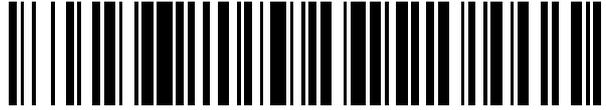


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 420**

51 Int. Cl.:

C22F 1/18 (2006.01)

G21C 3/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2004 E 04700544 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 1581665**

54 Título: **Método, uso y dispositivo en relación con reactores nucleares de agua ligera**

30 Prioridad:

08.01.2003 SE 0300015

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

27.09.2016

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB
(100.0%)**

721 63 Västerås, SE

72 Inventor/es:

DAHLBÄCK, MATS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 584 420 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 en relación con reactores nucleares de agua ligera

Antecedentes de la invención y técnica anterior

5 La presente invención se refiere a un método de producción y tratamiento de una lámina adecuada para usarse como un componente o como una parte de un componente en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera, comprendiendo el método las siguientes etapas:

a) producir una lámina de una aleación basada en Zr mediante forja, laminación en caliente y laminación en frío en un número de etapas adecuado, en el que dicha aleación contiene al menos un 96 por ciento en peso de Zr y es de un tipo tal que la lámina es adecuada para usarse para dicho componente,

10 b) llevar a cabo un enfriamiento $\alpha+\beta$ o un enfriamiento β de la lámina cuando la lámina se ha producido hasta un grosor que es igual al grosor final, o al menos casi igual al grosor final, de la lámina acabada,

c) tratamiento térmico de la lámina en el rango de temperaturas de la fase α de dicha aleación,

en el que la etapa c) se lleva a cabo después de que las etapas a) y b) se hayan llevado a cabo.

La invención también se refiere a un uso y dispositivos que se describirán a continuación.

15 El método descrito anteriormente puede usarse, por ejemplo, para producir cajas de canales para elementos combustibles para un reactor de agua en ebullición (BWR). Tal método se conoce, por ejemplo, a través del documento WO-A1-97/40659.

A continuación se describirá, en primer lugar, un ejemplo de un elemento combustible conocido para un BWR con referencia a las figuras 1-3.

20 La figura 1 muestra, por tanto, de manera esquemática un elemento combustible para un BWR. El elemento combustible comprende una caja de canales 2 (que en este caso únicamente se muestra a la derecha en la figura). En el interior de la caja de canales 2 están dispuestas varias barras de combustible 3. Las barras de combustible 3 se extienden desde una placa superior 5 hasta una placa inferior 6. Las barras de combustible 3 consisten en tubos de envainado que contienen gránulos con material combustible nuclear. En la figura se muestran varios gránulos 4 de manera simbólica. En la parte superior, las barras de combustible 3 están dotadas de tapones de extremo 8. Las barras de combustible hacen tope contra el lado inferior de la placa superior 5 con la ayuda de resortes helicoidales 9. Una pluralidad de separadores 7 están dispuestos para retener las barras de combustible 3 a una distancia entre sí. El elemento combustible es largo y por tanto tiene una dirección longitudinal que en este caso está indicada con un eje central 10. El elemento combustible puede a menudo comprender un canal de agua que habitualmente se extiende sustancialmente a lo largo de toda la longitud del elemento combustible y que activa un flujo de agua que no está en ebullición hacia arriba a través del elemento combustible.

La figura 2 muestra de manera esquemática una sección transversal de un elemento combustible para un BWR. Esta sección transversal muestra que el elemento combustible comprende un canal de agua central 12 con una sección transversal cuadrada y cuatro canales de agua 14 más pequeños.

35 La figura 3 muestra de manera esquemática una sección transversal de otra construcción de un elemento combustible para un BWR. Esta sección transversal muestra que el elemento combustible en este caso únicamente comprende un canal de agua 16 que tiene una sección transversal cuadrada.

Tanto la caja de canales 2 como los canales de agua 12, 14 y 16 mencionados anteriormente se producen a menudo a partir de materiales de lámina que se forman y se sueldan entre sí de una manera adecuada tal como conoce bien una persona con conocimientos dentro del campo. En referencia a la caja de canales 2, se puede producir mediante la producción de dos láminas. Cada lámina se dobla de manera que se consigue un perfil con forma de U. Estos perfiles con forma de U pueden entonces soldarse entre sí de manera que se obtiene una caja de canales 2 con una sección transversal cuadrada. La figura 4 indica de manera esquemática una sección transversal de dos perfiles con forma de U de este tipo antes de que se hayan unido y soldado entre sí. La figura 5 muestra la caja de canales 2 cuando los dos perfiles con forma de U se han soldado entre sí. Las juntas de soldadura están indicadas en este caso mediante 18.

Las cajas de canales y canales de agua para elementos combustibles se producen habitualmente en diferentes aleaciones basadas en Zr que conoce bien una persona con conocimientos dentro del campo. Por ejemplo, pueden usarse las aleaciones bien conocidas Zircaloy-2 y Zircaloy-4.

50 En el ambiente muy particular que constituye un reactor nuclear, los componentes que forman parte del mismo tienen que cumplir muchos requisitos. Se han producido, por tanto, un número muy grande de sugerencias para la selección de material y los métodos de producción de componentes para elementos combustibles para reactores nucleares. Incluso pequeñas modificaciones en la composición de las aleaciones o los parámetros de producción

pueden tener una gran importancia para las propiedades de los componentes.

El documento WO-A1-97/40659 mencionado anteriormente describe un método de producción de material de lámina de una aleación basada en Zr para producir cajas de canales para elementos combustibles para un BWR. Según el método descrito, se produce una lámina de la aleación basada en Zr mediante forja, laminación en caliente y laminación en frío en varias etapas. Entre las etapas de laminación puede llevarse a cabo un tratamiento térmico. Cuando la lámina se ha producido hasta la dimensión final o casi la dimensión final pasa por un enfriamiento β . A través del enfriamiento β , se mejoran las propiedades de una lámina. De ese modo, se mejoran las propiedades ante la corrosión, entre otras cosas. Además, a través del enfriamiento β se consigue una textura más aleatoria de los granos de cristal, lo que va en contra de la tendencia de una lámina a deformarse en direcciones seleccionadas particulares. Con una textura aleatoria quiere decirse que los granos de cristal se dirigen de manera aleatoria en direcciones diferentes. Con una textura no aleatoria quiere decirse, por tanto, que los granos de cristal tienden a dirigirse, en gran medida, en una o algunas direcciones particulares. Una lámina con una textura no aleatoria tiende, por tanto, a deformarse en direcciones seleccionadas particulares.

En este contexto puede notarse que las aleaciones de Zr usadas existen en una fase α a temperaturas inferiores (por ejemplo a temperatura ambiente). En la fase α , la estructura cristalina del material es hcp. A temperaturas más altas (por ejemplo para Zircaloy-4 por encima de aproximadamente 980°C) la aleación existe en una fase β . En esta fase, la estructura cristalina es bcc. A una temperatura que por ejemplo para Zircaloy-4 está entre 810°C y 980°C la aleación existe en una mezcla de fase α y fase β , una fase denominada fase $\alpha+\beta$.

Según el documento WOA1- 97/40659 mencionado anteriormente, la lámina puede pasar por un tratamiento térmico en el rango de temperaturas de la fase α después de dicho enfriamiento β . De ese modo, se mejoran adicionalmente las propiedades ante la corrosión de la lámina.

Sumario de la invención

Incluso si el método descrito en el documento WO-A1-97/40659 mencionado anteriormente se muestra que funciona bien, hay margen para una mejora adicional del método de producción.

Una finalidad de la presente invención es por tanto proporcionar un método de producción y tratamiento de láminas que tienen propiedades adicionalmente mejoradas. Una finalidad es aumentar de ese modo la planeidad y la rectilineidad de la lámina producida, de manera que puedan evitarse tratamientos posteriores con el fin de conseguir una alta planeidad o rectilineidad de la lámina. Una finalidad adicional es proporcionar un método de este tipo que puede llevarse a cabo con medios relativamente sencillos.

Estas finalidades se consiguen con un método tal como se define en la reivindicación 1.

Durante el enfriamiento β , como se ha explicado anteriormente, tiene lugar una transformación de fase desde la estructura bcc hasta la estructura hcp. Esta transformación de fase también tiene lugar de manera parcial en un enfriamiento $\alpha+\beta$. Dado que las fases tienen diferente estructura y diferente volumen, un cambio de volumen tiene lugar durante esta transformación. Este cambio de volumen da lugar a que se introduzcan tensiones grandes en el material. Estas tensiones dan lugar a que la planeidad de la lámina producida puede no ser buena después de tal transformación de fase. Según la presente invención, la lámina se estira durante el tratamiento térmico en el rango de temperaturas de la fase α de la aleación que se lleva a cabo después del enfriamiento del material. Dado que la lámina se estira, se liberan las tensiones que se han creado durante la transformación de fase descrita anteriormente desde la estructura bcc hasta la estructura hcp. De ese modo, se obtiene una lámina plana y recta. Durante el tratamiento térmico según la etapa c) también se consiguen propiedades ante la corrosión mejoradas dado que este tratamiento térmico hace posible que crezcan las denominadas partículas de fase secundarias. Dado que la lámina se estira durante el tratamiento térmico, el crecimiento de las partículas de fase secundarias tiene lugar más rápido dado que el estiramiento aumenta la velocidad de difusión. Dado que el tratamiento térmico durante la deformación da lugar a una difusión considerablemente más rápida, es posible controlar el grado de crecimiento de las partículas de fase secundarias a través de la deformación aplicada. Esto es ventajoso, en particular, para un tratamiento térmico en un proceso de horno continuo. Para un proceso de horno continuo con hornos usados de manera convencional, puede, al contrario, ser difícil conseguir un tiempo de calentamiento suficientemente largo con el fin de obtener el crecimiento deseado de las partículas de fase secundarias. Dado que la lámina se estira durante el tratamiento térmico, se consigue, según la presente invención un crecimiento suficiente de las partículas de fase secundarias también en un proceso de horno continuo.

Preferiblemente, el tratamiento térmico según la etapa c) no debe llevarse a cabo durante una deformación demasiado grande, dado que esto puede dar lugar a que la estructura hcp se recrystalice en granos nuevos y más grandes, que pueden dar lugar a que la textura de grano aleatoria que se ha obtenido a través del enfriamiento se deteriore claramente por la recrystalización y crecimiento de grano que también da lugar a una ductilidad disminuida debido al crecimiento de grano.

Según una manera preferida de llevar a cabo el método, el tratamiento térmico durante el estiramiento es el último tratamiento térmico por el cual pasa la lámina antes de conformarse y ensamblarse al componente para que el que

se usa. Sin embargo, puede concebirse que un determinado tratamiento térmico también pueda llevarse a cabo después de la etapa c) mencionada anteriormente. Sin embargo, un tratamiento térmico de este tipo debe ser de un tipo tal que la estructura del material que se consigue durante el tratamiento térmico durante el estiramiento no se destruye.

- 5 Posiblemente, la lámina puede estirarse también entre las etapas b) y c), es decir también antes del tratamiento térmico y el estirado según la etapa c). Sin embargo, normalmente no es necesario tal estiramiento previo.

Según una manera preferida de llevar a cabo el método, la etapa b) es un enfriamiento β . Tal como se ha mencionado anteriormente, el enfriamiento puede ser o bien un enfriamiento $\alpha+\beta$ o un enfriamiento β . Sin embargo, las mejores propiedades de la lámina se obtienen mediante un enfriamiento β . Además, el cambio de volumen mencionado anteriormente que aparece durante el estiramiento es más prominente en un enfriamiento β . La invención es por tanto particularmente ventajosa cuando se lleva a cabo un enfriamiento β en la etapa b).

Según la invención, dicho estiramiento se lleva a cabo a una temperatura de como máximo la temperatura que constituye la temperatura más alta en el rango de temperaturas de la fase α de la aleación y al menos a la temperatura que es el 70% de dicha temperatura más alta con referencia a $^{\circ}\text{K}$, preferiblemente a una temperatura que está entre el 80% y el 98% de dicha temperatura más alta con referencia a $^{\circ}\text{K}$. Para un proceso de horno continuo, es decir un proceso en el que la lámina se mueve de manera continua en un horno, se lleva a cabo el estiramiento preferiblemente a una temperatura que está entre el 90% y el 96% de dicha temperatura más alta con referencia a $^{\circ}\text{K}$. Por motivos de claridad, puede notarse que por ejemplo Zircaloy-4 existe en una fase α hasta aproximadamente 810°C y en una fase β por encima de aproximadamente 980°C . Entre ellas, la aleación existe en una fase $\alpha+\beta$. Dicha temperatura más alta constituye por tanto en este caso 810°C , que corresponde a 1083°K . Por ejemplo, una temperatura de 750°C (que es 1023°K) constituye por tanto aproximadamente el 94% de dicha temperatura más alta.

El estiramiento se lleva a cabo de manera que la lámina directamente después de haber pasado por el estiramiento tiene un alargamiento restante comparado con el estado de la lámina inmediatamente antes del estiramiento.

25 El alargamiento restante está entre el 0,1% y el 7%, preferiblemente entre el 0,2% y el 4%. Preferiblemente, el estiramiento se lleva a cabo de manera que dicha elongación es inferior al grado de deformación crítica de la aleación. Debe notarse que cuando la lámina se enfría, se contrae de alguna forma según el coeficiente de expansión térmica del material. Por este motivo, el alargamiento restante se ha definido anteriormente para el estado en el que una lámina está inmediatamente antes y después del estiramiento, es decir antes de haberse enfriado y contraído de ese modo debido a la diferencia de temperatura. Como es evidente a partir de los alargamientos preferidos mencionados anteriormente, únicamente es necesario un alargamiento restante pequeño para liberar las tensiones que se han creado durante el enfriamiento del material. Por el grado de deformación crítica se entiende el grado de deformación en el que los granos de la fase α se recrystalizan en granos nuevos y más grandes. Incluso si la deformación supera de alguna forma el grado de deformación crítica, se obtiene únicamente un cambio marginal de la textura del material que no tiene ningún efecto negativo mayor en las propiedades del material. Sin embargo, la ductilidad del material puede verse afectada negativamente si se forman granos demasiado grandes. Preferiblemente, el grado de deformación es por tanto inferior al grado de deformación crítica de la aleación.

40 El componente define de manera adecuada una dirección longitudinal que, cuando el componente se usa tal como está previsto en dicho elemento combustible, es al menos sustancialmente paralelo a la dirección longitudinal del elemento combustible. El estiramiento de la lámina puede entonces llevarse a cabo de manera adecuada en una dirección que corresponde a la dirección longitudinal de dicho componente para el que está prevista la lámina. La lámina puede ser larga de manera adecuada y de ese modo el estiramiento puede llevarse a cabo de manera adecuada en la dirección longitudinal de la lámina.

45 Otro aspecto de la invención se refiere al uso de una lámina producida y tratada según un método de la invención. La lámina se usa de ese modo como dicho componente o como parte de dicho componente en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera. Dado que la lámina producida tiene buenas propiedades y es plana y recta, puede usarse de manera adecuada como componente en un reactor nuclear de agua ligera.

50 Según un uso preferido, dicho componente es una caja de canales que define un espacio interno, en el interior de la caja de canales, en el elemento combustible, en el que una pluralidad de barras de combustible están dispuestas en dicho espacio interno y en el que dicha lámina se usa para al menos una de las paredes de la caja de canales.

Preferiblemente, el elemento combustible mencionado anteriormente es un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

55 Según otro uso ventajoso, dicho componente es un canal de agua dispuesto en el elemento combustible con el fin de posibilitar un flujo a través del elemento combustible de agua que no está en ebullición, y en el que dicha lámina se usa como al menos una pared de dicho canal de agua.

Dado que las cajas de canales y canales de agua tienen una extensión que constituye normalmente casi la totalidad

del elemento combustible, es importante que estos componentes tengan buenas propiedades y buena planeidad y rectilineidad. Por tanto, de manera ventajosa, la lámina producida y tratada según el método de la presente invención se usa para estos componentes.

5 La invención también se refiere a un método de producción de una caja de canales para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, comprendiendo el método:

producir y tratar una pluralidad de láminas con un método según la invención, y

lograr una forma adecuada de estas láminas y unir las láminas de manera que se forma dicha caja de canales.

10 La invención también se refiere a un método de producción de un canal de agua para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, cuyo canal de agua se prevé que forme parte de dicho elemento combustible para posibilitar un flujo a través del elemento combustible de agua que no está en ebullición, comprendiendo el método

producir y tratar una pluralidad de láminas con un método según la invención, y lograr una forma adecuada de estas láminas y unir las láminas de manera que se forma dicho canal de agua.

15 A través de estos métodos de producción de cajas de canales y un canal de agua, respectivamente, se obtienen las ventajas que se han descrito anteriormente en referencia a la lámina usada.

La invención también se refiere a un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, que comprende:

20 una caja de canales con una estructura del material obtenida mediante el hecho de que la lámina que forma al menos la parte principal de las paredes de la caja de canales está producida y tratada según un método de la invención, y

una pluralidad de barras de combustible que comprenden material combustible nuclear dispuestas dentro de dicha caja de canales.

La invención también se refiere a un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición que comprende:

25 al menos un canal de agua con una estructura del material obtenida mediante el hecho de que la lámina que forma al menos la parte principal de las paredes del canal de agua está producida y tratada según un método de la invención.

30 También tienen propiedades ventajosas los elementos combustibles descritos anteriormente dado que la lámina que se usa para las paredes de la caja de canales y el canal de agua, respectivamente, está producida y tratada con el método ventajoso según la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra de manera esquemática un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

La figura 2 muestra de manera esquemática una sección transversal a través de un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

35 La figura 3 muestra de manera esquemática una sección transversal a través de un reactor de agua en ebullición de otra construcción.

La figura 4 muestra de manera esquemática una sección transversal de dos perfiles con forma de U antes de unirse.

La figura 5 muestra de manera esquemática los perfiles con forma de U según la figura 4 después de haberse unido.

40 La figura 6 muestra de manera esquemática una vista lateral de una lámina en un dispositivo con el que puede estirarse la lámina.

Descripción de realizaciones de la invención

Se describirá a continuación un ejemplo de un método según la invención para producir y tratar una lámina que es adecuada para usarse como un componente o como una parte de un componente en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera.

45 Como material de partida, se usa una aleación basada en Zr que contiene al menos un 96 por ciento en peso de Zr. La aleación es de un tipo tal que es adecuado para usarse para por ejemplo una caja de canales o un canal de agua en un reactor nuclear de agua en ebullición. Por ejemplo, pueden usarse las aleaciones conocidas Zircaloy-2 o Zircaloy-4. Ejemplos de contenidos de aleación se dan en el documento WO-A1-97/40659 mencionado

- anteriormente. También pueden usarse otras aleaciones basadas en Zr que son adecuadas para el uso. Un experto en la técnica conoce bien que los contenidos de aleación que es el caso en Zircaloy-2 o Zircaloy-4 pueden modificarse de diferentes maneras con el fin de conseguir propiedades deseadas. También pueden usarse por ejemplo aleaciones basadas en Zr en las que el mayor constituyente de la aleación es Nb. A modo de ejemplo, se describirá a continuación el uso de una aleación de Zircaloy-4.
- 5 Se produce un lingote de esta aleación. El lingote se forja dentro del rango de temperaturas de la fase β , a una temperatura de aproximadamente 1150°C.
- Se lleva a cabo una forja convencional para reducir el grosor del material dentro del rango de temperaturas de la fase α . Tras ello, el grosor se reduce adicionalmente mediante laminación en caliente después de un precalentamiento a por ejemplo 950°C durante 15 minutos o 750°C durante 45 minutos. La laminación en caliente se lleva a cabo hasta un grosor de aproximadamente 20 mm a 30 mm. Tras ello, sigue una segunda laminación en caliente hasta un grosor de aproximadamente 4 mm a una temperatura máxima de 650°C.
- 10 Entre estas laminaciones en caliente puede llevarse a cabo posiblemente un tratamiento térmico a aproximadamente 1020°C durante de 5 a 10 minutos con el fin de homogeneizar los elementos de aleación.
- 15 Tras ello, se lleva a cabo una laminación en frío en varias etapas con el fin de reducir el grosor hasta el grosor final o al menos casi hasta el grosor final. Por ejemplo, pueden llevarse a cabo de una a tres laminaciones en frío con el fin de conseguir la variación permisible correcta del grosor de lámina y el acabado superficial. Entre cada laminación en frío, el material se trata térmicamente de manera adecuada a aproximadamente 730°C en un proceso de horno continuo.
- 20 Tras ello, el material se enfría en β en cuanto a que se calienta a aproximadamente 1050°C durante aproximadamente 10 segundos a partir de lo cual se lleva a cabo un enfriamiento. La velocidad de enfriamiento puede ser de por ejemplo aproximadamente 25°C por segundo.
- Después del enfriamiento β , la lámina se trata térmicamente a aproximadamente 750°C en un proceso de horno continuo. El tratamiento térmico puede tener lugar por ejemplo durante 2-10 minutos, preferiblemente durante aproximadamente 8 minutos. Durante este tratamiento térmico, la lámina se estira de manera que se consigue un alargamiento restante de aproximadamente 0,5%. Con alargamiento restante quiere decirse en este caso que la lámina se ha alargado esta cantidad directamente después del estiramiento comparado con inmediatamente antes del estiramiento. Tras ello, la lámina puede posiblemente contraerse de alguna forma cuando se enfría según el coeficiente de expansión térmica del material.
- 25 La figura 6 muestra de manera esquemática cómo puede llevarse a cabo el estiramiento de la lámina en un proceso continuo. La lámina se alimenta hacia delante en el sentido que está marcado con una flecha con la ayuda de un par de rodillos frontales 20 y un par de rodillos traseros 22. Si la velocidad de alimentación con el par de rodillos frontales 20 es un poco mayor que la velocidad de alimentación con el par de rodillos traseros 22, la lámina pasa por un estiramiento durante la alimentación. Debe notarse que preferiblemente esta alimentación tiene lugar en un horno de manera que la lámina se calienta al mismo tiempo que se estira. Debe notarse que el estiramiento no tiene que tener lugar necesariamente en un proceso continuo con la ayuda de rodillos, tal como se muestra en la figura 6. También es posible que la lámina se disponga en algún otro tipo de dispositivo de estiramiento con el fin de llevar a cabo el estiramiento.
- 30 Preferiblemente, la lámina es larga y el estiramiento se lleva a cabo en la dirección longitudinal de la lámina. Esta dirección longitudinal corresponde de ese modo de manera adecuada a la dirección longitudinal del componente para el que va a usarse la lámina.
- 40 La lámina producida se usa preferiblemente como un componente o como una parte de un componente en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera, preferiblemente un reactor nuclear de agua en ebullición. La lámina puede usarse por ejemplo para la caja de canales 2 que rodea tal elemento combustible. Otro uso es para el canal de agua o los canales de agua 12, 14, 16 que pueden formar parte de tal elemento combustible.
- 45 Puede producirse una caja de canales 2 para un elemento combustible para un BWR en cuanto a que se producen dos láminas de una dimensión adecuada. Estas láminas se doblan, tras ello, hasta perfiles con forma de U, tal como se muestra en la figura 4. Posiblemente, las láminas pueden calentarse de alguna forma, por ejemplo hasta aproximadamente 200°C, antes de doblarse. Los perfiles con forma de U se sueldan, tras ello, entre sí, de una manera que conoce bien una persona con conocimientos dentro del campo. Posiblemente, la caja de canales 2 puede conformarse en cuanto a que se coloca en un accesorio de acero inoxidable, a partir de lo cual tiene lugar el calentamiento con el fin de transferir la forma del accesorio a la caja de canales 2.
- 50 Puede producirse de manera similar un canal de agua 12, 14, 16 para agua que no está en ebullición para un elemento combustible para un BWR. Se produce una lámina con el método según la invención. Se producen láminas de dimensiones adecuadas. Estas partes se conforman y se sueldan entre sí de manera que se obtiene un canal de agua 12, 14, 16 de una forma adecuada. Esta forma puede por ejemplo constituir un canal de agua cruciforme que consiste en diferentes partes de canal 12, 14, tal como se muestra en la figura 2, o como un canal de agua 16
- 55

cuadrado del tipo que se muestra en la figura 3.

5 La invención también se refiere a un elemento combustible para un BWR nuclear. Un elemento combustible de este tipo tiene una caja de canales 2 con una estructura del material, planeidad y rectilineidad obtenidos en cuanto a que la lámina que forma las paredes de la caja de canales 2 está producida y tratada según el método que se ha descrito anteriormente. El elemento combustible puede ser por ejemplo del tipo que se muestra de manera esquemática en la figura 1.

10 La invención también se refiere a un elemento combustible para un BWR del que al menos un canal de agua 12, 14, 16 forma parte. Este canal de agua 12, 14, 16 tiene una estructura del material, planeidad y rectilineidad obtenidas en cuanto a que la lámina está producida y tratada según el método que se describió anteriormente. Evidentemente, el elemento combustible puede tener tanto una caja de canales 2 como un canal de agua 12, 14, 16 que se fabrican a partir de láminas que están producidas y tratadas con el método según la invención.

La invención no está limitada a los ejemplos descritos anteriormente sino que puede variarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método de producción y tratamiento de una lámina adecuada para usarse como un componente o como una parte de un componente (2, 12, 14, 16) en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera, comprendiendo el método comprende las siguientes etapas:
 - 5 a) producir una lámina de una aleación basada en Zr mediante forja, laminación en caliente y laminación en frío en un número de etapas adecuado, en el que dicha aleación contiene al menos un 96 por ciento en peso de Zr y es de un tipo tal que la lámina es adecuada para usarse para dicho componente (2, 12, 14, 16),
 - 10 b) llevar a cabo un enfriamiento $\alpha+\beta$ o un enfriamiento β de la lámina cuando la lámina se ha producido hasta un grosor que es igual al grosor final, o al menos casi igual al grosor final, de la lámina acabada,
 - c) tratamiento térmico de la lámina en el rango de temperaturas de la fase α de dicha aleación,

en el que la etapa c) se lleva a cabo después de que las etapas a) y b) se hayan llevado a cabo, caracterizado porque se lleva a cabo un estiramiento de la lámina durante el tratamiento térmico según la etapa c), en el que dicho estiramiento se lleva a cabo a una temperatura de como máximo la temperatura que constituye la temperatura más alta en el rango de temperaturas de la fase α de la aleación y al menos a la temperatura que es el 70% de dicha temperatura más alta con referencia a °K, en el que dicho estiramiento se lleva a cabo de manera que la lámina directamente después de haber pasado por el estiramiento tiene un alargamiento restante comparado con el estado de la lámina inmediatamente antes del estiramiento, en el que dicho alargamiento restante está entre el 0,1% y el 7%.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa b) es un enfriamiento β .
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho estiramiento se lleva a cabo a una temperatura que está entre el 80% y el 98% de dicha temperatura más alta con referencia a °K.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho estiramiento se lleva a cabo de manera que dicho alargamiento es inferior al grado de deformación crítica de la aleación.
- 25 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho alargamiento restante está entre el 0,2% y el 4%.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho componente (2, 12, 14, 16) define una dirección longitudinal que, cuando el componente se usa tal como está previsto en dicho elemento combustible, es al menos sustancialmente paralelo a la dirección longitudinal (10) del elemento combustible y en el que dicho estiramiento de la lámina se lleva a cabo en una dirección que corresponde a la dirección longitudinal de dicho componente (2, 12, 14, 16) para el que está prevista la lámina.
- 30 7. Uso de una lámina producida y tratada según el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores como dicho componente o como una parte de dicho componente (2, 12, 14, 16) en un elemento combustible para un reactor nuclear de agua ligera.
- 35 8. Uso según la reivindicación 7, en el que dicho componente es una caja de canales (2) que define un espacio interno, en el interior de la caja de canales (2), en el elemento combustible, en el que una pluralidad de barras de combustible (3) están dispuestas en dicho espacio interno y en el que dicha lámina se usa para al menos una de las paredes de la caja de canales (2).
9. Uso según la reivindicación 7 u 8, en el que el elemento combustible es un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.
- 40 10. Uso según la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 7, en el que dicho componente es un canal de agua (12, 14, 16) dispuesto en el elemento combustible con el fin de posibilitar un flujo a través del elemento combustible de agua que no está en ebullición y en el que dicha lámina se usa como al menos una pared de dicho canal de agua (12, 14, 16).
- 45 11. Método de producción de una caja de canales (2) para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, comprendiendo el método:

producir y tratar una pluralidad de láminas con el método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6,

lograr una forma adecuada de estas láminas y unir las láminas de manera que se forma dicha caja de canales (2).
- 50 12. Método de producción de un canal de agua (12, 14, 16) para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, canal de agua (12, 14, 16) que está previsto para formar parte de dicho

elemento combustible para posibilitar un flujo a través del elemento combustible de agua que no está en ebullición, comprendiendo el método

producir y tratar una pluralidad de láminas con el método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6,

5 lograr una forma adecuada de estas láminas y unir las láminas de manera que se forma dicho canal de agua (12, 14, 16).

13. Elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición que comprende:

una caja de canales (2) con una estructura del material obtenida mediante el hecho de que la lámina que forma al menos la parte principal de las paredes de la caja de canales (2) está producida y tratada según el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-6,

10 una pluralidad de barras de combustible (3) que comprenden material combustible nuclear dispuestas dentro de dicha caja de canales (2).

14. Elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición que comprende:

15 al menos un canal de agua (12, 14, 16) con una estructura del material obtenida mediante el hecho de que la lámina que forma al menos la parte principal de las paredes del canal de agua (12, 14, 16) está producida y tratada según el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-6.

Fig. 1

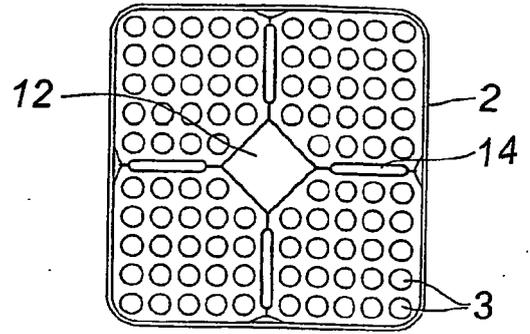
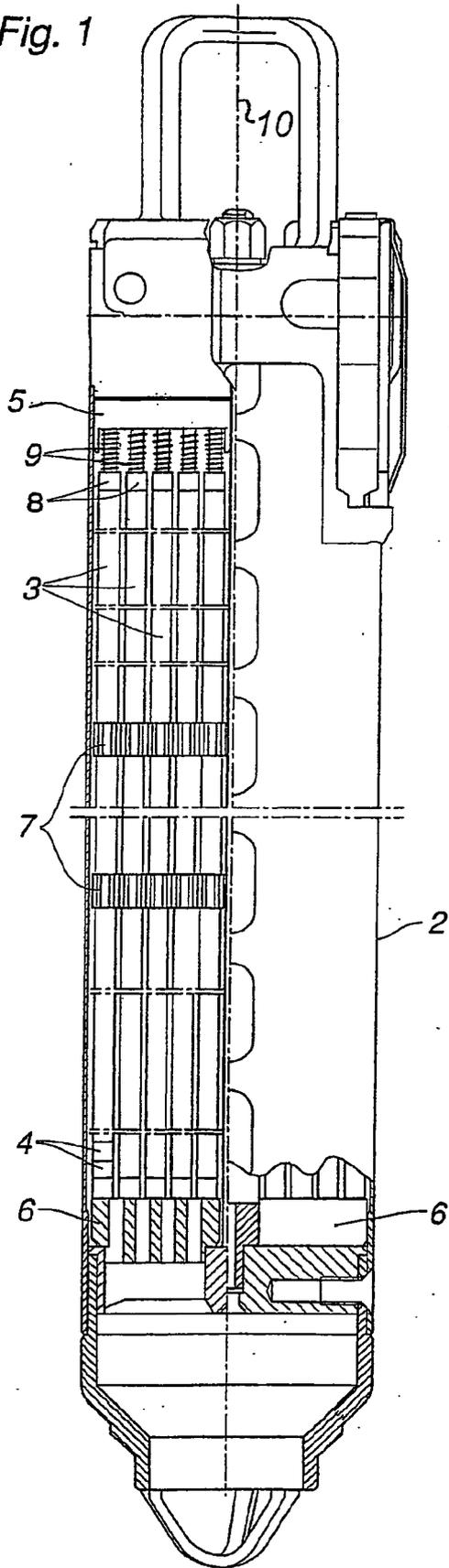


Fig. 2

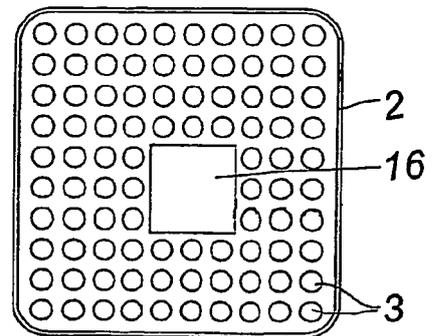


Fig. 3

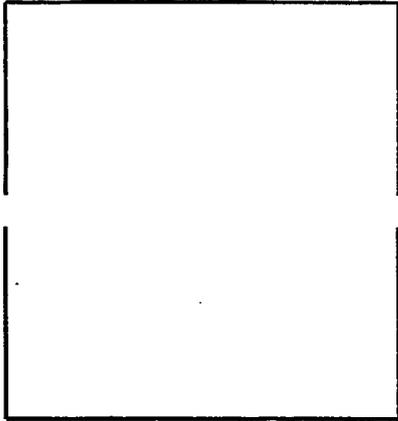


Fig. 4.

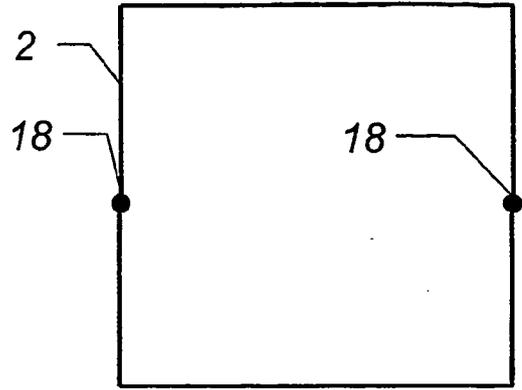


Fig. 5

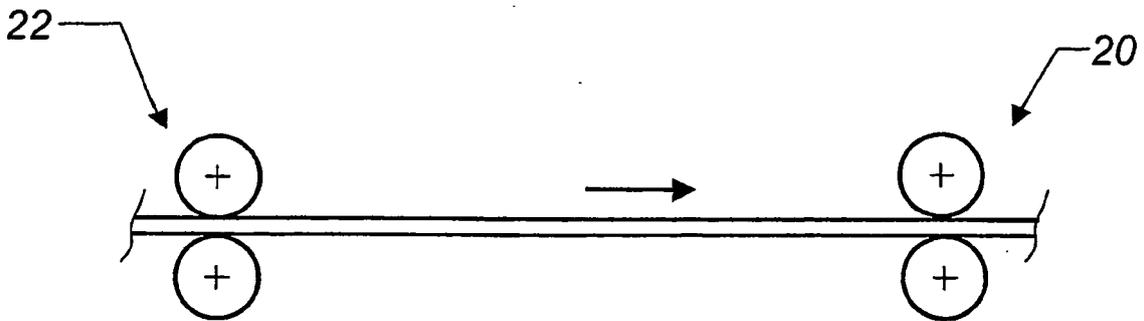


Fig. 6