

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 153**

51 Int. Cl.:

G21C 3/02	(2006.01)
G21C 21/02	(2006.01)
B22F 7/00	(2006.01)
B32B 15/04	(2006.01)
C04B 37/00	(2006.01)
C22C 1/05	(2006.01)
C23C 12/00	(2006.01)
C23C 24/08	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2011 PCT/SE2011/050204**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **09.09.2011 WO11108975**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2011 E 11715626 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2543042**

54 Título: **Componente combustible y procedimiento de producción de un componente combustible**

30 Prioridad:

01.03.2010 SE 1050189

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

12.02.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HALLSTADIUS, LARS;
BACKMAN, KARIN;
REBENSORFF, BJÖRN y
WIDEGREN, HANS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 654 153 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

Componente combustible y procedimiento de producción de un componente combustible

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un componente combustible de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, ver el documento US-3.249.509.

La presente invención se refiere también a un procedimiento para fabricar un componente combustible de acuerdo con lo anterior

Técnica anterior

10 El combustible nuclear para reactores de fisión comprende componentes combustibles que contienen una sustancia fisible, como el U-235. Los componentes combustibles deben estar protegidos de la interacción de un entorno exterior. En reactores de agua hirviendo y reactores de agua a presión, el componente combustible está completamente encerrado en tubos de revestimiento resistentes a la corrosión de una aleación de zirconio con una sección transversal de absorción de neutrones baja. La función de los tubos de revestimiento es encerrar los componentes combustibles y evitar así la interacción entre un entorno exterior y la sustancia fisible. La interacción puede comprender una reacción entre el componente combustible y el entorno exterior o una contaminación del entorno exterior de modo que las sustancias, por ejemplo, las sustancias en estado gaseoso, formadas en el componente combustible fluyen desde el componente combustible al entorno exterior.

20 El componente combustible en reactores de fisión comerciales comprende generalmente gránulos cilíndricos de UO_2 , donde la concentración de la sustancia fisible U-235 es inferior al 5 % y la composición restante es U-238. El tubo de revestimiento con los componentes combustibles encerrados se coloca en un elemento de combustible que después se inserta en el núcleo del reactor y se irradia, en el que los componentes combustibles generan energía y neutrones. Un elemento de combustible generalmente se irradia durante cuatro a seis años antes de ser reemplazado por un nuevo elemento de combustible. La irradiación se divide en varios ciclos de combustible. La duración de un ciclo de combustible generalmente es de aproximadamente un año, pero también puede ser de dos años.

30 Los componentes combustibles no irradiados tienen una mayor potencia producida durante el primer ciclo del combustible en comparación con los ciclos de combustible posteriores, porque la concentración de la sustancia fisible es máxima al comienzo de la irradiación. Por razones de seguridad, la potencia producida en el componente combustible es limitada para que no exceda un cierto nivel. Para limitar la potencia producida, se utilizan absorbedores de neutrones que absorben neutrones. De este modo, el proceso de fisión se mitiga y la potencia producida se reduce. Los absorbedores de neutrones se pueden mezclar en el componente combustible o rodear el componente combustible y proporcionar una reducción local de la potencia en el componente combustible. Con el fin de limitar la potencia producida durante el primer ciclo de combustible sin limitar la potencia producida durante los ciclos de combustible posteriores, se usan los llamados absorbedores de neutrones quemables, que tienen la función de absorber neutrones al mismo tiempo que se transforman en sustancias con una menor capacidad de absorción de neutrones. Ejemplos de materiales que absorben de neutrones quemables son gadolinio y boro. Mediante el uso de absorbedores de neutrones quemables, la potencia producida en el componente combustible puede limitarse durante el primer ciclo de combustible, mientras que la potencia del absorbedor de neutrones quemable en la potencia producida durante los ciclos posteriores es pequeña o insignificante.

40 Los componentes combustibles con absorbedores de neutrones pueden fabricarse mezclando material absorbedor de neutrones en el componente combustible o aplicando el material absorbedor de neutrones como una capa sobre la superficie del componente combustible. La mezcla del material absorbedor de neutrones solo es posible para ciertos absorbedores de neutrones. Los procedimientos conocidos para revestir el material absorbedor de neutrones en la superficie de los componentes combustibles comprenden procesos sensibles que requieren vacío y son caros. Otro problema con una capa de un material absorbedor es asegurar que la capa del material absorbedor de neutrones permanezca en la superficie del componente combustible. Durante la irradiación del elemento combustible, se producen altas temperaturas en el componente combustible. Por ejemplo, en reactores de agua hirviendo y reactores de agua a presión, se producen temperaturas de hasta 1500 °C en el componente combustible durante las condiciones normales de operación. La transición de temperatura ambiente a altas temperaturas entre los ciclos de combustible crea tensiones entre el material con diferentes propiedades térmicas y elásticas, en el que la capa de material absorbedor de neutrones puede agrietarse y caerse. La capa de material absorbedor de neutrones también puede desprenderse o erosionarse en o antes de la introducción en las barras de combustible. Si la capa de material absorbedor de neutrones en el componente combustible falta total o parcialmente o si el material absorbedor de neutrones se ha desplazado dentro de la varilla de combustible, por ejemplo, durante la operación del reactor, la potencia producida en el elemento combustible se ve afectada, lo que da como resultado una potencia producida localmente que puede exceder los valores permitidos. Puede ser necesario detener el reactor e intercambiar el elemento combustible con los componentes combustibles defectuosos, lo que da como resultado grandes pérdidas en la forma de producción de energía perdida y costos de reparación del elemento de combustible.

Los componentes combustibles pueden entrar en contacto con un entorno exterior en caso de fuga de los tubos de revestimiento, como agua ligera en reactores de agua a presión y en ebullición. El entorno exterior puede reaccionar con el componente combustible en los llamados fallos de combustible, en los que el material en el componente combustible contamina el entorno exterior en el reactor y la función del componente combustible cesa o se deteriora.

5 Cuando hay fallos de combustible menores, el entorno exterior está contaminado principalmente por gases formados durante el proceso de fisión. Una contaminación del entorno exterior puede hacer que el personal de mantenimiento en el reactor se exponga a dosis de irradiación mayores durante el trabajo de mantenimiento. También puede ser necesario detener el reactor y reemplazar el elemento de combustible con los tubos de revestimiento con fugas. Los fallos de combustible dan como resultado grandes costos debido a la falta de producción en la parada operacional y
10 costos de reparación del elemento de combustible defectuoso.

Una técnica para el tratamiento del combustible nuclear quemado para su posterior almacenamiento se describe en la patente EP-1249844. En el documento, el combustible nuclear quemado se trata con polvo de aluminio y boro que se prensa mediante prensado isostático en frío (CIP) y después se sinterizan juntos mediante sinterización por plasma.

15 **Sumario de la invención**

El objeto de la presente invención es proporcionar un componente combustible con propiedades mejoradas.

Este objeto se puede lograr con el componente inicialmente definido que comprende las características que se definen en la parte de caracterización de la reivindicación 1.

20 El componente combustible obtiene el objeto mencionado anteriormente por medio de la capa intermedia entre el núcleo y la capa. La capa intermedia comprende o consiste en una mezcla del primer material y el segundo material.

El componente combustible se refiere a un componente que está adaptado para generar energía y neutrones. El componente combustible comprende un núcleo, que tiene la función de generar energía y neutrones, y una capa que encierra al menos parcialmente el núcleo. El núcleo del componente consiste en el primer material, que comprende una sustancia fisible. Una sustancia fisible se refiere a un material que tiene propiedades para mantener la reacción
25 en cadena en un reactor de fisión. La sustancia fisible en el componente combustible genera energía y neutrones cuando se irradia durante la operación del reactor, en el que el componente combustible alcanza una temperatura alta. La capa del componente consiste en el segundo material.

La capa intermedia es una capa entre el núcleo y la capa que proporciona una transición de las propiedades del primer material al segundo material. La capa intermedia comprende una transición escalonada o gradual de la
30 concentración del primer y el segundo material. La capa intermedia tiene un gradiente de material, lo que significa que la concentración del primer material y el segundo material en la capa intermedia es mayor que cero. El gradiente de material comprende un cambio de concentración en comparación con el núcleo y en comparación con la capa. El gradiente de material puede comprender una mezcla homogénea del primer y el segundo material. El gradiente de material también puede comprender un cambio dentro de la capa intermedia de la proporción entre la concentración del primer y el segundo material. De ese modo, el gradiente de material puede ajustarse con respecto a las
35 propiedades del material, tal como en lo que se refiere a la expansión de temperatura, del primer y el segundo material con el fin de obtener buenas propiedades de material del componente combustible. Por medio del gradiente de material se forma una transición entre el primer material en el núcleo y el segundo material en la capa, que proporciona una fuerte adhesión entre la capa y el núcleo. El gradiente de material en la capa intermedia da como resultado una reducción de las tensiones internas en los componentes formados por diferencias térmicas y elásticas entre el primer y el segundo material. De ese modo, se obtiene una adhesión mejorada de la capa al núcleo, lo que proporciona al componente una funcionalidad mejorada.

40 De acuerdo con una realización de la invención, el gradiente de material comprende una disminución sucesiva de la concentración del primer material desde el núcleo hasta la capa y un aumento sucesivo de la concentración del segundo material desde el núcleo hasta la capa. De este modo, el gradiente de material se organiza para proporcionar una transición gradual de las propiedades del primer material al segundo material, y viceversa.

De acuerdo con una realización de la invención, el componente combustible se fabrica por medio de sinterización, lo que proporciona al componente una buena sinterización del primer material con el segundo material. La sinterización puede implicar o combinarse con una presión aplicada y/o una temperatura elevada. El procedimiento de
50 sinterización asegura que varias propiedades del material, como el tamaño de grano y la porosidad, del componente sinterizado se puedan controlar dentro de un amplio intervalo.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa está dispuesta para absorber neutrones. La capacidad de absorción de neutrones se refiere, en este contexto, a la capacidad de un material, en un espectro de energía de neutrones adecuado para un reactor de fisión, para capturar neutrones y de ese modo reducir la reactividad del reactor. De ese modo, la potencia generada en el componente combustible puede reducirse.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa del componente combustible consiste en una sustancia seleccionada del grupo de Hf, B, ZrB₂, In, Cd, Hg, Ag, Gd, Er, B_xC_y, B_xN_y, B_xO_y, mezcla de los mismos y un posible

componente para el equilibrio. Las sustancias de este grupo tienen propiedades de absorción de neutrones adecuadas para el componente combustible. Dentro del alcance de la invención, es posible combinar cualquiera de estas sustancias absorbedoras de neutrones de la capa con cualquiera de las sustancias del núcleo mencionadas anteriormente, por ejemplo, una capa de B_xC_y , como B_4C , y un núcleo de UO_2 , una capa de ZrB_2 y un núcleo de UO_2 , etcétera.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa está dispuesta para proteger el núcleo de un entorno exterior. De este modo, el núcleo del componente combustible está protegido de la interacción con el entorno exterior. De ese modo, las consecuencias al contacto entre el componente combustible y el entorno exterior se reducen. La función de protección de la capa del componente combustible proporciona una redundancia para la protección de los tubos de revestimiento contra el entorno exterior. En otra alternativa, la protección redundante del componente combustible puede permitir que se reduzcan las propiedades de protección de los tubos de revestimiento, por ejemplo, reduciendo el espesor del material de los tubos de revestimiento. El efecto protector de los tubos de revestimiento puede reemplazarse en otra alternativa por la protección de la capa. De ese modo, se obtiene una transferencia de calor mejorada desde el núcleo del componente al entorno exterior, lo que da como resultado un aumento de la potencia de salida del reactor de fisión.

El entorno exterior comprende el entorno alrededor del componente combustible, que comprende principalmente un medio de moderación y refrigeración. En el funcionamiento del reactor, el entorno exterior comprende un entorno reactivo que al contacto reacciona con el componente combustible.

La protección del núcleo tiene como resultado en el entorno exterior, por ejemplo, que el moderador de un reactor de fisión de agua ligera, no sea contaminado por el primer material. Al evitar que el entorno exterior se contamine, se reduce la exposición de la irradiación del personal de mantenimiento en el trabajo de mantenimiento en el reactor. También se pueden evitar los costos de parada del reactor y el reemplazo de elementos de combustible con fugas.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa es esencialmente impermeable a la sustancia en estado gaseoso, al menos helio. Dado que la capa es esencialmente impermeable al gas, las sustancias en estado gaseoso que se forman en el componente combustible se pueden mantener en el interior del componente combustible. De este modo, no se produce contaminación del entorno exterior con sustancias en estados gaseosos formadas en el componente combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa es esencialmente resistente a la corrosión en un entorno del reactor de fisión. Esencialmente resistente a la corrosión significa que la capa es químicamente inerte o esencialmente químicamente inerte, y que su efecto protector se mantiene por lo tanto expuesto al entorno exterior en un reactor de fisión. Gracias a la resistencia a la corrosión de la capa, el núcleo del componente combustible está protegido de ser influenciado por el entorno exterior. De este modo, la integridad y la función de los componentes combustibles están aseguradas.

De acuerdo con una realización de la invención, el volumen de poro de la porosidad en la capa del componente combustible es significativamente menor que el volumen de poro de la porosidad en el núcleo. La porosidad del núcleo se usa para mantener al menos gases parcialmente formados dentro de los granos de la estructura del material. Gracias a la menor porosidad de la capa, se obtienen las propiedades materiales deseables de la capa, como una alta densidad, que proporciona a la capa un efecto de separación que protege el núcleo del entorno exterior y evita que las sustancias en estado gaseoso formadas en el núcleo se escapen del componente combustible. De ese modo, se garantiza la integridad y la función del componente combustible, y se reduce el riesgo de que el entorno exterior esté contaminado por el primer material o por sustancias en estado gaseoso formadas en el núcleo.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa del componente combustible comprende al menos uno de un material metálico y un material cerámico. Ciertos materiales de estos grupos poseen propiedades que son particularmente adecuadas en entornos de reactores. Por ejemplo, ciertos materiales cerámicos, tales como SiC , poseen una alta resistencia a la corrosión, una alta dureza y son resistentes al calor. Por ejemplo, ciertos materiales metálicos, como Zr , tienen una alta resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa del componente combustible consiste en al menos una sustancia seleccionada del grupo de Ti , Zr , Al , Fe , Cr , Ni , SiC , SiN , ZrO_2 , Al_2O_3 , mezclas de los mismos y un posible componente para el equilibrio. Las sustancias de este grupo tienen propiedades que son ventajosas para la capa del componente combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, la capa encierra completamente el núcleo. De ese modo, el núcleo está completamente protegido y separado del entorno exterior.

Un objeto de la presente invención es también proporcionar un procedimiento para la fabricación de un componente combustible.

Este objeto se obtiene por medio de un procedimiento como se define en la reivindicación 13.

Tal procedimiento comprende alimentar el primer material y el segundo material a un espacio de una herramienta de tal manera que el segundo material encierra al menos parcialmente el primer material, y a continuación sinterizar juntos el primer y el segundo material al componente combustible, en el que se forma una capa intermedia entre el núcleo y la capa, y en el que la capa intermedia tiene un gradiente de material que comprende una disminución de la concentración del primer material desde el núcleo hasta la capa y un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo hasta la capa. La herramienta para el procedimiento comprende una parte de herramienta con un espacio adaptado para ser alimentado con material para sinterizar.

De acuerdo con una realización de la invención, se forma una zona intermedia entre una parte interna del espacio y una parte externa del espacio cuando se alimenta el primer material y el segundo material, y en el que la zona intermedia comprende una disminución de la concentración del primer material desde la parte interna del espacio hasta la parte externa del espacio y un aumento de la concentración del segundo material desde la parte interna del espacio hasta la parte externa del espacio. La zona intermedia comprende un área entre la parte interna del espacio y la parte externa del espacio que consiste en el primer material y el segundo material. La zona intermedia comprende un gradiente de material, lo que significa que el primer y el segundo material, se transfieren escalonadamente o gradualmente entre sí. Después de que los materiales han sido alimentados al espacio, el primer material se une con el segundo material por sinterización de tal manera que se forman la capa, el núcleo y la capa intermedia.

De acuerdo con una realización de la invención, el espacio se hace vibrar de tal manera que el primer material y el segundo material se juntan y forman la zona intermedia. El espacio vibra después de que el primer material y el segundo material han sido alimentados al espacio pero antes de la sinterización. De este modo, un gradiente de material del primer material y el segundo material surge entre la parte interna del espacio y la parte externa del espacio.

De acuerdo con una realización de la invención, el primer material se alimenta en forma de polvo. Un material en forma de polvo se refiere a un material en estado sólido que comprende un gran número de partículas con un tamaño de grano pequeño. El polvo puede fluir libremente, lo que significa que el polvo se deforma fácilmente cuando está sometido a esfuerzos mecánicos. De este modo, el polvo puede llenar el espacio en la herramienta para la sinterización. Al usar un material en polvo, se facilita el procedimiento cuando se forma la zona intermedia.

De acuerdo con una realización de la invención, el segundo material se alimenta en forma de polvo.

De acuerdo con una realización de la invención, el espacio está dividido por un tubo interno que comprende una parte interna, en el que el espacio está dividido por un tubo exterior que comprende una parte externa, en el que se forma una parte intermedia entre el tubo exterior y el tubo interior. La parte interna está adaptada para ser alimentada con el primer material que después de la sinterización forma el núcleo del componente combustible. La parte externa está adaptada para ser alimentada con el segundo material que después de la sinterización forma la capa del componente combustible. La parte intermedia se forma después de sinterizar la capa intermedia del componente combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, la parte intermedia situada se alimenta con una mezcla del primer material y el segundo material para crear la zona intermedia. El material en la parte intermedia se forma después de sinterizar la capa intermedia del componente combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, la parte intermedia se divide en divisiones de al menos un tubo intermedio, en el que las divisiones se alimentan con mezclas de diferentes proporciones entre la concentración del primer material y el segundo material. Al dividir el espacio entre el tubo interior y el tubo exterior en dos o más divisiones, se puede influir en la composición del primer y el segundo material en las divisiones para que la capa intermedia formada después de la sinterización alcance un gradiente de material que proporcione la capa con una buena adhesión al núcleo.

45 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se explicará ahora en detalle mediante la descripción de diferentes realizaciones de la invención y con referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1 divulga una sección transversal de un componente combustible de acuerdo con una realización de la invención en una vista desde un lado.

Las figuras 2-5 divulgan diagramas con diferentes ejemplos de la concentración de material de una sección transversal de los componentes combustibles.

La figura 6 divulga una vista en perspectiva de un ejemplo de una varilla de combustible que encierra componentes combustibles.

La figura 7 divulga una sección transversal de una herramienta para alimentar un material para sinterizar.

55

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

La Figura 1 divulga un ejemplo de un componente combustible 1, en lo sucesivo denominado el componente, de acuerdo con una realización de la invención en una vista en sección transversal vista desde un lado. El componente 1 en la figura 1 tiene una forma cilíndrica, con el centro de la base del cilindro en 0 y la superficie envolvente del cilindro en R, a lo largo de un eje x. También es posible otra forma del componente 1, tal como rectangular, cuadrada, esférica, etc.

El componente 1 está adaptado para ser utilizado en reactores de fisión y comprende un núcleo 2 que consiste en un primer material y una capa 3 que consiste en un segundo material. El núcleo 2 del componente comprende un material fisible adaptado para generar energía y neutrones, de tal forma que se puede mantener la reacción nuclear en un reactor de fisión. La capa 3 del componente encierra, en el ejemplo divulgado en la figura 1, completamente el núcleo 2 y protege el núcleo 2 de un entorno exterior por sus propiedades protectoras, tales como la resistencia a la corrosión y la impermeabilidad a las sustancias en estado gaseoso. La capa 3 también tiene la capacidad de absorber neutrones, en la que energía generada en el componente se reduce. Preferiblemente, la sustancia que absorbe neutrones de la capa 3 consiste en un absorbedor de neutrones quemable, tal como boro o gadolinio.

El componente 1 se fabrica por medio de sinterización de tal manera que se forma una capa intermedia 4 entre el núcleo 2 y la capa 3. La capa intermedia 4 comprende tanto el primer material como el segundo material. La capa intermedia 4 tiene un gradiente de material, que comprende una disminución de la concentración de un primer material desde el núcleo 2 hasta la capa 3 y un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa 3. La capa intermedia 4 forma una transición entre el núcleo 2 y la capa 3, de modo que las propiedades del material del primer material se transfieren a las propiedades del segundo material, y viceversa. De ese modo, se crea una buena adhesión entre el núcleo 2 y la capa 3.

Las Figuras 2 a 5 divulgan ejemplos de la concentración de material de una sección transversal de un componente combustible. El eje x de las figuras es un eje dimensional, donde 0 denota el centro del componente y R denota la periferia externa del componente. El eje y de las figuras denota la concentración de material para el componente en porcentaje para el primer material, aquí denominado A y marcado con una línea de puntos, y el segundo material, aquí denominado B y marcado con una línea continua. En las figuras, el núcleo 2, la capa intermedia 4 y la capa 3 están designadas a lo largo del eje x de las figuras.

La Figura 2 divulga un ejemplo de una variación de concentración de material dentro de un componente combustible, donde la capa intermedia 4 entre el núcleo 2 y la capa 3 tiene un gradiente de material que comprende una disminución escalonada de la concentración de un primer material desde el núcleo 2 hasta la capa 3, y un aumento escalonado de la concentración de un segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa 3. En el ejemplo de la figura 2, se produce una disminución escalonada de la concentración del primer material desde el núcleo 2 hasta la capa intermedia 4, donde la concentración del primer material disminuye esencialmente desde el 100 % en el núcleo 2 hasta esencialmente el 50 % en la capa intermedia 4. La concentración del primer material es constante dentro de la capa intermedia 4. Además, se produce una disminución escalonada de la concentración del primer material desde la capa intermedia 4 hasta la capa 3 desde esencialmente el 50 % hasta esencialmente el 0 %. Por el contrario, se produce un aumento escalonado de la concentración del segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa intermedia 4, donde la concentración del segundo material aumenta desde esencialmente 0 % en el núcleo 2 hasta esencialmente el 50 % en la capa intermedia 4. La concentración del segundo material es constante dentro de la capa intermedia 4. Además, se produce un aumento escalonado de la concentración del segundo material desde la capa intermedia 4 hasta la capa 3 desde esencialmente el 50 % hasta esencialmente el 100 %.

La figura 3 desvela de la misma manera que la figura 2 un ejemplo de una variación escalonada de la concentración de material dentro de un componente combustible, con la diferencia de que la capa intermedia 4 comprende dos áreas de concentración, una primera área de concentración 41 y una segunda área de concentración 42, con diferentes concentraciones del primer material y el segundo material. La concentración del primer material y el segundo material es constante dentro de la primera área de concentración 41 y la segunda área de concentración 42. En el ejemplo de la figura 3, se produce una disminución escalonada en la concentración del primer material desde el núcleo 2 hasta la capa intermedia 4, donde la concentración del primer material disminuye esencialmente desde el 100 % en el núcleo 2 hasta esencialmente 70 % en la primera área de concentración 41 de la capa intermedia 4. Dentro de la capa intermedia 4 se produce una disminución escalonada de la concentración del primer material desde la primera área de concentración 41 hasta la segunda área de concentración 42, desde esencialmente 70 % hasta esencialmente 30 %. Se produce una disminución escalonada de la concentración del primer material desde la segunda área de concentración 42 de la capa intermedia 4 hasta la capa 3, desde esencialmente 30 % hasta esencialmente 0 %. Por el contrario, se produce un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa intermedia 4.

La Figura 4 divulga un ejemplo de una variación de concentración de material dentro de un componente combustible, donde la capa intermedia 4 entre el núcleo 2 y la capa 3 tiene un gradiente de material que comprende una disminución sucesiva de la concentración de un primer material desde el núcleo 2 hasta el capa 3 y un aumento sucesivo de la concentración de un segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa 3. Dentro de la capa intermedia 4, desde el núcleo 2 hasta la capa 3, se produce una disminución proporcional constante de la

concentración del primer material, desde esencialmente 100 % hasta esencialmente 0 %. Por el contrario, se produce un aumento de la concentración del segundo material dentro de la capa intermedia 4, desde el núcleo 2 hasta la capa 3, desde esencialmente 0 % hasta esencialmente 100 %.

5 La figura 5 desvela un ejemplo de una variación de concentración de material dentro de un componente combustible, donde la capa intermedia 4 entre el núcleo 2 y la capa 3 tiene un gradiente de material que comprende una
 10 disminución sucesiva de la concentración de un primer material desde el núcleo 2 hasta la capa 3 y un aumento sucesivo de la concentración de un segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa 3. En el ejemplo de la figura 5, se produce de manera sucesiva una disminución de la concentración del primer material, desde el núcleo 2 hasta la
 15 capa intermedia 4. Dentro de la capa intermedia 4, se produce una disminución gradual de una concentración del primer material, desde esencialmente 100 % hasta esencialmente 0 %. La transición entre el núcleo 2 y la capa 3 puede ocurrir, por ejemplo, de forma no lineal. Por el contrario, se produce un aumento de la concentración del
 20 segundo material desde el núcleo 2. En el ejemplo divulgado, la capa intermedia 4 constituye la parte principal del componente, mientras que el núcleo 2 y la capa 3 constituyen una parte menor del componente.

15 La figura 6 divulga una vista en perspectiva de un ejemplo de una barra de combustible con un tubo de revestimiento 10 que encierra los componentes combustibles 1 del tipo descrito aquí. El tubo de revestimiento 10 de la barra de combustible comprende un interior que se describe por un corte limitado. Una pluralidad de tubos de revestimiento
 20 10 que encierran componentes combustibles 1 están situados en un dispositivo fijo y forman un conjunto de combustible, no mostrado en la figura, adaptado para ser irradiado en un reactor de fisión. El tubo de revestimiento 10 consiste en una aleación resistente a la corrosión con una sección transversal de absorción de neutrones baja, tal como una aleación de zirconio. La función del tubo de revestimiento 10 es encerrar los componentes combustibles 1
 25 y evitar así la interacción entre un entorno exterior y la sustancia fisible en el núcleo 2 del componente combustible. El tubo de revestimiento 10 puede presurizarse con un gas, tal como helio, con el fin de aumentar la capacidad de transferencia de calor entre los componentes 1 y el tubo de revestimiento 10.

25 La Figura 7 describe una sección transversal de un ejemplo de una herramienta para fabricar el componente combustible. La herramienta mostrada se puede usar para cualquier procedimiento de sinterización adecuado para la fabricación del componente combustible. Ejemplos de procedimientos de sinterización adecuados que se pueden
 30 usar para la invención son la técnica de sinterización clásica, la sinterización a presión atmosférica y temperaturas elevadas, prensado isostático en frío, prensado isostático en caliente, sinterización por chorro de plasma, etc.

30 La herramienta para el procedimiento comprende una parte de herramienta con un espacio adaptado para ser alimentado con material para la sinterización. La parte de herramienta comprende un elemento circundante 91. El elemento circundante 91 encierra el espacio mencionado anteriormente. El espacio de la herramienta está dividido
 35 por un tubo interior 98 que crea una parte interna 99, en la que se alimenta el primer material que después de la sinterización forma el núcleo 2 del componente. El espacio de la herramienta también está dividido por un tubo exterior 94, que crea una parte externa 93, en la que se alimenta el segundo material que después de la sinterización forma la capa 3 del componente. Entre el tubo exterior 94 y el tubo interior 98 se forma una parte
 40 intermedia 95, en la que se puede alimentar una mezcla del primer material y el segundo material que después de la sinterización forma la capa intermedia 4 del componente. Con tal configuración de la herramienta, por ejemplo, se puede lograr un componente con la variación de la concentración del material en la figura 2.

40 En el ejemplo de la figura 7, la parte intermedia 95 está dividida en divisiones de una tubería intermedia 96. Las divisiones en la parte intermedia 95 se alimentan con una mezcla de diferentes proporciones entre la concentración del primer material y el segundo material. Las mezclas pueden disponerse de tal manera que la capa 3 formada
 45 después de la sinterización recibe un gradiente de material que comprende una disminución de la concentración del primer material desde el núcleo 2 hasta la capa 3, y un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo 2 hasta la capa 3, por ejemplo, tal como se divulga en la figura 3.

45 Por medio de la vibración mencionada anteriormente del primer y el segundo material, la variación de la concentración del material como se muestra en la figura 4 y la figura 5 se puede lograr por medio de la configuración de la herramienta como se muestra en la figura 7.

50 En una realización de la invención, los tubos divulgados 94, 96, 98 en la figura 7 se retiran del espacio de la herramienta, en los que los electrodos están conectados a la fuente eléctrica 100 y la corriente eléctrica se conduce a través del material alimentado en el espacio de la herramienta, que sinteriza el material en el espacio de la herramienta con el componente combustible. En otra alternativa, el material en el espacio de la herramienta puede, antes de sinterizarse conjuntamente, unirse más mediante la vibración del espacio de una herramienta.

55 En una realización de la invención, los tubos divulgados 94, 96, 98 en la figura 7 comprenden un material que se evapora durante el proceso de sinterización. De este modo, los tubos 94, 96, 98 pueden mantenerse en el espacio de la herramienta durante el proceso de sinterización sin afectar a la composición cerámica del componente combustible.

De acuerdo con una realización de la invención, los tubos divulgados 94, 96, 98 en la figura 7 están posicionados de manera que se forma una distancia al fondo del espacio de la herramienta. De este modo, el segundo material

puede alimentarse al espacio de la herramienta de modo que encierre completamente el primer material.

La invención no se limita a las realizaciones divulgadas, sino que se puede modificar y variar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Componente combustible (1) adaptado para ser utilizado en reactores de fisión, que comprende un núcleo (2) que consiste en un primer material, y una capa (3) que consiste en un segundo material,
 5 en el que la capa (3) encierra al menos parcialmente el núcleo (2), en el que el primer material comprende una sustancia fisible, en el que el primer material consiste en al menos una sustancia seleccionada del grupo U, Pu, Th, U_xO_y , U_xN_y , U_xC_y , Pu_xO_y , Pu_xN_y , Pu_xC_y , Th_xO_y , Th_xN_y , Th_xC_y y mezclas de los mismos y un posible componente para el equilibrio,
 en el que el componente combustible (1) comprende una capa intermedia (4) entre el núcleo (2) y la capa (3),
 10 **caracterizado porque** la capa intermedia (4) tiene un gradiente de material que comprende una disminución de la concentración del primer material desde el núcleo (2) hasta la capa (3) y un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo (2) hasta la capa (3).
2. Componente combustible (1) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el gradiente de material comprende una disminución sucesiva de la concentración del primer material desde el núcleo (2) hasta la capa (3) y un aumento sucesivo de la concentración del segundo material desde el núcleo (2) hasta la capa (3).
- 15 3. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** el componente combustible (1) se fabrica por sinterización.
4. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) está dispuesta para absorber neutrones.
- 20 5. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el segundo material consiste en al menos una sustancia seleccionada del grupo de Hf, B, ZrB_2 , In, Cd, Hg, Ag, Gd, Er, B_xC_y , B_xN_y , B_xO_y y mezclas de los mismos y un posible componente para el equilibrio.
6. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) está dispuesta para proteger el núcleo (2) de un entorno exterior.
- 25 7. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) es esencialmente impermeable a la sustancia en estado gaseoso, al menos helio.
8. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) es esencialmente resistente a la corrosión en un entorno de un reactor de fisión.
- 30 9. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) tiene una porosidad con un volumen de poro total que es mayor o igual a cero y por que el núcleo (2) tiene una porosidad con un volumen total de poro que es mayor que cero, en el que el volumen de poro de la porosidad en la capa (3) es considerablemente menor que el volumen de poro de la porosidad en el núcleo (2).
10. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) comprende al menos uno de entre un material metálico y un material cerámico.
- 35 11. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) consiste en al menos una sustancia seleccionada del grupo de Ti, Zr, Al, Fe, Cr, Ni, SiC, SiN, ZrO_2 , Al_2O_3 y mezclas de los mismos y un posible componente para el equilibrio.
12. Componente combustible (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la capa (3) encierra completamente el núcleo (2).
- 40 13. Producción de fabricación de un componente combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en el que el producción comprende las etapas de:
- 45 alimentar el primer material y el segundo material a un espacio de una herramienta, de tal manera que el segundo material encierre al menos parcialmente el primer material,
 sinterizar juntos el primer y el segundo material con el componente combustible, en el que se forma una capa intermedia entre el núcleo y la capa, y en el que la capa intermedia tiene un gradiente de material que
 comprende una disminución de la concentración del primer material desde el núcleo hasta la capa y un aumento de la concentración del segundo material desde el núcleo hasta la capa.
- 50 14. Producción de acuerdo con la reivindicación 13, en el que cuando se alimenta el primer material y el segundo material, se forma una zona intermedia entre una parte interna del espacio y una parte externa del espacio, y en el que la zona intermedia comprende una disminución de la concentración del primer material desde la parte interna del espacio hasta la parte externa del espacio y un aumento de la concentración del segundo material desde la parte interna del espacio hasta la parte externa del espacio.
15. Producción de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el espacio se hace vibrar de tal manera que el primer material y el segundo material se juntan y forman la zona intermedia.

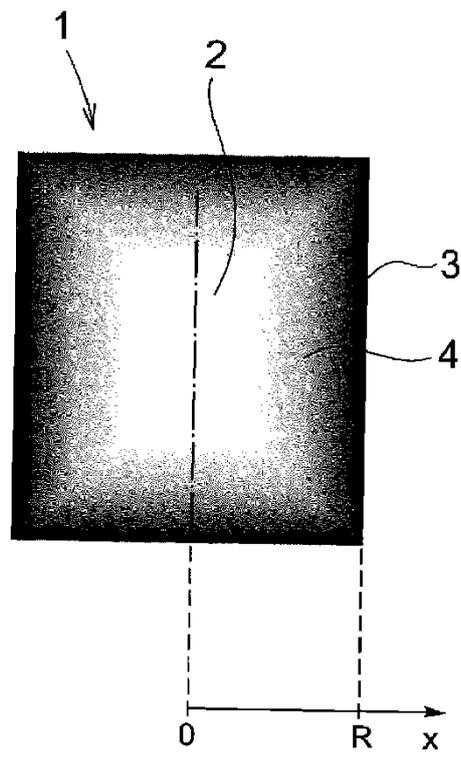


Fig. 1

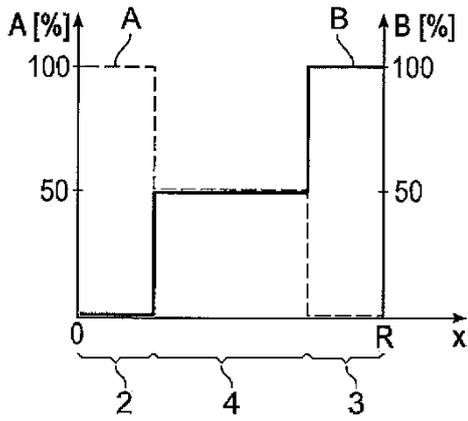


Fig. 2

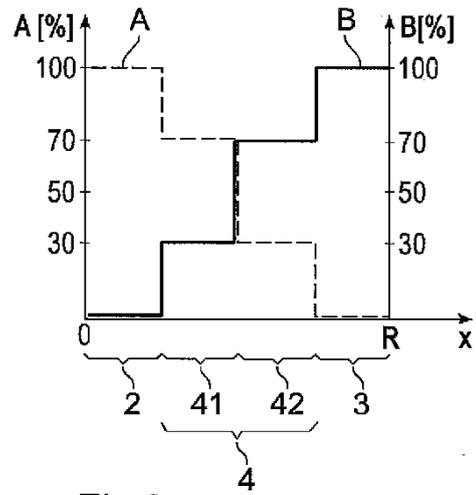


Fig. 3

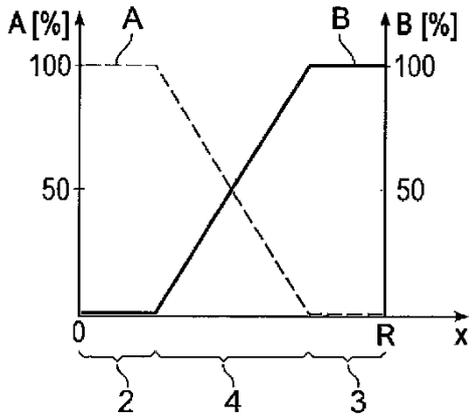


Fig. 4

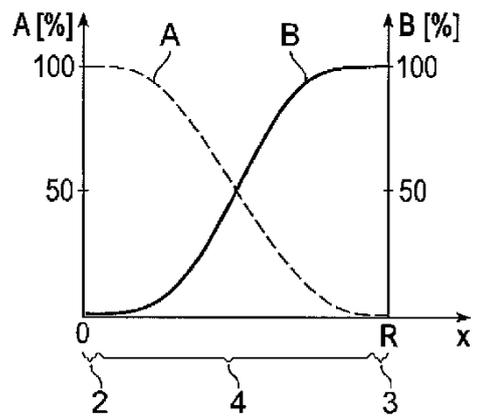


Fig. 5

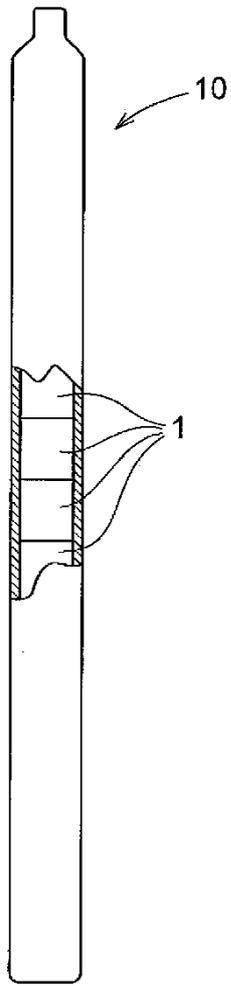


Fig. 6

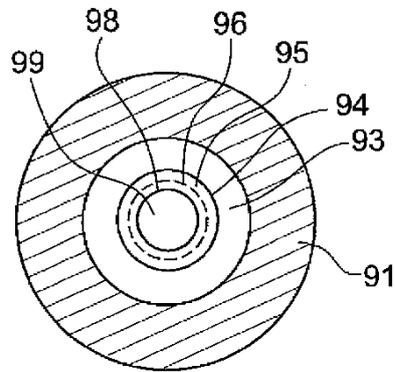


Fig. 7