

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 805**

51 Int. Cl.:

C21D 1/09	(2006.01)
C21D 1/10	(2006.01)
C21D 7/06	(2006.01)
C21D 9/00	(2006.01)
G21C 1/09	(2006.01)
G21C 17/017	(2006.01)
H05B 3/82	(2006.01)
H05B 3/42	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2011 PCT/FR2011/050775**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2011 WO11124846**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2011 E 11718459 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 2556174**

54 Título: **Tratamiento de un tubo calefactor destinado a un presurizador del circuito primario de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

08.04.2010 FR 1052651

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.10.2018

73 Titular/es:

**ELECTRICITÉ DE FRANCE (100.0%)
22-30 Avenue de Wagram
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**CHAMPREDONDE, JACQUES;
FAGEON, JEAN-MARIE y
NEAU, YVES**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 687 805 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

Tratamiento de un tubo calefactor destinado a un presurizador del circuito primario de un reactor nuclear

5 Sector de la técnica

La invención se refiere a los tubos calefactores para un presurizador de un circuito primario de reactor nuclear de agua a presión.

10 Estado de la técnica

Un tubo calefactor, para tal presurizador de circuito primario, habitualmente comprende una envoltura externa metálica con una forma cilíndrica alargada (por ejemplo, de 22 mm de diámetro por 2m de largo, aproximadamente) denominada "funda" y un elemento de calentamiento montado en el interior de la funda.

15 Tales tubos se montan sobre una parte inferior del presurizador, como se explica en detalle en el documento FR-2 895 206 y se sumergen en el agua del circuito primario que incluye el presurizador. Se ponen en servicio para aumentar la presión de funcionamiento del circuito primario. Se comprenderá así que cuando están en servicio los tubos están sometidos a tensiones y, en particular, sufren una tensión térmica que, asociada a una tensión de endurecimiento descrita más adelante, provoca potencialmente una corrosión por tensión.

20 El documento JP 2005 265449 propone un tratamiento de recristalización por inducción de la superficie de los materiales de un reactor nuclear.

25 Problemas planteados

En efecto, unos incidentes han relevado que podrían producirse fugas en los tubos calefactores del estado de la técnica. En particular, la funda de un tubo puede fisurarse, de manera que el interior del tubo entre en comunicación con el agua que se encuentra en el presurizador. De ello resulta un posible deterioro del elemento de calentamiento del tubo, la pérdida de funcionamiento del tubo, incluso una fuga de agua a presión hacia el exterior del presurizador, a través del espacio interior del tubo.

35 En consecuencia, se ha buscado una solución para limitar los riesgos de fisuras de la funda, debidos, en particular, a la corrosión por tensión que sufre la funda.

En el documento mencionado anteriormente FR- 2 895 206 se propone una solución que tiene por objeto depositar por electrolisis un revestimiento protector de níquel sobre la superficie exterior de la funda. No obstante, esta solución de adición de material conlleva una modificación de la geometría del tubo), en particular, por aumento del diámetro del tubo. Esta solución, además, no es totalmente segura, no excluyéndose un riesgo de eliminación de la capa de níquel por efecto de los golpes o de la fricción. Habida cuenta del aumento del diámetro, esta solución no es aplicable en tubos calefactores ya fabricados que ya no podrían conformarse a las dimensiones de los soportes. Además, es larga de implementar.

45 La presente invención viene a mejorar la situación.

Objeto de la invención

50 Esta propone para tal efecto un tratamiento de los tubos con vistas a disminuir los riesgos de fisuras mencionados anteriormente. El tratamiento previsto en el sentido de la invención es, de manera general, un tratamiento térmico de los tubos para recristalizar al menos la superficie externa de la funda.

De este modo, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de tratamiento de un tubo calefactor destinado a ponerse en servicio en un presurizador del circuito primario de un reactor nuclear. El tubo calefactor incluye un elemento de calentamiento alojado en una funda sustancialmente cilíndrica. Esta funda incluye una superficie exterior susceptible de sufrir, al menos en parte, una corrosión por tensión, durante la puesta en servicio del tubo.

60 En particular, la funda incluye un material de tipo acero, por ejemplo, de tipo acero inoxidable austénico endurecido, el procedimiento, en el sentido de la invención, incluye una etapa de tratamiento térmico de al menos la superficie externa de la funda, para recristalizar al menos la superficie del material de la funda.

El material así recristalizado no es sensible al fenómeno de corrosión por tensión con respecto a los tubos del estado de la técnica, no se deteriora, lo que suprime los riesgos de fisuras y finalmente aumenta la duración de la vida útil de los tubos.

65 Preferentemente, el tratamiento térmico es un tratamiento de calentamiento por inducción aplicado a partir de la

superficie externa de la funda.

Se busca, en particular, un tratamiento térmico que incluya un aumento de temperatura en la superficie exterior de la funda comprendido en un intervalo de 800°C a 1100 C y, preferentemente, entre 900°C y 1050 C o entre 950°C y 1050 C, por ejemplo, 960 C, 970 C o incluso 1000 C.

Al aplicar un tratamiento térmico por inducción, ventajosamente, el aumento de temperatura del elemento de calentamiento como resultado del tratamiento térmico está limitado a un valor máximo de 900 C, lo que permite conservar las propiedades resistivas y de aislamiento eléctrico del elemento de calentamiento.

En un ejemplo descrito en detalle más adelante, el tratamiento de calentamiento por inducción consiste en aplicar una corriente alterna en el bobinado de un inductor que rodea la superficie exterior de la funda. La frecuencia de la corriente alterna se puede seleccionar y, preferentemente, es de al menos 100kHz. Cuanto más elevada es la frecuencia más concentrada está la energía transmitida a la funda por inducción en un bajo espesor de la funda, según un efecto denominado "pelicular". Este valor de frecuencia viene dado en un contexto en el que el bobinado de inducción tiene un diámetro de 30 a 50mm y para una funda cuyo diámetro es de aproximadamente de 20 a 25mm.

El inductor se dispone alrededor del tubo y, en particular, preferentemente, se aplica un desplazamiento relativo del inductor con respecto al tubo, al menos en traslación a lo largo del tubo.

En un ejemplo de realización, la velocidad del desplazamiento en traslación está comprendida entre 100 y 900mm por minuto, para una potencia inyectada por inducción comprendida entre 1 y 50kW.

Preferentemente, el inductor es de tipo solenoidal.

En un modo de realización, además, se puede prever una inyección de gas inerte sobre la superficie externa de la funda para evitar su oxidación tras el tratamiento térmico.

Después del tratamiento térmico, también se puede aplicar un enfriamiento por soplado de fluido (por ejemplo, aire) sobre la superficie exterior de la funda.

La presente invención también tiene por objeto un tubo calefactor, como tal, obtenido por el procedimiento en el sentido de la invención. En particular, la funda del tubo consta al menos en su superficie exterior de un espesor de material recristalizado. Preferentemente, este espesor es superior o del orden de 1mm. Ventajosamente, este espesor está comprendido entre aproximadamente 1mm y un espesor total de la funda del tubo y, de manera más particular, está comprendido entre aproximadamente 1,5mm y aproximadamente 3mm, por ejemplo, aproximadamente 2mm.

En el presente documento, se entiende por "material recristalizado" al hecho de que el tratamiento térmico aplicado contribuye a regenerar unos granos fuertemente deformados, de elevada dureza, en granos equiaxiales de dureza baja o media. De este modo, un rastro del procedimiento de la invención sobre el tubo consiste en que la dureza de la funda en su superficie externa es más débil que para un tubo clásico del estado de la técnica. Típicamente, una dureza equivalente a un valor inferior o igual a aproximadamente 240 Vickers incluso inferior a aproximadamente 200 Vickers puede medirse sobre la superficie exterior de la funda de un tubo tratado en el sentido de la invención. Estos valores de dureza representan, respectivamente, unos espesores del material recristalizado superiores o del orden de un 1mm o aproximadamente de 1,5mm a 2mm.

Como se explica a continuación, inicialmente, el elemento de calentamiento está montado en la funda del tubo por engastado, martilleándose la superficie externa de la funda. De ello resulta un endurecimiento de la superficie externa de la funda. Como se verá más adelante, existe un efecto sinérgico entre el endurecimiento y el tratamiento térmico en el sentido de la invención.

Se podrán observar entonces en un tubo, antes del tratamiento térmico en el sentido de la invención, rastros de endurecimiento por martilleado, en particular, sobre la superficie exterior de la funda. Ventajosamente, las consecuencias de este endurecimiento (concretamente, en términos de comportamiento frente a la corrosión por tensión) desaparecen globalmente tras el tratamiento de la invención.

Ventajas aportadas por la invención

De este modo, el tratamiento térmico seleccionado en el sentido de la invención es, preferentemente, un tratamiento por inducción, que tiene por objeto favorecer una recristalización del material con el que está realizada la funda, en particular, en la superficie externa de la funda. A modo de ejemplo no limitativo, este material de la funda típicamente puede ser un acero austénico (que incluye esencialmente hierro, de un 16 a un 20% de cromo y de un 8 a un 14% de níquel, así como carbono (menos un 1%) y eventualmente molibdeno, niobio o titanio).

En efecto, se ha observado que el riesgo de corrosión de la funda de un tubo puede estar vinculado a su modo de

fabricación por martilleado, provocando un endurecimiento importante del metal, en particular, en la superficie exterior de la funda. En la figura 3, se ha representado una imagen aumentada de la superficie SUP de la funda de un tubo, que muestra, en particular, unos granos muy endurecidos cerca de la superficie externa SUP de la funda.

5 Por esta primera razón, un tratamiento térmico por inducción es ventajoso ya que, en principio, favorece, en primer lugar, un aumento de temperatura, en particular, en la superficie externa del material tratado por inducción.

10 El tratamiento por inducción resulta también ventajoso al menos por una segunda razón: se sospecha que un tratamiento térmico global (de aproximadamente 1050 C para recristalizar la funda de un tubo) puede deteriorar las propiedades eléctricas del tubo y, en concreto, del elemento de calentamiento montado en el interior de la funda. En consecuencia, en una implementación de la invención, se prefiere un tratamiento térmico selectivo solo de la superficie del tubo y, en particular, de la funda. Un tratamiento térmico por inducción es por tanto adecuado. Cuando la temperatura del elemento de calentamiento es superior a 900°C, se sospecha que, en efecto, las propiedades eléctricas pueden deteriorarse.

15 De este modo, un tratamiento por inducción, ventajosamente, de la superficie de la funda, permite mejorar los defectos morfológicos (plastificación importante, dislocaciones y tensiones locales) de la superficie de la funda, vinculados, en concreto, al endurecimiento de la funda durante la fabricación del tubo.

20 Además, cuando se efectúa el tratamiento térmico por medio de un solenoide que rodea el tubo, se puede implementar el tratamiento térmico de recristalización sin crear discontinuidades de tratamiento térmico.

25 Axialmente, se puede obtener un tratamiento continuo y regular desplazando continuamente y de manera regular el tubo por el inductor o a la inversa.

Radialmente, el tratamiento térmico se produce simultáneamente sobre todo el contorno de la funda con una intensidad sustancialmente igual. Los riesgos de una falta de uniformidad radial de tensiones durante el tratamiento de recristalización son, por tanto, escasos.

30 En particular, las tensiones debidas al endurecimiento de la funda durante la fabricación del tubo son reabsorbidas uniformemente a lo largo del contorno del tubo.

35 Una falta de uniformidad de las tensiones podría producirse si, durante el tratamiento térmico superficial, determinadas zonas de la funda sometidas a un mayor endurecimiento son objeto de un tratamiento de recristalización menor que otras zonas de la funda del tubo sometidas a un endurecimiento menor. Una falta de uniformidad radial de tensiones crea, por un lado del tubo, unas zonas con fuertes tensiones y, por el otro lado del tubo, unas zonas con tensiones débiles, lo que podría contribuir a flexionar el tubo.

40 Por otra parte, la energía (por tanto, la temperatura) a aplicar para recristalizar un acero endurecido es menor que para un acero no endurecido. Por ejemplo, mientras que un acero no endurecido empieza a recristalizarse a 1050°C, el mismo acero endurecido superficialmente necesita tan solo un aumento de temperatura más bajo, por ejemplo, de 960 °C, considerando, además, que toda la superficie de este acero no está endurecida y que el endurecimiento no es homogéneo por todo el espesor de la funda. Esta constatación permite entonces bajar la temperatura a aplicar a la funda para su recristalización y, por tanto, bajar también la temperatura a la que se debe someter el elemento de calentamiento en el interior de la funda.

50 El uso de una temperatura superficial comprendida entre 900°C y 1050°C o de manera más particular entre 950°C y 1050°C, por ejemplo, 960°C, 970°C o incluso 1000 C permite garantizar una recristalización superficial cuando la superficie de la funda consta de unas zonas de menor endurecimiento que otras zonas. En particular, estas temperaturas de la superficie permiten recristalizar unas partes de la funda menos endurecidas que la superficie externa, por ejemplo, unas zonas más cerca del núcleo.

55 Como se ha mencionado anteriormente, existe un efecto sinérgico entre el endurecimiento y el tratamiento térmico en el sentido de la invención. En particular, el endurecimiento inicialmente presente permite bajar la temperatura del tratamiento. Además, el tratamiento según la invención permite paliar los defectos de fabricación de los tubos por endurecimiento. El tratamiento térmico según la invención permite reabsorber la mayoría de las tensiones presentes en la funda, incluidas las tensiones residuales aportadas por el endurecimiento y presentes en profundidad en la funda, bajo la superficie externa.

60 En efecto, cuando se efectúa el tratamiento de recristalización sobre un espesor del orden a los mencionados anteriormente, en particular, de aproximadamente 1,5mm o aproximadamente 2mm, se trata la mayoría del espesor de la funda. La mayoría de las tensiones aportadas a la funda por el endurecimiento durante la fabricación del tubo se reabsorben entonces. La superficie externa de la funda solo está sometida, por tanto, a una tensión mínima por parte de capas más internas de la funda.

65 Al reabsorber las tensiones debidas al endurecimiento de la funda, el procedimiento según la invención permite

reducir las tensiones presentes globalmente en el tubo a unos valores inferiores a aproximadamente 100MPa, incluso inferiores a aproximadamente 80MPa. De este modo, las tensiones globalmente presentes en el tubo son, concretamente, inferiores a las tensiones límites a partir de las cuales se puede producir una corrosión por tensión en uso, es decir, por unos tubos que tienen una funda de aceros austénico, unas tensiones del orden de 300MPa a 400MPa.

Descripción de las figuras

Otras ventajas y características de la invención se apreciarán tras la lectura de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización no limitativos, así como tras el examen de los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 representa una vista en sección de un tubo, que muestra, en particular, el interior de un tubo en el sentido de la invención;
- la figura 2 representa un detalle de la figura 1, en particular, con diferentes puntos en los que la temperatura vinculada al tratamiento por inducción se estima según los gráficos de las figuras 4 y 5;
- la figura 3 representa una vista microscópica de la superficie de la funda de un tubo;
- la figura 4 es un gráfico de estimación del perfil de temperaturas en función del tiempo en diferentes puntos del tubo cuyo detalle está representado en la figura 2, en unas condiciones de tratamiento por inducción a una frecuencia de 300 kHz, con un inductor de dos espirales de 2000 amperios y una parada del calentamiento a los 4,6 segundos, sin mantenimiento;
- la figura 5 es un gráfico de estimación del perfil de temperaturas en diferentes puntos del tubo cuyo detalle está representado en la figura 2, en unas condiciones de tratamiento por inducción a una frecuencia de 200 kHz, con un inductor de dos espirales de 3000 amperios y sin mantenimiento;
- la figura 6 representa muy esquemáticamente una instalación para la implementación del procedimiento.

Descripción detallada de la invención

Se hace referencia, en primer lugar, a la figura 1 en la que se ha representado la parte del tubo destinada a sumergirse en un presurizador. Esta incluye pues una funda 5 de forma cilíndrica, de acero inoxidable. Se comprenderá así que el procedimiento se aplica a cualquier tubo cuya funda esté realizada de un acero de la familia general de los "aceros inoxidables" (sin limitación particular sobre la proporción de aleaciones que forman este acero).

El alma central del tubo incluye un mandril 2, normalmente de cobre, en el interior de la funda 5, según el eje central de la funda, así como un hilo calefactor 1 enrollado alrededor del mandril 2 en espiral e interpuesto entre el mandril 2 y la funda 5. Este hilo calefactor constituye el elemento de calentamiento mencionado antes en la anterior presentación general de la invención.

El hilo calefactor 1 comprende un alma metálica resistiva, eléctricamente conductora 3, por ejemplo, de cobre o de una aleación de níquel-cromo. Un recubrimiento metálico de protección 6 de acero (véase en particular el detalle de la figura 2) rodea el alma 3. El recubrimiento 6 está aislado eléctricamente del alma 3 por un aislante 4, por ejemplo, de magnesia (MgO). El hilo calefactor 1, enrollado alrededor del mandril 2 formando unas espirales contiguas, está destinado a conectarse a un conector unido eléctricamente a un generador eléctrico que hace circular una corriente eléctrica por el hilo conductor 1. Unos detalles sobre la conexión de tal tubo calefactor y su implementación en el circuito primario de un reactor nuclear se describen en la publicación FR-2895206.

Ahora con referencia a la figura 2, el espesor de la funda 5 (entre los puntos A y C) es, en ejemplo un de realización no limitativo en absoluto, de 2,45mm. El espesor del recubrimiento de protección 6 del hilo calefactor 1 es de 0,5mm (entre los puntos C y D de la figura 2). El espesor del forro de magnesia 4 es de 0,4mm (entre los puntos D y E de la figura 2). De este modo, se comprenderá que la representación de las figuras 1 y 2 no es necesariamente a escala. Por último, el diámetro del alma conductora 3 del hilo calefactor es de aproximadamente 1,5mm (entre los puntos E y F).

Por otra parte, los elementos que envuelven la funda 5 están engastados en la funda según una etapa de endurecimiento de la funda por martilleado, que además genera la tensión mecánica susceptible de afectar al comportamiento frente a la corrosión por tensión. Tras el martilleado, la funda 5 está en contacto estrecho con las espirales 1 del elemento calefactor, como se ha ilustrado concretamente en la figura 2.

Según una primera serie de pruebas realizadas, se ha buscado un aumento de temperatura de aproximadamente 1050°C de la superficie exterior de la funda 5, con vistas a su recristalización. Con referencia a la figura 4, se ha estimado que la superficie externa de la funda (curva A) presentaba un pico de aumento de temperatura de 1050°C, favorable a la recristalización. En el punto J, correspondiente a aproximadamente un 83% de la potencia recibida por inducción (el conocido "efecto pelicular" en el tratamiento por inducción), el aumento de temperatura es de aproximadamente 1000 C. En particular, la curva B muestra el perfil de temperatura a 1,5mm de la superficie exterior de la funda (en el punto B de la figura 2). Ahora bien, resulta que un simple aumento de temperatura a 900°C ya permitía una recristalización del material de la funda. De este modo, esta primera serie de pruebas ha permitido

recristalizar prácticamente la totalidad de la funda, incluso en volumen. Se observa, no obstante, en la curva que lleva la referencia E, que la temperatura del alma 3 del hilo calefactor no supera los 800 C, lo que permite preservar las propiedades conductoras del alma 3 del hilo calefactor, garantizando entonces que el tratamiento en el sentido de la invención no conlleva ningún deterioro del contenido del tubo.

5 Globalmente, se ha buscado un aumento de temperatura de la superficie exterior de la funda en un intervalo de 800 C a 1100°C y, preferentemente, de 900°C a 1050°C, intervalo de temperaturas suficiente para recristalizar el material de la funda. A esta limitación se añade un aumento de temperatura máxima de la magnesia 4 limitada a 850°C (en el punto D de la figura 2), para garantizar un aumento de temperatura inferior del alma 3 del hilo calefactor.

10 Para respetar estas limitaciones, ventajosamente, se selecciona un conjunto de parámetros de inducción de entre al menos:

- 15 - la frecuencia f (Hz) de la corriente alterna que circula por las espirales del inductor (referencia IND de la figura 6), quedando entendido que cuanto más elevada sea esta frecuencia más confinada está la energía recibida por inducción a la superficie de la funda 5 (por efecto pelicular),
- la potencia P (W) o, de manera equivalente, el amperaje de la corriente para la frecuencia seleccionada,
- 20 - la duración de aplicación del tratamiento térmico, representado, en el ejemplo de la figura 6, por una velocidad V (mm/min) de desplazamiento relativo del inductor IND con respecto a la funda 5 del tubo.

Por supuesto, cuando más baja es la velocidad del inductor con respecto al tubo más elevado es el aumento de temperatura.

25 Se registran entonces estos diferentes efectos en la figura 5 que representa una estimación de los aumentos de temperatura para una velocidad de avance más elevada, pero con una densidad de potencia más elevada. Se hace constar en el presente documento que la interfaz entre el recubrimiento de protección del hilo calefactor y la magnesia (punto D) sufre un aumento de temperatura inferior a 750°C.

30 Según el conjunto de las pruebas realizadas, resulta que la frecuencia de la corriente alterna a prever es preferentemente superior a 150kHz, de manera a preservar la magnesia 4 y/o el alma conductora 3 del hilo calefactor 1, limitando el aumento de temperatura a un valor umbral del orden de 800 a 900°C. La potencia inyectada puede estar en un intervalo de 1 a 50kW. La velocidad del movimiento relativo del inductor IND con respecto al tubo puede estar comprendida en un intervalo de 100 a 900mm/min. En estas condiciones, es preferible prever un inductor solenoidal, que tenga un diámetro interno de 30 a 50mm, quedando entendido que el diámetro del tubo es, en un ejemplo de realización dado, de 22mm.

Preferentemente, como se ha representado en la figura 6, el tubo, durante el tratamiento térmico, se pone en rotación (flecha R) en torno a su eje central para homogeneizar el tratamiento térmico aplicado a la funda.

40 Por supuesto, los parámetros del tratamiento por inducción tales como, en concreto, la frecuencia, la potencia y la velocidad de avance son regulables en la instalación de tratamiento representada en la figura 6 en función de las dimensiones precisas de los elementos que constituyen el tubo, en función de su material u otras limitaciones. Se comprenderá, de manera general, que el efecto buscado en el tratamiento por inducción consiste en crear un campo magnético alterno (con la ayuda de corrientes alternas que circulan por el inductor) para generar corrientes inducidas en la superficie externa de la funda del tubo. Estas corrientes inducidas calientan instantáneamente la zona donde se producen. Por otro lado, los elementos interiores del tubo, tales como la superficie interna de la funda y, en particular, el hilo calefactor 1 y el mandril 2, en principio, solo se calientan por conducción térmica (como ilustran bien las curvas E a I de las figuras 4 y 5). De este modo, se comprenderá que el espesor de tratamiento finalmente es en función del valor de la frecuencia seleccionada (por el efecto pelicular) y del tiempo de tratamiento o de manera equivalente de la velocidad de avance del inductor con respecto al tubo (por conducción térmica).

De ello resulta entonces una recristalización de la superficie externa, al menos, de la funda 5 del tubo. Esta recristalización se constata concretamente por el hecho de que el material se vuelve más blando cuando se recristaliza. Normalmente, se puede medir una dureza inferior o igual a aproximadamente 240 Vickers mediante una medición de penetración por un diamante cónico a una presión de 5kg sobre la superficie externa de la funda 5 de un tubo tratado por el procedimiento en el sentido de la invención. El espesor de la funda recristalizada es de al menos 1mm.

60 De este modo, se comprenderá que un rastro del procedimiento en el sentido de la invención sobre el tubo tratado consiste en medir una dureza inferior o igual a aproximadamente 240 Vickers, por ejemplo, sobre al menos 1mm de espesor a partir de la superficie exterior de la funda 5 del tubo.

65 En la figura 6 se ha representado un soplador S de fluido sobre el tubo, inmediatamente después del tratamiento por inducción. Se puede prever, en efecto, un enfriamiento (por ejemplo, por aire) para disminuir la temperatura de los elementos que constituyen el tubo, tras la recristalización de la funda. Se baja así la temperatura en los finales de la

curva, tal y como se ha representado en las figuras 4 y 5.

5 También se puede prever colocar una mufla (manguito de cuarzo alrededor del tubo) para proteger el tubo contra la oxidación (tras un aumento de temperatura) y para inyectar un gas inerte (por ejemplo, argón, helio o posiblemente nitrógeno). Esta mufla que inyecta un gas inerte (no representada en la figura 6) puede intervenir entre el inductor IND y el soplador de aire S en el esquema representado.

10 Como variante, el tratamiento térmico puede realizarse en una caja bajo una atmósfera de gas inerte para evitar la oxidación superficial de la funda.

De manera más general, la presente invención no se limita a los ejemplos de realización aportados antes; sino que se extiende a otras variantes.

15 De este modo, el soplador de aire S representado en la figura 6 para el enfriamiento del tubo simplemente se puede suprimir.

20 Además, la aplicación de gas inerte sobre la funda también es opcional. En efecto, debido a la escasa duración del tratamiento, la posible oxidación del tubo permanece limitada. Se observa como máximo un ligero tono azulado de la superficie exterior de la funda 5. Esta oxidación puede simplemente suprimirse mediante un decapado final (etapa ya prevista e implementada en el procedimiento de fabricación general de los tubos). Durante esta etapa de decapado, se elimina la débil capa de oxidación formada por el tratamiento por inducción, lo que permite evitar el tener que prever un soplador de gas inerte o aplicar el tratamiento térmico en una cámara de gas inerte como se ha descrito antes.

25 Por otra parte, como se ha indicado antes, los valores de aumento de temperatura indicados en los ejemplos de las figuras 4 y 5 admiten numerosas variantes. De manera general, se puede retener que la recristalización de la funda puede efectuarse entre 800 y 1100°C, las condiciones de tratamiento por inducción tiene por objeto elevar otro tanto la temperatura de la superficie exterior de la funda, buscando limitar el aumento de temperatura del hilo calefactor a aproximadamente 900°C como máximo. Por otra parte, también es preferible que el aumento de temperatura de la superficie exterior de la funda no supere un valor umbral, por ejemplo, superior a 1100°C o que la duración del tratamiento térmico esté también limitada a un valor umbral, para no favorecer lo que se denomina "recristalización secundaria" y que globalmente se traduce en una falta de homogeneidad en los tamaños de los granos cristalinos, lo que vuelve el material más frágil.

35 Además, como se ha explicado anteriormente, si la superficie exterior de la funda está globalmente endurecida, el aumento de temperatura máximo en la superficie de la funda (pico de la curva A de la figura 4 o 5) puede reducirse por debajo de 1000°C, por ejemplo a 960°C.

40 De manera más general, en el presente documento se ha descrito antes, a modo de ejemplo, un tratamiento térmico por inducción, pero la invención se aplica a cualquier tipo de tratamiento térmico capaz de limitar selectivamente el aumento de temperatura principalmente a la funda del tubo. Por ejemplo, se puede contemplar un calentamiento por barrido láser o por soplete anular sobre la superficie de la funda. El tratamiento por soplete anular que reproduce un tratamiento térmico y que tiene ventajas similares a las de un tratamiento por solenoide de revolución es particularmente ventajoso.

45

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento de un tubo calefactor destinado a ponerse en servicio en un presurizador del circuito primario de un reactor nuclear,
 5 incluyendo el tubo calefactor un elemento de calentamiento (1) alojado en una funda (5) sustancialmente cilíndrica, incluyendo dicha funda una superficie exterior susceptible de sufrir, al menos en parte, una corrosión por tensión, durante la puesta en servicio del tubo, incluyendo dicha funda un material de tipo acero, **caracterizado por que** el procedimiento incluye una etapa de tratamiento térmico al menos de la superficie externa de dicha funda para recristalizar al menos la superficie del
 10 material de la funda, y **por que** la superficie exterior de la funda presenta al menos rastros de endurecimiento antes de la etapa de tratamiento térmico, y **por que** el aumento de temperatura del elemento de calentamiento resultante del tratamiento térmico está limitado a un valor máximo de 900 C.
 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el tratamiento térmico es un tratamiento de calentamiento por inducción aplicado a partir de la superficie externa de la funda.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por que** el tratamiento térmico incluye un aumento de
 20 temperatura en la superficie exterior de la funda comprendido en un intervalo de 900 C a 1050 C.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado por que** una frecuencia de corriente alterna aplicada en un bobinado inductor para el tratamiento de recristalización por inducción es de al menos 100kHz, para un bobinado de 30 a 50mm de diámetro que rodea la superficie exterior de la funda, siendo el diámetro de la funda de
 25 aproximadamente de 20 a 25mm.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 a 4, **caracterizado por que** se dispone un inductor (IND) en torno al tubo y **por que** se aplica un desplazamiento relativo del inductor con respecto al tubo, al menos en traslación a lo largo del tubo.
 30
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la velocidad del desplazamiento en traslación está comprendida entre 100 y 900mm por minuto, para una potencia inyectada por inducción comprendida entre 1 y 50kW.
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 6, **caracterizado por que** el tratamiento térmico implementa un inductor (IND) de tipo solenoidal dispuesto alrededor del tubo.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** además incluye una inyección de gas inerte sobre la superficie externa de la funda para evitar una oxidación tras el tratamiento térmico.
 40
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** además incluye, después del tratamiento térmico, una etapa de enfriamiento por soplado de fluido (S) sobre la superficie exterior de la funda.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el material de la funda es de
 45 tipo acero inoxidable austénico endurecido.
11. Tubo calefactor destinado a ponerse en servicio en un presurizador del circuito primario de un reactor nuclear obtenido mediante el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, incluyendo el tubo calefactor un elemento de calentamiento (1) alojado en una funda (5) sustancialmente cilíndrica,
 50 incluyendo dicha funda una superficie exterior susceptible de sufrir, al menos en parte, una corrosión por tensión, durante la puesta en servicio del tubo, incluyendo dicha funda un material de tipo acero, **caracterizado por que** la funda (5) del tubo incluye al menos en su superficie exterior un espesor de material recristalizado.
- 55 12. Tubo según la reivindicación 11, **caracterizado por que** el espesor es superior o del orden de 1mm.
13. Tubo según una de las reivindicaciones 11 y 12, **caracterizado por que** presenta una dureza equivalente a un valor inferior o igual a 240 Vickers.

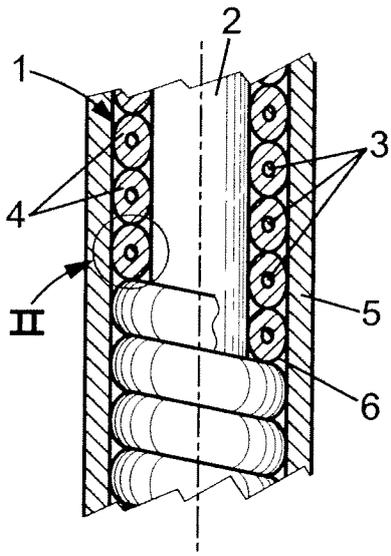


FIG. 1

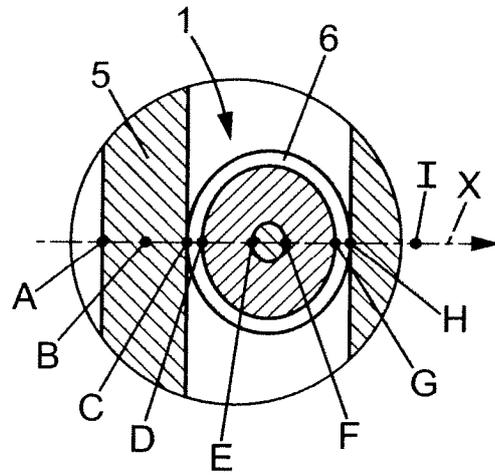


FIG. 2

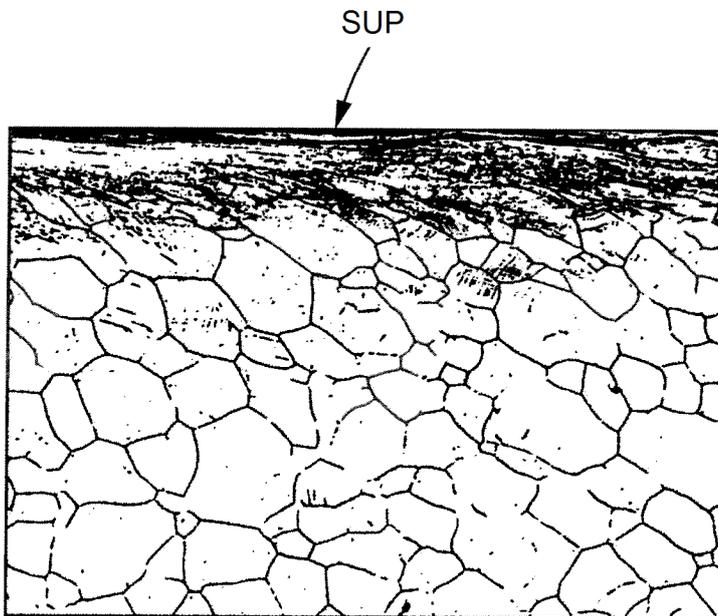


FIG. 3

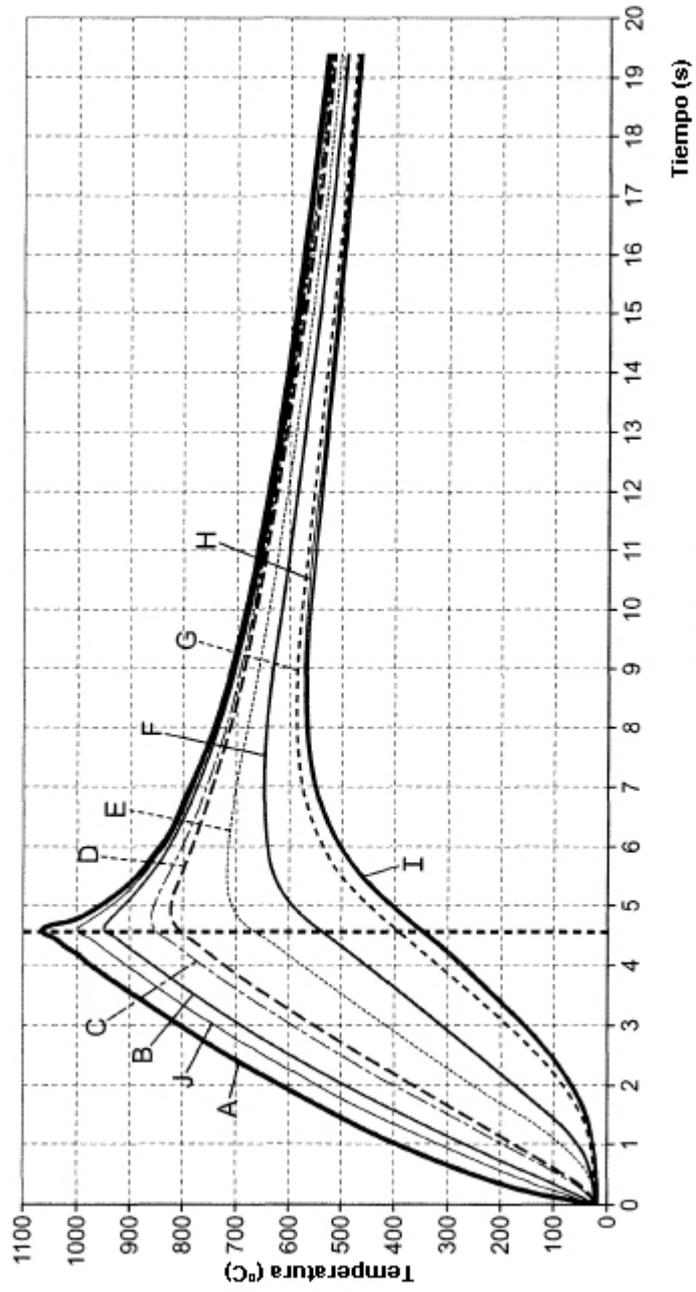


FIG. 4

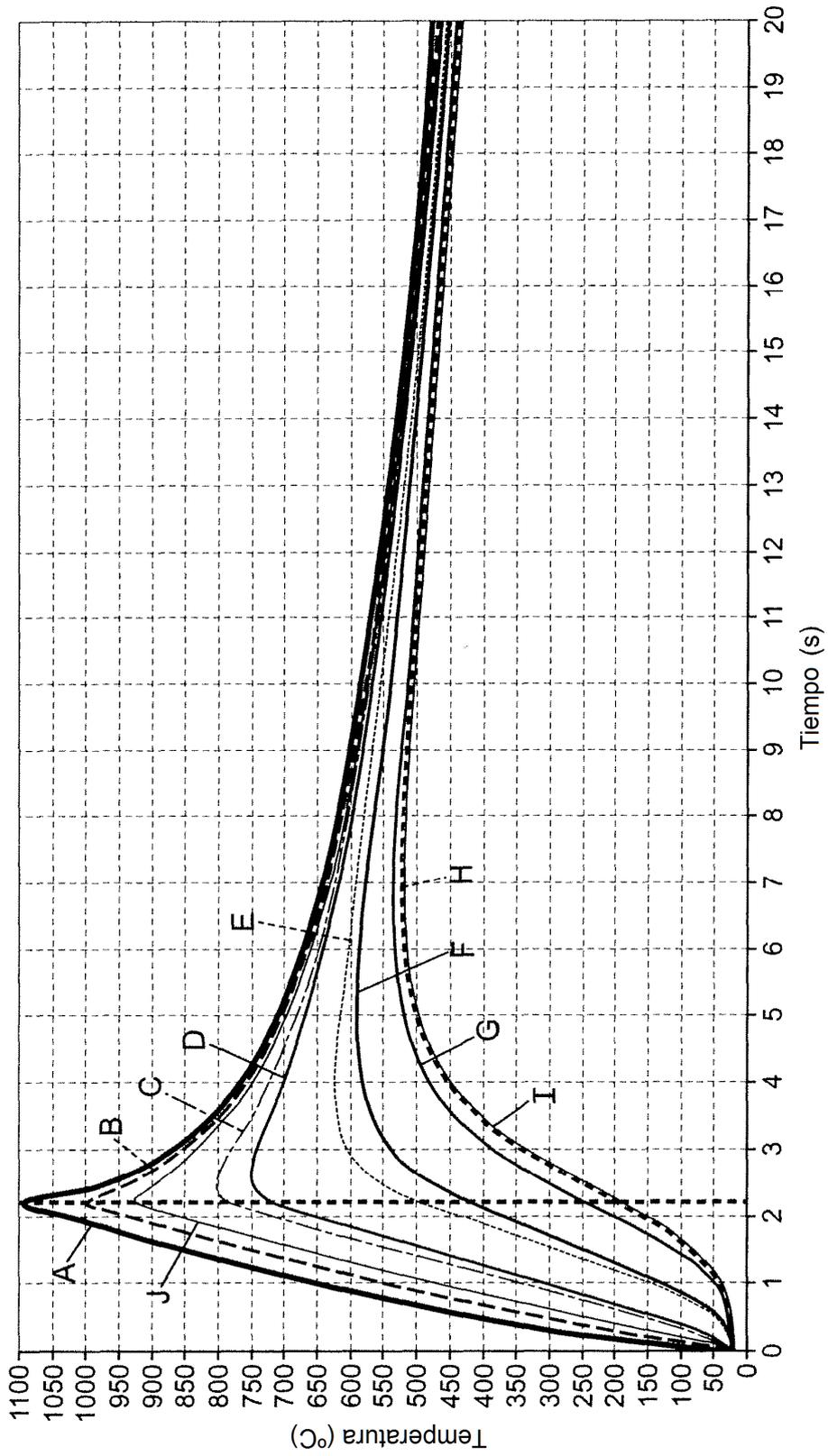


FIG. 5

