

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 630**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/324** (2006.01)

**G21C 3/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2014 PCT/SE2014/050379**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.10.2014 WO14171880**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2014 E 14719117 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2987169**

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

30 Prioridad:  
**18.04.2013 SE 1350487**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.10.2017**

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

72 Inventor/es:  
**DAHLBÄCK, MATS y  
HELMERSSON, STURE**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 635 630 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

**5 Antecedentes de la invención y técnica anterior**

La presente invención se refiere a un canal de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición. El canal de combustible se configura para incluir un haz de barras de combustible con combustible nuclear. El canal de combustible se fabrica de un material de chapa y tiene una forma alargada y de ese modo define una dirección longitudinal. El canal de combustible tiene una pluralidad de lados que tienen una forma alargada en dicha dirección longitudinal y que se conectan entre sí de modo que se forma una esquina con una forma alargada en donde se unen dos lados adyacentes. Los lados se conectan entre sí de modo que el canal de combustible tiene así tantas esquinas como lados, en el que cada lado define un interior, en el canal de combustible, y un exterior, en el exterior del canal de combustible.

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

Un reactor de agua en ebullición (BWR) que se usa en una planta nuclear es bien conocido para un experto en la materia. En un BWR, el núcleo consiste en un gran número de conjuntos de combustible. Cada conjunto de combustible contiene entre otros un haz de barras de combustible, que contienen el material combustible nuclear fisible. El haz está rodeado por un canal de combustible. Cuando dicho conjunto de combustible se usa en un BWR, el agua fluye a través del canal de combustible. El agua se lleva a ebullición por el calor que se genera a través de la reacción nuclear. A través de este proceso se forma una presión relativamente alta en el canal de combustible. Las paredes del canal de combustible pueden tender por lo tanto a sobresalir hacia el exterior. Esto puede tener consecuencias negativas. Entre los diversos conjuntos de combustible, se insertan palas de barras de control para controlar la reacción nuclear. Si las paredes del canal de combustible sobresalen hacia el exterior, las paredes pueden presionar contra dicha pala de barra de control insertada. Puede llegar a ser difícil por lo tanto extraer la pala de la barra de control cuando se desee.

Un problema adicional que puede mencionarse es lo que se llama corrosión de sombra. La corrosión de sombra es un fenómeno bien conocido dentro de este campo técnico. Dicha corrosión puede tener lugar en el entorno que es el caso en un reactor nuclear. En particular, dicha corrosión puede ocurrir sobre componentes de Zr o aleaciones basadas en Zr cuando dichos componentes se ponen en contacto con (o se sitúan a muy corta distancia de) componentes de otros materiales, tales como el acero inoxidable. El canal de combustible está fabricado normalmente de una aleación basada en Zr, mientras que las palas de las barras de control se fabrican frecuentemente de acero inoxidable. Si el canal de combustible sobresale hacia el exterior, una gran área de las paredes del canal de combustible puede así ponerse en contacto con (o situarse muy próxima a) las palas de las barras de control, razón por la que puede tener lugar una corrosión de sombra sobre el canal de combustible.

El documento US 5.253.278 describe un conjunto de combustible que comprende un canal de combustible que rodea un haz de barras de combustible. El canal de combustible está provisto de un número de "pestañas de refuerzo".

El documento US 4.749.543 describe un conjunto de combustible con un canal de combustible que puede proporcionarse con ranuras longitudinales o transversales. El canal de combustible puede tener también secciones de esquina particularmente gruesas.

El documento JP 9-145 874 muestra conjuntos de combustible con un canal de combustible que puede tener una pieza con forma en L que se fija mediante soldadura en una esquina.

El documento WO 2010/110721 A1 describe un conjunto de combustible con un canal de combustible que se provee con un cierto número de salientes sobre el lateral. El documento describe también el problema con la corrosión de sombra.

**55 Sumario de la invención**

Un objeto de la presente invención es proporcionar un canal de combustible de la clase anteriormente mencionada, que tenga rigidez mejorada para prevenir que las paredes del canal de combustible sobresalgan hacia el exterior. Un objeto adicional es conseguir dicho canal de combustible con medios relativamente simples. Un objeto adicional es conseguir dicho canal de combustible que sea relativamente simple de producir.

Estos objetos se consiguen con un canal de combustible de acuerdo con la reivindicación 1.

Debido al solapamiento de los materiales de chapa, se incrementa la rigidez del canal de combustible. De ese modo el canal de combustible se refuerza. Por ello se reduce el riesgo de que los laterales del canal de combustible sobresalgan hacia el exterior. Dicho canal de combustible es también relativamente simple de producir dado que se

usa un solape entre dos lados adyacentes. Adicionalmente, puede usarse un material de chapa más delgado, dado que la rigidez deseada se consigue por el hecho de que los materiales de chapa se solapan en la zona de esquina. Previamente, en casos en los que el canal de combustible tenía zonas de esquina más gruesas, normalmente se ha usado una chapa más gruesa, que se ha trabajado a continuación para eliminar material en donde la chapa debería ser más delgada que en las esquinas. “Rígido” o “rigidez” en el presente documento significan principalmente que los lados del canal de combustible son rígidos de tal manera que se impide que los laterales sobresalgan hacia el exterior.

De acuerdo con una realización del canal de combustible de acuerdo con la invención, en al menos dos de dichas esquinas, preferentemente en todas las esquinas, los materiales de chapa para la esquina en cuestión de dos laterales adyacentes se solapan entre sí. Preferentemente, el canal de combustible se configura así de modo que todas las esquinas tienen un espacio de esquina con materiales de chapa solapados. De ese modo, el conjunto de combustible se refuerza en todos sus lados. Se obtiene de ese modo un conjunto de combustible muy rígido.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada una de dichas una o más zonas de esquina con materiales de chapa solapados se extiende a lo largo de al menos el 25 % de la longitud del canal de combustible, preferentemente a lo largo de al menos el 50 % de la longitud del canal de combustible, más preferentemente a lo largo de sustancialmente toda la longitud del canal de combustible. Es posible que la zona de esquina o las zonas en esquina con materiales de chapa solapados solo se extiendan sobre una parte del canal de combustible, en donde es más alto el riesgo de abultamiento. El riesgo de abultamiento es más alto en la parte inferior del canal de combustible. Sin embargo, preferentemente, dichas zonas de esquina se extienden a lo largo de toda la longitud del canal de combustible.

De acuerdo con la invención, es el caso de que en dicha al menos una esquina, o en más de una de o en todas de dichas esquinas, los materiales de chapa desde dos lados adyacentes se solapan entre sí de tal manera que en la zona de solape se forma un espacio entre el material de chapa solapado desde uno de los dos lados y el material de chapa solapado desde el otro de los dos lados. El interior de los dos materiales de chapa solapados se extiende así de modo que se forma un espacio de dicha clase. Dado que el material de chapa tiene dicha configuración, se incrementa adicionalmente la rigidez del canal de combustible. Dicho canal de combustible es también relativamente simple de producir. El espacio puede usarse también por ejemplo como canal para agua no en ebullición. El espacio puede tener por ejemplo un área de sección transversal que sea de al menos 20 mm<sup>2</sup>, o de al menos 35 mm<sup>2</sup>.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada uno de dichos uno o más espacios se abre en ambos extremos, tal como se ve en dicha dirección longitudinal. Se hace de ese modo posible que el agua pueda fluir en el espacio que se forma en las esquinas. El agua que fluye a través de los espacios también contribuye en algún grado a moderar los neutrones en el reactor nuclear. Cuando se dice que el espacio está abierto en los extremos, esto incluye la posibilidad de que el espacio en los extremos se abra lateralmente: hacia el exterior y/o hacia el interior. El espacio puede abrirse también directamente hacia arriba y directamente hacia abajo. Debería mencionarse también en este contexto que, de acuerdo con una realización alternativa, el espacio puede cerrarse en ambos extremos, de modo que se obtenga un espacio cerrado.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, en al menos una esquina, preferentemente en más de una esquina, o más preferido en todas las esquinas, el interior de los dos materiales de chapa solapados es sustancialmente recto, mientras que el exterior de los dos materiales de chapa solapados se curva para formar la forma de esquina exterior, de modo que dicho espacio, tal como se ve en una sección transversal del canal de combustible, tiene sustancialmente la forma de un triángulo, pero en donde se curva una esquina, o la forma de un arco que está limitado por una línea recta. Mediante dicho diseño, la resistencia del canal de combustible se consigue de una manera simple. Debería mencionarse sin embargo que los materiales de chapa solapados también pueden tener otra forma. Por ejemplo, también el interior de los dos materiales de chapa solapados puede curvarse, o bien en una forma convexa o cóncava, tal como se ve desde el interior del canal de combustible.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, es el caso que en cada esquina que tiene una zona de esquina con materiales de chapa solapados, el material de chapa solapado interior, tal como se ve en una sección transversal del conjunto de combustible, se extiende desde un primer punto en un primer lado a un segundo punto en un segundo lado, adyacente, en el que el primer lado define un primer plano, o una primera línea si se considera una sección transversal, y el segundo lado define un segundo plano, o una segunda línea si se considera una sección transversal, en el que la distancia entre el primer punto y el segundo plano, o la segunda línea, es de 10-25 mm, preferentemente 13-19 mm y la distancia entre el segundo punto y el primer plano, o la primera línea, es de 10-25 mm, preferentemente 13-19 mm. Parece ser que las distancias mencionadas son muy adecuadas para obtener una rigidez óptima del canal de combustible sin usar demasiado material de chapa o sin “robar” demasiado espacio en el canal de combustible. Un conjunto de combustible con dicho canal de combustible puede tener un número reducido de barras de combustible (en comparación con la situación en la que el canal de combustible no tiene ningún refuerzo en las esquinas), en el que el número de barras de combustible con el que se ha reducido el conjunto de combustible es igual al número de esquinas, lo que significa que se ha “eliminado” una barra de combustible en cada esquina. La ventaja con un conjunto de combustible con un canal de combustible rígido se consigue así sin ninguna necesidad de reducir el número de barras de combustible en cualquier grado más alto.

- 5 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, este comprende, para cada una de dichas una o más zonas de esquina con materiales de chapa solapados, dos uniones soldadas, en las que cada una se extiende en la dirección longitudinal, en la que una unión soldada conecta los dos materiales de chapa solapados en un extremo de la zona de esquina con los materiales de chapa solapados, o en una esquina del espacio, y la segunda unión soldada conecta los dos materiales de chapa solapados en el otro extremo de la zona de esquina con los materiales de chapa solapados, o en otra esquina del espacio. Mediante la unión por soldadura de los materiales de chapa en esta forma, se consigue el canal de combustible de acuerdo con la invención de una manera relativamente simple, al mismo tiempo que se asegura que el canal de combustible se diseñe para ser muy duradero.
- 10 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada esquina en el canal de combustible comprende una de dichas zonas de esquina con materiales de chapa solapados, en el que el canal de combustible se forma mediante un número de chapas, que es igual al número de lados, en el que todas las chapas tienen sustancialmente la misma forma, en el que cada chapa tiene un primer borde, configurado de modo que constituye el interior de los dos materiales de chapa solapados de una esquina, y un segundo borde configurado de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina. Esta realización tiene entre otras la ventaja de que todas las chapas pueden fabricarse de la misma manera, dado que tienen sustancialmente la misma forma. Puede conseguirse así un canal de combustible de acuerdo con la invención de una manera simple por el hecho de que se unen un número de chapas sustancialmente idénticas. Si el canal de combustible tiene una forma cuadrada, solo se necesitan así cuatro de dichas chapas.
- 15 20 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada esquina del canal de combustible comprende una de dichas zonas de esquina con materiales de chapa solapados, en el que el canal de combustible se forma mediante un número par de chapas, que es igual al número de lados, en el que la mitad de las chapas tienen sustancialmente la misma forma, en la que cada una de estas chapas tiene un primer borde, configurado de modo que constituye el interior de los dos materiales de chapa solapados de una esquina, y un segundo borde configurado de modo que constituye el interior de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina, en el que la segunda mitad de las chapas tiene otra forma que la de las chapas de dicha primera mitad mencionada, en el que las chapas de la segunda mitad tienen sustancialmente la misma forma, en la que cada una de estas chapas de la segunda mitad tiene un primer borde, configurado de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de una esquina, y un segundo borde configurado de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina. El canal de combustible de acuerdo con esta realización tiene la ventaja de que cada chapa es simétrica con relación a la línea central. También puede producirse en una forma simple un canal de combustible de acuerdo con esta realización.
- 25 30 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada lado se proporciona con una pluralidad de salientes y/o hendiduras alargadas, que se extienden sustancialmente perpendiculares a la dirección longitudinal del canal de combustible, y que contribuyen a incrementar la rigidez del canal de combustible. A través de estos salientes o hendiduras, se incrementa adicionalmente la rigidez. A través de la combinación del diseño de las esquinas y de dichos salientes o hendiduras se obtiene un canal de combustible muy rígido. Se impide así de una manera muy eficiente que los laterales del canal de combustible sobresalgan hacia el exterior. Los salientes/hendiduras pueden tener un cierto ángulo con relación a dicha dirección perpendicular, pero preferentemente los salientes/hendiduras se extienden completamente perpendiculares a la dirección longitudinal del canal de combustible.
- 35 40 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, al menos la mayoría de dichos salientes y/o hendiduras, preferentemente todos los salientes y/o hendiduras, tienen una longitud de 30-80 mm, preferentemente 40-60 mm, y un ancho de 4,0-13,0 mm, preferentemente 5,0-8,0 mm. Los inventores de la presente invención se han dado cuenta de que dicho tamaño de los salientes o hendiduras es óptimo para incrementar la rigidez del canal de combustible. La distancia entre los salientes o hendiduras puede variar. Una distancia adecuada, al menos en la parte inferior del canal de combustible en donde las tensiones son más elevadas, es de 6-18 mm, preferentemente de 9-15 mm, más preferido de 10-14 mm. Los salientes pueden disponerse adecuadamente de modo que se aproximen al menos al metro inferior del canal de combustible. Naturalmente, puede ser también la misma distancia para el caso de toda la longitud del canal de combustible. Por distancia se quiere indicar la distancia en la dirección longitudinal del canal de combustible entre el centro de un saliente/hendidura y el centro del siguiente saliente/hendidura.
- 45 50 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, al menos la mayoría, preferentemente todos, de dichos salientes y/o hendiduras sobresalen fuera y se curvan al interior, respectivamente, entre 0,50-1,50 mm desde la superficie principal del exterior y el interior, respectivamente. Dicho tamaño de los salientes o hendiduras parece ser muy adecuado para conseguir una rigidez óptima del canal de combustible. La superficie principal es preferentemente plana y consiste en la parte de la chapa que no se ha deformado para formar por ejemplo los salientes.
- 55 60 De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, cada lado comprende al menos 50, preferentemente al menos 80, de dichos salientes y/o hendiduras. Adecuadamente, cada lado puede comprender al menos 200 salientes y/o hendiduras. Dicho número de salientes o hendiduras parece ser que es adecuado para

conseguir la rigidez deseada del canal de combustible.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, al menos el 50 %, preferentemente el 100 % de dichos salientes y/o hendiduras son salientes. Los salientes tienen la ventaja de que aseguran una cierta distancia entre la superficie principal del exterior del canal de combustible y una posible pala de barra de control. A través de dichos salientes se hace más fácil empujar y tirar de la barra de control. Adicionalmente, se impide la corrosión de sombra sobre las superficies principales del canal de combustible, dado que una corrosión de sombra solo puede ocurrir ahora básicamente sobre los salientes en sí.

De acuerdo con una realización adicional del canal de combustible, el material de chapa que forma los laterales de dicho canal de combustible tiene sustancialmente un espesor constante, excepto para los lugares en donde el espesor se ha modificado por deformación cuando se forma el canal de combustible, tal como en dichas esquinas con dichos salientes y/o hendiduras, o en las zonas de esquina en donde los materiales de chapa se solapan, y donde por lo tanto el caso es el de un espesor total de dos chapas, pero donde cada chapa tiene sustancialmente el mismo espesor cuando las chapas están en los laterales entre las zonas de esquina. Para tener una rigidez suficiente, ha sido frecuentemente necesario previamente o bien usar un material de chapa relativamente grueso o bien variar el espesor del material de chapa de modo que se consiga una rigidez incrementada en los lugares más vulnerables. Sin embargo, de acuerdo con la presente invención, la rigidez se consigue a través de otros medios, tal como se ha descrito anteriormente, y por lo tanto no es necesario usar un material de chapa con un espesor variable. Se simplifica de ese modo la producción del canal de combustible. Adicionalmente, puede usarse una chapa relativamente delgada para el canal de combustible de acuerdo con la presente invención. Adecuadamente, se usa una chapa que es más delgada de 2,50 mm, preferentemente más delgada de 2,00 mm.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un conjunto de combustible mejorado para un reactor nuclear de agua en ebullición. Dicho conjunto de combustible se consigue comprendiendo un canal de combustible de acuerdo con cualquiera de las realizaciones previas y una pluralidad de barras de combustible con un material combustible nuclear dispuesto de modo que el canal de combustible rodee las barras de combustible.

Dicho conjunto de combustible tiene así un canal de combustible con las ventajas que se han descrito anteriormente.

#### Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de una realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención, que comprende una realización de un canal de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 2 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de la parte superior de una realización de un canal de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente una sección transversal a través de una realización de un canal de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 4 muestra esquemáticamente una sección transversal de otra realización de un canal de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente con más detalle una zona de esquina de una realización de un canal de combustible de acuerdo con la invención.

#### Descripción de realizaciones de la invención

La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de una realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención para un reactor nuclear de agua en ebullición. El conjunto de combustible comprende un canal de combustible 10. El canal de combustible 10 se fabrica de un material de chapa, preferentemente de una aleación basada en Zr. El canal de combustible 10 tiene una forma alargada y por ello tiene una dirección longitudinal L. El canal de combustible 10 puede ser por ejemplo de 4 m de largo.

En la Fig. 1 se muestran una parte superior y una inferior del canal de combustible 10. El canal de combustible tiene un número de lados, normalmente cuatro lados 11, 12, 13, 14 (véanse también las Figs. 2-5). Preferentemente el canal de combustible 10, tal como se ve en una sección transversal (véanse la Fig. 3 y la Fig. 4) tiene una forma cuadrada. Los lados 11, 12, 13, 14 del canal de combustible 10 están así alargados y extendidos en dicha dirección longitudinal L. El ancho del lado puede ser adecuadamente 120-180 mm, por ejemplo 140 mm. Los lados 11, 12, 13, 14 se conectan entre sí de modo que se forme una esquina 21, 22, 23, 24 con una forma alargada en donde se unen dos lados adyacentes. El canal de combustible 10 tiene así tantas esquinas como lados.

Cada lado define un interior 11a, 12a, 13a, 14a en el canal de combustible 10 y un exterior 11b, 12b, 13b, 14b en el exterior del canal de combustible 10.

En la Fig. 1, una parte del lado 12 se muestra retirado para ilustrar que el conjunto de combustible contiene una pluralidad de barras de combustible 15 con un material de combustible nuclear. El canal de combustible 10 rodea así un haz de barras de combustible 15. El conjunto de combustible puede contener también naturalmente otras partes

de diseño normal, tales como separadores para el mantenimiento de las barras de combustible 15 a una distancia entre sí.

5 La Fig. 1 también muestra que el conjunto de combustible comprende un asidor 16 en la parte superior y una pieza de conexión 17 en la parte inferior de la unidad de combustible.

Con referencia en particular a las realizaciones de las figuras 2-5 se describirá más detalladamente un canal de combustible 10 de acuerdo con la invención.

10 En las esquinas 21, 22, 23, 24, los materiales de chapa desde dos lados adyacentes se solapan entre sí de modo que en la zona de solape se forme un espacio 31, 32, 33, 34 entre el material de chapa solapado desde uno de los dos lados y el material de chapa solapado desde el otro de los dos lados. Esto se muestra con más detalle en la Fig. 5, que muestra una esquina 21, pero el diseño es análogo para todas las esquinas 21, 22, 23, 24.

15 La Fig. 5 muestra así que el material de chapa desde el lado 11 se solapa con el material de chapa desde el lado 12 de modo que se forme el espacio 31. El material de chapa solapado 11c desde el lado 11 y el material de chapa solapado 12c desde el lado 12 forman así el espacio 31. El espacio 31 está abierto en ambos extremos, tal como se ve en la dirección longitudinal L. El espacio 31 está así abierto en la parte superior y la inferior del conjunto de combustible.

20 Como puede verse también en la Fig. 5, el interior 11c de los dos materiales de chapa solapados es sustancialmente recto, mientras que el exterior 12c de los dos materiales de chapa solapados se curva para formar la forma de la esquina 21. El espacio 31 tiene así, tal como se ve en la sección transversal de acuerdo con la Fig. 5, sustancialmente la forma de un triángulo, pero en donde una esquina está curvada, o más bien la forma de un arco que está limitado por una línea recta.

25 El material de chapa desde el lado 11 se ha unido al material de chapa desde el lado 12 a través de una unión soldada 36 que se extiende en la dirección longitudinal L y que conecta los dos materiales de chapa solapados en una esquina del espacio 31 y una segunda unión soldada 37, que también se extiende en la dirección longitudinal L, que conecta los dos materiales de chapa solapados en otra esquina del espacio 31. La unión soldada 36 puede soldarse adecuadamente a partir del exterior del canal de combustible 10. La unión soldada 37 puede soldarse desde el interior del canal de combustible 10, pero es posible también soldar la unión soldada 37 desde el exterior del canal de combustible 10, mediante la soldadura a través del lado 12, 12c.

35 Los espacios 31, 32, 33, 34 se extienden adecuadamente sobre sustancialmente toda la longitud del canal de combustible 10, pero puede concebirse también que los espacios 31, 32, 33, 34 solo se extiendan sobre una parte de la longitud del canal de combustible 10.

40 La zona de solape interior 11c se extiende desde un primer punto P1 (aproximadamente en la unión soldada 36) en el lado 11 hasta un segundo punto P2 (aproximadamente en la unión soldada 37) en el lado 12. El primer lado 11 define un primer plano, o una primera línea 41 si se considera la sección transversal mostrada en la Fig. 5. De una forma similar, el segundo lado 12 define un plano similar o línea (no mostrados en las figuras). La distancia D2 entre el segundo punto P2 y la primera línea 41 es adecuadamente de 15-17 mm. De una forma correspondiente, la distancia D1 entre el primer punto P1 y el segundo plano o la segunda línea (que no se muestran en la figura) es adecuadamente de 15-17 mm.

45 Se produce adecuadamente un canal de combustible 10 con una sección transversal cuadrada a partir de cuatro chapas. Las chapas se fabrican adecuadamente de una aleación basada en Zr. Para distinguir las chapas entre sí, cada dos chapas se muestran con una línea discontinua en la Fig. 3 y la Fig. 4.

50 La Fig. 4 muestra una realización en donde se usan cuatro chapas idénticas. Para, por ejemplo, la chapa 11, es en este caso la que tiene un primer borde configurado para constituir el interior 11c de los dos materiales de chapa solapados de la esquina 21 y un segundo borde 11d que se configura de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina 24.

55 La Fig. 3 muestra otra realización en donde las chapas 11 y 13 tienen la misma forma. La chapa 11 tiene un primer borde 11c configurado de modo que constituye el interior de los dos materiales de chapa solapados de la esquina 21. La chapa 11 también tiene un segundo borde 11d configurado de modo que constituye el interior de los dos materiales de chapa solapados de la esquina 24.

60 Las chapas 12 y 14 tienen sin embargo otra forma distinta a las chapas 11 y 13. Las chapas 12 y 14 tienen la misma forma. Por ejemplo, la chapa 12 tiene un primer borde 12c que se configura de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de la esquina 21. La chapa 12 tiene un segundo borde 12d que se configura de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de la esquina 22.

65

5 Cada lado del canal de combustible 10 está provisto también con una pluralidad de salientes 50 (por razones de simplicidad, los salientes no se muestran en las Figs. 3-5). El canal de combustible puede tener en su lugar hendiduras, o tanto salientes como hendiduras. Sin embargo, se prefieren los salientes 50, como se muestra en las Figs. 1 y 2. Estos salientes 50 se extienden sustancialmente perpendiculares a la dirección longitudinal L del canal de combustible 10. Los salientes 50 contribuyen a incrementar la rigidez del canal de combustible 10. Los salientes 50 pueden tener por ejemplo una longitud l de 50 mm y un ancho w de 6 mm. La distancia d (de centro a centro) entre los salientes 50 puede ser por ejemplo de 12 mm. Los salientes 50 pueden sobresalir por ejemplo aproximadamente 1,0 mm desde la superficie principal sobre el lado exterior 11b, 12b, 13b, 14b del lado 11, 12, 13, 14.

10 Cada lado 11, 12, 13, 14 puede tener por ejemplo aproximadamente 300 salientes 50.

15 El material de chapa que forma los lados 11, 12, 13, 14, incluyendo los bordes 11c, 11d, 12c, 12d, etc., tiene sustancialmente un espesor constante, excepto en los lugares en donde el espesor se ha modificado por la deformación cuando se forma el canal de combustible 10.

20 Dado que el diseño del canal de combustible 10 de acuerdo con la invención hace el canal de combustible muy rígido, puede usarse un material de chapa relativamente delgado. El espesor del material de chapa puede ser por ejemplo de 1,90 mm.

Le invención no está limitada a las realizaciones descritas sino que puede variarse y modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1. Canal de combustible (10) para un reactor nuclear de agua en ebullición, canal de combustible (10) que se configura para incluir un haz de barras de combustible (15) con combustible nuclear, en el que el canal de combustible (10) se fabrica de un material de chapa y tiene una forma alargada y por ello define una dirección longitudinal (L), en el que el canal de combustible (10) tiene una pluralidad de lados (11-14) que tienen una forma alargada en dicha dirección longitudinal y que se conectan entre sí de modo que se forme una esquina (21-24) con una forma alargada en donde se unen dos lados adyacentes, en el que los lados (11-14) se conectan entre sí de modo que el canal de combustible tenga así tantas esquinas (21-24) como lados (11-14), en el que cada lado define un interior (11a, 12a, 13a, 14a), en el canal de combustible (10) y un exterior (11b, 12b, 13b, 14b), en el exterior del canal de combustible, en el que en al menos una de dichas esquinas (21), los materiales de chapa desde dos lados adyacentes (11, 12) se solapan entre sí de modo que hay una zona de esquina con doble material de chapa que consiste en el material de chapa solapado (11c) desde uno (11) de los dos lados y el material de chapa solapado (12c) desde el otro (12) de los dos lados, **caracterizado por que** en dicha al menos una esquina, o en más de una o en todas de dichas esquinas, los materiales de chapa desde los dos lados adyacentes (por ejemplo, 11, 12) se solapan entre sí de tal manera que en la zona de solape se forme un espacio (31) entre el material de chapa solapado (11c) desde uno (11) de los dos lados y el material de chapa solapado (12c) desde el otro (12) de los dos lados.
2. Canal de combustible (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que en al menos dos de dichas esquinas (21-24), preferentemente en todas las esquinas, los materiales de chapa para la esquina en cuestión de dos lados adyacentes (11-14) se solapan entre sí.
3. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada una de dichas una o más zonas de esquina con materiales de chapa solapados se extiende a lo largo de al menos el 25 % de la longitud del canal de combustible (10), preferentemente a lo largo de al menos el 50 % de la longitud del canal de combustible (10), más preferido a lo largo de sustancialmente toda la longitud del canal de combustible (10).
4. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada uno de dichos uno o más espacios (31-34) está abierto en ambos extremos, tal como se ve en dicha dirección longitudinal (L).
5. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que en al menos una esquina (21-24), preferentemente en más de una esquina, o más preferido en todas las esquinas, el interior (11c) de los dos materiales de chapa solapados es sustancialmente recto, mientras que el exterior (12c) de los dos materiales de chapa solapados se dobla para formar la forma de esquina exterior, de modo que dicho espacio (31), tal como se ve en una sección transversal del canal de combustible, tiene sustancialmente la forma de un triángulo, pero en donde una esquina está doblada, o la forma de un arco que está limitado por una línea recta.
6. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que en cada esquina (21-24) que tiene una zona de esquina con materiales de chapa solapados es el caso en que el material de chapa solapado interior, tal como se ve en una sección transversal del conjunto de combustible, se extiende desde un primer punto (P1) en un primer lado (por ejemplo, 11) a un segundo punto (P2) en un segundo lado, adyacente (por ejemplo 12), en el que el primer lado (por ejemplo 11) define un primer plano, o una primera línea (41) si se considera una sección transversal, y el segundo lado (por ejemplo 12) define un segundo plano, o una segunda línea si se considera una sección transversal, en el que la distancia (D1) entre el primer punto (P1) y el segundo plano, o la segunda línea, es de 10-25 mm, preferentemente de 13-19 mm y la distancia (D2) entre el segundo punto (P2) y el primer plano, o la primera línea (41) es de 10-25 mm, preferentemente de 13-19 mm.
7. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, para cada una de dichas una o más zonas de esquina con materiales de chapa solapados, dos uniones soldadas (36, 37), en las que cada una se extiende en la dirección longitudinal (L), en el que una unión soldada (36) conecta los dos materiales de chapa solapados en un extremo de la zona de esquina con los materiales de chapa solapados, o en una esquina del espacio (31-34), y la segunda unión soldada (37) conecta los dos materiales de chapa solapados en el otro extremo de la zona de esquina con los materiales de chapa solapados, o en otra esquina del espacio (31-34).
8. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada esquina (21-24) en el canal de combustible comprende una de dichas zonas de esquina con materiales de chapa solapados, en el que se forma el canal de combustible (10) mediante un número de chapas (11-14), que es igual al número de lados (11-14), en el que todas las chapas tienen sustancialmente la misma forma (Fig. 4), en el que cada chapa tiene un primer borde, configurado de modo que constituye el interior (11c, Figs. 4 y 6) de los dos materiales de chapa solapados de una esquina (21), y un segundo borde configurado de modo que constituye el exterior (11d, Figs. 4 y 6) de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina (24).



9. Canal de combustible (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que cada esquina (21-24) en el canal de combustible comprende una de dichas zonas de esquina con materiales de chapa solapados, en el que el canal de combustible se forma mediante un número par de chapas (11-14), que es igual al número de lados (11-14), en el que la mitad de las chapas tienen sustancialmente la misma forma (Fig. 3), en el que cada una de estas chapas (11, 13, Fig. 3) tiene un primer borde, configurado de modo que constituye el interior (11c, Fig. 3) de los dos materiales de chapa solapados de una esquina, y un segundo borde configurado de modo que constituye el interior (11d, Fig. 3) de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina (24), en el que la segunda mitad de las chapas (12, 14, Fig. 3) tiene otra forma que la de las chapas de la primera mitad mencionada, en el que las chapas de la segunda mitad tienen sustancialmente la misma forma, en el que cada una de estas chapas de la segunda mitad tiene un primer borde (12c, Fig. 3), configurado de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de una esquina (21), y un segundo borde (12d, Fig. 3) configurado de modo que constituye el exterior de los dos materiales de chapa solapados de otra esquina (22).
10. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada lado (11-14) está provisto de una pluralidad de salientes y/o hendiduras (50) alargadas, que se extienden sustancialmente perpendiculares a la dirección longitudinal (L) del canal de combustible (10), y que contribuyen a incrementar la rigidez del canal de combustible (10).
11. Canal de combustible (10) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que al menos la mayoría de dichos salientes (50) y/o hendiduras, preferentemente todos los salientes y/o hendiduras, tienen una longitud (l) de 30-80 mm, preferentemente de 40-60 mm, y una anchura (w) de 4,0-13,0 mm, preferentemente de 5,0-8,0 mm.
12. Canal de combustible (10) de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que al menos la mayoría, preferentemente todos, de dichos salientes (50) y/o hendiduras sobresalen y se curvan entre, respectivamente, 0,50-1,50 mm desde la superficie principal del exterior (11b, 12b, 13b, 14b) y el interior (11a, 12a, 13a, 14a), respectivamente.
13. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes 11-13, en el que cada lado (11-14) comprende al menos 50, preferentemente al menos 80, de dichos salientes (50) y/o hendiduras.
14. Canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes 11-14, en el que al menos el 50 %, preferentemente el 100 % de dichos salientes (50) y/o hendiduras son salientes (50).
15. Canal de combustible (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el material de chapa que forma los lados (11-14) de dicho canal de combustible (10) tiene sustancialmente un espesor constante, excepto para los lugares en donde el espesor se ha modificado por deformación cuando se forma el canal de combustible (10), tal como en dichas esquinas (21-24) o dichos salientes (50) y/o hendiduras, o en las zonas de esquina en donde se solapan los materiales de chapa, y en donde por lo tanto en este caso es un espesor total de las dos chapas, pero en donde cada chapa tiene sustancialmente el mismo espesor que tienen las chapas en los lados entre las zonas de esquina.
16. Conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, que comprende un canal de combustible (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes y una pluralidad de barras de combustible (15) con material combustible nuclear dispuestas de modo que el canal de combustible (10) rodee las barras de combustible (15).

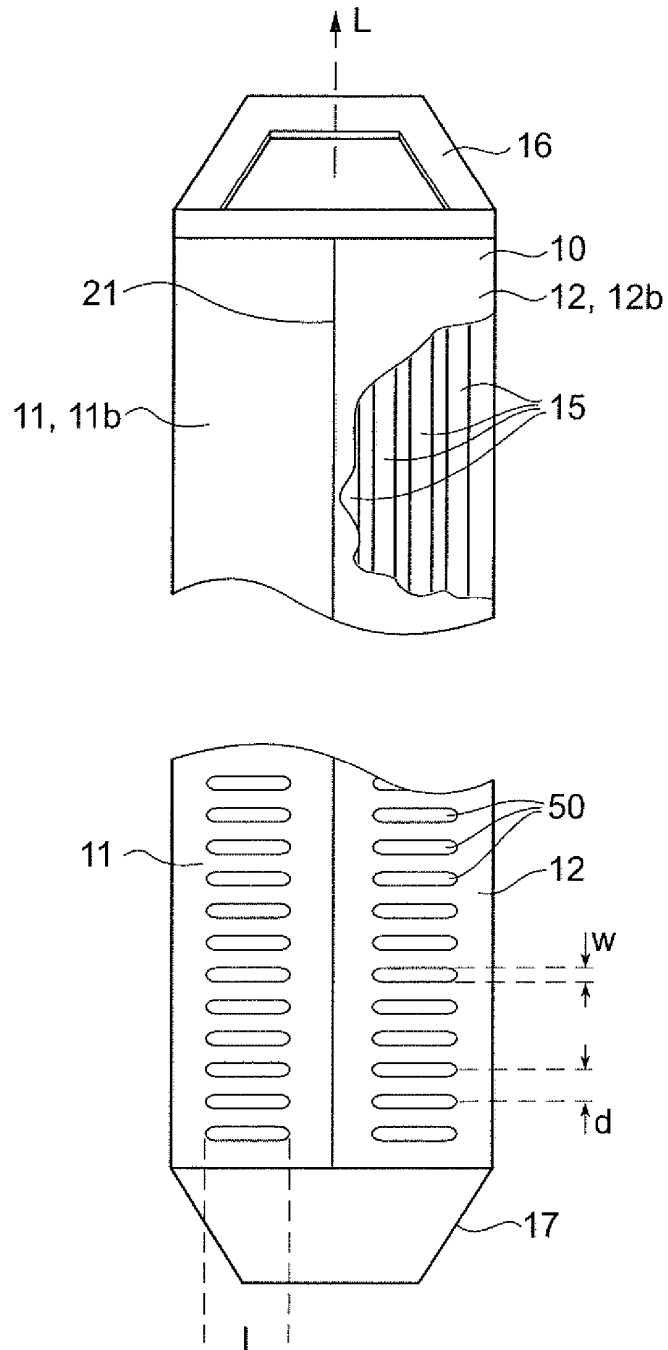


Fig. 1

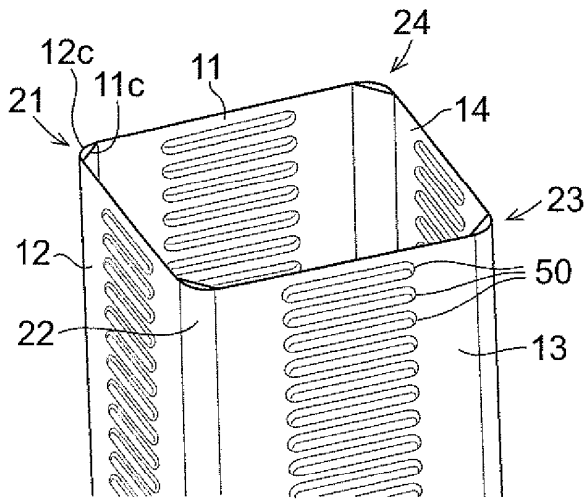


Fig. 2

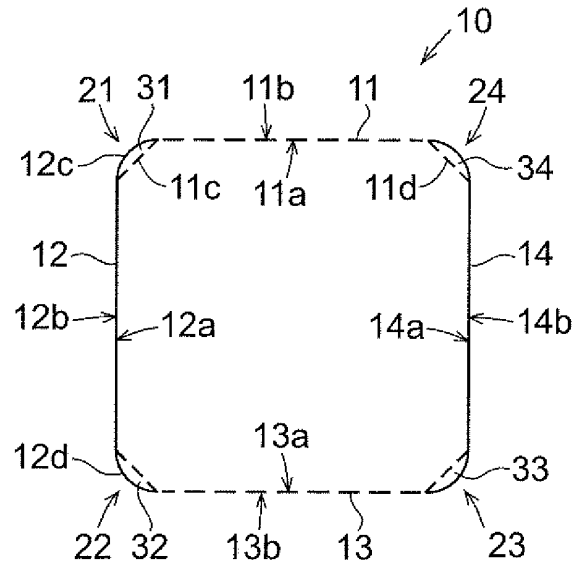


Fig. 3

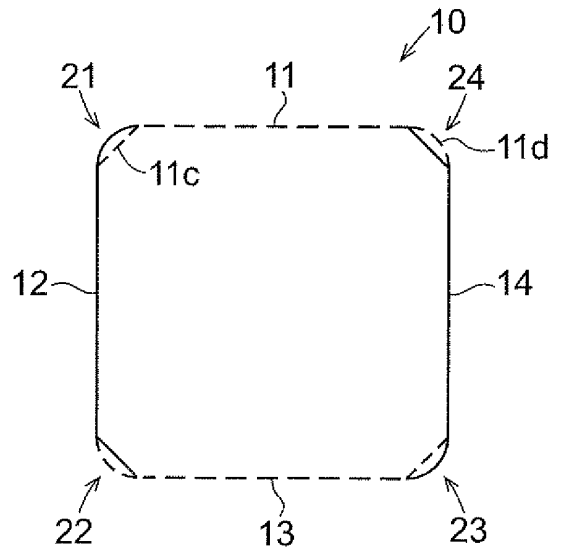


Fig. 4

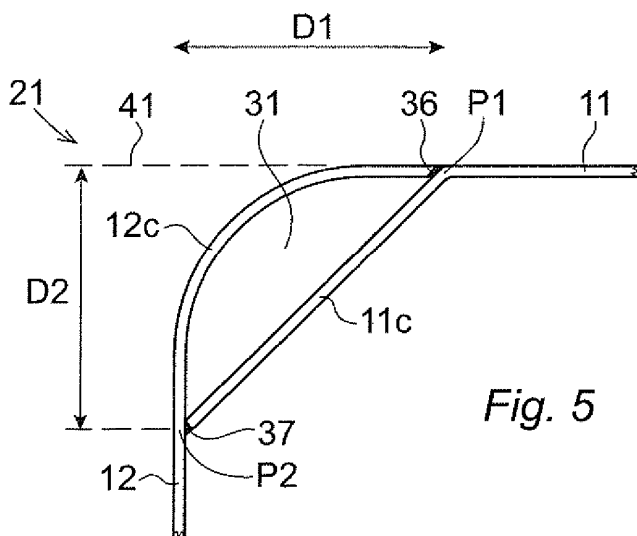


Fig. 5