imagen medida de este punto medio, su desviación del eje longitudinal central ideal.

Mediante este modo de proceder es posible medir la totalidad de la carcasa de elemento combustible, cuya longitud (distancia entre dos vértices que se encuentran en los extremos de lado frontal de un borde longitudinal) y ancho se conocen, mediante la captura de una única imagen, sin que para ello tengan que conocerse la distancia lateral y vertical de la cámara respecto a la carcasa de elemento combustible así como el ángulo entre el eje longitudinal central ideal del elemento combustible y el eje óptico de la cámara.

60 Por la expresión “eje longitudinal central ideal” debe entenderse en adelante una recta de unión que une los puntos medios de los bordes de lado frontal (superior e inferior) de la carcasa de elemento combustible que se encuentran en la misma pared lateral.

65 Por distancia respecto a la imagen de la cámara se denomina la distancia entre el punto medio de una lente fina imaginaria y el plano focal, que presenta la misma escala de reproducción que el objetivo de cámara usado, por regla general de varias lentes, teniéndose en cuenta adicionalmente los índices de refracción diferentes del medio (por regla general, aire) que se encuentra dentro de la carcasa de cámara y del agua que envuelve la cámara.

Aunque por el documento US 2011/0182393 A1 se sabe ya en principio cómo medir la flexión y torsión de un elemento combustible de un reactor de agua a presión con un procedimiento por fotogrametría, no obstante, el procedimiento explicado en el mismo no es adecuado para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible, ya que esta no contiene ningún elemento estructural que pueda verse desde fuera al que pueda asociarse una posición axial exacta. En el caso del procedimiento conocido por esta publicación, concretamente solo mediante la posición de los distanciadores que pueden verse en la imagen pueden asociarse las desviaciones, medidas respectivamente en la imagen, de la posición de un elemento estructural a una posición axial en la zona de estos distanciadores por una recta ideal que se extiende en una dirección longitudinal del elemento combustible. En el caso de un elemento combustible cuyas barras combustibles están envueltas por una carcasa de elemento combustible, o en el caso de una carcasa de elemento combustible no equipada, los planos horizontales seleccionados, respectivamente, para medir la desviación no pueden asociarse sin más a una posición axial real.

El documento FR-2 754 892 A1 desvela un procedimiento para medir la flexión de un elemento combustible de un reactor de agua a presión.

La invención se basa ahora en la idea de que también sin la presencia de elementos estructurales conocidos por lo que respecta a su posición axial y que puedan segmentarse en la imagen y sin conocimiento exacto de la posición relativa entre la cámara y la carcasa de elemento combustible paralelepédica, basándose en ecuaciones fundamentales más sencillas de la óptica geométrica, solo a partir de la longitud y el ancho conocidos de la carcasa de elemento combustible, de las posiciones de imagen de los vértices de los bordes de lado frontal y, por consiguiente, del ancho de imagen de los bordes de lado frontal y de la distancia respecto a la imagen conocida de la cámara con respecto a cada línea de intersección o cada plano de intersección que discurre en perpendicular al eje longitudinal central ideal, mediante medición del ancho de la carcasa de elemento combustible reproducida de la superficie lateral dirigida hacia la cámara en este plano de intersección, es posible calcular su posición axial. Para ello, o bien se calcula la ubicación de una línea de intersección en la imagen, en la que un plano intermedio perpendicular al eje longitudinal central ideal y predefinido por lo que respecta a su posición axial interseca el lado plano de la carcasa de elemento combustible dirigido hacia la cámara, o bien se calcula, a partir de la ubicación de una línea de intersección predefinida en la imagen, su posición axial real. Por consiguiente, a partir de las posiciones de los vértices que se sitúan sobre esta línea de intersección en la imagen puede averiguarse en qué posición axial está presente qué desviación del eje longitudinal central real respecto al eje longitudinal central ideal.

Para obtener una afirmación lo más completa posible sobre el desarrollo de la curvatura de la carcasa de elemento combustible por la totalidad de la longitud de la carcasa de elemento combustible se mide preferentemente la posición de imagen del punto medio para una pluralidad de planos intermedios y se calcula el desarrollo de una línea central que une los puntos medios así como su desviación respecto al eje longitudinal central ideal.

Una medición de la carcasa de elemento combustible es posible, por un lado, cuando esta está vacía, es decir, una vez eliminada de la misma la estructura de sujeción que fija las barras combustibles. Por otro lado, puede medirse la carcasa de elemento combustible también junto al elemento combustible completo. En este último caso, por tanto, se consigue una ejecución del procedimiento especialmente sencilla cuando el elemento combustible, al llevar a cabo el procedimiento, se coloca en suspensión libre en la pila, ya que en este caso no tiene que desacoplarse de la máquina de carga usada para transportar el elemento combustible a la estación de medición.

Para explicar adicionalmente la invención se remite al ejemplo de realización representado en las figuras. Muestran:

la Figura 1, una imagen de principio, en la que la disposición de la cámara y del elemento combustible al llevar a cabo la medición por fotogrametría de acuerdo con la invención están representadas en una vista lateral,

la Figura 2, una vista superior del lado trasero de un elemento combustible flexionado dirigido en sentido opuesto a la cámara igualmente en una imagen de principio esquemática,

la Figura 3, una imagen, capturada con la cámara, de la carcasa de elemento combustible igualmente en una representación simplificada.

De acuerdo con la Figura 1, una cámara 2 prevista para medir por fotogrametría la carcasa de elemento combustible está montada en un bastidor 5 dispuesto en el borde de una pila 4 inundada de manera que puede desplazarse en horizontal (eje x) y en vertical (eje z) y de manera que puede pivotar alrededor de un eje que discurre en perpendicular al plano de proyección y en perpendicular al eje z y al eje z, tal como está ilustrado mediante una flecha doble 6. El plano focal E de la cámara 2 discurre en perpendicular al plano de proyección, de modo que el ángulo  $\beta$  entre el eje z y el plano focal E puede modificarse en el plano (de proyección) establecido por el eje x y el eje z.

En el campo de imagen de la cámara 2 está colocado en suspensión libre desde la pinza de una máquina de carga de elemento combustible 7 un elemento combustible 8 de un reactor nuclear de agua en ebullición, que está ilustrado en la figura de manera simplificada solo en forma de la carcasa de elemento combustible 10 que envuelve

las barras combustibles. La pila 4 está inundada, de modo que la cámara 2 y el elemento combustible 8 se encuentran por debajo de la superficie del agua 9.

La cámara 2 se encuentra a una distancia  $s$  y a una altura  $h$  desplazada lateralmente con respecto al o por encima del borde de lado frontal superior 12, dirigido hacia la cámara 2, del elemento combustible 8 o carcasa de elemento combustible 10. Los datos de distancia o altura se refieren, a este respecto, al punto en el que el eje óptico A de la cámara 2 interseca la superficie exterior del sistema de lentes de objetivo. La cámara 2 y el elemento combustible 8 o la carcasa de elemento combustible 10 están colocados, a este respecto, relativamente uno con respecto al otro de modo que el eje óptico A de la cámara 2 discurre en un ángulo agudo  $\alpha$  con respecto a un eje longitudinal central 14 ideal del elemento combustible 8. En otras palabras: la cámara 2 está desplazada lateralmente con respecto a la carcasa de elemento combustible, es decir, está dispuesta distanciada del eje longitudinal central 14. El elemento combustible 8 o la carcasa de elemento combustible 10 se alinea de modo que el plano focal E de la cámara 2 está orientado en paralelo al borde de lado frontal 12 de la carcasa de elemento combustible 10. Preferentemente, el elemento combustible 8 está colocado, además, de modo que los vértices del borde de lado frontal 12 en la imagen presentan aproximadamente la misma distancia con respecto al borde de imagen lateral, de modo que un eje longitudinal central 14 ideal que une las posiciones de imagen de los puntos medios del borde de lado frontal superior 12 así como del borde de lado frontal inferior 18 discurre por el centro de la imagen. La cámara 2 y el elemento combustible 8 están colocados además relativamente uno con respecto al otro de modo que en la imagen capturada por la cámara 2 están reproducidos tanto el borde de lado frontal superior como el inferior 12 o 18.

A partir de la distancia respecto a la imagen conocida de la cámara 2 así como de la longitud  $L$  y el ancho  $B$  conocidos de la carcasa de elemento combustible 10 puede averiguarse ahora, sin conocimiento del ángulo  $\beta$ , de la distancia lateral  $s$  así como de la distancia en altura  $h$ , una flexión del elemento combustible en un plano perpendicular al plano de proyección solo a partir del desarrollo de los bordes longitudinales 20 laterales de la carcasa de elemento combustible 10 dirigidos hacia la cámara 2 mediante aplicación de fórmulas trigonométricas sencillas.

El eje óptico A de la cámara 2 interseca el plano establecido por los bordes de lado frontal 12, 18, orientado en perpendicular al plano de proyección, que también en el caso de una carcasa de elemento combustible curvada hacia atrás (en la Figura 1 hacia la derecha) coincide de manera suficientemente exacta con la superficie lateral de la carcasa de elemento combustible 10 dirigida hacia la cámara 2, en un punto C. Este se encuentra a una distancia  $d_o$  o  $d_u$  de los bordes de lado frontal 12 o 18. Con  $l_o$  o  $l_u$  se denominan las distancias de los bordes de lado frontal 12 o 18 respecto a un punto D, en el que el eje óptico A interseca el centro de la lente de objetivo de la cámara 2, considerada de manera simplificada como lente fina.

En la Figura 1 está dibujado, además, un plano de intersección  $Z_i$  que discurre en perpendicular al eje longitudinal central y al plano de proyección, que se encuentra a una distancia  $d_i$  respecto al borde frontal superior de la carcasa de elemento combustible 10.

La Figura 2 muestra la disposición representada en la Figura 1 en una vista superior del lado trasero de la carcasa de elemento combustible 10 dirigido en sentido opuesto a la cámara 2, no estando representada por motivos de claridad la pinza de la máquina de carga de elemento combustible. Igualmente está representada de manera exagerada la flexión lateral de la carcasa de elemento combustible 10.

Mediante la Figura 3 se explica en mayor detalle el modo de proceder durante la medición de la flexión. En el campo de imagen 16 de la cámara está reproducida en perspectiva la carcasa de elemento combustible 10, pudiendo observarse que tanto el borde frontal superior 12 como el borde frontal inferior 18 discurren en paralelo al eje X de un sistema de coordenadas XY establecido por el campo de imagen 16 de la cámara. Debido a la orientación oblicua en ángulo agudo del eje óptico A de la cámara con respecto al eje longitudinal central 14 ideal, el borde frontal inferior 18 es significativamente más corto que el borde frontal superior 12. La cámara y la carcasa de elemento combustible 10 están alineadas, además, de modo que el punto medio de imagen, es decir, el punto en el que el eje óptico A interseca el plano focal, se sitúa sobre el eje longitudinal central 14 ideal. Este eje longitudinal central 14 viene fijado en la imagen por la línea de unión entre los puntos medios  $M_o$ ,  $M_u$  de los bordes de lado frontal 12, 18 reproducidos.

Mediante las dimensiones  $L, B$  conocidas de la carcasa de elemento combustible 10 y la distancia respecto a la imagen  $b$  conocida de la cámara se calculan, a partir de las posiciones de imagen  $PL_o$ ,  $PR_o$ ,  $PL_N$  y  $PR_N$  de los vértices 12R, 12L, 18L y 18R de lado frontal, las distancias  $d_o$ ,  $d_u$  y las distancias  $l_o$ ,  $l_u$  (Figura 1), de modo que se conocen la posición y la alineación de la cámara con respecto a la carcasa de elemento combustible 10 y, por consiguiente, las relaciones de reproducción geométricas. A partir de las coordenadas de imagen de cada punto de imagen sobre la superficie lateral de la carcasa de elemento combustible 10 dirigida hacia la cámara puede calcularse, por tanto, la ubicación del punto de objetivo correspondiente a este punto de imagen en el plano establecido por la superficie lateral de la carcasa de elemento combustible 10 dirigida hacia la cámara.

En una etapa siguiente se seleccionan ahora varios planos intermedios  $Z_i$  en la carcasa de elemento combustible real, cuya distancia  $d_i$  (Figura 1) con respecto al borde frontal superior 12 se conoce en cada caso. Con ayuda de las

propiedades de reproducción de la cámara conocidas a partir de ahora, para estos planos intermedios  $Z_i$  seleccionados se insertan en la imagen capturada a partir de la carcasa de elemento combustible 10 líneas de intersección  $S_i$  que resultarían si los planos intermedios  $Z_i$  intersecaran una superficie lateral plana de la carcasa de elemento combustible 10 que mira hacia la cámara. A continuación se miden las posiciones de imagen  $PL_i$  y  $PR_i$  de los vértices en los que la línea de intersección  $S_i$  interseca en la imagen los bordes longitudinales reproducidos de la carcasa de elemento combustible 10. Sus posiciones de imagen coinciden también en el caso de una carcasa de elemento combustible 10 curvada de manera convexa o de manera cóncava, visto desde la cámara, con precisión suficiente, con las posiciones de imagen de los vértices que se encuentran en realidad en estos planos intermedios  $Z_i$ .

Esto se realiza para una pluralidad de planos intermedios  $Z_i$  o líneas de intersección  $S_i$ , estando insertados en la Figura, por motivos de claridad, solo un plano intermedio  $Z_{i+1}$  adicional así como las posiciones de imagen  $PL_{i+1}$  y  $PR_{i+1}$  correspondientes de los vértices. A continuación se calcula la posición de imagen  $M_i$  del punto medio que se sitúa entre las posiciones de imagen  $PL_i$  y  $PR_i$  de los vértices para cada plano intermedio  $Z_i$ . En el caso de una carcasa de elemento combustible 10 no flexionada, estos puntos medios están todos sobre el eje longitudinal central 14 ideal.

Como alternativa al modo de proceder descrito anteriormente puede insertarse también en la imagen en primer lugar una línea de intersección  $S_i$  que discurre en paralelo a los bordes de lado frontal 12, 18, para la que con posterioridad se averigua su posición axial (distancia  $d_i$ ) real. Es esencial conocer la posición axial real de la línea de intersección  $S_i$ .

En la Figura 3 están dibujados con líneas discontinuas ahora los bordes longitudinales 20 de una carcasa de elemento combustible 10 curvada. En este caso, las posiciones de imagen  $BPL_i$  y  $BPR_i$  de los vértices están desplazadas hacia la izquierda. De manera correspondiente, también la posición de imagen  $BM_i$  del punto medio del segmento definido por estos vértices  $BPL_i$  y  $BPR_i$  se desplaza hacia la izquierda. Si esto se lleva a cabo para una pluralidad de planos intermedios  $Z_i$  o líneas de intersección  $S_i$ , puede calcularse de esta manera, debido a las relaciones de reproducción conocidas, el desarrollo del eje longitudinal central 14 real a partir de las posiciones de imagen  $BM_i$ ,  $BM_{i+1}$  medidas de estos puntos medios.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para medir la flexión de una carcasa de elemento combustible (20) para un elemento combustible (8) de un reactor de agua en ebullición, en el que con una cámara (2) se captura una imagen de la carcasa de elemento combustible (10) y se analiza por fotogrametría, con las siguientes etapas de procedimiento:
- 10 a) la carcasa de elemento combustible (10) se coloca en una pila inundada,  
 b) la cámara (2) se coloca en paralelo a un eje Z vertical a una altura (h) por encima de la carcasa de elemento combustible (10) y desplazada lateralmente con respecto a la carcasa de elemento combustible (10), de modo que
- 15 b1) su eje óptico (A) está orientado en un ángulo agudo ( $\alpha$ ) con respecto a un eje longitudinal central (14) ideal de la carcasa de elemento combustible (10), y de modo que  
 b2) su plano focal (E) está orientado en paralelo a dos bordes de lado frontal (12, 18) de la carcasa de elemento combustible (10) que discurren en paralelo a un eje X horizontal, y de modo que  
 b3) los dos bordes de lado frontal (12, 18) de la carcasa de elemento combustible (10) dirigidos hacia la cámara (2) están reproducidos en la imagen,
- 20 c) en la imagen capturada por la cámara (2) se miden las posiciones de imagen ( $PL_0$ ,  $PR_0$ ,  $PL_N$  y  $PR_N$ ) de los vértices (12R, 12L, 18R y 18L) de los bordes de lado frontal (12, 18) dirigidos hacia la cámara (2), orientados en paralelo al plano focal (E),  
 d) a partir de la longitud (L) y el ancho (B) conocidos de la carcasa de elemento combustible (10), de las posiciones de imagen ( $PL_0$ ,  $PR_0$ ,  $PL_N$  y  $PR_N$ ) de los vértices de los bordes de lado frontal y de la distancia respecto a la imagen conocida de la cámara (2), o bien se calcula la ubicación de una línea de intersección ( $S_i$ ) en la imagen, en la que un plano intermedio perpendicular al eje longitudinal central (14) ideal y predefinido por lo que respecta a su posición axial interseca la superficie lateral de la carcasa de elemento combustible (10) dirigida hacia la cámara (2), o bien se calcula, a partir de la ubicación de una línea de intersección ( $S_i$ ) predefinida en la imagen, la posición axial de esta línea de intersección ( $S_i$ ),  
 e) la línea de intersección ( $S_i$ ) se inserta en la imagen y se miden las posiciones de imagen ( $PL_i$ ,  $PR_{i+}$ ,  $BPL_i$ ,  $BPR_i$ ) de los vértices de la carcasa de elemento combustible (10) que se sitúan sobre esta línea de intersección ( $S_i$ ),  
 30 f) a partir de las posiciones de imagen ( $PL_i$ ,  $PR_{i+}$ ,  $BPL_i$ ,  $BPR_i$ ) de los vértices se averigua la posición de imagen ( $M_i$ ,  $BM_i$ ) del punto medio de un segmento que une los vértices, que discurre en paralelo a los bordes de lado frontal,  
 g) con ayuda del ancho (B) conocido de la carcasa de elemento combustible (10) y de la escala de reproducción de la cámara (2) conocida en esta línea de intersección ( $S_i$ ) se calcula, a partir de la posición de imagen ( $M_i$ ,  $BM_i$ ) medida de este punto medio, su desviación del eje longitudinal central (14) ideal.
- 35 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se mide la posición de imagen del punto medio para una pluralidad de planos intermedios y se calcula el desarrollo de una línea central que une los puntos medios así como su desviación del eje longitudinal central ideal.
- 40 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que para medir la flexión de la carcasa de elemento combustible se coloca un elemento combustible en suspensión libre en la pila.



FIG 3

