

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 284**

51 Int. Cl.:

G21C 3/322 (2006.01)

G21C 3/324 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2015 PCT/EP2015/055338**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16146149**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2015 E 15710167 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 3268970**

54 Título: **Canal de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2019

73 Titular/es:
**WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB
(100.0%)
721 63 Västerås, SE**

72 Inventor/es:
**SÖDERLUND, ANDERS y
MÅNSSON, MARKUS**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 729 284 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

Canal de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

Antecedentes de la invención y de la técnica anterior

5 La presente invención se refiere a un método para hacer un canal de combustible para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. La invención también concierne a un canal de combustible como tal y a un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición.

10 En un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición (BWR), hay una serie de barras de combustible, que comprenden un material combustible nuclear. El lote de barras de combustible está rodeado por un canal de combustible, que forma una pared circundante del elemento combustible. Cuando el elemento combustible está en operación en un reactor nuclear, un medio de enfriamiento, normalmente agua, fluye hacia arriba a través del elemento combustible. Este agua cumple varias funciones. Funciona como un medio de enfriamiento para enfriar las barras de combustible de manera que no se sobrecalienten. El agua también sirve como moderador de neutrones, es decir, el agua ralentiza los neutrones a una velocidad más baja. Por ello, se aumenta la reactividad del reactor.

15 Dado que el agua fluye hacia arriba a través del elemento combustible, en la parte superior por parte del elemento combustible, el agua se ha calentado en una mayor extensión. Esto tiene como consecuencia que la parte de vapor es mayor en la parte superior del elemento combustible que en la parte inferior.

20 La presión interna en el canal de combustible durante la operación es más alta en la parte inferior del canal de combustible que en la parte superior del canal de combustible. Es conocido producir un canal de combustible que tiene un grosor variable. Las partes más delgadas del canal de combustible a menudo se obtienen mediante algún tipo de trabajo, donde el material se elimina de la pared del canal de combustible, por ejemplo, mediante fresado.

El documento US 2006/0144484 A1 describe un método de producción de un canal de combustible. Las Fig. 4 y 5 de este documento muestran que se producen primero dos perfiles en forma de U, cuyos perfiles luego se sueldan entre sí de manera que se forma el canal de combustible.

25 El documento US 4.749.543 describe un canal de combustible con un grosor variable.

El documento US 4.970.047 describe un canal de combustible con un grosor variable, obtenido cepillando paso a paso la superficie interna de la caja del canal (véase el resumen).

Los documentos DE 697 16 188 T2, JP 2-216087 y JP 53-43193 también muestran canales de combustible con un grosor variable.

30 Resumen de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para hacer un canal de combustible para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. Un objeto por ello es simplificar la producción del canal de combustible. Un objeto adicional es usar menos material cuando se produce el canal de combustible. Un objeto adicional es hacer posible optimizar el rendimiento del canal de combustible de una manera sencilla. Otro objetivo es ahorrar costes para producir el canal de combustible.

35

Los objetos anteriores se logran por un elemento combustible como se define en la reivindicación 1.

40 Dado que el canal de combustible está hecho de al menos una primera lámina y una segunda lámina de diferente grosor, que se unen una con otra, el canal de combustible se puede hacer de una manera sencilla. Por ejemplo, no es necesario eliminar material mediante fresado, con el fin de variar el grosor del canal de combustible. Además, dado que una lámina más delgada está conectada con una lámina más gruesa, se ahorra material, en comparación con el caso cuando el canal de combustible tiene un grosor constante o el caso donde el material se elimina por ejemplo mediante fresado. Dado que una parte más alta del canal de combustible está hecha por una lámina más delgada, es posible optimizar el rendimiento del canal de combustible. Por ejemplo, la segunda lámina, más delgada, se puede disponer de manera que el área en sección transversal interna del canal de combustible sea más grande en la parte superior del canal de combustible. Esto contribuirá a disminuir la caída de presión en la parte superior del canal de combustible. Además, dado que el canal de combustible tiene una parte más gruesa inferior, que es relativamente larga, está bien adaptado a la presión más alta que durante la operación es el caso en la parte inferior. Además, dado que el canal de combustible según la invención se produce de una manera simple, de manera que también se ahorra material, se reduce el coste para producir el canal de combustible.

45

50 Se puede observar que un canal de combustible también se puede llamar, por ejemplo, una caja o una pared de caja o una pared de canal.

El canal de combustible es normalmente bastante largo (por ejemplo, alrededor de 4 m) en comparación con su anchura (por ejemplo, alrededor de 1,5 dm). Por lo tanto, tiene una dirección longitudinal, que se puede definir por un eje longitudinal central del canal de combustible.

5 En uso en un reactor nuclear, el elemento combustible y el canal de combustible, preferiblemente se extienden principalmente en la dirección vertical. La dirección longitudinal de este modo es, en uso, la dirección vertical. Los conceptos "más bajo" y "más alto", y expresiones similares, se usan con el fin de referirse a diferentes partes del canal de combustible, como se ve cuando el canal de combustible se coloca en la posición de uso deseada.

El reactor nuclear es preferiblemente un reactor de agua ligera.

10 Los conceptos "primero" y "segundo", etcétera, se usan para distinguir las diferentes partes una de otra y, por lo tanto, no se deberían ver para designar un cierto número de partes. Por ejemplo, es posible que haya varias "primeras láminas" que juntas forman la parte más baja del elemento combustible.

15 Un material a base de Zr significa que el material consta, en gran medida, de Zr, el contenido de Zr (en porcentaje en peso) puede ser de al menos el 94%, preferiblemente de al menos el 97%. El material a base de Zr puede ser una aleación, que está diseñada para su uso en un BWR nuclear, por ejemplo, una aleación tal como Zircaloy 2 o Zircaloy 4, o modificaciones de tales aleaciones, o cualquier otra aleación a base de Zr adecuada para su uso en un BWR nuclear.

20 Preferiblemente, la al menos una primera lámina tiene un grosor constante, y la al menos una segunda lámina tiene un grosor constante, y el canal de combustible ensamblado tiene un primer grosor constante donde se sitúa la al menos una primera lámina (excepto por posibles desviaciones locales pequeñas, por ejemplo, causadas por la deformación cuando se doblan las láminas) y un segundo grosor constante donde se sitúa la al menos una segunda lámina (excepto por posibles desviaciones locales pequeñas, por ejemplo, causadas por la deformación cuando se doblan las láminas).

25 Según una realización del método según la invención, dicha parte más alta constituye el 20-75% de la longitud del canal de combustible, preferiblemente el 30-50% de la longitud del canal de combustible. Se ha encontrado que tal longitud de la parte más alta es adecuada, dado que tal parte más alta es adecuada para ser colocada donde la presión interna en el canal de combustible, durante la operación, es más baja que en la parte más baja del canal de combustible. Por lo tanto, es suficiente usar una lámina más delgada para tal parte más alta.

30 Preferiblemente, dicha parte más baja y dicha parte más alta juntas forman al menos el 60% de la longitud del canal de combustible, preferiblemente al menos el 90%, más preferiblemente el 100% de la longitud del canal de combustible (el canal de combustible es la pared, que en uso rodea las (lote o lotes de) barras de combustible de un elemento combustible). Está dentro del alcance de la invención que el canal de combustible comprenda algunas partes adicionales, además de dicha parte más baja y dicha parte más alta. Por ejemplo, puede haber una segunda parte más alta, que está hecha de al menos una tercera lámina que tiene un tercer grosor que es menor que dicho segundo grosor, en donde dicha al menos una tercera lámina forma una segunda parte más alta del canal de combustible, situada por encima de dicha (primera) parte más alta, y de manera que dicha (primera) parte más alta se una con dicha segunda parte más alta en el sentido de que dicha al menos una segunda lámina se una con dicha al menos una tercera lámina. Del mismo modo, puede haber una segunda parte inferior, que esté situada por debajo de la (primera) parte más baja, y que esté hecha de una lámina que sea más gruesa que dicha primera lámina. Con tales partes adicionales, el grosor del canal de combustible se puede adaptar a los requisitos en diferentes partes del elemento combustible.

40 Según una realización adicional del método según la invención, dicho segundo grosor es el 40-85% de dicho primer grosor, preferiblemente el 55-80% de dicho primer grosor. Se ha encontrado que tal grosor es adecuado con el fin de proporcionar suficiente resistencia y al mismo tiempo hacer la segunda lámina lo suficientemente delgada con el fin de proporcionar más espacio para agua o vapor (en comparación con el caso si el segundo grosor fuese el mismo que el primer grosor), y con el fin de reducir la cantidad de material usado.

Según una realización adicional del método, dicho primer grosor es de 2,00-3,50 mm, preferiblemente de 2,00-3,00 mm, más preferido de 2,20-2,80 mm. Se ha encontrado que tal grosor es apropiado con el fin de proporcionar suficiente resistencia para la parte más baja donde se coloca la primera lámina, al mismo tiempo que se evita usar una lámina innecesariamente gruesa.

50 Según una realización adicional del método, la unión entre dicha parte más baja y dicha parte más alta se forma mediante soldadura o estañado, preferiblemente mediante soldadura. En particular, usando soldadura, el canal de combustible se puede producir de una manera simple y eficiente, y tal unión también proporciona suficiente resistencia.

55 La soldadura puede ser, por ejemplo, soldadura TIG, pero también se pueden usar otros métodos de soldadura. La unión de soldadura se puede formar, por ejemplo, mediante soldadura a tope.

- 5 Según una realización adicional del método, el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área interna en sección transversal en la parte más alta, que sea más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja. Proporcionando un área interna más grande en la parte más alta, hay más espacio en la parte más alta. Durante la operación, la parte más alta del elemento combustible contiene una gran cantidad de vapor. Proporcionando más área en la parte más alta, la caída de presión en el agua disminuye. El agua en la parte superior puede fluir por ello de una manera más eficiente a través del elemento combustible.
- 10 El área interna es, de este modo, el área dentro del canal de combustible, limitada por el interior de las paredes del canal de combustible, cuyas paredes están formadas al menos por dichas al menos primera y segunda láminas. La sección transversal es, de este modo, una sección horizontal, si el canal de combustible se ve en la posición de uso prevista, en la que se extiende verticalmente. El área interna en sección transversal en la parte más alta puede ser, por ejemplo, el 0,7-4,0%, preferiblemente el 1,0-4,0%, más preferido 1,5-3,0%, más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja.
- 15 El canal de combustible tiene preferiblemente una forma en sección transversal rectangular, más preferida una forma en sección transversal cuadrada. La distancia interna entre dos lados opuestos en la parte más alta es preferiblemente al menos 0,50 mm más grande, preferiblemente al menos 0,80 mm más grande, más preferido al menos 1,30 mm más grande, que la distancia interna entre dos lados opuestos en la parte más baja.
- 20 Según una realización adicional del método, el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área en sección transversal externa en la parte más alta, que es la misma, o al menos sustancialmente la misma, que el área en sección transversal externa en la parte más baja. De esta manera, una superficie externa suave se obtiene al mismo tiempo que el área en sección transversal interna en la parte más alta se hace grande.
- 25 El área en sección transversal externa es, de este modo, el área encerrada por el exterior de las paredes del canal de combustible, cuyas paredes están formadas por dicha al menos primera y segunda láminas.
- Por "sustancialmente la misma" se entiende aquí que el área en sección transversal externa en la parte más alta difiere menos del 0,50% del área en sección transversal externa en la parte más baja. Preferiblemente, esta diferencia es menor que el 0,25%, más preferido la diferencia es 0.
- 30 Como se ha mencionado anteriormente, el canal de combustible tiene preferiblemente una forma en sección transversal rectangular, más preferiblemente una forma en sección transversal cuadrada. En este caso, si el área en sección transversal externa en la parte más alta es al menos sustancialmente la misma, que el área en sección transversal externa en la parte más baja, la diferencia entre la distancia entre dos lados externos opuestos en la parte más alta y la distancia entre dos lados externos opuestos en la parte más baja es preferiblemente menor que 0,5 mm, más preferida menor que 0,4 mm, la más preferida 0,0 mm.
- 35 Según una realización alternativa, el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área en sección transversal externa en la parte más alta, que es menor que el área en sección transversal externa en la parte más baja. Teniendo un área en sección transversal externa más pequeña en la parte más alta, el agua que, en operación, rodea el elemento combustible se acercará a las barras de combustible colocadas en el elemento combustible. Esto conduce a una moderación mejorada de las barras de combustible. En esta realización, el área en sección transversal externa en la parte más baja puede ser, por ejemplo, el 0,6-4,0%, preferiblemente el 1,0-4,0%, más preferido el 1,5-3,0% más grande que el área en sección transversal externa en la parte superior. Si el canal de combustible tiene una forma en sección transversal rectangular, en particular una forma en sección transversal cuadrada, la distancia entre dos lados externos opuestos en la parte inferior es preferiblemente al menos 0,60 mm más grande, más preferido al menos 0,80 mm más grande, lo más preferido al menos 1,30 mm más grande, que la distancia entre dos lados externos opuestos en la parte superior. Según esta
- 40 realización, el área interna en sección transversal en la parte más alta puede o bien ser la misma (o al menos sustancialmente la misma) que, o más grande que, el área interna en sección transversal en la parte más baja. Si el área interna en sección transversal en la parte más alta es la misma que el área interna en sección transversal en la parte más baja, es posible, por ejemplo, usar las mismas dimensiones para las rejillas separadoras que se colocan en la parte más alta y en la parte más baja.
- 45 Según una realización adicional del método, dicha al menos una primera lámina se une con dicha al menos una segunda lámina cuando las láminas son planas, después de lo cual las láminas unidas se configuran y se disponen, posiblemente junto con otros elementos, de manera que se forme el canal de combustible, que rodea un espacio interno. Se ha encontrado que es fácil unir las láminas entre sí cuando las láminas son planas. Esta realización, por lo tanto, proporciona una manera simple de unir las láminas.
- 50 Según una manera alternativa, la al menos una primera lámina se forma en una parte más baja del elemento combustible, que rodea un espacio interno, y la al menos una segunda lámina se forma en una parte más alta del elemento combustible, que rodea un espacio interno, después de lo cual las partes más baja y más alta así formadas se unen una con otra.
- 55

La invención también concierne a un canal de combustible para un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. El canal de combustible define una dirección longitudinal que en uso corresponde sustancialmente con la dirección vertical. El canal de combustible comprende:

5 al menos una primera lámina de un material a base de Zr, dicha al menos una primera lámina que tiene un primer grosor,

al menos una segunda lámina de un material a base de Zr, dicha al menos una segunda lámina que tiene un segundo grosor, en donde dicho segundo grosor es menor que dicho primer grosor,

10 dicha al menos una primera lámina y dicha al menos una segunda lámina que se conforman y se disponen, de manera que, junto con posibles elementos adicionales, formen dicho canal de combustible, en donde dicha al menos una primera lámina forma una parte más baja del canal de combustible y dicha al menos una segunda lámina forma una parte más alta del canal de combustible, dicha al menos una primera lámina que se ha unido con dicha al menos una segunda lámina de manera que se dispone una unión formada donde dicha al menos una primera lámina se ha unido con dicha al menos una segunda lámina, en donde dicha unión también forma una unión entre dicha parte más baja y dicha parte más alta,

15 en donde la unión entre dicha parte más baja y dicha parte más alta está situada de manera que la parte más baja constituye el 20-75% de la longitud del canal de combustible.

Tal canal de combustible tiene propiedades ventajosas correspondientes a las mencionados anteriormente, en conexión con el método para hacer el canal de combustible.

20 Realizaciones adicionales del canal de combustible se definen en las reivindicaciones dependientes, y tienen ventajas correspondientes a las mencionadas anteriormente en conexión con las realizaciones del método según la invención.

La invención también concierne a un elemento combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. El elemento combustible comprende:

25 una pluralidad de barras de combustible dispuestas sustancialmente paralelas entre sí, dichas barras de combustible que comprenden material combustible nuclear,

una pluralidad de rejillas separadoras dispuestas para mantener las barras de combustible en posiciones predeterminadas unas en relación con otras,

un canal de combustible como se ha descrito anteriormente, dispuesto tal que rodea dichas barras de combustible y dichas rejillas separadoras.

30 Tal elemento combustible tiene propiedades ventajosas, como se ha explicado anteriormente en conexión con el canal de combustible y el método para hacer el canal de combustible.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral en sección de una realización de un elemento combustible según la invención.

35 La Fig. 2 muestra esquemáticamente una vista lateral en sección del canal de combustible mostrado en la Fig. 1 en el área donde se unen la primera y segunda láminas.

La Fig. 3 muestra una vista esquemática, similar a la vista de la Fig. 2, del canal de combustible según otra realización del canal de combustible.

40 La Fig. 4 muestra esquemáticamente una sección transversal de dos perfiles que han de ser unidos para formar un canal de combustible.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente la misma sección transversal que la Fig. 4 de los perfiles después de que se hayan unido entre sí.

La Fig. 6 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo de una realización de un método según la invención.

Descripción de la invención

45 Ahora se describirá una realización de un elemento combustible según la invención, primero con referencia a las Fig. 1 y 2.

La Fig. 1 muestra esquemáticamente un elemento combustible 8 para un reactor nuclear de agua en ebullición (BWR). El elemento combustible 8 comprende una pluralidad de barras de combustible 18. Las barras de combustible 18 están dispuestas sustancialmente paralelas entre sí y se extienden sustancialmente en la dirección

- longitudinal LD del elemento combustible 8. Las barras de combustible 18 comprenden material combustible nuclear 20 (solo indicado como unos pocos granulos de combustible para una de las barras de combustible 18). Una pluralidad de rejillas separadoras 22 está dispuesta para mantener las barras de combustible 18 en posiciones predeterminadas unas en relación con otras. Un canal de combustible 10 está dispuesto de manera que rodea las barras de combustible 18 y las rejillas separadoras 22.
- El elemento combustible 8 también comprende una placa inferior 24 y una placa superior 28, entre las cuales se disponen las barras de combustible. El elemento combustible 8 también comprende una pieza de transición inferior 26, que forma una entrada para el medio de enfriamiento, es decir, el agua, que en uso fluye a través del elemento combustible 8.
- El elemento combustible también comprende uno o más canales de agua 30, a través de los cuales puede fluir agua no en ebullición. En la parte superior del elemento combustible 8 se dispone un asa 32 con el fin de facilitar el transporte del elemento combustible 8.
- Se debería observar que la Fig. 1 solamente muestra una posible realización de un elemento combustible según la invención. También son posibles otros diseños del elemento combustible. Por ejemplo, el elemento combustible no necesita tener una placa superior y una placa inferior del tipo mostrado en la Fig. 1. Por ejemplo, según una realización alternativa, el elemento combustible no tiene ninguna placa superior 28 como se muestra en la Fig. 1. En su lugar, las barras de combustible 18 se mantienen en posición mediante las rejillas separadoras 22, y todo el elemento combustible se puede mantener unido, por ejemplo, mediante uno o más canales de agua (para agua no en ebullición) que se extienden hasta un dispositivo de elevación superior, o mediante elementos de soporte (por ejemplo, barras de soporte) que, en un extremo, están unidos al canal o los canales de agua y en el otro extremo están unidos a un dispositivo de elevación superior.
- El canal de combustible 10 mostrado en la Fig. 1 (cuyo canal de combustible 10 ilustra una realización de un canal de combustible según la invención) comprende al menos una primera lámina 11 de un material a base de Zr. La primera lámina 11 tiene un primer grosor T. Una o más de tales primeras láminas 11 forman una parte más baja LP del canal de combustible.
- El canal de combustible 10 también comprende al menos una segunda lámina 12 de un material a base de Zr. La segunda lámina 12 tiene un segundo grosor t. El segundo grosor t es menor que el primer grosor T. Una o más de dichas segundas láminas 12 forman una parte más alta HP del canal de combustible 10.
- La una o más primeras láminas 11 y la una o más segundas láminas 12 se unen entre sí mediante soldadura de manera que se forme una unión de soldadura 14. La unión de soldadura 14, por ejemplo, se puede formar mediante soldadura TIG. La unión de soldadura 14 se dispone de este modo donde la al menos una primera lámina 11 se haya unido con la al menos una segunda lámina 12. La unión de soldadura 14, por lo tanto, también forma una unión entre la parte más baja LP y la parte más alta HP mencionadas.
- El grosor T de la primera lámina o láminas 11 puede ser, por ejemplo, de 2,50 mm. El grosor t de la segunda lámina o láminas 12 puede ser, por ejemplo, de 1,60 mm.
- Según la realización mostrada en la Fig. 1, todo el canal de combustible 10 está hecho de láminas de los dos grosores diferentes descritos. No obstante, como se ha explicado anteriormente, está dentro del alcance de la presente invención que haya secciones adicionales del canal de combustible, con grosores adicionales de las láminas que componen el canal de combustible.
- El canal de combustible 10 tiene una longitud L, que, por ejemplo, puede ser de 4,0 m. La parte más baja LP, que está hecha de la lámina o láminas 11 del primer grosor T, tiene una longitud l_1 . La parte más alta HP, que está hecha de la lámina o láminas 12 del segundo grosor t tiene una longitud l_2 . l_1 , por ejemplo, puede ser de 1,6 m y l_2 por ejemplo puede ser de 2,4 m.
- En la realización mostrada en la Fig. 1 y la Fig. 2, el canal de combustible 10 tiene un área interna en sección transversal en la parte más alta HP que es más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja LP. El área en sección transversal externa en la parte más alta HP es la misma que el área en sección transversal externa en la parte más baja LP.
- El canal de combustible 10 puede tener una forma en sección transversal cuadrada. La Fig. 2 muestra esquemáticamente una vista lateral en sección de tal canal de combustible 10. La distancia D_x entre dos lados externos opuestos en la parte más baja LP puede ser por ejemplo de 140 mm. La distancia entre dos lados externos opuestos en la parte más alta HP se indica con d_x en la Fig. 2. Según esta realización, D_x , de este modo, es igual a d_x .
- Según esta realización, la distancia interna D_i entre dos lados opuestos en la parte más baja LP puede ser de 135 mm. La distancia interna d_i entre dos lados opuestos en la parte más alta HP puede ser, según esta realización, de 136,8 mm.

La Fig. 3 muestra la misma vista que la Fig. 2 de otra realización de un canal de combustible 10 según la invención. Según esta realización, el canal de combustible 10 tiene un área en sección transversal interna constante. El canal de combustible 10 tiene, también según esta realización, una forma en sección transversal cuadrada. La distancia D_x entre dos lados externos opuestos en la parte más baja LP puede ser, también en esta realización, por ejemplo de 140 mm. La distancia interna D_i entre dos lados opuestos en la parte más baja LP puede ser de 135 mm. Según esta realización, la distancia interna d_i entre dos lados opuestos en la parte más alta HP también es, de este modo, de 135 mm. La distancia d_x entre dos lados externos opuestos en la parte más alta HP puede ser, según esta realización, de 138,2 mm.

Según una realización adicional (que no se muestra en las figuras), el diseño del canal de combustible 10 es intermedio entre las realizaciones mostradas en las Fig. 2 y 3. También según esta realización, el canal de combustible 10 puede tener una forma en sección transversal cuadrada. La distancia D_x entre dos lados externos opuestos en la parte más baja LP también puede ser, en esta realización, por ejemplo, de 140 mm. La distancia interna D_i entre dos lados opuestos en la parte más baja LP puede ser de 135 mm. Según esta realización, la distancia interna d_i entre dos lados opuestos en la parte más alta HP puede ser de 135,9 mm. La distancia d_x entre dos lados externos opuestos en la parte más alta HP puede ser, según esta realización, de 139,1 mm.

Una realización de un método según la invención se describirá ahora con referencia al diagrama de flujo en la Fig. 6 y también a las Figuras 4 y 5.

Según esta realización, se proporciona una primera lámina plana 11 de un material a base de Zr. La primera lámina 11 tiene un primer grosor T .

Se proporciona una segunda lámina plana 12 del mismo material a base de Zr. La segunda lámina 12 tiene un segundo grosor t que es menor que T . Las láminas se unen entre sí mediante soldadura. Se obtiene de este modo una primera lámina plana combinada 11, 12.

Los pasos anteriores se repiten con el fin de formar una segunda de tales láminas combinadas 11, 12. La primera lámina combinada se conforma en un perfil en U como se muestra en la parte superior de la Fig. 4. La segunda lámina combinada también se conforma en un perfil en U como se muestra en la parte inferior de la Fig. 4. Estos dos perfiles en U se unen luego mediante soldadura como se indica en la Fig. 5. Se producen de este modo dos uniones de soldadura 34, que se extienden en la dirección longitudinal LD del canal de combustible 10 (y del elemento combustible 8 cuando el canal de combustible 10 es una parte de un elemento combustible 8). El canal de combustible 10 forma un espacio interno 16.

Las dimensiones de las diferentes partes se seleccionan por ejemplo como se ha indicado anteriormente en la realización del canal de combustible 10 y el elemento combustible 8. El canal de combustible 10 formado puede tener, por ejemplo, de este modo, un área interna en sección transversal en la parte más alta HP que es más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja LP. El área en sección transversal externa en la parte más alta HP puede ser, por ejemplo, la misma que el área en sección transversal externa en la parte más baja LP.

Como se ha indicado anteriormente, hay otras maneras de hacer un canal de combustible 10 según la invención. De este modo, es posible, por ejemplo, formar primero dos perfiles en U de las primeras láminas 11 de un primer grosor T y luego unir estos dos perfiles en U juntos. Después de esto, otros dos perfiles en U se forman de segundas láminas 12 de un segundo grosor t y estos perfiles en U se unen entre sí. De esta manera, se forma una sección de canal de combustible, que ha de formar una parte más baja LP, y se forma una sección de canal de combustible, que ha de formar una parte más alta HP. Después de esto, estas dos secciones se unen entre sí mediante soldadura, es decir, se forma la unión 14.

La presente invención no se limita a los ejemplos descritos en la presente memoria, sino que se puede variar y modificar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

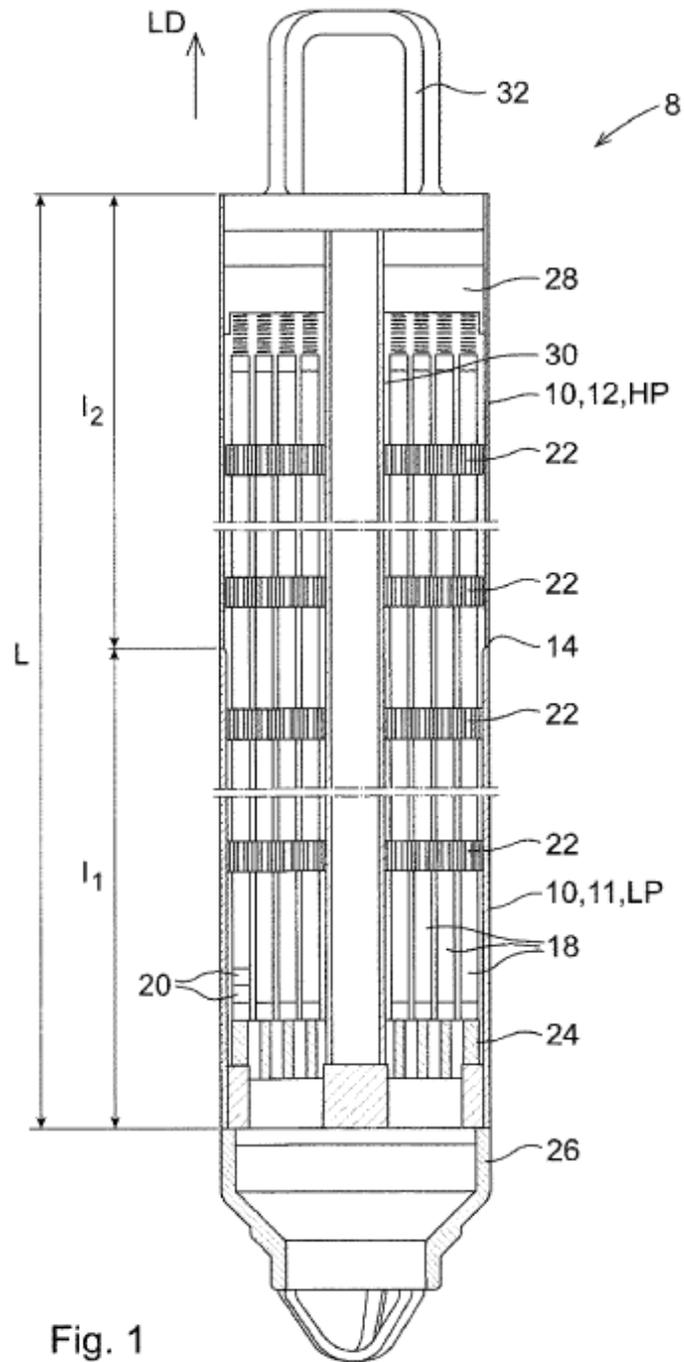
1. Un método para hacer un canal de combustible (10) para un elemento combustible (8) para un reactor nuclear de agua en ebullición, el canal de combustible (10) que define una dirección longitudinal (LD) que en uso corresponde sustancialmente a la dirección vertical, el método que comprende:
- 5 proporcionar al menos una primera lámina (11) de un material a base de Zr, dicha al menos una primera lámina que tiene un primer grosor (T),
- proporcionar al menos una segunda lámina (12) de un material a base de Zr, dicha al menos una segunda lámina que tiene un segundo grosor (t), en donde dicho segundo grosor (t) es menor que dicho primer grosor (T),
- 10 ensamblar diferentes elementos que juntos han de formar el canal de combustible (10), cuyos elementos comprenden dicha al menos una primera lámina (11) y dicha al menos una segunda lámina (12), de manera que se forma un canal de combustible (10) y de manera que dicha al menos una primera lámina (11) forme una parte más baja (LP) del canal de combustible (10) y de manera que dicha al menos una segunda lámina (12) forme una parte más alta (HP) del canal de combustible (10) y de manera que dicha parte más baja (LP) esté unida con dicha parte más alta (HP), en el sentido que dicha al menos una primera lámina (11) está unida a dicha al menos una segunda lámina (12),
- 15 en donde la unión (14) entre dicha parte más baja y dicha parte más alta se sitúa de manera que la parte más baja (LP) constituya el 20-75% de la longitud (L) del canal de combustible (10).
2. Un método según la reivindicación 1, en donde dicha parte más alta (HP) constituye el 20-75% de la longitud (L) del canal de combustible, preferiblemente el 30-50% de la longitud del canal de combustible.
- 20 3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en donde dicho segundo grosor (t) es el 40-85% de dicho primer grosor (T), preferiblemente el 55-80% de dicho primer grosor.
4. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho primer grosor (T) es de 2,00-3,50 mm, preferiblemente de 2,00-3,00 mm, más preferido 2,20-2,80 mm.
- 25 5. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la unión (14) entre dicha parte más baja y dicha parte más alta se forma mediante soldadura o estañado, preferiblemente mediante soldadura.
6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área interna en sección transversal en la parte más alta, que es más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja.
- 30 7. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área en sección transversal externa en la parte más alta, que sea el mismo, o al menos sustancialmente el mismo, que el área en sección transversal externa en la parte más baja.
8. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el paso de ensamblaje se lleva a cabo de manera que el canal de combustible formado tenga un área en sección transversal externa en la parte más alta, que es menor que el área en sección transversal externa en la parte más baja.
- 35 9. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha al menos una primera lámina (11) se une con dicha al menos una segunda lámina (12) cuando las láminas son planas, después de lo cual las láminas unidas se configuran y disponen, posiblemente junto con otros elementos, de manera que se forme el canal de combustible (10), que rodea un espacio interno (16).
- 40 10. Un canal de combustible (10) para un elemento combustible (8) para un reactor nuclear de agua en ebullición, el canal de combustible (10) que define una dirección longitudinal (LD) que en uso corresponde sustancialmente a la dirección vertical, en donde el canal de combustible comprende:
- al menos una primera lámina (11) de un material a base de Zr, dicha al menos una primera lámina que tiene un primer grosor (T),
- 45 al menos una segunda lámina (12) de un material a base de Zr, dicha al menos una segunda lámina que tiene un segundo grosor (t), en donde dicho segundo grosor (t) es menor que dicho primer grosor (T),
- dicha al menos una primera lámina (11) y dicha al menos una segunda lámina (12) que están conformadas y dispuestas, de manera que, junto con posibles elementos adicionales, formen dicho canal de combustible (10), en donde dicha al menos una primera lámina (11) forma una parte más baja (LP) del canal de combustible (10) y dicha al menos una segunda lámina (12) forma una parte más alta (HP) del canal de combustible (10), dicha al menos una primera lámina (11) que se ha unido con dicha al menos una segunda lámina (12) de manera que esté dispuesta una unión (14) formada donde dicha al menos una primera lámina (11) se haya unido con dicha al
- 50

menos una segunda lámina (12), en donde dicha unión (14) también forma una unión entre dicha parte más baja (LP) y dicha parte más alta (HP),

en donde la unión (14) entre dicha parte más baja (LP) y dicha parte más alta (HP) se sitúa de manera que la parte más baja (LP) constituya el 20-75% de la longitud (L) del canal de combustible (10).

- 5 11. Un canal de combustible según la reivindicación 10, en donde dicha parte más alta constituye el 20-75% de la longitud (L) del canal de combustible (10), preferiblemente el 30-50% de la longitud del canal de combustible.
12. Un canal de combustible según la reivindicación 10 u 11, en donde dicho segundo grosor (t) es el 40-85% de dicho primer grosor (T), preferiblemente el 55-80% de dicho primer grosor.
- 10 13. Un canal de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en donde dicho primer grosor (T) es 2,00-3,50 mm, preferiblemente 2,00-3,00 mm, más preferido 2,20-2,80 mm.
14. Un canal de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 10-13, en donde la unión (14) entre dicha parte más baja (LP) y dicha parte más alta (HP) es una unión soldada o unión estañada, preferiblemente una unión soldada.
- 15 15. Un canal de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 10-14, en donde el canal de combustible (10) tiene un área interna en sección transversal en la parte más alta (HP), que es más grande que el área interna en sección transversal en la parte más baja (LP).
16. Un canal de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 10-15, en donde el canal de combustible tiene un área en sección transversal externa en la parte más alta (HP), que es la misma, o al menos sustancialmente la misma, que el área en sección transversal externa en la parte más baja (LP).
- 20 17. Un canal de combustible según una cualquiera de las reivindicaciones 10-15, en donde el canal de combustible tiene un área en sección transversal externa en la parte más alta (HP), que es menor que el área en sección transversal externa en la parte más baja (LP).
18. Un elemento combustible (8) para un reactor nuclear de agua en ebullición, que comprende:
- 25 una pluralidad de barras de combustible (18) dispuestas sustancialmente paralelas entre sí, dichas barras de combustible que comprenden material combustible nuclear (20),
- una pluralidad de rejillas separadoras (22) dispuestas para mantener las barras de combustible (18) en posiciones predeterminadas unas en relación con otras,
- un canal de combustible (10) según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, dispuesto tal que rodea dichas barras de combustible (18) y dichas rejillas separadoras (22).

30



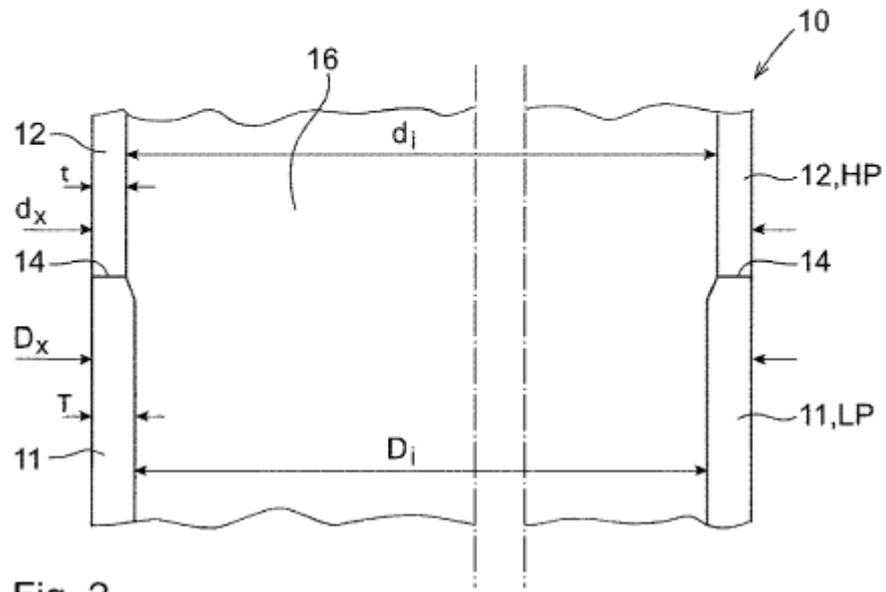


Fig. 2

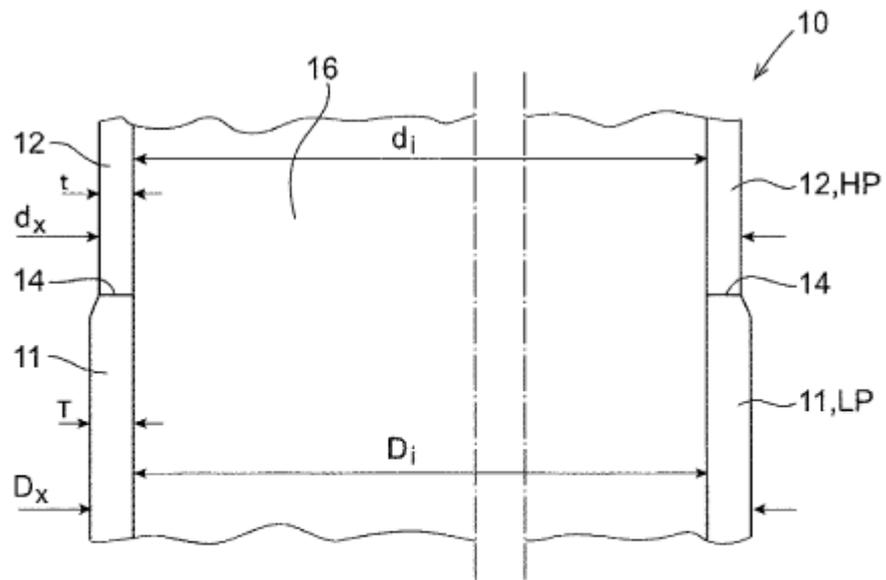


Fig. 3

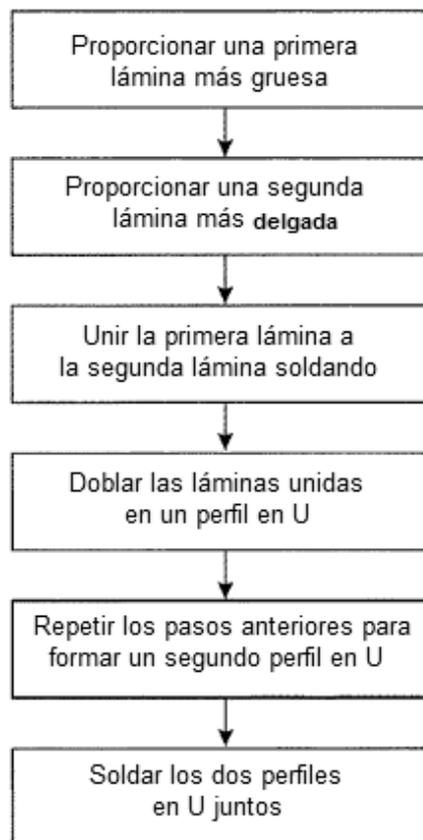
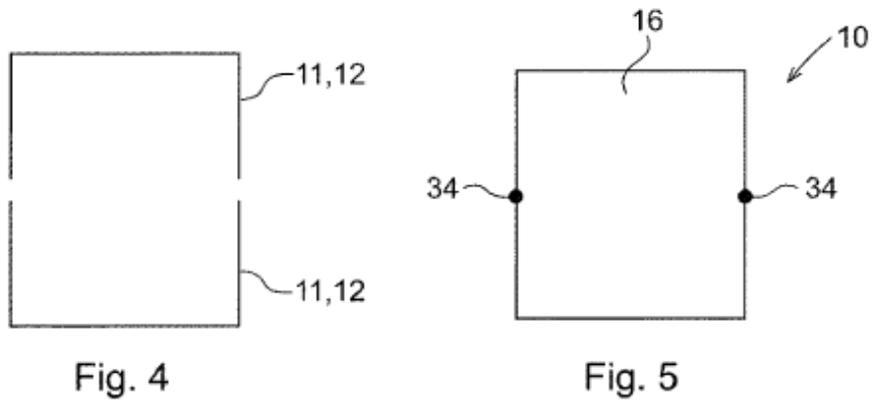


Fig. 6