

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 407 414**

51 Int. Cl.:

**C21D 9/50** (2006.01)

**B23K 9/025** (2006.01)

**C21D 1/42** (2006.01)

**C21D 9/08** (2006.01)

**B23K 31/00** (2006.01)

**B23K 101/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2007 E 07118205 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 1927668**

54 Título: **Procedimiento de restauración para una parte deteriorada y aparato de restauración para una parte deteriorada**

30 Prioridad:

**28.11.2006 JP 2006319613**

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

**12.06.2013**

73 Titular/es:

**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. (100.0%)  
16-5, KONAN 2-CHOME  
MINATO-KU, TOKYO 108-8215, JP**

72 Inventor/es:

**OZAKI, MASASHI;  
TAKEUCHI, KO;  
TEZUKA, HIDESHI;  
SHIIBASHI, AKIRA;  
KOBAYASHI, MASAHIRO;  
KODAMA, MASARU;  
NISHIMURA, NOBUHIKO y  
SAKATA, FUMITOSHI**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 407 414 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 restauración para una parte deteriorada y aparato de restauración para una parte deteriorada.

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de restauración adecuado para la restauración de una parte deteriorada como resultado de una fluencia o similar que se produce en un elemento de metal que forma un tubo de alta temperatura para su uso en, por ejemplo, calderas y turbinas de centrales térmicas y nucleares y plantas químicas.

**Descripción de la técnica relacionada**

10 Últimamente, en tubos de alta temperatura para su uso en, por ejemplo, calderas y turbinas de centrales térmicas y nucleares y de plantas químicas, el mantenimiento y la gestión con la consideración adecuada dada al deterioro de los equipos con el tiempo y a la fatiga térmica causada por la repetición del inicio y de la detención y cambios rápidos de carga se ha vuelto cada vez más importante a medida que ha aumentado el tiempo de funcionamiento.

15 Por ejemplo, para un tubo de gran diámetro y de pared gruesa que usa un elemento de metal resistente a la presión a altas temperaturas, se realizan periódicamente inspecciones no destructivas, tales como una inspección de la estructura y una inspección ultrasónica, para encontrar deterioro en el elemento de metal y su parte de soldadura en una etapa temprana. La parte deteriorada se repara basándose en los resultados de las inspecciones no destructivas.

20 Aquí, las técnicas para la reparación de un elemento de metal incluyen una técnica en la que una parte deteriorada que sufren huecos o grietas de fluencia se trata térmicamente de manera local utilizando una bobina de calentamiento de alta frecuencia, y los huecos o grietas de fluencia se sueldan a presión con una presión interna debida a la expansión térmica para restaurar la parte deteriorada (véase, por ejemplo, la patente japonesa abierta a inspección pública N°. 2003-253337, en la que se basa la porción del preámbulo de la reivindicación 1).

25 La técnica de restauración que se describe en el Documento de Patente 1 calienta localmente una región que incluye una parte deteriorada C mediante un calentador 1 construido de una bobina de calentamiento de alta frecuencia, tal como se muestra en la figura 8A. A una región cuya temperatura se eleva mediante el calentamiento se la designa región calentada 3. En este momento, como la temperatura de la periferia de la región calentada 3 en un elemento de metal 2 no se eleva, se produce una tensión de compresión en la región calentada 3 como resultado del obstáculo de su expansión térmica. Por lo tanto, la parte deteriorada C, tal como un hueco o grieta de fluencia, que existe en la región calentada 3 es soldada a presión con esta tensión de compresión y así se elimina. Es eficaz  
30 elevar la temperatura de la región calentada 3 tanto como sea posible con el fin de aumentar la tensión de compresión en el tratamiento de soldadura a presión por vacío. Sin embargo, como la superficie exterior del elemento de metal 2 cerca del calentador 1 se funde si se eleva la temperatura de la región calentada 3, la temperatura de calentamiento no puede elevarse de manera imprudente. Tal como se muestra en la figura 8B, la región calentada 3 se contrae cuando la región se enfría después del tratamiento térmico. En este momento, se produce una tensión de tracción en la región calentada 3, ya que la periferia de la región calentada 3 restringe la retracción de la región calentada 3. En consecuencia, la parte deteriorada C, una vez soldada a presión, se puede abrir. Ha sido una preocupación que una tensión de tracción residual se produzca en la región calentada 3 después de la reparación, y por lo tanto no se puede esperar que el estado reparado se mantenga a largo plazo. Además, la estructura cristalina se vuelve gruesa por el tratamiento de soldadura a presión por vacío. Sin embargo, un único ciclo de calor en el que la temperatura sube y baja a través de un punto de transformación en un tratamiento térmico de recristalización posterior, puede dejar la estructura endurecida gruesa y, por lo tanto, es necesaria una recristalización suficiente.

45 Por lo tanto, para la restauración de forma fiable de la parte deteriorada C, se ha requerido proporcionar una tensión de soldadura a presión suficientemente grande en el momento de calentamiento, reducir una tensión de tracción residual en el momento de la refrigeración y recristalizar suficientemente la estructura endurecida gruesa en una estructura comparable a la de un material de base.

50 La presente invención se ha realizado en vista de las situaciones descritas anteriormente, y su objetivo es proporcionar un procedimiento de restauración de una parte deteriorada que sea capaz de reparar y restaurar de manera fácil y fiable una parte deteriorada generada en un elemento de metal y mantener el estado reparado a largo plazo para prolongar la vida útil del elemento de metal. Además, un objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato de restauración para una parte deteriorada, que pueda llevar a cabo el procedimiento de restauración para una parte deteriorada.

**Sumario de la invención**

55 Para la consecución de los objetos descritos anteriormente, un procedimiento de restauración para una parte deteriorada de acuerdo con la presente invención es un procedimiento para la restauración de una parte deteriorada generada en un elemento de metal, que comprende las características de la reivindicación 1.

De acuerdo con esta invención, la periferia de la primera región calentada se calienta mediante la segunda etapa de calentamiento, mientras que la parte deteriorada se calienta localmente mediante la primera etapa de calentamiento, por lo que se ejerce una presión mediante una fuerza de expansión térmica de la parte calentada de la periferia de la primera región calentada sobre la primera región calentada para aumentar la tensión de compresión ejercida sobre la parte deteriorada. Además, la primera etapa de calentamiento va primero de manera se permite que la tensión de compresión de la primera región calentada alivie suficientemente una fluencia, seguida por la segunda etapa de calentamiento, por lo que la tensión de compresión ejercida sobre la parte deteriorada aumenta al soldar por presión de manera fiable la parte deteriorada en comparación con un caso en el que la primera región calentada y la segunda región calentada se calientan al mismo tiempo. A saber, la presente invención tiene un efecto de expansión térmica de la segunda región calentada, añadiendo además una tensión de compresión en la primera región de calentamiento.

En la presente invención, es deseable continuar con la primera etapa de calentamiento y la segunda etapa de calentamiento durante un período de tiempo que permita la expansión térmica de una parte calentada en la primera región calentada, respectivamente, la presión de la fuerza de expansión térmica de la parte calentada de la segunda región calentada se ejerce como una tensión de compresión en la primera región calentada suavizada por el tratamiento. La razón de esto es que mediante la transmisión de calor añadido desde fuera por calentamiento, la temperatura del interior del espesor del elemento de metal se eleva lo suficiente como para soldar de manera fiable por presión la parte deteriorada.

Un elemento de metal previsto por la presente invención comprende normalmente un material de base y un metal de soldadura que se une al material de base, y la parte deteriorada existe en una zona afectada por el calor del material de base, que se ha generado debido a la soldadura. Una parte del material de base distinta de la zona afectada por el calor está a menudo menos deteriorada que la zona afectada por el calor. En este caso, se forma la primera región calentada para incluir la zona afectada por el calor. Es deseable que la segunda región calentada esté formada en una parte del material de base adyacente a la zona afectada por el calor. La parte del material de base distinta de la zona afectada por el calor se deteriora menos que la zona afectada por el calor y, normalmente, muestra una vida útil suficiente, incluso si se ejerce sobre el mismo una tensión residual a la tracción mediante un tratamiento de restauración. Como existe una posibilidad de que el metal de soldadura tenga huecos debido a los daños de fluencia, hay un riesgo de que se ejerza una tensión de tracción en el momento de refrigeración para acelerar los daños cuando la región se calienta. Por lo tanto, preferiblemente se evita que la parte del metal de soldadura sea el objetivo como primera región calentada y segunda región calentada.

En la presente invención, es deseable incluir una etapa de refrigeración para refrigerar la primera región calentada y refrigerar la segunda región calentada de manera sincronizada. De esta manera, una tensión de tracción producida en el momento de refrigeración se recibe en la primera región calentada y la segunda región calentada combinadas. Si se recibe la tensión de tracción en la primera región calentada y la segunda región calentada combinadas como en la presente invención, la tensión de tracción absoluta se vuelve baja, en comparación con el caso de la figura 8, donde la tensión de tracción se recibe sólo en la primera región calentada. Por lo tanto, la parte deteriorada una vez soldada a presión es menos probable que se abra de nuevo, y además, se puede reducir la tensión residual de tracción ejercida sobre la parte deteriorada restaurada durante el funcionamiento de la unidad después de la restauración.

Es deseable que después de la finalización de la etapa de refrigeración, una zona de tratamiento de restauración con el elemento de metal sometido al primer y segundo tratamientos de calor deba ser sometido a un tratamiento térmico de recristalización. El tratamiento térmico de recristalización es un tratamiento de repetición del calentamiento del elemento de metal a una temperatura igual o superior a un punto de transformación y la refrigeración del elemento de metal a una temperatura inferior al punto de transformación dos o más veces. Al llevar a cabo este tratamiento, los huecos, precipitados o segregaciones existentes del límite de grano a lo largo del límite de grano de la estructura se confinan dentro del grano para frenar una velocidad de propagación de las grietas, y se puede reducir así la velocidad de avance de los daños. Además, mediante la realización de un tratamiento de transformación eutectoide isotérmico en este procedimiento de calentamiento y refrigeración, se puede eliminar una estructura endurecida gruesa generada en el tratamiento de restauración. Por lo tanto, en el área que ha sido sometida al tratamiento de restauración, se suprime un factor que obstaculiza la ductilidad de ruptura para obtener una buena ductilidad.

Para llevar a cabo el procedimiento de restauración que se ha descrito anteriormente, la presente invención proporciona un aparato de restauración para restaurar una parte deteriorada generada en un elemento de metal, que comprende las características de la reivindicación 9.

En este aparato, el calentamiento mediante el primer calentador precede al calentamiento mediante el segundo calentador, mediante el cual la parte deteriorada generada en el elemento de metal y su periferia se pueden calentar y refrigerarse con un control de la temperatura apropiado para llevar a cabo fácilmente un tratamiento térmico óptimo en la parte deteriorada.

La presente invención puede llevar a cabo de forma independiente un procedimiento de tratamiento térmico de recristalización, en el que un tratamiento de transformación eutectoide isotérmico se lleva a cabo dos o más veces

en un procedimiento de calentamiento y refrigeración de repetición de un tratamiento de calentamiento/refrigeración de calentamiento del elemento de metal a una temperatura igual o superior a un punto de transformación y de refrigeración del elemento de metal a una temperatura más baja que el punto de transformación, para subir y bajar la temperatura a través del punto de transformación.

- 5 Por consiguiente, se hace que el área restaurada por el tratamiento térmico tenga una estructura de alta ductilidad mediante la etapa de calentamiento/refrigeración después del tratamiento térmico, y los huecos, precipitados o segregaciones del límite de grano existentes a lo largo del límite de grano de la estructura están confinados dentro del grano para frenar la velocidad de propagación de las grietas y reducir la velocidad de avance de los daños, y además, mediante la etapa de transformación eutéctode isotérmica se elimina una estructura endurecida gruesa y se suprime el impedimento de la ductilidad de ruptura para obtener una mejor ductilidad.

**Breve descripción de los dibujos**

- La figura 1 es una vista en perspectiva que muestra un aparato de restauración de acuerdo con una realización de la presente invención;
- 15 La figura 2 es una vista que muestra una relación posicional de los calentadores en el momento de restauración mediante el aparato de restauración;
- La figura 3 es una vista en sección que muestra un estado de disposición de los calentadores respecto a una parte de restauración;
- La figura 4 es un diagrama gráfico que muestra un cambio en la temperatura en el momento de la restauración;
- 20 Las figuras 5A y 5B son vistas para explicar un procedimiento de restauración para una parte deteriorada, donde la figura 5A es una vista en sección que muestra un estado de calentamiento mediante un calentador principal y la figura 5B es una vista en sección que muestra un estado de calentamiento mediante el calentador principal y un calentador secundario;
- La figura 6 es un diagrama gráfico que muestra un cambio en la temperatura y un cambio en la estructura de metal en el momento de un tratamiento térmico de recristalización en el procedimiento de restauración de acuerdo con esta realización;
- 25 Las figuras 7A y 7B son imágenes microscópicas de una zona HAZ 15, donde la figura 7A es una imagen microscópica antes de un tratamiento térmico de restauración y la figura 7B es una imagen microscópica después del tratamiento de restauración; y
- Las figuras 8A y 8B son vistas para explicar el procedimiento de restauración convencional, donde la figura 8A es una vista en sección que muestra un estado de calentamiento y la figura 8B es una vista en sección que muestra un estado de un procedimiento de refrigeración.
- 30

**Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

Las realizaciones de un procedimiento y un aparato para la restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la presente invención se describirán a continuación con referencia a los dibujos.

- 35 La figura 1 es una vista en perspectiva que muestra un aparato de restauración de acuerdo con una realización de la presente invención. La figura 2 es una vista que muestra una relación posicional de los calentadores cuando un procedimiento de restauración se lleva a cabo mediante el aparato de restauración. La figura 3 es una vista en sección que muestra un estado de disposición de los calentadores respecto a una parte de restauración.

40 Tal como se muestra en la figura 1, el aparato de restauración 11 está unido a un tubo 12 construido de, por ejemplo, un tubo de acero de baja aleación.

Aquí, tal como se muestra en las figuras 2 y 3, en una parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura (elemento de metal) con los tubos 12 soldadas entre sí por un metal de soldadura 13, se genera una zona 15 HAZ (zona afectada por el calor) en un límite entre el metal de soldadura 13 y cada tubo 12 debido a un efecto térmico cuando se suelda el metal de soldadura 13. En la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura, puede generarse una parte deteriorada C tal como muchos huecos y grietas de fluencia en la zona HAZ 15 debido al uso a largo plazo. Por lo tanto, en particular la resistencia de la zona HAZ 15 disminuye, causando una ruptura y similares en la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura.

45

Aquí, los materiales del tubo 12 incluyen, por ejemplo, aceros de baja aleación (STPA 22, STPA 23, STPA 24) que tienen un contenido de Cr del 3 % o menos (sin incluir el 0 %) y un contenido de Mo del 2 % o menos (no incluyendo el 0 %). Los materiales del metal de soldadura 13 incluyen, por ejemplo, metales comunes al material del tubo 12, que tiene un contenido de Cr del 3 % o menos (sin incluir el 0 %) y un contenido de Mo del 2 % o menos (sin incluir el 0 %). Por supuesto, la presente invención no se limita a los materiales descritos anteriormente, sino que puede aplicarse a otros diversos materiales.

50

Esta realización se describirá tomando como ejemplo un caso en el que el aparato de restauración 11 se une al tubo 12 para restaurar la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura con la parte deteriorada C generada en la zona 15 HAZ.

55

En este aparato de restauración 11, un calentador principal 25 (primer calentador) y un calentador secundario 26

(segundo calentador), cada uno construido de una bobina de calentamiento de alta frecuencia, están separados entre sí y dispuestos en paralelo. El calentador principal 25 y el calentador secundario 26 son planos, y están colocados a lo largo de la superficie circunferencial exterior del tubo 12 con el aparato de restauración 11 unido al tubo 12.

- 5 El calentador principal 25 está colocado en una posición opuesta a un límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13 (posición para hacer frente a la parte deteriorada C) con el aparato de restauración 11 colocado a lo largo de la superficie circunferencial exterior del tubo 12. Además, el calentador secundario 26 está colocado para estar enfrente del tubo 12 en una posición desviada desde el límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13. Es decir, el calentador secundario 26 está colocado con el fin de hacer frente a una parte desviada desde el límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13 en la periferia de una región calentada por el calentador principal 25. De esta manera, el aparato de restauración 11 puede calentar una amplia extensión de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura y su periferia incluyendo la región calentada HA1 mediante el calentador principal 25 (figura 5). A este respecto, el calentador principal 25 y el calentador secundario 26 no son necesariamente planos, sino que pueden ser anulares o circulares sobre toda la circunferencia del tubo 12.
- 10
- 15 El aparato de restauración 11 comprende un tubo de refrigeración de agua 27 para refrigerar una bobina y un cable de alimentación 29. El calentador principal 25 y el calentador secundario 26 se controlan de manera que la temperatura de la superficie del elemento detectado por un termopar montado en la superficie del elemento justo debajo de cada calentador es una temperatura predeterminada.

20 A continuación se describirán procedimientos para la restauración de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura del tubo 12 utilizando el aparato de restauración 11 anterior.

En esta realización, un tratamiento térmico de restauración y un tratamiento térmico de recristalización se llevan a cabo mediante el aparato de restauración 11.

(Tratamiento Térmico de Restauración)

- 25 En primer lugar, se describirá el tratamiento térmico de restauración. La figura 4 es un diagrama gráfico que muestra un cambio en la temperatura en el momento del tratamiento térmico de restauración, y las figuras 5A y 5B son vistas para explicar el procedimiento de restauración para una parte deteriorada.

(1) Etapa de Tratamiento Previo

En primer lugar, se elimina según sea necesario una película de óxido de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura 14 como parte que hay que reparar.

- 30 A continuación, el calentador principal 25 se coloca en una posición enfrente de un límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13. Como resultado, el calentador secundario 26 se coloca de manera que está frente al tubo 12 en una posición desviada desde el límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13.

(2) Etapa de Calentamiento Local (Primera Etapa de Calentamiento)

- 35 En este estado, en primer lugar, la superficie de un elemento de límite entre el tubo 12 de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura 14 y el metal de soldadura 13 se calienta rápidamente a la temperatura T1 (por ejemplo, a una temperatura de 1050-1250 °C, preferiblemente 1200 °C, durante 10 minutos) tal como se muestra con una línea continua en la figura 4. La temperatura T1 es preferiblemente más alta que un punto de transformación del material (por ejemplo, el punto de transformación A3 que es un punto de transformación entre  $\alpha$ -Fe y  $\gamma$ -Fe).

- 40 Por consiguiente, la expansión térmica de una parte calentada se produce en una región calentada HA1 por el calentador principal 25 (primera región calentada) en la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura. En este momento, la periferia de la región calentada HA1 ejerce una fuerza de restricción sobre la expansión térmica de la región calentada HA1, ya que no ha sido objeto de expansión térmica. Por lo tanto, se ejerce una tensión de compresión sobre la región calentada HA1 debido a la expansión térmica de la misma y la restricción mediante la periferia. Una parte deteriorada C, tal como vacíos de fluencia o similares, se suelda a presión mediante esta tensión de compresión. La tensión de compresión ejercida sobre la región calentada HA1 se muestra con una flecha en la figura 5A.
- 45

(3) Etapa de Calentamiento Periférico (Segunda Etapa de Calentamiento)

- 50 Aunque el calentamiento mediante el calentador principal 25 continúa después de transcurrido un período de tiempo que permite la expansión térmica de una parte calentada en la primera región calentada después de que el calentamiento mediante el calentador principal 25 se inicia, el calentamiento mediante el calentador secundario 26 se inicia para calentar la proximidades de la región calentada HA1 por el calentador principal 25 a la temperatura T1 en un perfil que se muestra con una línea discontinua en la figura 4. El calentamiento mediante el calentador secundario 26 se inicia, por ejemplo, 300 segundos después de que la superficie del elemento justo debajo del

calentador principal 25 alcanza una temperatura deseada (temperatura T1).

Como resultado de ello, la expansión térmica se produce en una región calentada HA2 (segunda región calentada) del tubo 12 calentada por el calentador secundario 26. La parte calentada de la región calentada HA2 está restringida porque una parte del material de base en un lado opuesto a un lado adyacente a la región calentada HA1 (lado derecho en la figura 5) no se expande térmicamente. En consecuencia, la presión mediante una fuerza de expansión térmica de la parte calentada de la región calentada HA2 se ejerce como una tensión de compresión en la región calentada HA1 ablandada por calentamiento mediante el calentador principal 25. Por lo tanto, puede mejorarse el efecto de la soldadura a presión en la parte deteriorada C. Para la obtención de este efecto, es necesario continuar con la etapa de calentamiento local y la etapa de calentamiento periférico para un período de tiempo que permita la expansión térmica de una parte calentada en la primera región calentada, respectivamente un período que permita que se ejerza la presión de la fuerza de expansión térmica de la parte calentada de la segunda región calentada. La tensión de compresión ejercida sobre la región calentada HA1 se muestra con una flecha en la figura 5B.

Con el calentamiento mediante el calentador secundario 26, una amplia extensión de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura y su periferia que incluye la región calentada HA1 de un área reparada por el calentador principal 25 se calienta debido a un efecto sinérgico con el calentamiento mediante el calentador principal 25. La extensión de calentamiento se amplía así, mediante el cual una tensión de tracción se reduce en una etapa de refrigeración que se lleva a cabo posteriormente.

#### (4) Etapa de Refrigeración

Después de que continúa el calentamiento de la región calentada HA2 en la periferia mediante el calentador secundario 26 tras el calentamiento local de la región calentada HA1 por el calentador principal 25 en la forma descrita anteriormente, el calentador principal 25 y el calentador secundario 26 hacen descender de manera sincronizada las temperaturas de calentamiento, tal como se muestra en la figura 4. La velocidad de refrigeración es preferiblemente de aproximadamente 50 °C/h, por ejemplo. Como resultado, una gran extensión que incluye el área de restauración de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura se refrigera suavemente.

En consecuencia, la tensión de tracción producida en el momento de la refrigeración se dispersa en una amplia extensión de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura, es decir, una región que incluye al menos la región calentada HA1 y la región calentada HA2, y por lo tanto, su valor absoluto es bajo en comparación con el caso en que sólo existe la región calentada HA1. Por lo tanto, se reduce al mínimo la influencia de la tensión de tracción en el área de restauración por parte de la contracción térmica en la etapa de refrigeración.

Por lo tanto, se elimina una situación defectuosa en la que la parte deteriorada C soldada a presión se abre o en la que se produce una tensión de tracción residual en la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura, y de este modo el estado reparado de esta parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura se mantiene a largo plazo para prolongar la vida útil del tubo 12.

#### (Tratamiento Térmico de Recristalización)

A continuación se describirá el tratamiento térmico de recristalización. La figura 6 es un diagrama gráfico que muestra un cambio en la temperatura y un cambio en la estructura del metal en el momento del tratamiento térmico de recristalización en el procedimiento de restauración de acuerdo con esta realización.

La estructura de metal del área de restauración refrigerada suavemente en el tratamiento térmico de restauración descrito anteriormente es una estructura de bainita que incluye en parte ferrita, tal como se muestra con el símbolo a1 en la figura 6.

#### (1) Etapa de Calentamiento

En el tratamiento térmico de recristalización primero se calienta el área de restauración a la temperatura T3 (por ejemplo, 900 a 950 °C, preferiblemente 930 °C) superior al punto de transformación A3 mediante el calentador principal 25 y se mantiene durante por ejemplo, 30 a 120 minutos, preferiblemente 60 minutos. Este tratamiento térmico cambia la estructura de metal del área de restauración en una estructura de austenita, tal como se muestra con el símbolo a2 en la figura 6. Una estructura endurecida gruesa formada en el momento del tratamiento térmico de restauración permanece, en parte, en la estructura de metal en este momento. La estructura endurecida gruesa puede dificultar la ductilidad de ruptura.

#### (2) Etapa de transformación eutectoide isotérmica

A continuación, se lleva a cabo un tratamiento de transformación eutectoide isotérmico en el que se realiza el control de la temperatura del calentador principal 25, se enfría el área de restauración a la temperatura T4 (por ejemplo, 680 a 730 °C, preferiblemente 700 °C) menor que el punto de transformación A3 y se mantiene a la temperatura T4 durante un tiempo fijo (por ejemplo, 180 a 600 minutos, preferiblemente 300 minutos). Este tratamiento térmico somete la estructura de austenita a la transformación eutectoide. Por lo tanto, tal como se muestra con el símbolo a3

en la figura 6, la estructura de metal del área de restauración se convierte en una estructura de perlita de ferrita que tiene la eutectoide de ferrita y perlita, y se elimina la estructura endurecida gruesa.

5 Aquí, si la temperatura mantenida de transformación eutectoide isotérmica es menor que una punta de la transformación eutectoide isotérmica, se requiere mucho tiempo para la transformación eutectoide isotérmica del área de restauración, y si la temperatura mantenida excede considerablemente de la punta, la transformación eutectoide isotérmica en el área de restauración se hace difícil. Por lo tanto, la temperatura T4 en la que el área de restauración se lleva a cabo en la etapa de transformación eutectoide isotérmica es preferiblemente una temperatura que permita que la estructura de metal del área de restauración sea sometida a la transformación eutectoide isotérmica sin problemas.

10 El tiempo durante el cual el área de restauración se mantiene a la temperatura T4 en la etapa de transformación eutectoide isotérmica puede ser un tiempo durante el cual la región con los granos de cristal gruesos en la primera etapa de calentamiento y la segunda etapa de calentamiento completa la transformación eutectoide isotérmica.

### (3) Etapa de Calentamiento

15 El área de restauración se calienta de nuevo a la temperatura T3 que supera el punto de transformación A3 mediante el calentador principal 25, y se mantiene durante por ejemplo, 30 a 120 minutos, preferiblemente 60 minutos. El tratamiento térmico cambia de nuevo la estructura de metal del área de restauración en una estructura de austenita, tal como se muestra con el símbolo a4 en la figura 6. En este momento, la estructura de metal se convierte en una estructura de austenita libre de la estructura endurecida gruesa, ya que la estructura endurecida gruesa ha sido eliminada en la etapa de transformación eutectoide isotérmica anterior.

### 20 (4) Etapa de Refrigeración

A continuación, el área de restauración se refrigera a la temperatura T5 (por ejemplo, 550 a 650 °C, preferiblemente 500 °C) suficientemente más baja que el punto de transformación A3. Mediante este tratamiento térmico, se hace que el área de restauración tenga una estructura de metal que tiene el eutectoide de ferrita y perlita en una parte de la estructura de austenita, tal como se muestra con el símbolo a5 en la figura 6.

### 25 (5) Etapa de Calentamiento

El área de restauración se calienta de nuevo a la temperatura T3 que supera el punto de transformación A3 mediante el calentador principal 25, y se mantiene, por ejemplo, de 30 a 120 minutos, preferiblemente 60 minutos. El tratamiento térmico cambia de nuevo la estructura de metal del área de restauración en una estructura de austenita tal como se muestra con el símbolo a6 en la figura 6.

### 30 (6) Etapa de Refrigeración

A continuación, se lleva a cabo el control de la temperatura del calentador principal 25, y el área de restauración se enfría a una velocidad de refrigeración, por ejemplo, de aproximadamente 50 °C/h).

35 Como resultado de la refrigeración de esta manera, la estructura de metal del área de restauración se convierte en una estructura de perlita ferrita que incluye vainita, tal como se muestra con el símbolo a8 en la figura 6 con la estructura de austenita sometida a transformación por refrigeración continua, tal como se muestra con el símbolo a7 en la figura 6.

40 En el tratamiento térmico de recristalización que se ha descrito anteriormente, el área de restauración se calienta y se refrigera dos o más veces mediante el control de la temperatura del calentador principal 25 para repetir el tratamiento de transformación, por lo que el área de restauración se convierte en una estructura de perlita ferrita de alta ductilidad comparable a la del tubo 12 como un material de base. Mediante el tratamiento térmico de recristalización que se ha descrito anteriormente, los huecos, precipitados o segregaciones del límite de grano existentes a lo largo del límite de grano de la estructura en el momento de la soldadura están confinados dentro del grano para frenar la velocidad de propagación de las grietas y reducir la velocidad de progresión de los daños. Por otra parte, se elimina una estructura endurecida gruesa mediante la etapa de transformación eutectoide isotérmica realizada en el procedimiento del tratamiento térmico de recristalización y, por lo tanto, se suprime el obstáculo de la ductilidad de ruptura para obtener una buena ductilidad.

45 Tal como se describió anteriormente, de acuerdo con el procedimiento de restauración para una parte deteriorada de acuerdo con esta realización, puede ejercerse una presión mediante una fuerza de expansión térmica de la parte calentada que consiste en la región calentada HA2 en la periferia de la parte deteriorada C sobre la región calentada HA1 de la parte deteriorada C. Por consiguiente, la parte deteriorada C puede soldarse a presión de manera fiable con una elevada fuerza de compresión para restaurar satisfactoriamente la parte deteriorada C sobre el espesor total de su región calentada HA1, y así se puede mejorar la calidad de la restauración.

Dado que la parte deteriorada C y su periferia se enfrían al mismo tiempo, la tensión de tracción producida en la parte deteriorada C en el momento de la refrigeración se puede dispersar en una amplia extensión y, por lo tanto, la

5 influencia de la tensión de tracción en el área de restauración puede minimizarse. Se elimina una situación problemática en la que se produce una tensión de tracción residual en el área de restauración, el estado reparado de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura se puede mantener a largo plazo y de esta manera la vida útil del tubo 12 puede prolongarse. En esta realización se han mostrado dos tiempos de calentamiento: primer calentamiento y segundo calentamiento, pero el número de tiempos de calentamiento no se limita a dos, ya que es de dos o más.

10 Además, realizando dos o más veces la etapa de calentamiento/refrigeración de someter a transformación el área de restauración y la etapa de transformación eutécticoide isotérmica de continuar la transformación en el área de restauración durante un tiempo fijo, puede hacerse que el área de restauración tenga una estructura de alta ductilidad comparable a la de un material de base compuesto por el tubo 12. Los huecos, precipitados o segregaciones del límite de grano existentes a lo largo del límite de grano de la estructura están confinados dentro del grano, con lo que puede frenarse la velocidad de propagación de las grietas para reducir la velocidad de progresión de daños. Además, se elimina una estructura endurecida gruesa, por lo que el obstáculo de ductilidad de ruptura puede ser suprimido para obtener una buena ductilidad.

15 De acuerdo con el aparato de restauración 11 para la parte deteriorada C de acuerdo con esta realización, se proporcionan el calentador principal 25 y el calentador secundario 26, de modo que mediante la realización del control de la temperatura del calentador principal 25 y del calentador secundario 26, la parte deteriorada C generada en la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura y su periferia se pueden calentar y refrigerar con el control de la temperatura apropiado para llevar fácilmente a cabo un tratamiento térmico óptimo en la parte deteriorada C.

20 Además, el número de repeticiones de la transformación del área de restauración de la etapa de calentamiento/refrigeración en el tratamiento térmico de recristalización es preferiblemente de 3 a 5.

25 Esta realización se ha descrito tomando como ejemplo un aparato que comprende dos calentadores: el calentador principal 25 y el calentador secundario 26, pero el número de calentadores no se limita a dos, ya que puede ser de dos o más.

El calentador principal 25 y el calentador secundario 26 no se limitan al tipo de bobina de calentamiento de alta frecuencia, sino que se pueden usar varios tipos de calentadores capaces del control de la temperatura.

### [Ejemplo]

Se verificó el procedimiento descrito anteriormente se verificó.

30 Para el tubo 12, se utilizó un tubo hecho de material de STAP 24 (2,25 % de Cr-1 % de acero Mo) y que tiene un diámetro de tubo de 355 mm y un espesor de pared de 77 mm. Para el metal de soldadura 13 se utilizó un material mismo que el del tubo 12.

La figura 7A es una imagen microscópica de la zona 15 HAZ antes del tratamiento térmico de restauración, donde la densidad del número de huecos (parte deteriorada C) es de 930/mm<sup>2</sup>.

35 El calentador principal 25 se colocó a una distancia de 10 mm en la dirección radial desde la superficie del tubo 12, en una posición opuesta a un límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13. El calentador secundario 26 se colocó en una posición desviada 50 mm en la dirección circunferencial y 10 mm en la dirección radial del tubo 12 desde el límite entre el tubo 12 y el metal de soldadura 13.

40 La superficie del elemento de límite entre el tubo 12 de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura y el metal de soldadura 13 se calienta rápidamente a la temperatura T1 = 1200 °C mediante el calentador principal 25.

45 300 segundos después, la superficie del elemento de límite entre el tubo 12 de la parte soldada 14 resistente a la presión a alta temperatura y el metal de soldadura 13 alcanzó T1 = 1200 °C mediante calentamiento con el calentador principal 25, el calentando mediante el calentador secundario 26 empezó a calentar la proximidad de la región calentada HA1 por el calentador principal 25 a la temperatura T1 = 1200 °C, mientras continuó el calentamiento mediante el calentador principal 25.

El calentamiento de la región calentada HA2 en la periferia mediante el calentador secundario 26 continuó durante 1200 segundos, seguido de la reducción de las temperaturas de calentamiento mediante el calentador principal 25 y el calentador secundario 26 de manera sincronizada a una velocidad de refrigeración de 50 °C/h.

50 A continuación, el área de restauración se calentó a 930 °C mediante el calentador principal 25 y se mantuvo durante 60 minutos.

A continuación, se realizó el control de la temperatura del calentador principal 25, y el área de restauración se refrigeró a 700 °C y se mantuvo durante 300 minutos para ser sometida al tratamiento de transformación eutécticoide isotérmico.

Posteriormente, el área de restauración se calentó a 930 °C mediante el calentador principal 25, se mantuvo durante 60 minutos, y se enfrió a 500 °C.

Además, el área de restauración se calentó a 930 °C mediante el calentador principal 25, que se mantuvo durante 60 minutos, y se refrigeró a aproximadamente 50 °C/h.

- 5 La figura 7B es una imagen microscópica de la zona 15 HAZ después del tratamiento térmico de restauración, donde la densidad del número de huecos (parte deteriorada C) es de 140/mm<sup>2</sup>, y se confirmó que la densidad del número de huecos se redujo en un 85 % en comparación con la anterior al tratamiento térmico de restauración. Además, se confirmó que los huecos estaban situados en el límite de grano antes del tratamiento térmico de restauración, mientras que fueron confinados dentro del grano después del tratamiento térmico de restauración.

10 **Aplicabilidad industrial**

De acuerdo con el procedimiento de restauración para una parte deteriorada de acuerdo con la presente invención, se puede ejercer una gran tensión de compresión sobre la parte deteriorada, puesto que el calentamiento de la parte deteriorada precede al calentamiento de la periferia de la parte deteriorada. Además, puesto que la parte deteriorada y su periferia se refrigeran de manera sincronizada, una tensión de tracción producida en la parte deteriorada en el momento de la refrigeración se puede dispersar en una amplia extensión y de esta manera puede minimizarse la influencia de la tensión de tracción en un área de restauración. En consecuencia, se puede reducir la tensión de tracción residual en el área de restauración, y la vida útil de un elemento de metal puede prolongarse de esta manera.

20 Al llevar a cabo dos o más veces una etapa de transformación eutectoide isotérmica en un área de tratamiento de restauración durante un tiempo fijo para continuar la transformación, además de una etapa de calentamiento/refrigeración de someter a transformación el área de tratamiento de restauración, los huecos, precipitados o segregaciones existentes a lo largo del contorno del grano del límite de grano de la estructura pueden estar confinados dentro del grano. Además, mediante la realización de la etapa de transformación eutectoide isotérmica, además de la etapa de calentamiento/refrigeración, se puede eliminar una estructura endurecida gruesa, y puede suprimirse el obstáculo de la ductilidad de ruptura para obtener una buena ductilidad. Como resultado de ello, puede frenarse la velocidad de propagación de las grietas para reducir la velocidad de progresión de daños.

30 De acuerdo con un aparato de restauración para una parte deteriorada de acuerdo con la presente invención, se proporcionan un primer calentador y un segundo calentador. Mediante la realización del control de la temperatura del primer calentador y del segundo calentador, la parte deteriorada generada en un elemento de metal y su periferia se pueden calentar y refrigerar con un control de temperatura apropiado para llevar fácilmente a cabo un tratamiento térmico óptimo para la restauración de la parte deteriorada.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para la restauración de una parte deteriorada (C) generada en un elemento de metal, que comprende:
  - 5 una primera etapa de calentamiento para el calentamiento de una región local que incluye la parte deteriorada (C) para formar una primera región calentada (HA1), y la soldadura a presión de la parte deteriorada (C) mediante una tensión de compresión en la primera región calentada (HA1) debido a la restricción de la expansión térmica de la primera región calentada (HA1) mediante la periferia de la primera región calentada (HA1):
  - 10 **caracterizado porque** el procedimiento también comprende una segunda etapa de calentamiento de formación de una segunda región calentada (HA2) mediante el calentamiento de la periferia de la primera región calentada (HA1) después de transcurrir un período de tiempo después del comienzo del calentamiento en la primera etapa de calentamiento suficiente para que se produzca la expansión térmica de una parte calentada en la primera región calentada (HA1), y mientras se calienta la primera región calentada (HA1).
2. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera etapa de calentamiento y la segunda etapa de calentamiento continúan durante un período de tiempo que permite ejercer la presión mediante una fuerza de expansión térmica de la parte calentada de la segunda región calentada (HA2) como una tensión de compresión en la primera región calentada (HA1) ablandada por su calentamiento.
3. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el elemento de metal comprende un material de base (12) y un metal de soldadura (13) para la unión del material de base (12), la parte deteriorada (C) existe en una zona (15) afectada por el calor del material de base (12) generado por la soldadura, y se forma la primera región calentada (HA1) para incluir la zona (15) afectada por el calor.
4. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la segunda región calentada (HA2) está formada sobre el material de base (12) adyacente a la zona (15) afectada por el calor.
5. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende una etapa de refrigeración para la refrigeración de la primera región calentada (HA1) y la refrigeración de la segunda región calentada (HA2) de manera sincronizada.
6. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 5, en el que después de completarse la etapa de refrigeración, la primera y la segunda regiones calentadas (HA1, HA2) se someten a un tratamiento térmico de recristalización.
7. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el tratamiento térmico de recristalización es repetir dos o más veces un tratamiento en el que el elemento de metal (12) se calienta a una temperatura (T3) igual o superior a su punto de transformación (A3) y se refrigera a una temperatura (T4, T5) más baja que el punto de transformación (A3).
8. El procedimiento de restauración de una parte deteriorada de acuerdo con la reivindicación 6, en el que un tratamiento de transformación eutéctico isotérmico se lleva a cabo en el procedimiento de llevar a cabo el tratamiento térmico de recristalización.
9. Un aparato para la restauración de una parte deteriorada (C) generada en un elemento de metal, que comprende:
  - 40 un primer calentador (25) que debe colocarse en una posición frente a la parte deteriorada (C) para calentar localmente la parte deteriorada (C); y
  - 45 un segundo calentador (26) para el calentamiento de la periferia de una región calentada (HA1) por el primer calentador (25), en donde el calentamiento del segundo calentador (26) se inicia mientras el calentamiento del primer calentador (25) continúa después de transcurrir un tiempo después de iniciar el calentamiento del primer calentador (25), suficiente para que se produzca la expansión térmica de una parte calentada en la primera región (HA1) calentada.

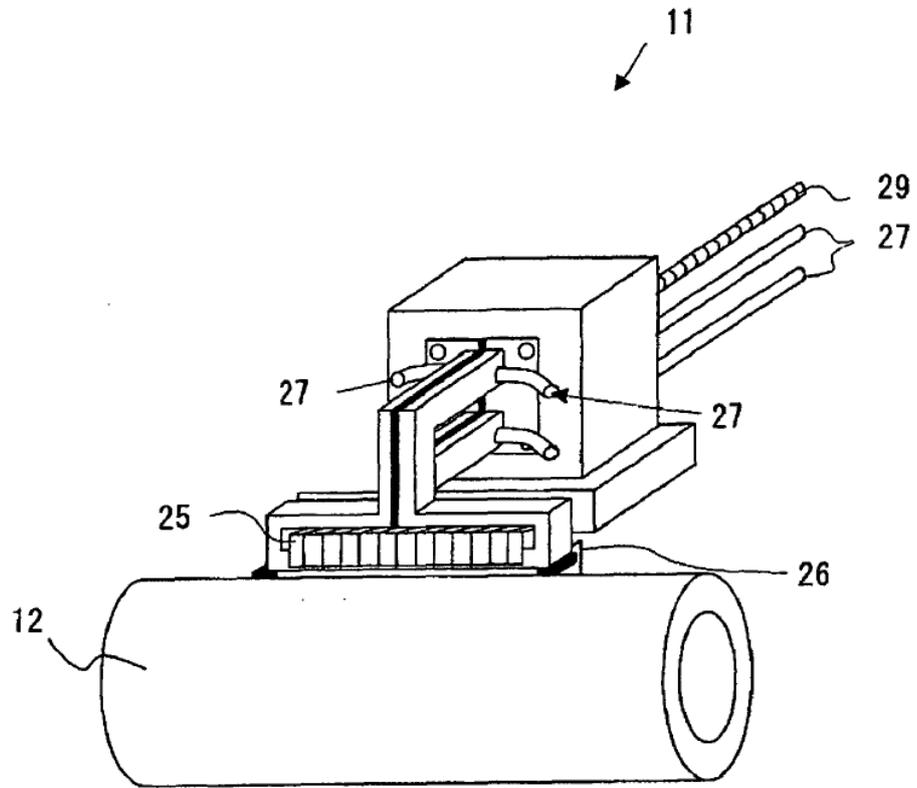


FIG. 1

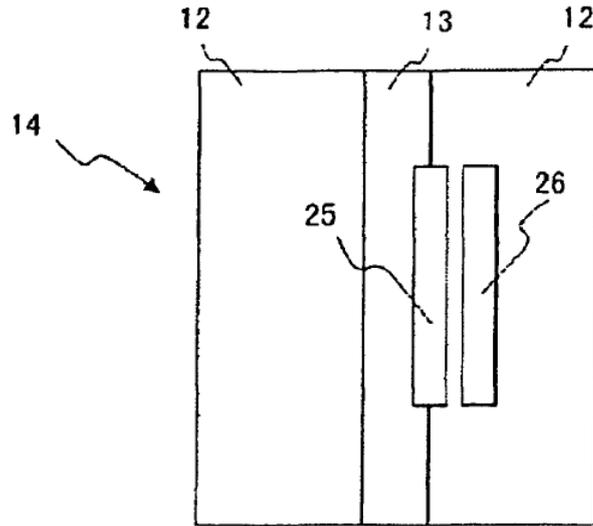


FIG. 2

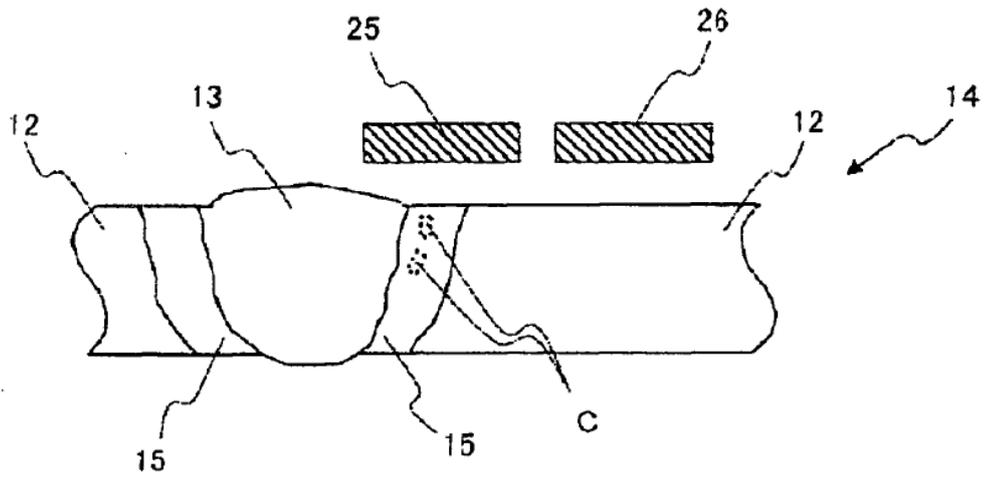


FIG. 3

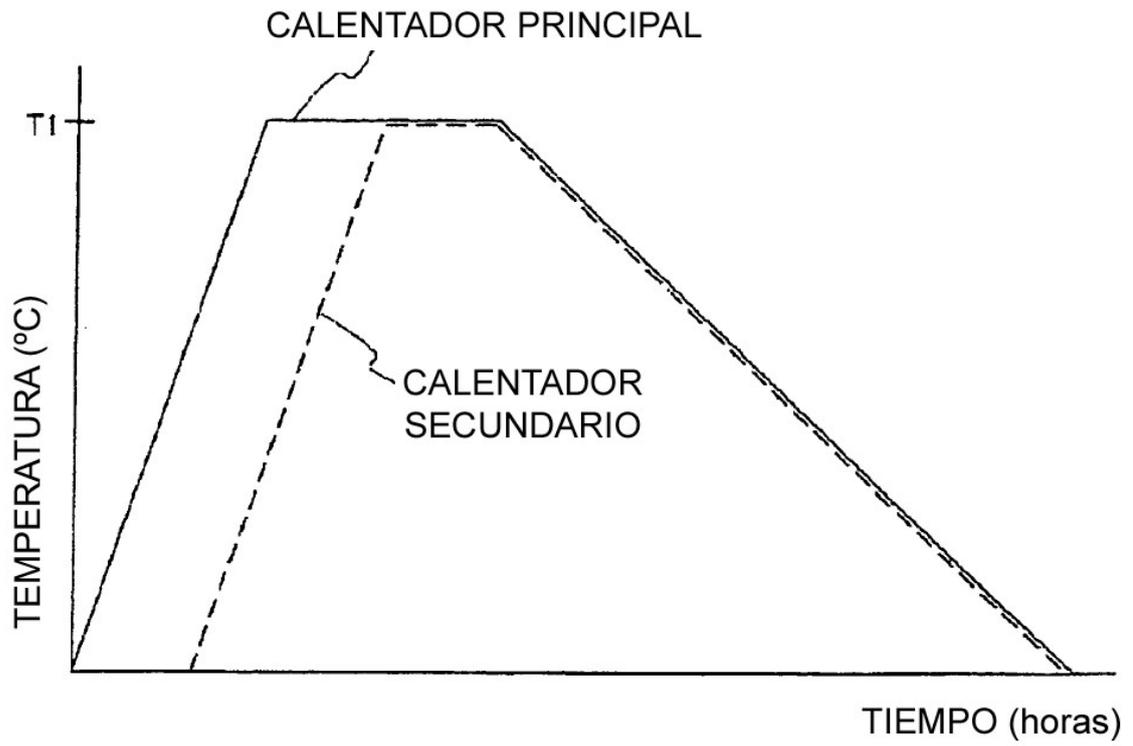


FIG. 4

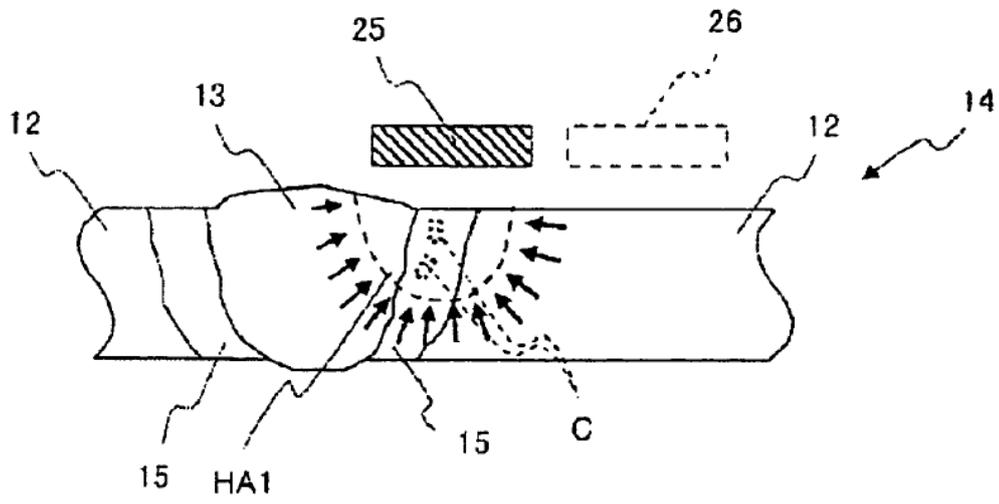


FIG. 5A

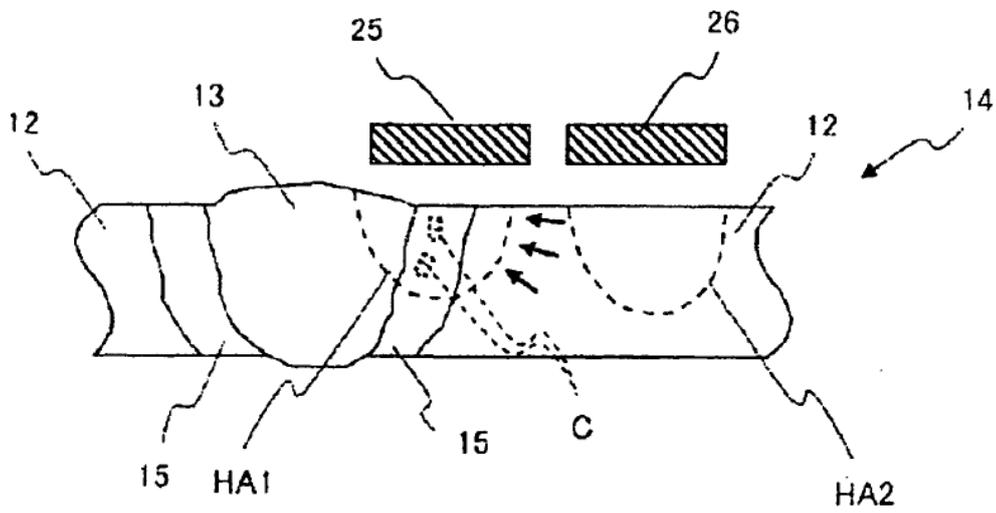


FIG. 5B

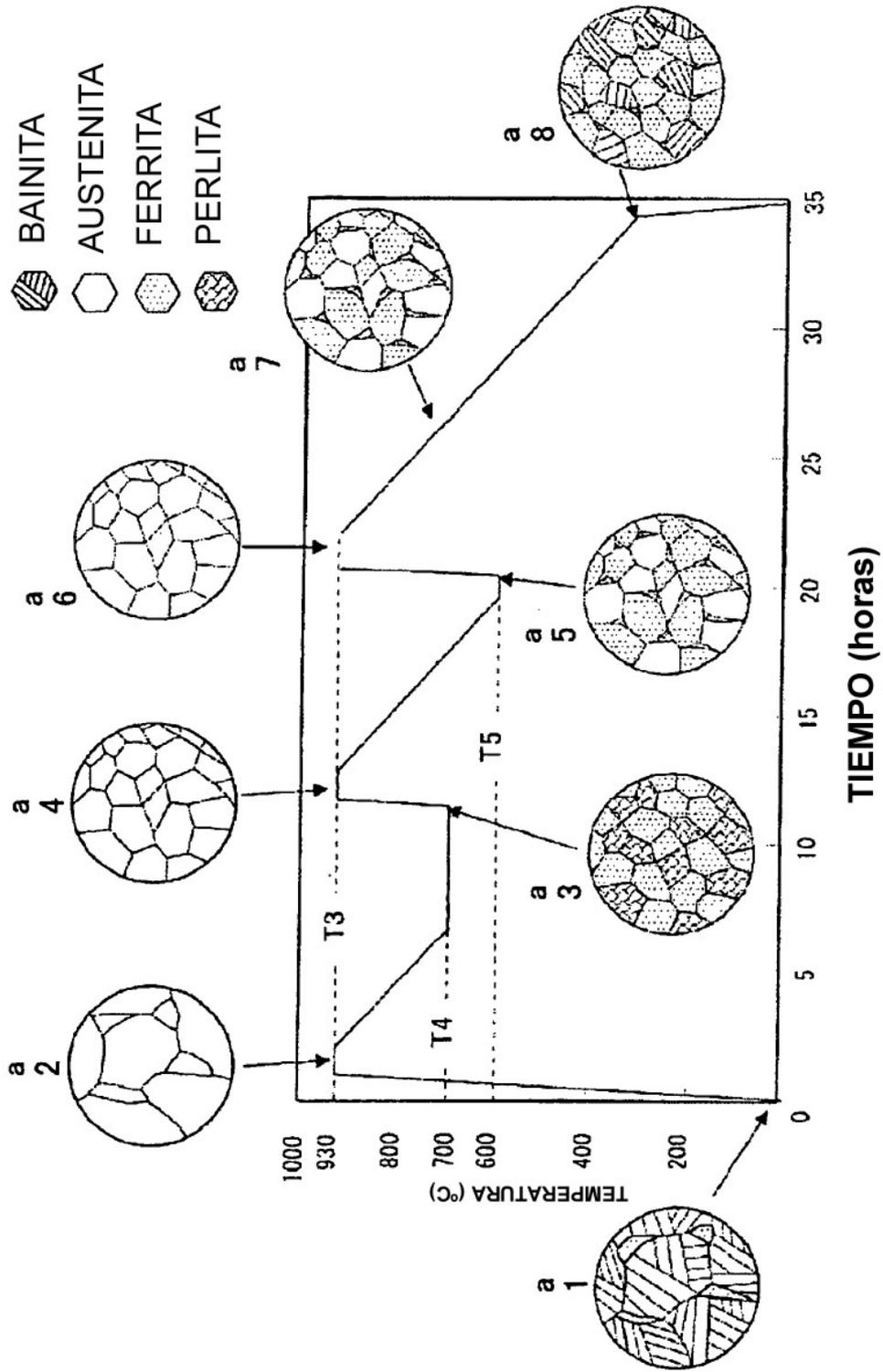
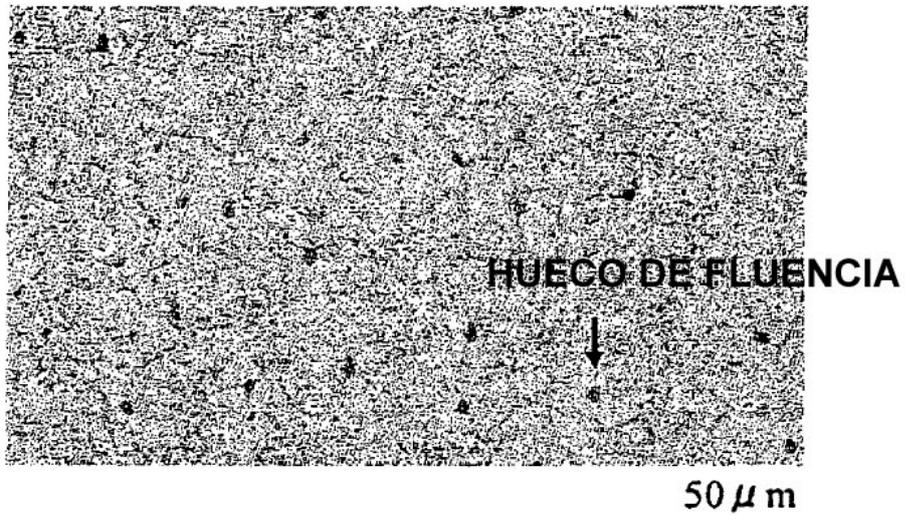
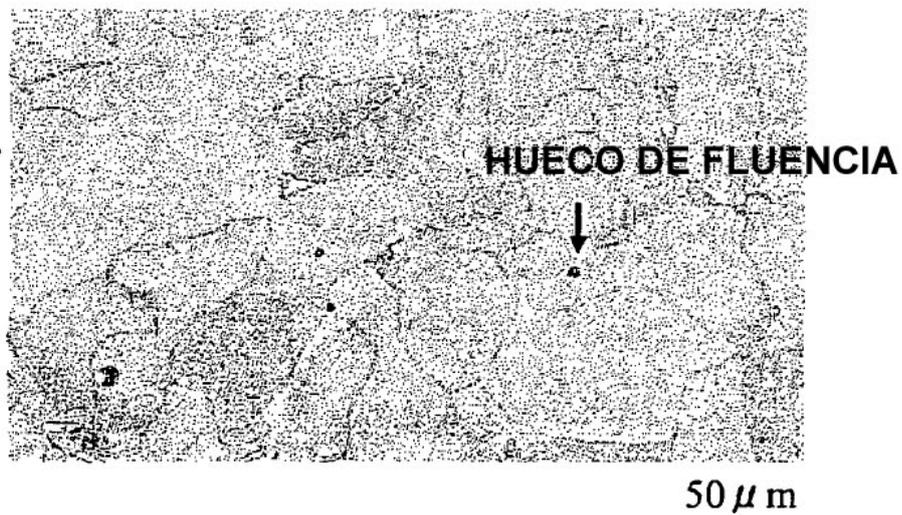


FIG. 6



ANTES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE RESTAURACIÓN  
(DENSIDAD NÚMERO DE HUECOS: 930/mm<sup>2</sup>)

FIG. 7A



DESPUÉS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE RESTAURACIÓN  
(DENSIDAD NÚMERO DE HUECOS: 140 mm<sup>2</sup>)

FIG. 7A

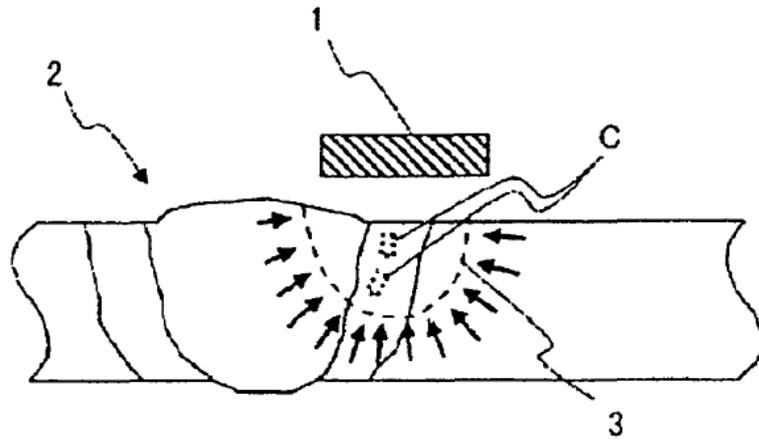


FIG. 8A

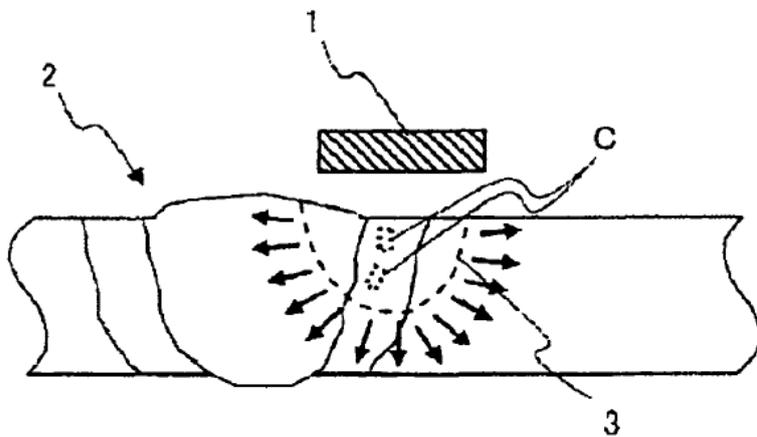


FIG. 8B