

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 645**

51 Int. Cl.:
G21C 3/07 (2006.01)
G21C 21/02 (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **03809908 .1**
96 Fecha de presentación: **30.10.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1556869**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.07.2005**

54 Título: **Procedimiento, utilización y dispositivo relacionados con los tubos de vaina para combustible nuclear y conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión**

30 Prioridad:
30.10.2002 SE 0203198

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.03.2012

73 Titular/es:
Westinghouse Electric Sweden AB
721 63 Västerås, SE

72 Inventor/es:
DAHLBÄCK, Mats y
HALLSTADIUS, Lars

74 Agente/Representante:
Curell Aguilá, Mireia

ES 2 377 645 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, utilización y dispositivo relacionados con los tubos de vaina para combustible nuclear y conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión.

- 5 **Antecedentes de la invención y técnica anterior**
- 10 La presente invención se refiere a tubos de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua a presión. Más particularmente, la invención se refiere a los tubos de vaina de este tipo que están formados por una aleación a base de Zr que contiene Nb. La invención se refiere, entre otras cosas, a un procedimiento. Según el procedimiento, se forma un tubo que consiste, al menos principalmente, en un componente de tubo cilíndrico de una aleación a base de Zr, siendo Nb el elemento de aleación, salvo por el Zr, que presenta el mayor contenido en la aleación, siendo el contenido de Nb en porcentaje en peso entre 0,5 y 2,4.
- 15 La invención también se refiere a un tubo de vaina como tal, a un uso de un tubo de vaina y a un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión que comprende tal tubo de vaina.
- Los procedimientos del tipo que se describe en el primer párrafo anterior se conocen anteriormente. Con tales procedimientos, se producen por tanto tubos de vaina de aleaciones a base de Zr que contienen Nb. Por ejemplo, el documento US-A-5.648.995 describe tal procedimiento y un tubo de vaina de este tipo.
- 20 El documento EP-A-0 198 570 da a conocer un proceso para fabricar tuberías de pared delgada a partir de una aleación de zirconio-niobio que contiene desde un 1 hasta un 2,5% en peso de niobio en forma de partículas finamente divididas dispersadas de manera homogénea, comprendiendo el proceso:
- 25 tratamiento por beta de dicho lingote de aleación;
- extrusión de dicho lingote tratado por beta a una temperatura no superior a 650 °C para formar una carcasa de tubo;
- 30 deformación adicional de dicha carcasa de tubo mediante procesado en frío en una pluralidad de fases de procesado en frío;
- recocido de dicha carcasa de tubo, entre cada una de dichas fases de procesado en frío, a una temperatura inferior a 650 °C; y
- 35 recocido final de la tubería resultante a una temperatura por debajo de 600 °C, para producir así una microestructura del material que presenta partículas de niobio dispersadas de manera homogénea de un tamaño inferior a aproximadamente 800 Angstrom.
- 40 Cuando se usa un tubo de vaina en un reactor nuclear, contiene combustible nuclear, habitualmente en forma de pastillas que comprende uranio enriquecido, habitualmente en forma de UO₂. El tubo de vaina con su contenido constituye por tanto una varilla de combustible. Debido al entorno muy particular en el que se usan los tubos envainados, deben cumplirse diferentes requisitos.
- 45 Existen principalmente dos clases de reactores de agua ligera modernos: reactores de agua hirviendo (BWR) y reactores de agua a presión (PWR). En estos tipos de reactores imperan diferentes condiciones que exigen diferentes requisitos sobre las piezas que forman parte de los reactores. En un PWR, las varillas de combustible se enfrían principalmente mediante agua en una fase líquida a alta presión. En un BWR, la presión es menor y el agua que enfría las varillas de combustible se evapora de tal manera que las varillas de combustible están rodeadas por agua tanto en fase líquida como en fase de vapor. Además, los conjuntos de combustible presentan diferente construcción en un BWR y un PWR. En un tipo de BWR, las varillas de combustible en un conjunto de combustible se extienden de lado a lado entre una placa superior y una placa inferior que mantienen el conjunto de combustible unido. En un PWR, por otro lado, las varillas de combustible se sujetan habitualmente en posición con la ayuda de separadores y alcanzan totalmente la placa superior y la placa inferior.
- 50 Una varilla de combustible que se usa en un reactor nuclear está expuesta a altas temperaturas y presiones. A lo largo del tiempo se producen por ello fenómenos de deformación por fluencia lenta. Tal deformación por fluencia lenta debería evitarse en la medida de lo posible ya que puede tener efectos negativos. Por ejemplo, una deformación por fluencia lenta de las varillas de combustible puede tener como consecuencia que éstas presionarán contra las pastillas de combustible que están situados en su interior. La radiación con neutrones a la que se expone una varilla de combustible cuando se usa también puede tener como consecuencia que la varilla de combustible tienda a crecer con el tiempo. Asimismo, tal crecimiento provocado por la radiación con neutrones puede tener efectos no deseados. Por tanto debe evitarse que el tubo de vaina crezca en gran medida. Las varillas de combustible modernas que se producen en aleaciones de zirconio adecuadas y que se someten a tratamientos
- 60 térmicos especiales durante la producción, a menudo presentan una tendencia relativamente baja al crecimiento
- 65

cuando se exponen a la radiación con neutrones. La tendencia al crecimiento puede reducirse, entre otras cosas, sometiendo el tubo de vaina durante la producción a un recocido de recristalización final.

5 Mediante una adecuada elección del material para el tubo de vaina y un procedimiento de producción adecuado, el tubo de vaina puede obtener propiedades adecuadas en cuanto a, por ejemplo, dureza y ductilidad.

10 En el entorno en el que se usan, los tubos de vaina pueden estar sujetos a diferentes ataques corrosivos. Estos ataques pueden proceder del exterior o del interior. Los ataques desde el interior a menudo se basan en una influencia del material del combustible nuclear que se encuentra allí, denominada interacción pastilla-vaina (PCI). Si se forma una grieta a través del tubo de vaina (un denominado daño primario), puede penetrar agua a través de la grieta y dispersarse por el interior del tubo. Esto puede provocar nuevos ataques corrosivos desde el interior del tubo, denominados daños secundarios. Un tubo de vaina de zirconio o aleaciones a base de zirconio también puede reaccionar con hidrógeno de tal manera que se forman hidruros en el tubo de vaina. Estos hidruros pueden formarse desde el interior del tubo, particularmente si se ha formado una grieta de tal manera que haya penetrado agua en el tubo. Estos hidruros hacen el tubo más frágil y la probabilidad de formación de grietas aumenta. Particularmente los hidruros que se extienden en una dirección radial por el tubo constituyen un riesgo aumentado de formación de grietas. Tales hidruros radiales pueden por tanto acelerar posibles daños secundarios y formaciones de grietas.

20 Las complicadas condiciones químicas, mecánicas y metalúrgicas que se dan en un reactor nuclear han conducido al hecho de que se ha propuesto un enorme número de sugerencias para la selección de materiales y para los procedimientos de producción de tubos envainados. Incluso pequeños cambios en la composición de las aleaciones o los parámetros de producción pueden tener una gran importancia para las propiedades del tubo de vaina.

25 **Sumario de la invención**

Los tubos de vaina producidos de una aleación a base de Zr que contiene Nb parecen presentar buenas propiedades en muchos aspectos. Mediante los contenidos de aleación adecuados (por ejemplo tal como se describe en el documento mencionado anteriormente US-A-5.648.995) y mediante una adecuada elección de parámetros de producción, puede obtenerse un tubo de vaina que presenta buenas propiedades químicas, mecánicas y metalúrgicas. Sin embargo resulta evidente que también para tubos de este tipo existe un riesgo de daños.

35 Un objetivo de la presente invención consiste por tanto en conseguir un procedimiento de producción de un tubo de vaina, de una aleación a base de Zr que incluye entre un 0,5 por ciento en peso y un 2,4 por ciento en peso de Nb y que presenta una mejor resistencia frente a daños que los tubos de vaina anteriores de este tipo de aleaciones.

Estos objetos se consiguen mediante un procedimiento del tipo que se ha descrito en el primer párrafo anterior y que se define en la reivindicación 1.

40 Un tubo de vaina producido según este procedimiento parece presentar una buena resistencia frente a daños provocados por PCI al tiempo que el riesgo de formación de hidruros radiales es bajo. Por lo tanto, el riesgo de grietas se reduce. El tubo de vaina tiene al mismo tiempo también una alta ductilidad, una baja tasa de deformación por fluencia lenta y una baja tendencia al crecimiento provocado por la radiación con neutrones. Los objetivos y ventajas adicionales de la invención resultarán evidentes a partir de lo expuesto a continuación.

45 Puesto que el componente de tubo está parcialmente recristalizado, pRXA, (y no completamente recristalizado), resulta evidente que los posibles hidruros que se forman tienden a extenderse principalmente en una dirección tangencial mientras que el riesgo de hidruros radiales es bajo. De ese modo, se obtiene una mejor resistencia frente a la formación de grietas. El motivo por el cual se evitan los hidruros radiales es probablemente que se mantienen ciertas tensiones que se original por la producción del tubo ya que el componente de tubo no está completamente recristalizado. Estas tensiones tienen la consecuencia de que la tendencia a los hidruros radiales se reduce.

50 Puede apreciarse que los tubos de vaina anteriormente conocidos de este tipo de aleaciones se han sometido a un recocido final de tal manera que el tubo de vaina se ha recristalizado completamente (véase por ejemplo el documento mencionado anteriormente US-A-5.648.995). Tal recristalización, RXA, es ventajosa en ciertos aspectos (para actuar frente a la deformación por fluencia lenta y el crecimiento provocado por la radiación con neutrones y para lograr resistencia frente a daños PCI). Sin embargo, en el contexto de la presente invención se ha descubierto que estas ventajas pueden obtenerse en gran medida también si el tubo de vaina sólo se recuece finalmente para lograr pRXA. Resulta así evidente por lo tanto que una mejor resistencia frente a daños puede obtenerse mediante este recocido final.

55 Debe apreciarse que el recocido final es normalmente la última etapa de tratamiento térmico en el procedimiento de producción. Posiblemente, puede llevarse a cabo un determinado postratamiento del tubo de vaina, pero un postratamiento de este tipo debería ser de tal manera que la estructura que se obtiene mediante el recocido final no se destruya esencialmente.

65

- También debe observarse que, según una forma de realización preferida, el tubo de vaina está únicamente constituido por dicho componente de tubo. No existen por tanto capas adicionales. La composición de la superficie externa y la superficie interna del tubo puede diferir, sin embargo, de la composición en el interior del tubo, por ejemplo debido a las sustancias con las que el tubo ha entrado en contacto. El tubo puede por ejemplo oxidarse debido al hecho de que se ha mantenido en un entorno de aire. Según una forma de realización alternativa, es viable sin embargo que el tubo comprenda una o más capas protectoras adicionales en su lado interior o en su lado exterior. En este caso, el tubo está por tanto constituido por varios componentes. Sin embargo se da siempre el caso de que dicho componente de tubo constituye el componente principal del tubo, por ejemplo este componente de tubo constituye más del 60% del grosor del tubo. Tal como se ha señalado anteriormente, se prefiere sin embargo que el grosor total del tubo esté formado por dicho componente de tubo.
- Finalmente se señala que cuando en la presente memoria se usan % o ppm en conexión con contenidos de diferentes sustancias, se refieren, si no se indica otra cosa, a porcentaje en peso de las respectivas sustancias.
- Según el procedimiento según la invención, el recocido final se lleva a cabo de tal manera que el grado de recristalización en el componente de tubo es superior al 40%, por ejemplo entre el 60% y el 90% e inferior al 95%. Resulta evidente que tales grados de recristalización son particularmente adecuados para lograr las ventajas descritas.
- La temperatura y el tiempo necesarios para lograr tal grado de recristalización dependen de los contenidos de los elementos de aleación. La temperatura para el recocido final es preferentemente inferior a 550°C, por ejemplo entre 400°C y 540°C, y siendo a menudo todavía más preferentemente entre 450°C y 500°C. El recocido final puede llevarse a cabo adecuadamente durante de 1 h a 6 h, preferentemente durante de 1 a 3 horas.
- Según un modo preferido, el procedimiento comprende, antes de dicho recocido final, las etapas siguientes:
- se forma una barra de dicha aleación a base de Zr;
- esta barra se calienta a entre 900°C y 1.300°C y después se temple, preferentemente en agua;
- se extrude un lingote a partir de la barra tras calentamiento a entre 500°C y 900°C;
- el lingote se lamina en frío para formar un tubo en al menos dos etapas, con tratamientos térmicos entre las mismas a entre 550°C y 650°C.
- Tal procedimiento de producción es adecuado para obtener propiedades favorables del tubo de vaina. Debe observarse que el procedimiento de producción puede comprender evidentemente etapas adicionales (por ejemplo tratamientos térmicos o laminaciones en frío adicionales) además de las mencionadas anteriormente.
- Según un modo preferido, el contenido de Nb en dicha aleación es entre el 0,8 por ciento en peso y el 1,2 por ciento en peso. Ningún elemento de aleación, salvo por el Zr y el Nb, presenta en dicha aleación un contenido que supera el 0,3 por ciento en peso, y preferentemente superior a 0,2 por ciento en peso.
- La aleación puede contener adecuadamente entre 800 ppm y 1.700 ppm de O. Tal selección del contenido de O conduce al hecho de que el tubo de vaina presenta unas buenas propiedades de deformación por fluencia lenta.
- Según una forma de realización ventajosa, la aleación contiene entre 50 ppm y 600 ppm de Fe. Manteniendo el contenido de Fe bajo, las propiedades de deformación por fluencia lenta se mejoran adicionalmente. El contenido de Fe puede ser por ejemplo inferior a 250 ppm. Debe observarse que estos contenidos de Fe bajos son únicamente realizaciones preferidas de la invención. Según otra forma de realización, también puede permitirse un contenido de Fe superior. La aleación también puede contener una cierta cantidad de S, por ejemplo entre 20 ppm de S y 600 ppm de S, o entre 100 ppm de S y 600 ppm de S. Tal cantidad de S puede mejorar la resistencia a la corrosión de la aleación y las propiedades de deformación por fluencia lenta.
- Según una forma de realización preferida, dicha aleación contiene, además de Zr, de un 0,8 por ciento en peso a un 1,2 por ciento en peso de Nb, de 50 ppm a 600 ppm de Fe, de 800 ppm a 1.700 ppm de O, menos de 250 ppm de C, menos de 150 ppm de Si, menos de 1.000 ppm de S y, además de eso, únicamente impurezas de un contenido que no supera lo que normalmente se acepta en Zr o aleaciones de Zr para las aplicaciones en los reactores nucleares.
- Ejemplos de lo que se consideran impurezas aceptables en este contexto se mencionan por ejemplo en el documento de patente EP 0 674 800 B1, columna 5.
- Tal como se ha mencionado al inicio, la invención también se refiere a un uso según se define en la reivindicación 10. Así, un tubo de vaina producido según el procedimiento según cualquiera de las formas de realización anteriores se usa en un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión. De ese modo se consiguen las ventajas descritas anteriormente con dicho tubo de vaina.

La invención también se refiere a un tubo de vaina según se define en la reivindicación 11, adecuado para contener combustible nuclear para un reactor nuclear de agua a presión.

5 Dicho tubo de vaina puede producirse según el procedimiento descrito anteriormente. Las formas de realización ventajosas, por ejemplo relativas a elementos de aleación incluidos y contenidos de aleación, resultan evidentes a partir de los ejemplos anteriores en conexión con el procedimiento según la invención. Con estas formas de realización del tubo de vaina se consiguen las ventajas anteriormente descritas.

10 Finalmente, la invención también se refiere a un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión según se define en la reivindicación 16. El conjunto de combustible comprende una pluralidad de tubos de vaina según la invención llenos de combustible nuclear adecuado para tales tubos de vaina para un reactor nuclear de agua a presión.

15 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 representa esquemáticamente un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión.

La figura 2 representa esquemáticamente una sección transversal a través de un tubo de vaina según la invención.

20 **Descripción de las formas de realización de la invención**

La figura 1 representa esquemáticamente un conjunto de combustible, conocido *per se*, para un PWR. El conjunto de combustible comprende una placa superior 4 y una placa inferior 5. Entre la placa superior 4 y la placa inferior 5 se extienden una pluralidad de tubos de guiado 3 para varillas de control. Además, el conjunto de combustible comprende una pluralidad de tubos de vaina 1. Estos tubos de vaina 1 contienen por tanto un material de combustible nuclear y se denominan por tanto varillas de combustible. En este tipo de conjunto de combustible para PWR, las varillas de combustible no alcanzan totalmente la placa superior 4 y a la placa inferior 5. Las varillas de combustible se mantienen en posición en el conjunto de combustible con la ayuda de unos separadores 2.

La figura 2 muestra esquemáticamente una sección transversal a través de un tubo de vaina según la invención. La sección transversal representa el tubo de vaina muy ampliado. En realidad, el tubo de vaina presenta una dimensión y una longitud adecuadas para su uso en un PWR. El tubo de vaina comprende un componente de tubo cilíndrico 1. En el caso mostrado, el componente de tubo cilíndrico 1 constituye la totalidad del tubo de vaina. Ésta es la forma de realización preferida. Como se mencionó anteriormente, sin embargo es posible que este componente de tubo 1 presente una o más capas protectoras en su lado exterior o su lado interior. El componente de tubo 1 está constituido por una aleación a base de Zr. Esto significa que el componente de tubo está constituido, en la medida de lo posible, siempre por más del 95%, en Zr. Según una forma de realización, el componente de tubo 1 contiene los siguientes elementos de aleación: 1% de Nb, 1.200 ppm de O, 200 ppm de Fe, menos de 200 ppm de C, menos de 150 ppm de Si, menos de 1.000 ppm de S y, además de eso, únicamente impurezas de un contenido que no supera lo que normalmente se acepta en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones en reactores nucleares. El tubo de vaina se ha recocido finalmente de tal manera que el componente de tubo 1 presenta una estructura de tal manera que está parcialmente recristalizado pero no completamente recristalizado. El grado de recristalización puede ser por ejemplo de aproximadamente el 85%.

La invención también se refiere a un procedimiento de producción de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua a presión. El procedimiento según la invención puede llevarse a cabo de la manera siguiente.

50 Se forma una barra de, por ejemplo, la aleación mencionada anteriormente. Esta barra se calienta a entre 900 °C y 1.300 °C y después se temple, preferentemente en agua. Se extruye un lingote a partir de la barra tras calentamiento a entre 500 °C y 900 °C. El lingote se lamina en frío para formar un tubo en por lo menos dos etapas (por ejemplo en tres etapas), con tratamientos térmicos entre las mismas a entre 550 °C y 650 °C. El tubo se recuece finalmente a una temperatura y durante un tiempo de tal manera que el componente de tubo se recristaliza parcialmente pero no se recristaliza completamente. El recocido final puede llevarse a cabo, por ejemplo, a una temperatura de aproximadamente 490 °C durante aproximadamente dos horas. El recocido final se lleva a cabo de tal manera que se obtiene un grado adecuado de recristalización en el tubo. Este grado de recristalización es superior a 40% e inferior a 95%. Un grado de recristalización de por ejemplo entre 60% y 90% puede ser adecuado, por ejemplo un grado de recristalización de aproximadamente 85%.

60 Un tubo de vaina producido según el procedimiento puede usarse de manera adecuada en un conjunto de combustible en un PWR nuclear.

65 Cuando a un conjunto de combustible de, por ejemplo, el tipo anteriormente descrito se le suministra una pluralidad de tubos de vaina según la invención, se obtiene por tanto un conjunto de combustible según la invención.

La invención no se limita a los ejemplos proporcionados anteriormente, sino que pueden introducirse modificaciones comprendidas dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de producción de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua a presión, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:
- 5 formar un tubo que consiste, al menos principalmente, en un componente de tubo cilíndrico (1) de una aleación a base de Zr, siendo Nb el elemento de aleación, salvo por el Zr, que presenta el mayor contenido en la aleación, siendo el contenido de Nb en porcentaje en peso entre 0,5 y 2,4 y en el que ningún elemento de aleación, salvo por el Zr y el Nb, en dicha aleación, presenta un contenido que supera el 0,3 por ciento en peso, caracterizado porque,
- 10 una vez formado el tubo de vaina según lo anterior, y tras posibles etapas de laminación con tratamientos térmicos entre las mismas, el tubo de vaina se recuece finalmente a una temperatura y durante un tiempo de tal manera que dicho componente de tubo (1) se recristaliza parcialmente pero no se recristaliza completamente, en el que dicho recocido final se lleva a cabo de tal manera que el grado de recristalización en dicho componente de tubo (1) es superior al 40% e inferior al 95%.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el recocido final se lleva a cabo a una temperatura que es inferior a 550 °C.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recocido final se lleva a cabo a una temperatura que es de entre 400 °C y 540 °C.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recocido final se lleva a cabo durante de 1 h a 6 h.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que antes de dicho recocido final, el procedimiento comprende las etapas siguientes:
- se forma una barra de dicha aleación a base de Zr;
- 30 esta barra se calienta a entre 900 °C y 1.300 °C y se temple a continuación, preferentemente en agua;
- se extrude un lingote a partir de la barra tras calentamiento a entre 500 °C y 900 °C;
- se lamina en frío el lingote para formar un tubo en por lo menos dos etapas, con tratamientos térmicos entre las mismas a entre 550 °C y 650 °C.
- 35 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el contenido de Nb en dicha aleación es de entre 0,8 por ciento en peso y 1,2 por ciento en peso.
- 40 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha aleación contiene entre 800 ppm y 1.700 ppm de O.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha aleación contiene entre 50 ppm y 600 ppm de Fe.
- 45 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha aleación, además de Zr, contiene de 0,8 por ciento en peso a 1,2 por ciento en peso de Nb, de 50 ppm a 600 ppm de Fe, de 800 ppm a 1.700 ppm de O, menos de 250 ppm de C, menos de 150 ppm de Si, menos de 1.000 ppm de S y además de eso únicamente impurezas de un contenido que no supera el que es normalmente aceptado en Zr o aleaciones de Zr para las aplicaciones en los reactores nucleares.
- 50 10. Utilización de un tubo de vaina producido según el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión.
- 55 11. Tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua a presión, estando dicho tubo de vaina constituido por lo menos principalmente por un componente de tubo cilíndrico (1) de una aleación a base de Zr, en la que el elemento de aleación que, salvo el Zr, presenta el contenido más elevado en la aleación es el Nb, en el que el contenido de Nb en porcentaje en peso es de entre 0,5 y 2,4 y en el que ningún elemento de aleación, salvo el Zr y el Nb, en dicha aleación, presenta un contenido que supera 0,3 por ciento en peso, en el que dicho componente de tubo (1) se ha recocido finalmente de tal manera que presenta una estructura de tal manera que está parcialmente recristalizado pero no completamente recristalizado y en el que el grado de recristalización en dicho componente de tubo (1) es superior a 40% e inferior a 95%.
- 60 12. Tubo de vaina según la reivindicación 11, en el que el contenido de Nb en dicha aleación es de entre 0,8 por ciento en peso y 1,2 por ciento en peso.
- 65

ES 2 377 645 T3

13. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 11 y 12, en el que dicha aleación contiene entre 800 ppm y 1.700 ppm de O.
- 5 14. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que dicha aleación contiene entre 50 ppm y 600 ppm de Fe.
- 10 15. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que dicha aleación, además de Zr, contiene de 0,8 por ciento en peso a 1,2 por ciento en peso de Nb, de 50 ppm a 600 ppm de Fe, de 800 ppm a 1.700 ppm de O, menos de 250 ppm de C, menos de 150 ppm de Si, menos de 1.000 ppm de S y, además de eso, únicamente impurezas de un contenido que no supera el que es aceptado normalmente en Zr o aleaciones de Zr para las aplicaciones en los reactores nucleares.
16. Conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua a presión, que comprende:
- 15 una pluralidad de tubos de vaina (1) según cualquiera de las reivindicaciones 11-15 llenos de combustible nuclear adecuado para tales tubos de vaina (1) para un reactor nuclear de agua a presión.
17. Conjunto de combustible según la reivindicación 16, que comprende:
- 20 una placa superior (4),
una placa inferior (5),
una pluralidad de tubos de guiado (3) para varillas de control,
25 extendiéndose dichos tubos de guiado entre la placa superior (4) y la placa inferior (5), y
una pluralidad de separadores (2) dispuestos para mantener dichos tubos de vaina (1) en posición en el conjunto de combustible y a distancias adecuadas entre sí.

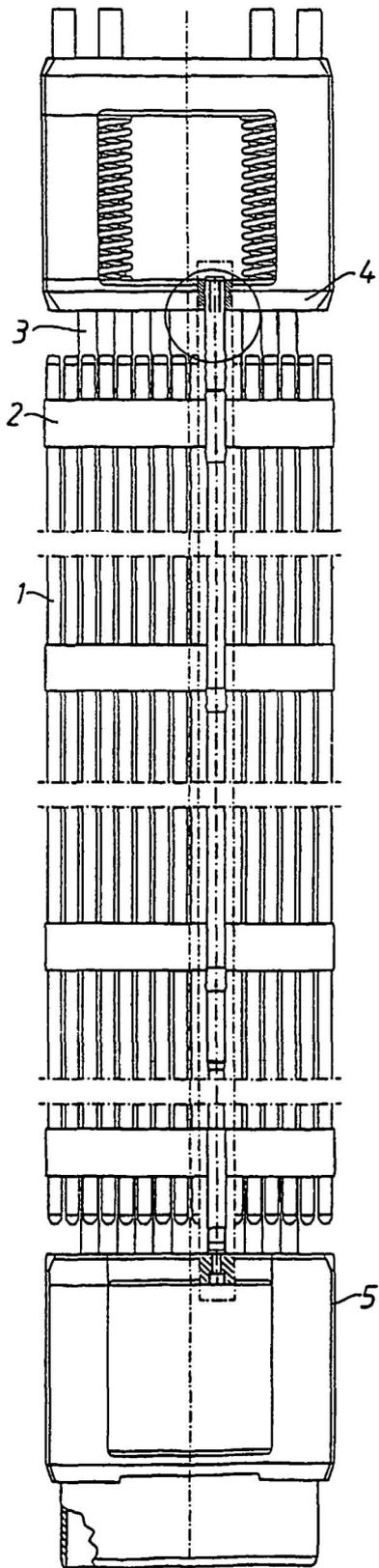


FIG. 1

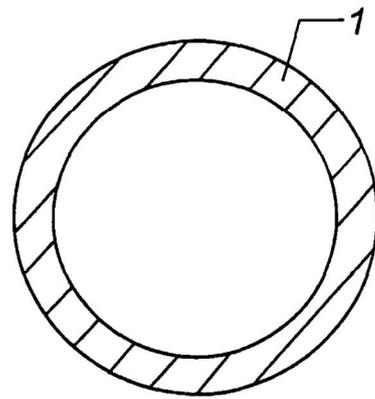


Fig. 2