

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 802**

51 Int. Cl.:

G21C 3/64 (2006.01)

G21C 3/62 (2006.01)

G21C 3/02 (2006.01)

G21C 3/32 (2006.01)

G21C 21/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2017 E 17170860 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 3401924**

54 Título: **Pastilla de combustible nuclear, barra de combustible y conjunto combustible**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.08.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MIDDLEBURGH, SIMON CHARLES y
PUIDE, MATTIAS**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 776 802 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

Pastilla de combustible nuclear, barra de combustible y conjunto combustible

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere generalmente a una composición de matriz ceramética para combustible nuclear para su uso en reactores nucleares, tales como reactores de agua y reactores rápidos. Más específicamente, la presente invención se refiere a una pastilla de combustible nuclear para un reactor nuclear, que comprende una matriz metálica y partículas de combustible cerámico de un material fisiónable disperso en la matriz metálica. La invención también se refiere a una barra de combustible, y a un conjunto combustible para su uso en un reactor nuclear.

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

Se han sugerido sistemas metálicos no activos, tales como Mo, como compuestos de la matriz para soportar el material fisiónable en pastillas de combustible nuclear. El documento US 2015/0294747 da a conocer un método de fabricación de una aguja de combustible de matriz de combustible de metal ceramética. La aguja de combustible puede comprender partículas cerámicas de combustible nuclear agotado, óxido de torio, óxido de americio y combinaciones de estos en una matriz metálica de una materia prima. La matriz metálica puede incluir uranio, zirconio, compuestos transuránicos, molibdeno, combustible de metal reprocesado.

Sumario de la invención

20 El objeto de la presente invención es proporcionar un nuevo material de matriz para combustible ceramético, y un nuevo combustible cerámico-metálico de dos fases. En particular, se dirige a una matriz mejorada que permite que la pastilla de combustible nuclear cumpla los requisitos de los denominados combustibles tolerantes a accidentes, ATF (por sus siglas en inglés).

25 Este objeto se alcanza mediante la pastilla de combustible nuclear definida inicialmente, que se caracteriza porque la matriz metálica es una aleación que consiste en los elementos principales U, Zr, Nb y Ti, y en los posibles elementos residuales, en la que la concentración de cada uno de los elementos principales en la matriz metálica es de como mucho el 50% molar.

Un material de este tipo de la matriz metálica que comprende cuatro elementos principales, y posiblemente una cantidad menor de elementos residuales, es decir, un denominado equilibrio, que tendrá las siguientes propiedades:

- una alta conductividad térmica,
- 30 - bajo hinchamiento (hinchamiento en estado sólido debido a procedimientos de fisión e hinchamiento en estado gaseoso debido a formación de burbujas de gases de fisión),
- expansión térmica similar,
- buen comportamiento a la corrosión a alta temperatura en vapor y con materiales de envainado,
- alta ductilidad, y
- sección eficaz para neutrones térmicos baja adecuada.

35 Estas propiedades de la matriz metálica hacen que la pastilla de combustible nuclear sea adecuada como combustible tolerante a los accidentes, ATF.

40 Gracias al bajo hinchamiento global, la pastilla de combustible nuclear puede estar contenida en cualquier tubo de envainado adecuado para formar una barra de combustible. El tubo de envainado puede fabricarse, por ejemplo, de carburo de silicio o de una aleación a base de zirconio. No es necesaria encapsulación adicional de la pastilla de combustible nuclear distinta del tubo de envainado.

Gracias a la presencia de uranio, la matriz metálica puede ser una matriz fisiónable activa. Las ventajas de una matriz fisiónable activa incluyen pérdidas inferiores en el contenido de uranio en comparación con el combustible envasado en esferas convencional, y con una matriz no activa.

45 Según una realización de la invención, la concentración de cada uno de los elementos principales en la matriz metálica es de al menos el 5% molar.

Según una realización de la invención, la aleación es una aleación monofásica, o una aleación casi monofásica con precipitados que constituyen menos del 5% en volumen de la aleación.

La alta ductilidad de la matriz metálica de una aleación monofásica se aumenta en comparación con metales de BCC monofásica. La ductilidad aumentada da como resultado una interacción pastilla-envainado, PCI (por sus siglas

en inglés), de la pastilla de combustible nuclear en un tubo de envainado.

5 Según una realización de la invención, la aleación es una aleación de alta entropía, HEA (por sus siglas en inglés), que tiene cuatro elementos principales, ninguno de los cuales es dominante. Estas aleaciones monofásicas se denominan aleaciones de alta entropía, HEA, debido a que sus estados de disolución sólida aleatoria o líquida tienen entropías de mezclado significativamente mayores que las de las aleaciones convencionales. Por tanto, el efecto de la entropía es mucho más pronunciado en aleaciones de alta entropía.

Según una realización de la invención, la aleación es $U_{5-6}Zr_{3-4}NbTi$. Esta aleación monofásica forma una posible aleación de alta entropía para la matriz de la pastilla de combustible nuclear.

10 $U_{5-6}Zr_{3-4}NbTi$ tiene una densidad de uranio de aproximadamente $9,7 \text{ g/cm}^3$, que es similar a la densidad de uranio de UO_2 .

Según una realización de la invención, la aleación tiene una estructura cúbica centrada en las caras, BCC (por sus siglas en inglés).

15 Según una realización de la invención, la concentración total de los posibles elementos residuales en la matriz metálica es de como mucho el 5% molar, preferiblemente como mucho el 4% molar, más preferiblemente como mucho el 3% molar, lo más preferiblemente como mucho el 2% molar.

Según una realización de la invención, las partículas de combustible cerámico se dispersan de manera uniforme en la matriz.

Según una realización de la invención, las partículas de combustible cerámico comprenden al menos un material fisiónable seleccionado del grupo de óxido de actínido, nitruro de actínido, siliciuro de actínido y carburo de actínido.

20 Según una realización de la invención, las partículas de combustible cerámico comprenden al menos un materiales fisiónables seleccionados del grupo de UO_2 , U_3Si_2 , U_3Si , USi , UN , PuO_2 , Pu_3Si_2 , Pu_3Si , $PuSi$, PuN , ThO_2 , Th_3Si_2 , Th_3Si , $ThSi$ y ThN .

25 Todos de estos materiales fisiónables son adecuados para dispersarse en la aleación monofásica de la pastilla de combustible nuclear. La aleación monofásica de la pastilla de combustible nuclear protegerá las partículas cerámicas de cualquier efecto mecánico o químico perjudicial durante el funcionamiento del reactor nuclear. Por tanto, no sería necesaria encapsulación adicional de las partículas cerámicas.

Según una realización de la invención, las partículas de combustible cerámico comprenden al menos uno de UN , PuN , ThN , en la que el nitrógeno de las partículas de combustible cerámico se enriquece para contener un porcentaje mayor del isótopo ^{15}N que el N natural.

30 El objeto también se alcanza mediante la barra de combustible definida inicialmente, que comprende un tubo de envainado que encierra una pluralidad de pastillas de combustible nuclear tal como se definió anteriormente.

El objeto también se alcanza mediante el conjunto combustible definido anteriormente para su uso en un reactor nuclear, que comprende una pluralidad de dichas barras de combustible.

Breve descripción de los dibujos

35 La invención se explicará ahora más detallada a través de una descripción de diversas realizaciones y con referencia a los dibujos adjuntos en el presente documento.

La figura 1 da a conocer de manera esquemática una vista en sección longitudinal de un conjunto combustible para un reactor nuclear.

40 La figura 2 da a conocer de manera esquemática una vista en sección longitudinal de una barra de combustible del conjunto combustible en la figura 1.

La figura 3 da a conocer una vista en sección longitudinal de una pastilla de combustible nuclear según una primera realización.

Descripción detallada de diversas realizaciones

45 La figura 1 da a conocer un conjunto combustible 1 para su uso en un reactor nuclear, en particular en un reactores de agua ligera refrigerados con agua, LWR (por sus siglas en inglés), tal como un reactor de agua en ebullición, BWR (por sus siglas en inglés) o un reactor de agua a presión, PWR (por sus siglas en inglés). El conjunto combustible 1 comprende un elemento inferior 2, un elemento superior 3 y una pluralidad de barras de combustible alargadas 4 que se extienden entre el elemento inferior 2 y el elemento superior 3. Las barras de combustible 4 se mantienen en sus posiciones por medio de una pluralidad de separadores 5. Además, el conjunto combustible 1
50 puede comprender, por ejemplo, cuando se usa en un BWR, un canal de flujo o una caja de combustible indicados

por líneas discontinuas 6 y que rodean las barras de combustible 4.

La figura 2 da a conocer una de las barras de combustible 4 del conjunto combustible 1 de la figura 1. La barra de combustible 4 comprende un combustible nuclear en forma de una pluralidad de pastillas de combustible nuclear 10, y un tubo de envainado 11 que encierra las pastillas de combustible nuclear 10. La barra de combustible 4 comprende un tapón inferior 12 que sella el extremo inferior del tubo de envainado 11, y un tapón superior 13 que sella el extremo superior de la barra de combustible 4. Las pastillas de combustible nuclear 10 se disponen en una pila en el tubo de envainado 11. El tubo de envainado 11, por tanto, encierra las pastillas de combustible 10 y un gas. Un muelle 14 se dispone en una cámara de admisión superior 15 entre la pila de pastillas de combustible nuclear 10 y el tapón superior 13. El muelle 14 presiona la pila de pastillas de combustible nuclear 10 contra el tapón inferior 12.

Una realización de una de las pastillas de combustible nuclear 10 se da a conocer en la figura 3. La pastilla de combustible nuclear 10 comprende, o consiste a una matriz metálica 20 y en partículas de combustible cerámico 21 de un material fisionable dispersado en la matriz 20. Las partículas de combustible cerámico 21 pueden dispersarse de manera uniforme y de manera aleatoria en la matriz 20.

El número de partículas de combustible cerámico 21 en cada pastilla de combustible nuclear 10 puede ser muy alto. La razón volumétrica de partículas/matriz puede ser de menos de 0,01:1 o desde 0,01:1 hasta 1:0,01.

Las partículas de combustible cerámico 21 pueden tener una forma esférica, o una forma sustancialmente esférica, o pueden ser de cualquier forma.

El tamaño de las partículas de combustible cerámico 21 puede variar. Por ejemplo, las partículas de combustible cerámico 21 pueden tener una extensión, tal como el diámetro en el ejemplo esférico, que esté dentro del intervalo de desde 100 hasta 2000 micrómetros.

Las partículas de combustible cerámico 21 comprenden o consisten en al menos un material fisionable. El material fisionable se selecciona del grupo de óxido de actínido, nitruro de actínido, siliciuro de actínido y carburo de actínido. En particular, el material fisionable seleccionado del grupo de UO_2 , U_3Si_2 , U_3Si , USi , UN , PuO_2 , Pu_3Si_2 , Pu_3Si , $PuSi$, PuN , ThO_2 , Th_3Si_2 , Th_3Si , $ThSi$ y ThN . Por tanto, las partículas de combustible cerámico 21 pueden comprender o consistir en uno o más de estos materiales.

La matriz metálica 20 es una aleación que consiste en los elementos principales U, Zr, Nb y Ti, y posibles elementos residuales. La aleación de la matriz metálica 20 puede tener una estructura cúbica centrada en las caras, BCC.

La aleación es puede ser una aleación monofásica, o una aleación casi monofásica con precipitados que constituyen menos del 5% en volumen de la aleación.

La concentración de cada de uno de los elementos principales en la matriz metálica 20 es de como mucho el 50% molar, y al menos el 5% molar.

La concentración total de los posibles elementos residuales en la matriz metálica 20 es de como mucho el 5% molar, preferiblemente como mucho el 4% molar, más preferiblemente como mucho el 3% molar, lo más preferiblemente como mucho el 2% molar.

La aleación monofásica, o la aleación casi monofásica, de la matriz metálica 20 es una denominada aleación de alta entropía, HEA.

Más específicamente, la aleación monofásica, o la aleación casi única, de la matriz metálica 20 puede ser $U_{5-6}Zr_{3-4}NbTi$.

La pastilla de combustible nuclear 10 también puede comprender otras partículas distintas de las partículas de combustible cerámico 21, en particular partículas de absorción que comprenden una sustancia de absorción de neutrones. Una sustancia de este tipo con una alta sección eficaz de absorción de neutrones puede comprender boro, gadolinio, etc.

La pastilla de combustible nuclear 10 puede ser una pastilla de combustible nuclear 10 sinterizada. Un polvo de los elementos principales y los elementos residuales se mezclan con las partículas de combustible cerámico 21, y las posibles partículas de absorción, para formar una mezcla. Las partículas de combustible cerámico 21 pueden haberse sinterizado de antemano. La mezcla se comprime hasta un cuerpo en bruto, que luego se sinteriza en una estufa/un horno adecuado o cualquier otro método adecuado, tal como sinterización por chispa de plasma (SPS, por sus siglas en inglés), en la pastilla de combustible nuclear 10.

La pastilla de combustible nuclear 10 también puede fabricarse, como alternativa, de otras maneras, por ejemplo, a través de colada o extrusión.

La presente invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer y descritas en el presente documento, sino que puede variarse y modificarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Pastilla de combustible nuclear (10) para un reactor nuclear, que comprende una matriz metálica (20) y partículas de combustible cerámico (21) de un material fisionable dispersado en la matriz metálica (20),
 5 caracterizada porque la matriz metálica (20) es una aleación que consiste en los elementos principales U, Zr, Nb y Ti, y en los posibles elementos residuales, en la que la concentración de cada uno de los elementos principales en la matriz metálica es de como mucho el 50% molar.
2. Pastilla de combustible nuclear (10) según la reivindicación 1, en la que la concentración de cada uno de los elementos principales en la matriz metálica es de al menos el 5% molar.
3. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en la que la
 10 aleación es una aleación monofásica, o una aleación casi monofásica con precipitados que constituyen menos del 5% en volumen de la aleación.
4. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la aleación es una aleación de alta entropía, HEA.
5. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la
 15 aleación es $U_{5-6}Zr_{3-4}NbTi$.
6. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la aleación tiene una estructura cúbica centrada en las caras.
7. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la
 20 concentración total de los posibles elementos residuales en la matriz metálica (20) es de como mucho el 5% molar.
8. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de combustible cerámico (21) se dispersan de manera uniforme en la matriz metálica (20).
9. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las
 25 partículas de combustible cerámico (21) comprenden al menos un material fisionable seleccionado del grupo de óxido de actínido, nitruro de actínido, siliciuro de actínido y carburo de actínido.
10. Pastilla de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las partículas de combustible cerámico (21) comprenden al menos un material fisionable seleccionado del grupo de UO_2 , U_3Si_2 , U_3Si , USi , UN , PuO_2 , Pu_3Si_2 , Pu_3Si , $PuSi$, PuN , ThO_2 , Th_3Si_2 , Th_3Si , $ThSi$ y ThN .
11. Barra de combustible (4) que comprende un tubo de envainado (11) que encierra una pluralidad de pastillas de combustible nuclear (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
 30
12. Conjunto combustible para su uso en un reactor nuclear, que comprende una pluralidad de barras de combustible (4) según la reivindicación 11.

