

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 194**

51 Int. Cl.:

C22F 1/18 (2006.01)

G21C 3/07 (2006.01)

G21C 3/20 (2006.01)

G21C 21/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2003 E 03738813 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2015 EP 1511874**

54 Título: **Método, uso y dispositivo referentes a tubos de vaina para combustible nuclear y conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición**

30 Prioridad:

07.06.2002 SE 0201744

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

17.08.2015

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB
(100.0%)
721 63 Västerås, SE**

72 Inventor/es:

**DAHLBÄCK, MATS y
LIMBÄCK, MAGNUS**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 543 194 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

Método, uso y dispositivo referentes a tubos de vaina para combustible nuclear y conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición

Antecedentes de la invención y técnica anterior

5 La presente invención se refiere a un método de producción de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua en ebullición, método que comprende las etapas siguientes:

10 formar un tubo que comprende un componente cilíndrico exterior que contiene principalmente circonio y un componente cilíndrico interior unido metalúrgicamente al componente exterior, en el que también el componente interior contiene al menos principalmente circonio, en el que las composiciones de material del componente interior y el componente exterior se seleccionan de modo que difieren entre sí y de modo que el componente interior tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior.

La invención también se refiere a un tubo de vaina, al uso de un tubo de vaina así como a un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición que comprende un tubo de vaina de este tipo.

15 Un método del tipo que se describe en el primer párrafo anterior se conoce del documento de patente EP 0 674 800 B1. En este documento también se describen los antecedentes de la invención descritos en el mismo. Cuando se usa un tubo de vaina en un reactor nuclear contiene combustible nuclear, habitualmente en forma de pastillas que contienen UO₂ enriquecido. 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 de vaina, deben cumplirse diferentes requisitos.

20 Hay principalmente dos tipos de reactores de agua ligera actuales: los reactores de agua en ebullición (BWR) y los reactores de agua a presión (PWR). En estos tipos de reactores existen diferentes condiciones, que exigen diferentes requisitos en las piezas que se incluyen en los reactores. En un PWR, las varillas de combustible se enfrían principalmente por agua que está en fase líquida a alta presión. En un BWR, la presión es inferior y el agua que enfría las varillas de combustible se evapora de modo que las varillas de combustible están rodeadas por agua tanto en fase líquida como en fase de vapor. Además, los conjuntos de combustible tienen una construcción diferente en un BWR y en un PWR. En un tipo determinado de BWR, las varillas de combustible en un conjunto de combustible se extienden en su totalidad entre una placa superior y una placa inferior que mantienen el conjunto de combustible junto. En un PWR, por otro lado, las varillas de combustible se mantienen habitualmente en su sitio con la ayuda de espaciadores y no alcanzan toda la distancia hasta la placa superior y hasta la placa inferior.

30 Cuando se usa una varilla de combustible en un reactor nuclear, se expone a radiación de neutrones. Esto conduce al hecho de que el tubo de vaina tiende a crecer con el tiempo. En determinados tipos de BWR, el tubo de vaina sólo tiene una posibilidad limitada de expandirse en la dirección longitudinal. Por tanto, el tubo de vaina puede curvarse durante el funcionamiento. Esto puede conducir a daños. Por tanto, debe evitarse que el tubo de vaina crezca en mayor medida. Los tubos de vaina actuales que se producen en aleaciones de circonio adecuadas y que se someten a tratamientos térmicos especiales durante la producción tienen a menudo una tendencia relativamente baja a crecer cuando se exponen a radiación de neutrones. La tendencia a crecer puede reducirse, entre otras cosas, porque el tubo de vaina durante la producción se somete a un recocido de recristalización final.

35 A través de una elección adecuada del material para el tubo de vaina y de un método de producción adecuado, el tubo de vaina puede obtener propiedades adecuadas con respecto a por ejemplo la dureza y la ductilidad. Puesto que las condiciones son diferentes en un BWR y en un PWR, los tubos de vaina se producen con propiedades diferentes dependiendo de para qué tipo de reactor se obtienen.

40 En el entorno en que se usan los tubos de vaina se someten a diferentes ataques corrosivos. Estos ataques pueden proceder del exterior o del interior. Los ataques procedentes del interior a menudo tienen su base en una influencia del material de combustible nuclear que se ubica 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 extenderse a lo largo del interior del tubo. Esto puede conducir a nuevos ataques corrosivos procedentes del interior del tubo, los denominados daños secundarios. Un tubo de vaina de circonio también puede reaccionar con hidrógeno de modo 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 modo que ha penetrado agua en el tubo. Estos hidruros hacen que el tubo sea más frágil y aumenta la probabilidad de la formación de grietas. En particular, los hidruros que se extienden en una dirección radial a través del tubo constituyen un riesgo aumentado de formación de grietas. Tales hidruros radiales pueden acelerar por tanto los posibles daños secundarios y las formaciones de grietas.

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

50 Puesto que se producen diferentes condiciones en el interior y en el exterior del tubo de vaina, los tubos de vaina se

5 producen a veces con diferentes composiciones en diferentes capas. El documento EP 0 674 800 B1 mencionado anteriormente describe por tanto la producción de un tubo de vaina que tiene un componente exterior que está compuesto por ejemplo de cualquiera de las aleaciones que se producen frecuentemente Zircaloy 2 y Zircaloy 4. El tubo de vaina tiene un componente interior – un denominado revestimiento – que según una realización consiste principalmente en Zr, siendo los elementos de aleación el 0,25% de Sn, 310 ppm de Fe y 430 ppm de O. El tubo de vaina se produce según un método particular con tratamientos térmicos seleccionados cuidadosamente. El tubo de vaina se somete a recocido final a 570°C durante 1,5 h, lo que significa un recocido de recristalización completa (cRXA). Se ha mostrado que el tubo de vaina producido tiene una buena resistencia frente a la corrosión aunque el agua penetre en el interior del tubo de vaina.

10 Otro ejemplo de un tubo de vaina queda claro a partir del documento US-A-4.933.136. Este documento describe un tubo de vaina que consiste en un componente exterior de Zircaloy 2 o Zircaloy 4 y un componente interior que según una realización consiste principalmente en Zr con el 0,19-0,20 por ciento en peso de Sn, el 0,19 por ciento en peso Fe y 615-721 ppm de O. El documento describe la producción del tubo con diferentes etapas de laminado y tratamientos térmicos. Como recocido final se describen tres alternativas en el documento. Según la primera alternativa, se produce una recristalización completa (cRXA) tanto en el componente exterior como en el interior. Según una segunda alternativa, se produce una cRXA en el componente interior pero sólo un recocido de atenuación de tensiones (SRA), es decir sin recristalización perceptible, en el componente exterior. Según una tercera alternativa, se produce una recristalización parcial (pRXA) en el componente interior y un SRA en el componente exterior.

20 Para los tubos de vaina que están contruidos con dos capas y que se pretende que se usen en un BWR, habitualmente se lleva a cabo un recocido final que conduce a una cRXA en ambas capas. De ese modo, puede lograrse una buena resistencia frente a daños producidos por PCI al mismo tiempo que el tubo de vaina tiene una buena ductilidad y también obtiene una estructura que contrarresta el crecimiento producido por la radiación de neutrones.

25 **Sumario de la invención**

Un objeto de la presente invención es conseguir un método de producción de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua en ebullición, tubo de vaina que tiene una buena resistencia frente a daños producidos por PCI al mismo tiempo que el riesgo de formación de hidruros radiales es bajo. Un objeto adicional es lograr estas ventajas al mismo tiempo que la tendencia al crecimiento producido por la radiación de neutrones se mantiene en un nivel bajo. Los objetos y las ventajas adicionales de la invención quedarán claros a partir de lo siguiente.

Estos objetos se logran con un método del tipo que se ha descrito en el primer párrafo anterior y que además se caracteriza porque tras haberse formado el tubo de vaina según lo anterior, y tras posibles etapas de laminado produciéndose tratamientos térmicos entre ellas, el tubo de vaina se somete a recocido final a una temperatura y durante un tiempo tales que el componente interior recristaliza de manera sustancialmente completa y tales que el componente exterior recristaliza parcialmente pero en menor medida que el componente interior.

35 Puesto que el componente interior recristaliza de manera sustancialmente completa (cRXA), el tubo tiene una resistencia muy buena frente a daños por PCI. Puesto que el componente exterior recristaliza parcialmente (pRXA), este componente es relativamente dúctil al mismo tiempo que no crece en una medida demasiado alta cuando se expone a radiación de neutrones. Mediante una elección adecuada del material, ha quedado claro que el crecimiento del tubo de vaina es tan bajo que es muy adecuado para usarse también en el tipo de BWR en los que el tubo de vaina sólo tiene un espacio de crecimiento limitado. Puesto que el componente exterior es sólo pRXA, ha quedado claro que los posibles hidruros que se forman tienen a extenderse en una dirección esencialmente tangencial mientras que el riesgo de hidruros radiales es bajo. De ese modo se obtiene una resistencia mejorada frente a la formación de grietas. El motivo por el que se evitan los hidruros radiales es probablemente que se mantienen determinadas tensiones que se originan a partir de la producción del tubo puesto que la capa exterior no es cRXA. Estas tensiones tienen como consecuencia que se reduce la tendencia a la formación de hidruros radiales.

40 Mediante “recristalizado de manera sustancialmente completa” quiere decirse en este caso que la recristalización es del 100% (completamente recristalizado) o de casi el 100% (al menos recristalizado en el 97% o el 98%). Un análisis del tubo de vaina puede mostrar por tanto que la recristalización en el componente interior no es totalmente completa. Se prefiere que el componente interior recristalice completamente.

45 Debe observarse que el recocido final normalmente es la última etapa de tratamiento térmico en el método de producción. Posiblemente puede llevarse a cabo un determinado tratamiento posterior del tubo de vaina, pero tal tratamiento posterior debe ser tal que la estructura que se obtiene a través del recocido final no se destruye sustancialmente.

También debe observarse que según una realización preferida, el tubo de vaina consiste sólo en el componente exterior y el componente interior (el revestimiento). Por tanto no hay capas adicionales. La composición en la superficie exterior y en la superficie interior del tubo puede diferir sin embargo de la composición en el interior de las

capas, por ejemplo debido a las sustancias con las que el tubo ha entrado en contacto. El tubo puede oxidarse por ejemplo a través del hecho de que se ha mantenido en un entorno de aire. Según una realización alternativa, es factible sin embargo que el tubo comprenda una o más capas adicionales además del componente exterior y del componente interior.

- 5 Finalmente se señala que cuando en este documento se usa % o ppm en relación con el contenido de diferentes sustancias, si no se menciona nada más, se refiere al porcentaje en peso de las sustancias respectivas.

Según la manera de llevar a cabo el método según la invención, el recocido final se lleva a cabo de modo que el grado de recristalización en el componente exterior sea superior al 50%. De manera adecuada, el grado de recristalización en el componente interior es sustancial o completamente del 100% y el grado de recristalización en el componente exterior es adecuado entre el 50% y el 96%, particularmente es adecuado del 60% al 90%, por ejemplo entre el 70% y el 90%. Ha quedado claro que tales grados de recristalización son particularmente adecuados para lograr las ventajas descritas cuando se usa el tubo de vaina en un BWR. Es posible un grado de recristalización menor del 50%, pero esto tiende a conducir al hecho de que el crecimiento del tubo de vaina cuando se expone a radiación de neutrones es mayor.

15 Según otra realización preferida, el componente interior no contiene más de 2000 ppm de Fe y preferiblemente no más de 1500 ppm de Fe y lo más preferido menos de 1000 ppm de Fe. Según otra realización preferida, el componente interior no contiene más de 1000 ppm de O. Manteniendo bajo el contenido de Fe y O, se obtiene buena resistencia frente a PCI. Debe observarse que el componente interior puede producirse en Zr puro (excepto por posibles impurezas) y por tanto no es necesario que sea una aleación.

20 Según una realización preferida, el componente exterior tiene una composición que es completa o sustancialmente según Zircaloy 2 o Zircaloy 4. Estos materiales son comunes en relación con tubos de vaina y se ha mostrado que tienen muchas buenas propiedades. Sin embargo, debe observarse que no es necesario que el componente exterior sea Zircaloy 2 o Zircaloy 4. También pueden usarse otras aleaciones. Por ejemplo, diferentes aleaciones a base de Zr que contienen Nb.

25 Según la realización preferida, el componente interior contiene entre el 0,1 y el 0,7 por ciento en peso de Sn, preferiblemente entre el 0,1 y el 0,4 por ciento en peso de Sn, de 400 a 1500 ppm de Fe, menos de 600 ppm de O (por ejemplo de 300 ppm a 500 ppm de O) y el resto es Zr, excepto por las impurezas de un contenido que no supera el que se acepta normalmente en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones en reactores nucleares. Se ha mostrado que una aleación de este tipo tiene muy buenas propiedades al mismo tiempo que tiene una temperatura de recristalización adecuada con el fin de obtener sustancialmente cRXA en el componente interior al mismo tiempo que se obtiene pRXA en el componente exterior. Ejemplos de lo que se consideran impurezas aceptables en este contexto se describen por ejemplo en el documento mencionado anteriormente EP 0 674 800 B1, columna 5.

30 De manera adecuada, el componente interior tiene un grosor tal que constituye entre el 3% y el 30%, preferiblemente entre el 5% y el 20%, y lo más preferido el 10% del grosor total del tubo de vaina.

35 Según una realización adecuada, el recocido final se lleva a cabo a una temperatura de entre 485°C y 550°C durante de 1 h a 6 h, preferiblemente durante de 2 h a 4 h.

Tal como se ha mencionado inicialmente, la invención también se refiere a un uso. De ese modo, un tubo de vaina producido según el método según cualquiera de las realizaciones anteriores se usa en un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. De ese modo, se logran las ventajas descritas anteriormente con un tubo de vaina de ese tipo.

40 La invención también se refiere a un tubo de vaina como tal, adecuado para obtener combustible nuclear y que va a usarse en un reactor nuclear de agua en ebullición. Este tubo de vaina comprende:

un componente cilíndrico exterior que contiene principalmente circonio,

45 un componente cilíndrico interior que contiene al menos principalmente circonio y que está unido metalúrgicamente al componente exterior, en el que las composiciones de material del componente interior y el componente exterior difieren entre sí y son tales que el componente interior tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior. El componente interior tiene una estructura recristalizada de manera sustancialmente completa y el componente exterior tiene una estructura tal que está recristalizada parcialmente pero no en la misma medida que el componente interior.

50 Un tubo de vaina de este tipo puede producirse según el método descrito anterior. Con este tubo de vaina, se logran las ventajas descritas anteriormente. Las realizaciones ventajosas de este tubo de vaina quedan claras a partir de las reivindicaciones dependientes más adelante. Con estas realizaciones, se logran las ventajas descritas anteriormente.

55 Finalmente, la invención también se refiere a un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. Este conjunto de combustible comprende:

un tubo de cerramiento, y

una pluralidad de tubos de vaina según la invención rellenos con combustible nuclear adecuado para tales tubos de vaina para un reactor de agua en ebullición, en el que dicha pluralidad de tubos de vaina están dispuestos dentro de dicho tubo de cerramiento.

5 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra esquemáticamente un conjunto de combustible.

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

Descripción de realizaciones de la invención

10 La figura 1 muestra esquemáticamente un conjunto de combustible, conocido *per se*, para un BWR. El conjunto de combustible comprende un tubo de cerramiento 2 (que aquí sólo se muestra a la derecha en la figura). Dentro del tubo de cerramiento 2, están dispuestas varias varillas de combustible 3. Las varillas de combustible 3 se extienden desde una placa superior 5 hasta una placa inferior 6. Las varillas de combustible 3 consisten en tubos de vaina que contienen pastillas con material de combustible nuclear. En la figura, se muestran simbólicamente varias pastillas 4. En la parte superior, las varillas de combustible 3 están dotadas de tapones de extremo 8. Las varillas de combustible 3 hacen tope contra el lado inferior de la placa superior con la ayuda de resortes helicoidales 9. Una pluralidad de espaciadores 7 están dispuestos con el fin de mantener las varillas de combustible 3 a una distancia unas de las otras.

20 Cuando un conjunto de combustible por ejemplo del tipo descrito está dotado de una pluralidad de tubos de vaina según la presente invención, constituye por tanto un conjunto de combustible según la invención. Debe observarse que hay diferentes tipos de conjuntos de combustible para BWR. Por ejemplo, hay conjuntos de combustible para BWR sin una placa superior. Además, los conjuntos de combustible para BWR a menudo también comprenden las denominadas varillas de longitud parcial. La presente invención es aplicable naturalmente a diferentes tipos de conjuntos de combustible para BWR.

25 La figura 2 muestra esquemáticamente una sección transversal a través de un tubo de vaina según la invención. La sección transversal muestra el tubo de vaina muy ampliado. En realidad, el tubo de vaina tiene una dimensión y una longitud que son adecuadas para su uso en un BWR. El tubo de vaina comprende un componente cilíndrico exterior 10 y un componente cilíndrico interior 20. El componente interior 20 puede denominarse revestimiento.

30 Tanto el componente exterior 10 como el interior 20 contienen principalmente Zr. El componente interior 20 está unido metalúrgicamente al componente exterior 10. Las composiciones de material de los componentes interior 20 y exterior 10 difieren entre sí y son tales que el componente interior 20 tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior 10. El componente interior 20 tiene una estructura completamente recristalizada o al menos una estructura recristalizada de manera sustancialmente completa. El componente exterior 10 tiene una estructura tal que está recristalizada parcialmente pero no en la misma medida que el componente interior 20. El grado de recristalización en el componente exterior 10 es de manera adecuada de entre el 50% y el 96%, preferiblemente entre el 70% y el 90%.

35 El componente exterior 10 puede consistir en Zircaloy 2 o Zircaloy 4 u otra aleación adecuada a base de Zr. El componente interior 20 puede consistir en Zr puro o en una aleación de Zr, que de ese modo es de manera adecuada una baja aleación de modo que tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior 10. El componente interior 20 puede consistir en del 0,1 al 0,4 por ciento en peso de Sn, de 400 a 1500 ppm de Fe, menos de 600 ppm de O y el resto es Zr, excepto por las impurezas de un contenido que no supera el que se acepta normalmente en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones en reactores nucleares. El grosor del componente interior 20 puede ser por ejemplo el 10% del grosor total del tubo de vaina.

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

45 Se forma un tubo que comprende un componente cilíndrico exterior 10, que puede consistir por ejemplo en Zircaloy 2, y un componente cilíndrico interior 20 que está unido metalúrgicamente al componente exterior 10. El componente interior 20 también es a base de Zr y tiene una composición de material tal que tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior 10. El componente interior 20 puede contener por ejemplo el 0,25 por ciento en peso de Sn, aproximadamente 500 ppm de Fe, menos de 600 ppm de O y el resto es Zr excepto por las impurezas de un contenido que no supera el que se acepta normalmente en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones en reactores nucleares. Este tubo puede formarse de diferentes maneras, por ejemplo tal como se ha descrito en el documento EP 0 674 800 B1. Cuando los dos componentes 10, 20 se han unido entre sí, de manera adecuada se llevan a cabo varias etapas de laminado con tratamientos térmicos entremedias.

55 Tras haberse formado el tubo de vaina según lo anterior y tras posibles etapas de laminado produciéndose tratamientos térmicos entre ellas, el tubo de vaina se somete a recocido final a una temperatura y durante un tiempo

5 tales que el componente interior 20 recristaliza de manera sustancialmente completa y tales que el componente exterior 10 recristaliza parcialmente pero en menor medida que el componente interior 20. El recocido final se lleva a cabo de manera adecuada de modo que el grado de recristalización en el componente exterior 10 es superior al 50% pero menor del 96%. Un tiempo y una temperatura adecuados para el recocido final dependen de la composición de las aleaciones. La temperatura y el tiempo deben seleccionarse por tanto de modo que se logren los grados de recristalización deseados en los componentes.

10 Por ejemplo en Zircaloy 2, el contenido en Sn puede variar entre el 1,2 y el 1,7 por ciento en peso. Si el componente exterior contiene por ejemplo el 1,3 por ciento en peso de Sn, entonces se ha mostrado que un recocido final a una temperatura de entre 485°C y 515°C durante 3 h conduce a un buen resultado. Si el contenido en Sn en el componente exterior es del 1,5 por ciento en peso, el recocido final se lleva a cabo de manera adecuada a entre 505°C y 520°C durante 3 h.

El componente interior 20 puede tener por ejemplo un grosor tal que constituye aproximadamente el 10% del grosor total del tubo de vaina.

15 Un tubo de vaina producido según el método puede usarse de manera adecuada en un conjunto de combustible en un BWR nuclear.

El tubo de vaina y el método descritos anteriormente sólo proporcionan ejemplos de materiales adecuados. Tal como se ha señalado anteriormente, pueden considerarse otros materiales, por ejemplo una aleación de Zr-Nb para el componente exterior y posiblemente Zr puro para el componente interior.

20 La invención no se limita a los ejemplos descritos anteriormente, sino que puede variarse dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Método de producción de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua en ebullición, método que comprende las etapas siguientes:
 5 formar un tubo que comprende un componente cilíndrico exterior (10) de una aleación a base de circonio y un componente cilíndrico interior (20) unido metalúrgicamente al componente exterior (10), en el que el componente interior (20) es de circonio o una aleación a base de circonio, en el que las composiciones de material del componente interior (20) y el componente exterior (10) se seleccionan de modo que difieren entre sí y de modo que el componente interior (20) tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior (10), caracterizado por que
 10 tras haberse formado el tubo de vaina según lo anterior y tras posibles etapas de laminado produciéndose tratamientos térmicos entre ellas, el tubo de vaina se somete a recocido final a una temperatura y durante un tiempo tales que el componente interior (20) recristaliza en al menos el 97% y tales que el componente exterior (10) recristaliza parcialmente pero en menor medida que el componente interior (20), en el que dicho recocido final se lleva a cabo de modo que el grado de recristalización en el componente exterior (10) es superior al 50%.
 15
2. Método según la reivindicación 1, en el que dicho recocido final se lleva a cabo de modo que el grado de recristalización en el componente interior (20) es de al menos el 98%, preferiblemente del 100% y el grado de recristalización en el componente exterior (10) es de entre el 50% y el 96%.
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente interior (20) no
 20 contiene más de 1500 ppm de Fe.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente interior (20) no contiene más de 1000 ppm de O.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente exterior (10) tiene una composición según Zircaloy 2 o Zircaloy 4.
- 25 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente interior (20) contiene entre el 0,1 y el 0,7 por ciento en peso de Sn.
7. Método según la reivindicación 6, en el que el componente interior (20) contiene del 0,1 al 0,4 por ciento en peso de Sn, de 400 a 1500 ppm de Fe, menos de 600 ppm de O y el resto es Zr, excepto por las impurezas de un contenido que no supera el que se acepta normalmente en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones
 30 en reactores nucleares.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente interior (20) tiene un grosor tal que constituye entre el 3% y el 30% del grosor total del tubo de vaina.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recocido final se lleva a cabo a una temperatura de entre 485°C y 550°C.
- 35 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recocido final se lleva a cabo durante de 1 h a 6 h.
11. Método de producción y de uso de un tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua en ebullición, método que comprende:
 producir un tubo de vaina según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y
 40 usar el tubo de vaina producido en un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.
12. Tubo de vaina para combustible nuclear para un reactor nuclear de agua en ebullición, tubo de vaina que comprende:
 un componente cilíndrico exterior (10) de una aleación a base de circonio,
 45 un componente cilíndrico interior (20) de circonio o una aleación a base de circonio y que está unido metalúrgicamente al componente exterior (10), en el que las composiciones de material del componente interior (20) y el componente exterior (10) difieren entre sí y son tales que el componente interior (20) tiene una temperatura de recristalización más baja que el componente exterior (10), caracterizado por que
 50 el componente interior (20) tiene una estructura recristalizada en al menos el 97% y el componente exterior (10) tiene una estructura tal que está recristalizada parcialmente pero no en la misma medida que el

componente interior (20), en el que el grado de recristalización en el componente exterior (10) es superior al 50%.

- 5 13. Tubo de vaina según la reivindicación 12, en el que el grado de recristalización en el componente interior (20) es de al menos el 98%, preferiblemente del 100% y el grado de recristalización en el componente exterior (10) es de entre el 50% y el 96%.
14. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en el que el componente interior (20) no contiene más de 1500 ppm de Fe.
15. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que el componente interior (20) no contiene más de 1000 ppm de O.
- 10 16. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en el que el componente exterior (20) tiene una composición según Zircaloy 2 o Zircaloy 4.
17. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-16, en el que el componente interior (20) contiene entre el 0,1 y el 0,7 por ciento en peso de Sn.
- 15 18. Tubo de vaina según la reivindicación 17, en el que el componente interior (20) contiene del 0,1 al 0,4 por ciento en peso de Sn, de 400 a 1500 ppm de Fe, menos de 600 ppm de O y el resto es Zr, excepto por las impurezas de un contenido que no supera el que se acepta normalmente en Zr o aleaciones de Zr para aplicaciones en reactores nucleares.
19. Tubo de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-18, en el que el componente interior (20) tiene un grosor tal que constituye entre el 3% y el 30% del grosor total del tubo de vaina.
- 20 20. Conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, que comprende:
 un tubo de cerramiento (2), y
 una pluralidad de tubos de vaina según cualquiera de las reivindicaciones 12-19 rellenos con combustible nuclear adecuado para tales tubos de vaina para un reactor de agua en ebullición, en el que dicha pluralidad de tubos de vaina están dispuestos dentro de dicho tubo de cerramiento (2).

25

Fig. 1

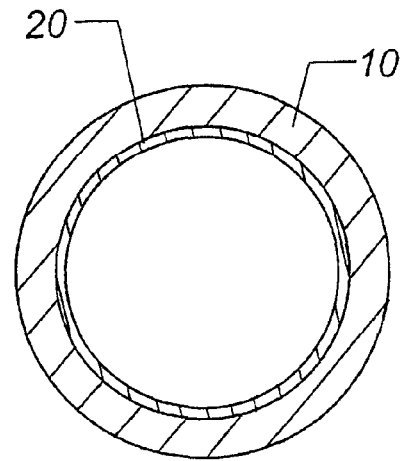
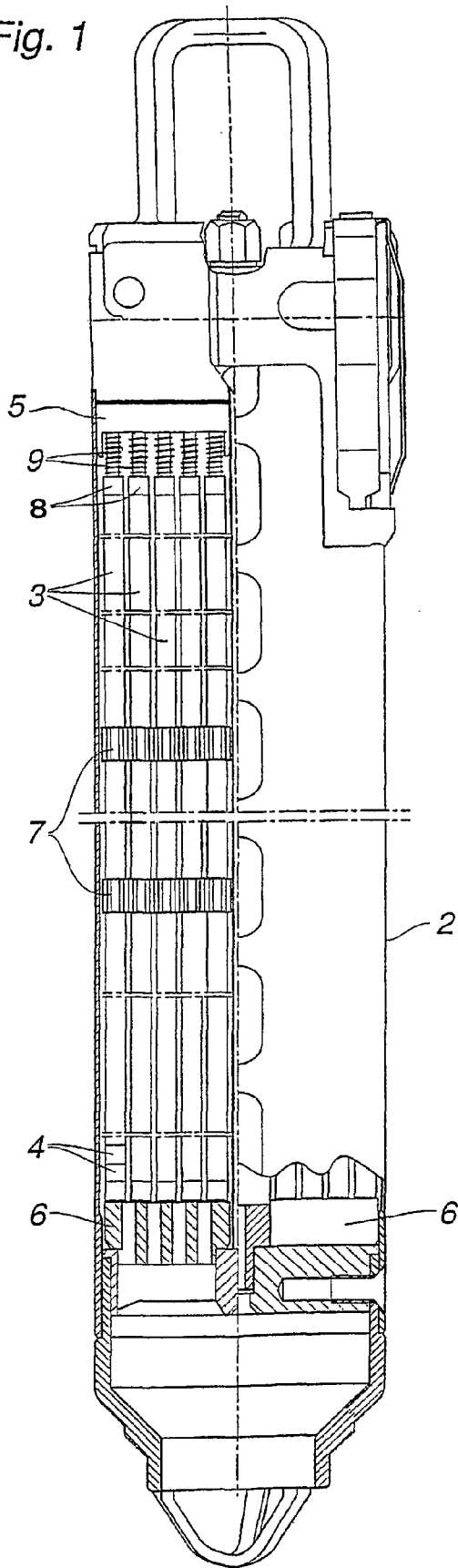


Fig. 2