



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 365 470**

51 Int. Cl.:  
**G06T 7/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08861890 .5**

96 Fecha de presentación : **12.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2232438**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.09.2010**

54 Título: **Procedimiento de análisis de una imagen de hidruros en una aleación metálica, especialmente en una aleación de envainado de combustible nuclear.**

30 Prioridad: **14.12.2007 FR 07 08742**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.10.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.10.2011**

73 Titular/es: **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives  
Bâtiment "Le Ponant D"  
25, rue Leblanc  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es: **Allegre, Stéphane;  
Sachot, Loïc y  
Rabouille, Olivier**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 365 470 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 de análisis de una imagen de hidruros en una aleación metálica, especialmente en una aleación de envainado de combustible nuclear

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de análisis de hidruros en una aleación metálica. Se aplica especialmente para el examen metalográfico por análisis de imágenes, por ejemplo en las aleaciones de circonio, material de envainado de los combustibles utilizados en las centrales nucleares.

Un ejemplo de tal análisis se presenta en el artículo de Zhang y col. "Cuantificación y caracterización de los hidruros de circonio en el Zircaloy-4 por el análisis de imagen", Journal of Nuclear Materials 195, 1992, p. 17-23.

10 Las operaciones de controles industriales, especialmente de control de los materiales, utilizan el análisis de imágenes. Este tipo de análisis se aplica especialmente para el control y el mantenimiento de las vainas de los combustibles de las centrales nucleares, siendo realizadas estas vainas en circonio. Debido al límite muy bajo de solubilidad del hidrógeno en el circonio a temperatura ambiente, se precipita con este último en forma de hidruros que pueden en algunas condiciones ser nefastos para el comportamiento mecánico de las vainas. La cantidad de hidruros formados a temperatura ambiente es directamente proporcional a su contenido en hidrógeno en el material.

15 El análisis de imagen de una muestra de vaina se puede utilizar para cuantificar el contenido en hidrógeno presentada por esta muestra, obteniéndose la imagen por ejemplo por microscopía óptica o por microscopía de barrido electrónico. Otras informaciones relativas a la morfología de los hidruros, por ejemplo su dimensión media, y su proximidad o su orientación respecto de un eje conocido son asimismo cuantificables por análisis de imágenes.

20 Este procedimiento tiene varias ventajas respecto del procedimiento de extracción en caliente a vacío, en efecto es un análisis localizado y no destructivo para los hidruros, lo cual es particularmente importante en los materiales irradiados. De este modo, no es necesario destruir las muestras para analizarlas. Una misma muestra puede entonces experimentar varios exámenes. Esto permite especialmente rentabilizar el análisis evitando la utilización de demasiadas muestras, en el caso de operaciones delicadas que requieren muchas manipulaciones.

25 Sin embargo, durante la preparación de las muestras antes de la toma de imágenes, estas últimas experimentan un pulido así como un ataque químico. El ataque químico tiene por objetivo revelar los hidruros. La mezcla ácida disuelve preferiblemente los hidruros que se revelan por contraste óptico. Desgraciadamente, el ataque químico ahueca también ligeramente la matriz alrededor de los hidruros y tiende a acentuar la dimensión, sobre todo en el espesor. Contrariamente a un examen por microscopía electrónica de barrido, de electrodos retrodifundidos, donde se puede observar los hidruros en su verdadera dimensión, en microscopía óptica cuanto mayor es el ataque químico mayor es el hidruro. Por lo tanto es difícil efectuar un análisis fiable, y especialmente una caracterización eficaz de los hidruros.

La invención tiene especialmente por objetivo permitir un análisis fiable de los hidruros, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. Con este propósito, la invención tiene por objeto un procedimiento de análisis de hidruros en una aleación metálica, tal como se describe en las reivindicaciones.

35 Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la ayuda de la siguiente descripción realizada con referencia a los dibujos anexos que representan:

- la figura 1, una ilustración de las etapas posibles de un procedimiento según la invención;
- las figuras 2a a 2d, ilustraciones de una primera etapa de corte de la imagen original de una muestra de aleación;
- 40 - la figura 3, una ilustración de una etapa de binarización de la imagen;
- la figura 4, una ilustración de una etapa de esqueletización de la imagen;
- la figura 5, una ilustración de una etapa de análisis que da el contenido en hidrógeno en el interior de la muestra;
- la figura 6, un ejemplo de curva de calibrado utilizada para la determinación del contenido en hidrógeno;
- 45 - la figura 7, ejemplos de reglas de conexidad para definir la pertenencia de píxeles a un mismo hidruro;
- la figura 8, una ilustración de la proximidad entre dos hidruros

La figura 1 ilustra las posibles etapas de un procedimiento según la invención, aplicado por ejemplo al análisis de los hidruros presentes en una vaina de aleación de circonio de las barras de combustible después de la irradiación en una central nuclear. En una etapa preliminar, se realiza una imagen de una muestra de una vaina. Esta imagen

es tomada por microscopia óptica o por cualquier otro medio. La figura 2a presenta un ejemplo de imagen obtenida, que incluye por ejemplo 760 x 570 píxeles. Esta imagen 20 muestra las trazas de hidruros 21 presentes en la muestra.

- 5 En una primera etapa 1, la imagen se recorta, y a continuación en las siguientes etapas 2, 3, 4 se trata hasta obtener una imagen de tipo esquelético, es decir donde las trazas de hidruros se reducen al espesor de un píxel. Finalmente, en una última etapa 6, el contenido en hidrógeno se determina basándose en la imagen esquelética con la ayuda de muestras de referencia por un procedimiento de calibrado.

- 10 Las figuras 2a a 2d ilustran la primera etapa 1 de recorte de la imagen 20 para obtener especialmente una imagen de dimensiones parametrizables, centrada en la imagen original. Esta operación permite particularmente la eliminación de los principales problemas ligados a los efectos de bordes tales como por ejemplo:

- las zonas de desenfoque 22 en los bordes, relativos a la toma de la imagen;
- la presencia de píxeles fuera de vaina 23 en el borde de la imagen.

La figura 2c ilustra el recorte 24 efectuado que da la imagen recortada 25 de la figura 2d. Es esta imagen 25 la que es tratada a continuación.

- 15 La primera etapa 1 puede ir seguida de una etapa 2 e corrección de iluminación de la imagen recortada 25. Durante la adquisición de imágenes, el operador ajusta él mismo la intensidad de la iluminación. Las lámparas utilizadas tienen generalmente rendimientos variables a lo largo del tiempo que hacen también que la iluminación sea variable. Las muestras también pueden tener un poder de reflectancia diferente. Esta última etapa 2 permite entonces si fuese necesario, reducir los artefactos de iluminación

- 20 La siguiente etapa 3 efectúa un paso de niveles de gris de la imagen coloreada 25. El paso de niveles de gris permite no conservar una imagen en color que puede ser demasiado compleja para efectuar el valor de umbral de la siguiente etapa 4. Varias soluciones conocidas son posibles para realizar un paso de niveles de gris. La imagen 25 de la figura 3 se obtiene por ejemplo según el paso por intensidad, realizándose el paso de niveles de gris en función de la intensidad luminosa. Otras soluciones son asimismo posibles.

- 25 La figura 3 ilustra la siguiente etapa 4 que efectúa un valor de umbral seguido de una binarización de la imagen. Se conocen varios procedimientos de valor de umbral. El objetivo del valor de umbral es seleccionar los hidruros tomando solo el mínimo de elementos no deseados. El valor de umbral puede ser necesario para el análisis de una imagen. En efecto, de esta operación depende la binarización de la imagen.

- 30 La binarización de la imagen sigue a la operación de valor de umbral. La binarización consiste en el paso de la imagen de nivel de gris 25 a una imagen en blanco y negro 31. Esta operación permite simplificar aun más el tratamiento de imagen para una selección de partículas en el interior de esta imagen.

- 35 La figura 4 ilustra el resultado obtenido durante la siguiente etapa 5, denominada de esquelización. Esta operación es un tratamiento de erosión última de un objeto hasta la dimensión de un grosor de un píxel. La figura 4 presenta la imagen 31 antes de esta operación de esquelización y la imagen 41 obtenida. Los hidruros 21 de la imagen 31 se transforman entonces en filamentos 21' del espesor de un píxel. El modo de esquelización utilizado en el ejemplo de la figura 4 es del tipo "esquelización clara". En este caso, no se realiza más que la esquelización de los píxeles blancos sobre fondo negro, correspondiendo los píxeles blancos a los hidruros. Es posible utilizar varios grados de esquelización. El grado máximo transforma los hidruros en filamentos de un píxel de espesor. Se pueden utilizar grados de esquelización inferiores, los hidruros se transforman entonces en filamentos de espesores superiores a un píxel, dependiendo el espesor final del grado.

- 45 La invención utiliza ventajosamente el hecho de que los hidruros tiene, para un material dado, sensiblemente el mismo espesor cualquiera que sea su concentración en la muestra. La invención utiliza asimismo como hipótesis el hecho de que el contenido en hidrógeno de una aleación de circonio es directamente proporcional a la longitud acumulada de los hidruros. Esto permite entonces asimilar un hidruro a un filamento sin considerar su espesor. La etapa de esquelización 5 permite obtener los filamentos a partir de los cuales se van a efectuar las mediciones de contenido en la siguiente etapa 6.

La figura 5 presenta las posibles fases de esta etapa 6 de medición del contenido de hidrógeno. En una primera fase 51 se calcula una magnitud característica de este contenido, denominada área H en lo sucesivo. Esta magnitud tiene en cuenta las áreas de los filamentos que corresponden a hidruros.

- 50 Más particularmente, es una magnitud sin dimensión correspondiente a la relación del área total de los filamentos de hidruro detectados en el área total de la imagen esquelizada 41. Se define entonces con la siguiente relación:

$$\text{Área H} = \frac{\sum \text{Áreas de los filamentos de hidruros detectados}}{\text{Área total de la imagen}} \quad (1)$$

En la práctica, se puede definir con la siguiente relación:

$$\text{Área H} = \frac{\sum \text{Área de los píxeles blancos retenidos}}{\text{Área total de la imagen}} \quad (2)$$

5 Los píxeles blancos retenidos, que corresponden a filamentos de hidruros detectados 21', dependen de opciones de mediciones que se definirán a continuación. Cada área de la suma E es la de un grupo de píxeles que forman una partícula. Las opciones de mediciones definen reglas para no retener más que las partículas que corresponden a filamentos de hidruros.

10 En una segunda fase 52 el área h calculada a partir de los filamentos de hidruros detectados, según la relación (2) por ejemplo, se compara con una curva de calibrado para obtener el contenido de hidrógeno en el interior de la muestra

La figura 6 da un ejemplo de curva de calibrado 61. El eje de ordenadas representa los valores del área H y el eje de abscisas representa el contenido de hidrógeno, expresado en ppm.

15 Esta curva de calibrado se realiza con las mismas opciones de mediciones que las mencionadas anteriormente para la selección de los filamentos. Esta curva de calibrado 61 se define a partir de las mediciones efectuadas en muestras de referencia que presentan un reparto homogéneo de los hidruros y de las cuales se conoce en contenido de hidrógeno. Para cada una de estas muestras se calcula el área H, según la relación (2), por ejemplo, según el mismo modo de cálculo que para la imagen 41 de la muestra a analizar. Por razones de legibilidad, el área H calculada según la relación (2) se multiplica por ejemplo por  $10^6$  de manera que su valor varíe entre 0 y 120000 en el eje de ordenadas. Las mediciones efectuadas en las muestras de referencia se representan mediante cruces 62 en el sistema de ejes de la figura 6. Para cada muestra de referencia, se conoce a priori el contenido de hidrógeno localizado en el eje de abscisas, se calcula su área H que se traslada al eje de ordenadas para obtener el punto de medición correspondiente 62.

25 La curva de calibrado 61 es entonces, por ejemplo, una recta cuya posición se define a partir de la posición de los puntos de medición 62 de las muestras de referencia. La recta 61 es por ejemplo la recta que presenta la distancia mínima respecto del conjunto de los puntos de mediciones 62. Una vez establecida esta curva de calibrado, el contenido en hidrógeno contenido en la imagen 41 de la muestra a analizar se determina a partir del cálculo de su área H. A partir del área H calculada trasladada al eje de ordenadas, se determina con la ayuda de la curva 61 el valor del eje de abscisas correspondiente que corresponde al contenido de hidrógeno buscado. El procedimiento se describe aquí de manera manual trasladando un valor calculado a un eje de ordenadas. La curva 61 se puede evidentemente poner en ecuación y obtener automáticamente el contenido por cálculo a partir de la ecuación de la curva 61 y del valor del área H de la muestra a analizar.

Este procedimiento de medición del contenido de hidrógeno permite ventajosamente tratar globalmente un gran número de imágenes y responde perfectamente a las necesidades de cuantificación de los hidruros en los materiales.

35 Para garantizar una buena fiabilidad del procedimiento, es necesario prever un número de muestras de referencia, y por lo tanto puntos de medición 62, suficiente. Cualquier modificación de las opciones de mediciones requiere asimismo un nuevo calibrado, es decir la definición de una nueva curva de calibrado 61.

Se pueden aplicar varias opciones de mediciones para la detección de las partículas, es decir grupos de píxeles. Se pueden retener especialmente las tres opciones relativas a los siguientes parámetros:

- 40
- la conexidad de los píxeles para determinar la pertenencia de píxeles a una misma partícula;
  - el número mínimo de píxeles en una partícula para establecer si se trata o no de un hidruro;
  - las inclusiones en los bordes para determinar si las partículas que tienen uno o varios píxeles en los límites de la imagen 41 se incluyen o no en los resultados de mediciones.

45 en lo relativo a la conexidad, es decir el número de vecinos a tener en cuenta, es un parámetro que permite ensanchar las partículas. La figura 7 ilustra dos modos de selección posibles de píxeles vecinos a partir de un extracto de imágenes cuadrado 71 de rígen que incluye  $3 \times 3 = 9$  píxeles de los cuales 3 son píxeles blancos 70.

El cuadrado 72 ilustra la opción de selección de 4 vecinos. en esta opción, se considera que dos píxeles de igual

color 701 van a formar parte de una misma partícula únicamente si son tratados en píxeles vecinos directamente, es decir, bien por encima, por debajo, a la derecha o a la izquierda, como lo ilustran los dos píxeles blancos originales 701 que se han agrisado en el cuadrado 72.

5 El cuadrado 73 ilustra la opción de selección de 8 vecinos. En esta opción, se ensancha el campo de detección, es decir que en lo sucesivo los píxeles vecinos en diagonal 702 se consideran como formando parte de la misma partícula. Los píxeles blancos originales del cuadrado 70, agrisados 701, 702 en el cuadrado 73 forman parte de una misma partícula.

10 Una vez determinada la regla de pertenencia de píxeles a una misma partícula, es necesario definir el número mínimo de píxeles que debe incluir una partícula para corresponder a un hidruro. Se puede tomar por ejemplo, este número mínimo igual a 10 y de este modo eliminar todas las partículas inferiores a 10 píxeles. Este filtrado permite especialmente eliminar la mayoría de las picaduras debidas a la preparación de las muestras. En efecto, gracias a la esquelización las picaduras se han reducido a partículas unitarias o de pequeña dimensión. Cuando se realiza la esquelización de una forma alargada, como un hidruro por ejemplo, se obtiene un filamento de espesor igual a un píxel. Si se realiza la misma operación en una forma redondeada como una picadura por ejemplo, se obtiene bien una forma redondeada corta de espesor igual a un píxel, o bien un solo píxel aislado. De este modo, por la esquelización, seguida de este filtrado, se pueden eliminar los defectos debidos a las picaduras y a los polvos, por ejemplo.

20 Finalmente, las opciones relativas a las inclusiones en los bordes permiten determinar si las partículas que tienen uno o más píxeles en los bordes se deben tener en cuenta para las mediciones. Son posibles dos opciones. En una primera opción, las partículas que tocan los bordes están incluidas en las mediciones. Esta opción es especialmente útil para el cálculo del contenido de hidruro en una imagen. En una segunda opción, las partículas que tocan los bordes se excluyen de las mediciones. Esta opción se puede elegir en el caso de la determinación de la longitud media de los hidruros, por ejemplo.

25 La medición del contenido en hidrógeno en el interior de una muestra, valor bruto cuantitativo sin dimensión, se puede completar ventajosamente con mediciones cualitativas locales de los hidruros en su contexto. Estas mediciones se realizan siempre a partir de la imagen esquelizada 41. En efecto, el peligro que conllevan los hidruros depende especialmente de sus morfologías, incluyendo también su proximidad así como sus orientaciones, particularmente en lo relativo a la eventual propagación de una fisura.

30 Volviendo a la figura 1, ésta muestra que en fin de etapa de esquelización 5, es posible realizar asimismo en otra etapa de análisis 10, mediciones locales, siendo por ejemplo estas mediciones, las mediciones cualitativas anteriormente mencionadas, es decir la longitud de los hidruros, la orientación de los hidruros y su proximidad correspondientes a la distancia entre los vecinos más próximos.

35 El índice de longitud de un hidruro es importante cuando se trata de caracterizar su peligro para el material. En efecto, cuanto más largo es un hidruro, mayor es el recorrido que puede recorrer una fisura en este hidruro siempre que su orientación sea favorable respecto de la limitación aplicada al material. En el envainado del combustible, la orientación radial de los hidruros es la más crítica en lo relativo a la fragilidad mientras que la orientación circunferencial es favorable al buen comportamiento del material. De este modo se pueden definir varios criterios de longitud. Evidentemente es posible buscar la longitud más importante del hidruro si se trata por ejemplo de hidruros radiales. Pero en el caso de hidruros mixtos o mayoritariamente circunferenciales, puede ser útil definir la longitud máxima que puede ser recorrida en la dirección radial por un hidruro.

45 Son posibles varias soluciones para determinar la longitud. En una solución sencilla de aplicar, para cada partícula, se toman los puntos más alto y más bajo según el eje vertical de la fotografía que corresponde al eje radial. A continuación se hace la diferencia entre las dos ordenadas, lo cual da la longitud radial de los hidruros. La consideración de esta longitud es importante ya que permite caracterizar, en caso de propagación de la fisura, la distancia que puede recorrer fácilmente en el sentido radial de la vaina. En el caso de un hidruro orientado radialmente, esta distancia puede ser grande. En el caso de un hidruro circunferencial, esta distancia es nula o muy pequeña. Otra medición de la longitud de un hidruro consiste en encontrar los dos puntos más alejados en el hidruro y en medir la distancia que los separa, siendo esta distancia considerada entonces como la longitud del hidruro. Finalmente, siempre es posible definir la longitud de un hidruro como la suma de las longitudes de estos seccionamientos o ramas.

55 El índice de orientación es también un parámetro importante en el análisis local para caracterizar el peligro de los hidruros. En efecto, si se admite que el hidruro es más frágil que la matriz, una orientación radial de los hidruros es entonces favorable a la propagación de una fisura que puede conducir a una rotura de la vaina. Por lo tanto es importante caracterizar la orientación de los hidruros para poder determinar su peligro. En una imagen esquelizada 41 del tipo de la de la figura 4, un hidruro es un filamento muy ramificado y la orientación media de un hidruro no es siempre el parámetro más juicioso para caracterizar su peligro. Por lo tanto es necesario desarrollar

diferentes parámetros de medición de orientación representativos de un riesgo y adaptados a la morfología particular de los hidruros.

Se pueden utilizar varias definiciones de la orientación de un hidruro. En una primera solución, se define una orientación media  $\theta_{med}$  según la siguiente relación:

$$\theta_{med} = \frac{\sum_i \theta_i d_i}{\sum_i d_i} \quad (3)$$

en la que  $i$  representa el rango de un seccionamiento del hidruro,  $\theta_i$  representa la orientación del seccionamiento de rango  $i$  respecto de un eje de referencia y  $d_i$  representa la longitud del seccionamiento de rango  $i$ .

Se obtiene de este modo un valor medio de la orientación que está en relación con las longitudes de los seccionamientos asociados. Esta definición de la orientación puede ser útil en el caso en el que se desee ver la dispersión del valor de orientación debido a las diferentes ramificaciones.

En otra definición del ángulo de orientación, se toman los dos puntos más alejados de cada partícula. A continuación se calcula la orientación entre estos dos puntos que se toma como orientación de la partícula. En otra definición, en lugar de considerar los dos puntos más alejados se toma la orientación entre las dos intersecciones más alejadas.

El índice de proximidad representa la aproximación entre los hidruros en algún sentido de propagación. Esto significa que, si se considera un hidruro A, se caracteriza el hecho de que en caso de propagación de fisura, esta última se podrá propagar fácilmente o no hacia un hidruro B cuando alcance un extremo del hidruro A. cuanto menor es la distancia entre los extremos del hidruro A y los del hidruro B, más fácil es para una fisura pasar de uno a otro. La disposición de los hidruros se debe tener en cuenta ya que dos hidruros que son vecinos, paralelos radiales y de igual longitud no son casos fiables para caracterizar la proximidad. El caso de dos hidruros en la prolongación el uno del otro es un caso crítico en un contexto de proximidad. Varios enfoques son sin embargo posibles. Se puede considerar que las fisuras se propagan en un material no hidruado de manera puramente radial. Se puede también considerar que las fisuras se propaguen a  $\pm 45^\circ$  respecto del eje radial, fenómeno de cizallamiento. Un tercer enfoque propone que la fisura sigue su recorrido en la matriz según la orientación de la última parte de hidruro que atraviesa.

Varias soluciones son posibles para definir la proximidad entre dos partículas. La figura 8 ilustra un ejemplo en el que la proximidad se define por la distancia  $\delta$  entre los extremo de los hidruros, representados por los filamentos 21', los vecinos más próximos. Para determinar esta distancia, se calcula por ejemplo la distancia entre cada extremo de un hidruro 21' y los extremos de los otros hidruros 21' según un ángulo comprendido entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , es decir en la continuidad del hidruro ensayado. Para cada extremo de un hidruro, se toma el mínimo de esta distancia, si el criterio de orientación ha sido validado. El valor de proximidad  $p$  es el mínimo de estas distancias mínimas. Otro procedimiento, bidireccional, es posible. El proceso es el mismo que anteriormente salvo que se ejecuta un doble paso, por una parte entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  y por otra parte entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$ . Se obtienen de este modo dos distancias. El valor de proximidad retenido puede ser la media de estas dos distancias. En lugar de tomar la media de las dos distancias, también es posible tomar el mínimo de estas dos distancias.

Según la invención se define para cada hidruro, representado por un filamento 21', una magnitud  $D$  que caracteriza el peligro localmente, en el entorno más global de una vaina de combustible por ejemplo. Este factor de peligro  $D$  tiene en cuenta la longitud  $L$  del hidruro, su ángulo de orientación  $\theta$  y su proximidad  $p$  a otro hidruro. Estos parámetros  $L$ ,  $\theta$  y  $p$  se definen por ejemplo, según los procedimientos anteriormente descritos. La magnitud  $D$  se define por ejemplo por la siguiente relación.

$$D = \sqrt{L^2 + \theta^2 + \frac{1}{p^2}} \quad (4)$$

$L$  y  $p$  se definen por ejemplo en  $\mu\text{m}$  y  $\theta$  en grados.

Se puede definir un factor de peligro medio  $D_{med}$  para el conjunto de los hidruros de la imagen, siendo este factor de peligro la media de los factores de peligro de todos los hidruros. También es posible definir un factor de peligro máximo  $D_{max}$  correspondiente al factor de peligro máximo en el conjunto de los hidruros de la imagen.

El factor de peligro máximo permite ventajosamente conocer para cada imagen el hidruro más peligroso. El factor de peligro medio de las imágenes permite comparar estas imágenes entre sí, por lo tanto comparara los materiales entre sí.

La invención se ha descrito para la aplicación a una aleación de circonio, se puede aplicar para el análisis de hidruros en otros tipos de aleación

## REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento de análisis de una imagen de hidruros en una aleación metálica, representando la imagen original (20) compuesta de píxeles (70) una muestra de la aleación, estando los hidruros representados por grupos de píxeles (21), comprendiendo dicho procedimiento etapas de tratamiento de la imagen (1, 2, 3, 4, 5) para obtener el esqueleto de los grupos de píxeles (21') contenidos en la imagen, siendo seguida la etapa de esqueletización (5) por una etapa (6, 10) de análisis relativa a los grupos así esqueletizados, la etapa de análisis (6) ejecuta un cálculo del contenido de hidrógeno en el interior de la muestra, **caracterizado porque** una etapa de análisis (10) proporciona un factor de peligro de un hidruro (21), siendo este factor de peligro un valor en función de la morfología del hidruro en su representación esqueletizada (21'), siendo el factor de peligro de un hidruro una magnitud D definida según la siguiente relación.

$$D = \sqrt{L^2 + \theta^2 + \frac{1}{p^2}}$$

en la que L representa la longitud del hidruro esqueletizado (21'),  $\theta$  su orientación y p su proximidad a los otros hidruros.

- 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el contenido se determina mediante el cálculo de un área H compuesta por el conjunto de los grupos de píxeles (21') de la imagen representativos de los hidruros, siendo comparada dicha área H con una curva de calibrado (61) construida a partir de muestras de referencia cuyo contenido en hidrógeno es conocido, un grupo de píxeles representativo de un hidruro que responde a opciones de mediciones predeterminadas siendo la curva de calibrado una curva representativa del área H en función del contenido en hidrógeno, siendo dicha curva de calibrado definida a partir de puntos mediciones que corresponden a las parejas formadas del área H y del contenido en hidrógeno correspondiente de las muestras de referencia, estando el cálculo del área H efectuado respetando las mismas opciones de mediciones que para la muestra a analizar.

3.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la aleación metálica es una aleación de circonio.

- 4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la aleación metálica forma una vaina de protección de las barras de combustible nuclear.

5.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el área H es igual a la suma de las áreas de los grupos de píxeles (21') representativos de los hidruros sobre el área total de la imagen (41).

- 6.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la curva de calibrado (61) presenta la distancia mínima a partir del conjunto de los puntos de mediciones de las muestras de referencia.

7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la longitud L del hidruro la define la suma de las longitudes de las ramas de su representación esqueletizada (21').

- 8.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la longitud L del hidruro la define la distancia entre los dos puntos más alejados de su representación esqueletizada (21') paralelamente a un eje.

9.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la longitud L del hidruro la define la distancia entre los dos puntos más alejados de su representación esqueletizada (21').

- 10.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la orientación la define una orientación media  $\theta_{med}$  según la siguiente relación:

$$\theta_{med} = \frac{\sum_i \theta_i d_i}{\sum_i d_i}$$

en la que i representa el rango de la rama del hidruro,  $\theta_i$  representa la orientación del seccionamiento de rango i respecto de un eje de referencia y  $d_i$  representa la longitud del seccionamiento de rango i.

- 11.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la orientación es la orientación entre los dos puntos más alejados del hidruro.

12.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la orientación es la orientación entre las dos intersecciones de ramas más alejadas del hidruro.

5 13.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la proximidad  $p$  está definida por la distancia (81) entre la proximidad de los hidruros vecinos más próximos, siendo esta distancia definida por el cálculo de la distancia entre cada extremo de un hidruro (21') y los extremos de los otros hidruros (21') según un ángulo comprendido entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , para cada extremo se toma el mínimo de esta distancia, siendo el valor de la proximidad el mínimo de las distancias mínimas.

10 14.- Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado porque** el cálculo de la distancia entre cada extremo de un hidruro (21') y los extremos de los otros hidruros (21') según un ángulo comprendido por una parte entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , y por otra parte entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$ .

15.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se define un factor de peligro  $D_{med}$  para la muestra, siendo este factor de peligro  $D_{med}$  la media de los factores de peligro de los hidruros presentes en la imagen (41) de la muestra.

15 16.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se define un factor de peligro máximo  $D_{max}$  es definido para la muestra, correspondiendo este factor de peligro  $D_{max}$  al factor de peligro máximo en el conjunto de los hidruros presentes en la imagen (41) de la muestra.

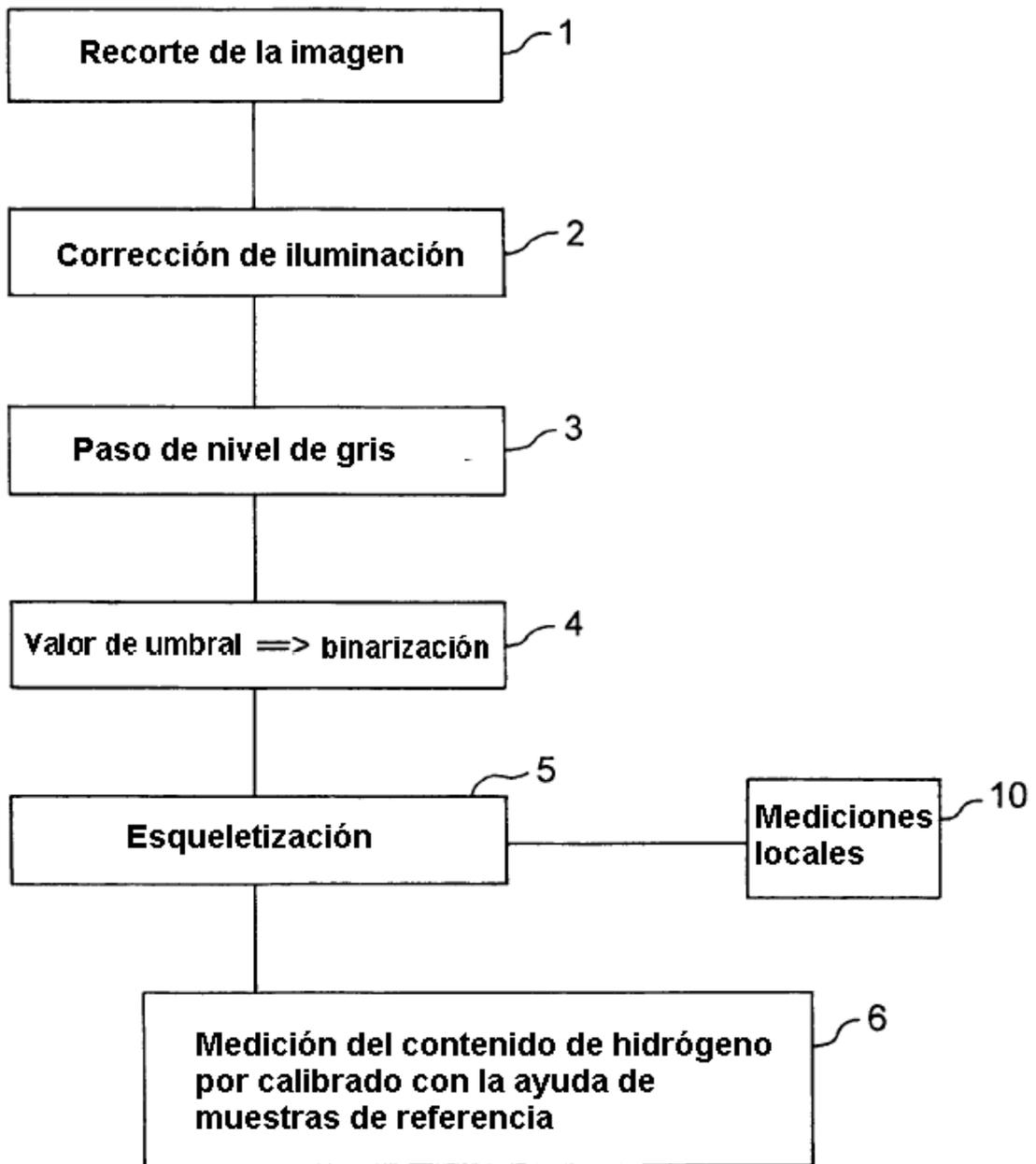


FIG.1

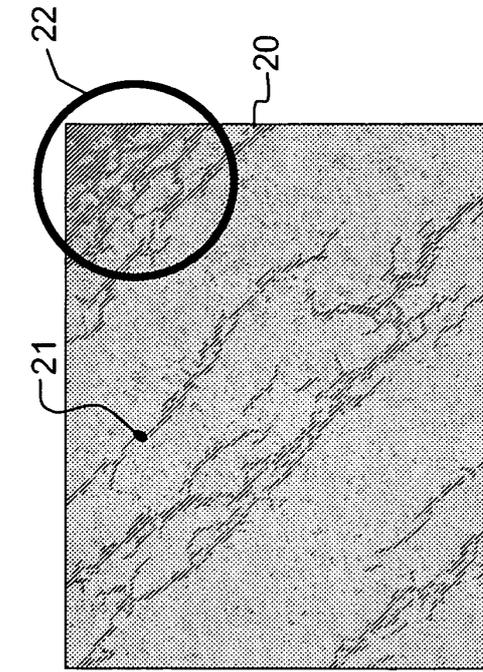


FIG. 2a

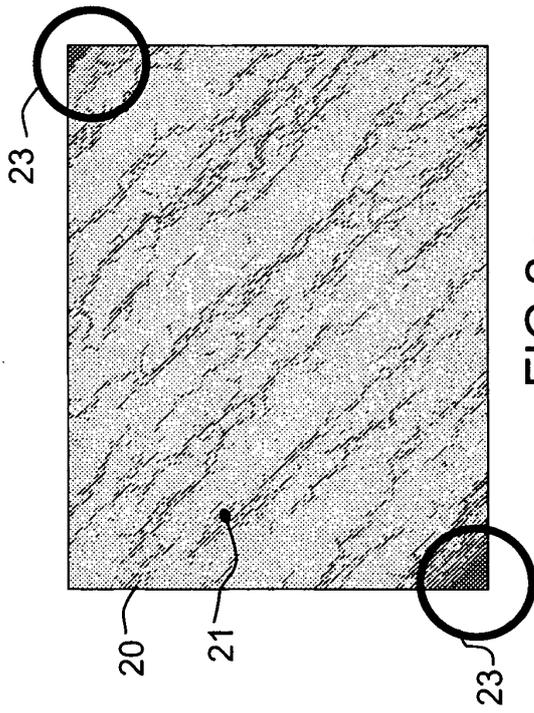


FIG. 2b



FIG. 2c

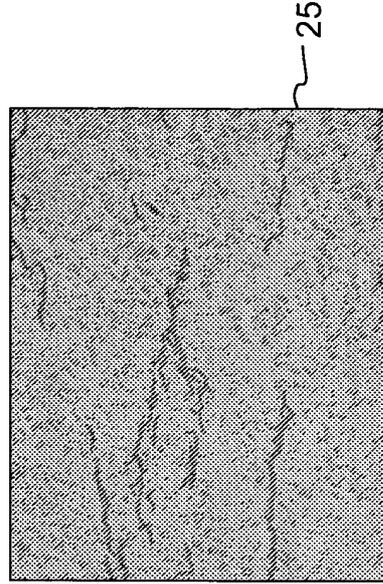


FIG. 2d



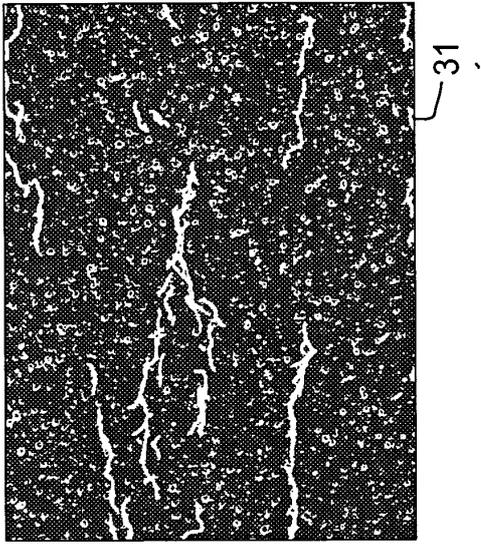


FIG.3

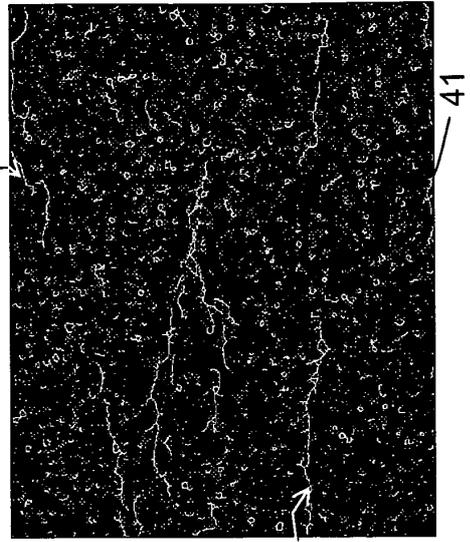
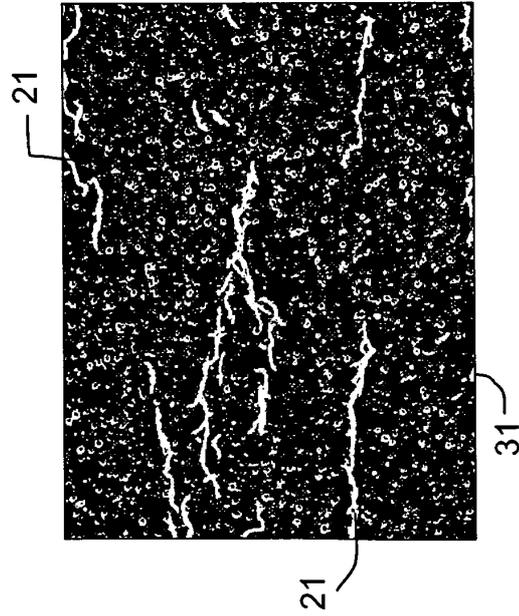
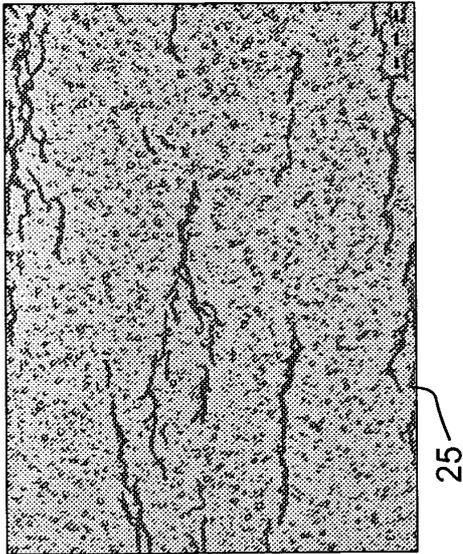


FIG.4



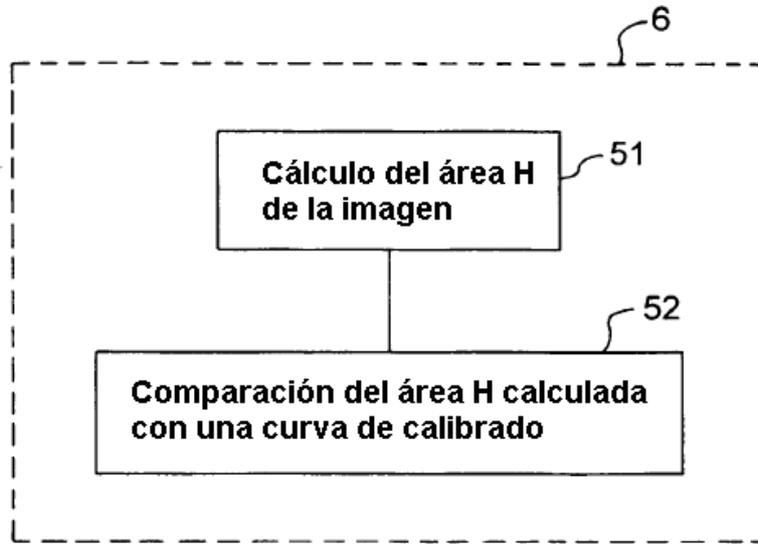


FIG.5

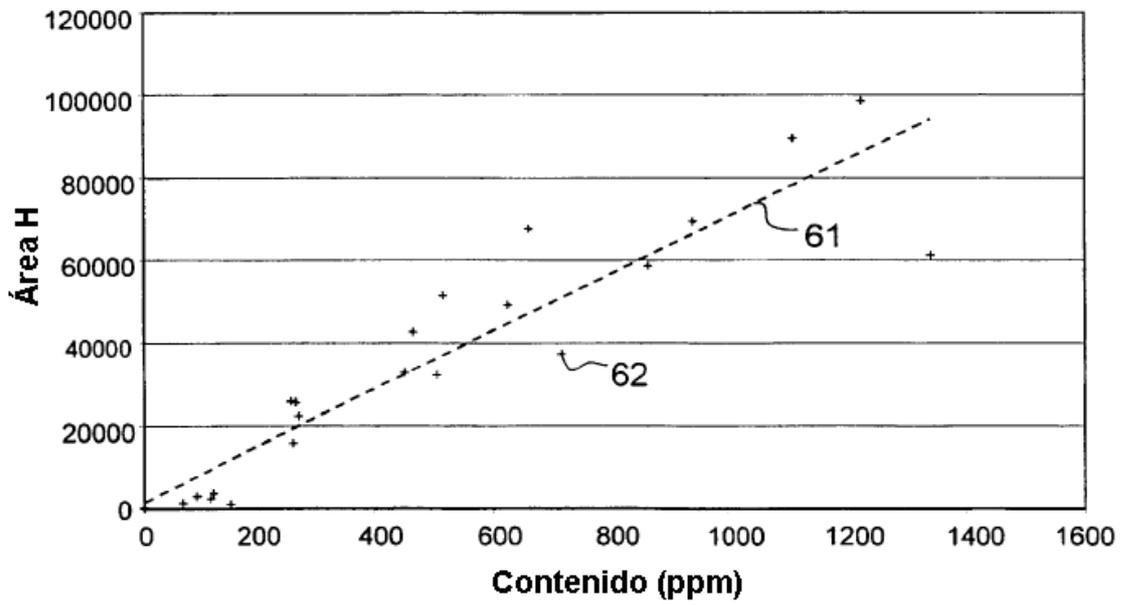


FIG.6

