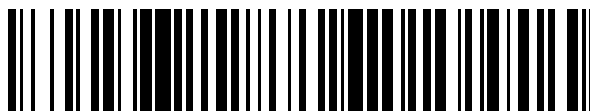


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 329**

51 Int. Cl.:

G21C 3/07 (2006.01)
G21C 3/10 (2006.01)
G21C 21/02 (2006.01)
B23K 1/00 (2006.01)
B23K 1/19 (2006.01)
C04B 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2015 PCT/US2015/015325**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2015 WO15175034**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2015 E 15793417 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 3117440**

54 Título: **Obturador de extremidad de varilla de combustible con doble junta selladora para una vaina con material cerámico**

30 Prioridad:

12.03.2014 US 201414205823

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

03.04.2019

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.0%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

**POMIRLEANU, RADU O. y
LAHODA, EDWARD J.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 707 329 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

Obturador de extremidad de varilla de combustible con doble junta selladora para una vaina con material cerámico

Antecedentes**1. Campo**

- 5 La invención se refiere a vainas de varillas de combustible en un reactor nuclear de agua compuesto por un material cerámico y, más concretamente, a la provisión de una junta selladora doble sobre uno o ambos extremos de la vaina de varilla de combustible. La técnica anterior con respecto a las vainas de varillas de combustible se pueden encontrar en los documentos WO 2013/017 621 A1 y WO 2012/174 548 A1.

2. Descripción de la técnica relacionada

- 10 En un típico reactor nuclear de agua, por ejemplo un reactor de agua a presión (PWR), un reactor de agua pesada (por ejemplo, un CANDU) o un reactor de agua en ebullición (BWR), el núcleo del reactor incluye un gran número de conjuntos combustible, cada uno de los cuales está compuesto por una pluralidad de elementos combustibles o de varillas de combustible. Los conjuntos combustible varían de tamaño y diseño dependiendo del tamaño deseado del núcleo y del tamaño de reactor. Cada una de las varillas de combustible contiene material fisil, como por ejemplo al menos un material entre dióxido de uranio (UO₂), dióxido de plutonio (PuO₂), dióxido de torio (ThO₂), nitruro de uranio (UN) y siliciuro de uranio (U.% Si₂) o mezclas de estos. Al menos una porción de las varillas de combustible puede también incluir un material absorbente de los neutrones, como por ejemplo boro o compuestos de boro, gadoliteo o compuestos de gadoliteo, erbio o compuestos de erbio y similares o mezclas de estos. El material absorbente de los neutrones puede estar presente sobre o en pastillas bajo la forma de una pila de gránulos de combustible nuclear. También se pueden utilizar formas anulares o en partículas.

- 20 Cada una de las varillas de combustible presenta una vaina que actúa como confinamiento para contener el material fisil. Las varillas de combustible están agrupadas conjuntamente en una formación organizada para disponer un flujo de neutrones en el núcleo suficiente para soportar la alta tasa de fisión nuclear y de esta manera, liberar una gran cantidad de energía en forma de calor. Un líquido refrigerante, como por ejemplo agua, es bombeado a través del núcleo del reactor para extraer el calor generado en el núcleo del reactor para la producción de trabajo útil como por ejemplo electricidad.

- 25 La vaina dispuesta sobre las varillas de combustible puede estar compuesta por zirconio (Zr) y puede incluir hasta aproximadamente un dos por ciento en peso de otros metales, como por ejemplo niobio (Nb), estaño (Sn), hierro (Fe) y cromo (Cr). Un reciente desarrollo de la técnica ha dispuesto una vaina para varillas de combustible compuesta por un material de cerámica, como por ejemplo carburo de silicio (SiC). La vaina de cada varilla de combustible presenta un obturador o una tapa situada en cada extremo. Así mismo, un dispositivo de retención, por ejemplo un resorte de metal, está dispuesto en la varilla de combustible para mantener la configuración de la pila de gránulos de combustible nuclear.

- 30 La FIG. 1 ilustra un diseño de la técnica anterior que muestra una pila de pastillas 10 de combustible, una vaina 12 a base zirconio, un dispositivo 14 de resorte de retención y unos obturadores 16 terminales. Uno de los obturadores terminales, esto es, el situado más próximo al dispositivo 14 de retención, es típicamente designado como obturador terminal superior.

- 35 Es necesario, para cerrar herméticamente los obturadores terminales de la vaina, aislar el combustible contenido en su interior del entorno del núcleo del reactor. Hay tecnologías de cierre estanco conocidas que emplean diversos materiales como por ejemplo composiciones basadas en Ti o Al - Si así como soldadura fuerte y otros procedimientos convencionales para el cierre hermético de la vaina de SiC y los obturadores terminales. Estos materiales muestran una gran resistencia mecánica y la capacidad de conseguir una estanqueidad a los gases. Sin embargo, existen inconvenientes asociados con estos materiales de estanqueidad conocidos, como por ejemplo la imposibilidad de mostrar un nivel de resistencia a la corrosión necesario para un componente expuesto a un entorno del reactor nuclear. Así mismo, algunas tecnologías de estanqueidad conocidas, como por ejemplo sinterización por descarga de plasma, no son económicamente factibles para su fabricación a gran escala.

- 40 Así, se desea en la técnica desarrollar una tecnología de estanqueidad para una vaina de varilla de combustible, en particular una vaina que contenga SiC, que muestre una o más de las siguientes características y propiedades:

- 50 - asegure la resistencia mecánica durante y después del funcionamiento normal, los episodios operativos anticipados, accidentes infrecuentes y limitación de averías;
- asegure la hermeticidad del obturador terminal con la junta de la vaina sometida a irradiación y a un entorno corrosivo específico del reactor nuclear;
- permita el proceso de unión para acomodar la vaina completamente cargada (con los pastillas de combustible y el dispositivo de retención);

- permita la presurización de la varilla de combustible con helio u otro gas de relleno térmicamente conductor a una presión típicamente de hasta 20,68 barías; y
- permita el proceso de unión para adaptarse a una producción a gran escala para aplicaciones comerciales.

5 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento para la producción de juntas selladoras de obturadores terminales de gran resistencia, herméticamente cerrados, comercialmente utilizables, resistentes a la irradiación en un entorno nuclear utilizando un vaina de material cerámico composite para obtener las pastillas de combustible.

Sumario de la invención

10 En un aspecto, según se define en la reivindicación 1, la invención proporciona un procedimiento de cierre hermético de una vaina con material cerámico para una varilla de combustible nuclear dentro de un núcleo del reactor nuclear de agua. El procedimiento incluye la provisión de la vaina que incluye una pared tubular, una cavidad formada por la pared tubular, un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto y un diámetro interno. El procedimiento incluye además la provisión de un primer obturador terminal y de un segundo obturador terminal, en el que cada uno del primero y segundo obturadores terminales comprende una superficie superior, una superficie de fondo, una superficie exterior, una longitud que se extiende entre ellas y un diámetro exterior inferior al diámetro interior de la vaina; la inserción y el cierre estanco del primer obturador terminal dentro del primer extremo abierto de la vaina; la carga de combustible nuclear y un dispositivo de retención dentro de la cavidad; la deposición de un material de soldadura fuerte sobre al menos una porción de la superficie exterior del segundo obturador terminal para formar un primer revestimiento sobre aquella; la inserción del segundo obturador terminal que presenta sobre él un primer revestimiento dentro del segundo extremo abierto de la vaina, en el que la superficie de fondo del segundo obturador está situada dentro de una porción de la cavidad y la superficie superior forma un segundo extremo cerrado de la vaina; el calentamiento de un segundo obturador terminal que presenta sobre aquél un primer revestimiento a una temperatura en o por encima de una temperatura de fusión del material de soldadura fuerte para, al menos parcialmente, cubrir el material de soldadura fuerte; el enfriamiento del segundo obturador terminal que presenta sobre él el primer revestimiento para formar una primera junta selladora entre el segundo obturador terminal y la vaina; y la deposición de un segundo revestimiento que comprenda SiC sobre la superficie superior del segundo obturador terminal y sobre al menos una porción de la vaina para formar una segunda junta selladora sobre la vaina

20 En determinadas formas de realización, el procedimiento incluye además la formación de una abertura en el segundo obturador terminal para hacer posible el paso de gas hacia el interior de la cavidad. La abertura puede llenarse con el material de soldadura fuerte.

25 Así mismo, el primer obturador terminal puede ser cerrado herméticamente en el primer extremo abierto de la vaina utilizando el procedimiento descrito anteriormente para el cierre hermético del segundo obturador terminal en el segundo extremo abierto de la vaina.

35 En otro aspecto, según se define en la reivindicación 5, la invención proporciona una vaina tubular de cerámica composite para un reactor nuclear de agua. La vaina está compuesta por un material que incluye carburo de silicio, que presenta un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto, una cavidad interna, un diámetro interno y un combustible dispuesto dentro de la cavidad interna. El material composite incluye un primer obturador terminal y un segundo obturador terminal, una composición de soldadura fuerte aplicada a al menos una porción del primer obturador terminal y del segundo obturador terminal, un primer revestimiento sobre cada uno de los primero y segundo obturadores terminales formado por aplicación de calor a la composición de soldadura fuerte, una composición con SiC aplicada a una superficie superior de cada uno de los primero y segundo obturadores terminales insertada en los primero y segundo extremos abiertos, de manera que la superficie superior de cada uno de los primero y segundo obturadores terminales forme un primero y un segundo extremos abiertos, respectivamente, y para al menos una porción de la vaina, y un segundo revestimiento formado por la composición con SiC sobre la superficie superior de cada uno de los primero y segundo obturadores terminales y de la al menos una porción de la vaina.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de la invención se puede obtener a partir de la descripción subsecuente de las formas de realización preferentes tomadas en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

50 La FIG. 1 es una vista en sección longitudinal de tamaño ampliado de una varilla de combustible de aleación de zirconio de la técnica anterior que contiene pastillas de combustible, el resorte de retención, y unas tapas terminales;

55 la FIG. 2 ilustra una vista en sección transversal de una vaina de varilla de combustible cerrada herméticamente de material cerámico composite que presenta un revestimiento de soldadura fuerte y SiC aplicado a unas CVI / CVD sobre el obturador terminal, de acuerdo con determinadas formas de realización de la invención;

la FIG. 3 ilustra una vista en sección transversal de una vaina de varilla de combustible cerrada herméticamente de material cerámico composite que presenta una soldadura fuerte en la cara terminal de la vaina de la varilla de combustible de material cerámico composite y un revestimiento SiC aplicado a unas CVI / CVD sobre el obturador terminal, de acuerdo con determinadas formas de realización de la invención;

5 la FIG. 4 ilustra un procedimiento con un diagrama de bloques esquemático para aplicar una junta selladora terminal de doble vaina, de acuerdo con determinadas formas de realización de la invención.

Descripción de la forma de realización preferente

La presente invención se refiere, en general, a una vaina de varilla de combustible y a un procedimiento para el cierre estanco de los extremos de la vaina. La vaina de varilla de combustible presenta típicamente la forma de un tubo alargado que incluye una cavidad formada en su interior y dos extremos abiertos opuestos. La cavidad incorpora unas pastillas de combustible contenidas en su interior y típicamente un dispositivo de retención, como por ejemplo un resorte para mantener la configuración, por ejemplo, una pila de las pastillas de combustible. La vaina de varilla de combustible está situada en el núcleo de un reactor nuclear de agua. Una tapa u obturador terminal está situada en cada extremo abierto de la vaina para conseguir una junta selladora e impedir que el líquido refrigerante del reactor que circular por dentro del núcleo entre en la vaina de la varilla de combustible.

La invención incluye una junta selladora dual o doble para cerrar o parcialmente cerrar los extremos, por ejemplo las tapas terminales de la vaina. La junta selladora doble puede disponerse en un procedimiento de dos etapas. Una etapa emplea una tecnología de soldadura fuerte convencional para fijar y cerrar herméticamente un obturador terminal sobre una superficie interior y / o una cara terminal de la vaina de varilla de combustible. La tecnología de soldadura fuerte conocida incluye el uso de un compuesto de estanqueidad de aluminio - silicio (Al - Si). La otra etapa emplea una tecnología convencional de deposición de vapores químicos (CVD) o de infiltración de vapores químicos (CVI) para obtener una barrera de estanqueidad para conectar el obturador terminal con la vaina. Según se utiliza en la presente memoria y en las reivindicaciones, la CVI se refiere al material de depósito de una matriz cerámica en los poros que utiliza unos precursores gaseosos de una matriz mecánica y la CVD se refiere a un material de deposición de una matriz cerámica sobre las superficies utilizando precursores gaseosos de la matriz cerámica.

La vaina está compuesta por un material cerámico. Debido a la naturaleza quebradiza conocida asociada con el material cerámico, el material de la vaina típicamente es una combinación de material cerámico y de otro material. En la técnica es conocido el sistema de construir una vaina de varilla de combustible de carburo de silicio (SiC).

Ejemplos no limitativos de materiales de vaina apropiados incluyen composites reforzados con fibras de carburo de silicio (SiC). Estos materiales composite pueden incorporar dos o tres capas. El material composite de dos capas incluye una vaina de SiC estequiométrica de fase beta o alfa de gran pureza al menos parcialmente cubierta por una capa de fibras SiC estequiométricas de fase beta continuas infiltradas con el SiC de fase beta. El material composite de tres capas incluye una capa protectora exterior adicional de SiC de fase beta finamente granulada. En determinados casos, es típico el procedimiento de pretensar el componente de fibras que forma las fibras en matas y la superposición enrollada inversa de las matas, donde las fibras son revestidas con menos de un micrómetro de carbono o grafito o nitruro de boro para obtener una interconexión débil que permita el deslizamiento de las fibras. Este procedimiento puede estar dirigido a mejorar la resistencia a la propagación de grietas. La Publicación de Patente estadounidense No. 2006/0039524 A1 de Feinroth et al., describe dichos tubos de combustible nuclear y una dosificación de matriz que utiliza procedimientos conocidos de infiltración de vapores químicos (CVI) o impregnación y pirólisis poliméricas (PIP).

La invención es aplicable a una amplia variedad de composiciones y diseños de vainas conocidas en la técnica, como por ejemplo, pero no limitadas a monolíticas, dúplex con SiC monolíticos sobre el interior de un material composite fabricado con fibras de SiC y una matriz de SiC sobre el exterior.

En determinadas formas de realización de la invención, los obturadores terminales están constituidos por la misma composición material que la vaina. Cada uno de los dos obturadores terminales puede ser insertado dentro de los extremos opuestos de la vaina al mismo tiempo o un obturador terminal puede ser insertado antes que el otro. En un procedimiento de carga de combustible convencional, un obturador terminal es insertado y fijado a un extremo abierto de la vaina, por ejemplo para cerrar herméticamente el primer extremo. Las pastillas de combustible y la pila retenida son entonces cargados dentro de la vaina, y después de la carga el otro obturador terminal es insertado y fijado al otro extremo abierto de la vaina. Como alternativa, las pastillas de combustible y la pila retenida pueden ser cargadas dentro de la vaina y, a continuación, ambos obturadores terminales pueden ser insertados y fijados a los extremos abiertos de la vaina.

De acuerdo con la invención, cada uno de los obturadores terminales está unido y cerrado herméticamente en un extremo abierto de la vaina utilizando un material de unión, por ejemplo una soldadura fuerte. Como se describe en la presente memoria, esta etapa puede llevarse a cabo de acuerdo con composiciones, equipos y procesos convencionales conocidos en la técnica. El material de unión utilizado es seleccionado de manera que presente una suficiente resistencia y una capacidad de temperatura elevada para asegurar la integridad de la unión durante el

procedimiento de CVI o CVD que sea dirigido en la segunda etapa. En formas de realización alternativas, el material de unión puede o puede no ser capaz de mostrar la suficiente resistencia a la corrosión en un entorno de material nuclear. El material de unión puede ser depositado sobre al menos una porción de la superficie externa del obturador terminal para formar un revestimiento sobre aquella. La estructura del obturador terminal típicamente presenta una superficie superior, una superficie de fondo y una longitud que se extiende entre ellas donde la longitud presenta un diámetro exterior. El diámetro exterior puede ser el mismo desde la superficie superior hasta la superficie de fondo o el diámetro exterior puede variar a lo largo de la longitud del obturador terminal. La superficie de fondo está típicamente situada dentro de la cavidad de la vaina y la superficie superior está situada en la cara terminal de la vaina. Por ejemplo, la superficie superior del obturador terminal puede estar sustancialmente al mismo nivel que la cara terminal de la vaina o puede sobresalir más allá de la cara terminal de la vaina. El material de unión puede también ser depositado sobre la superficie interior de la vaina, por ejemplo una pared de la cavidad y, de modo preferente, en un emplazamiento en el que el obturador terminal sea insertado dentro de la vaina. Después de la deposición el terminal de unión es térmicamente curado para formar el revestimiento. Según se utiliza en la presente memoria y en las reivindicaciones, el término "curado" en cuanto se refiera al material de unión se refiere al procedimiento de unión del material con la vaina de manera que permita una capacidad tanto de resistencia como de estanqueidad. El tratamiento térmico en el que el material de unión es curado se produce por encima de la temperatura normalmente requerida para un procedimiento de CVI o CVD que conlleve la deposición de SiC (aproximadamente 1000° C). Un ejemplo no limitativo de material de unión es Al - Si con un contenido en Si superior en aproximadamente un 60%. También pueden ser utilizados otros componentes como por ejemplo hojas metálicas de titanio o a base de Ti.

Durante esta primera etapa de estanqueidad, la varilla puede ser presurizada con un gas inerte, por ejemplo helio (He), por ejemplo hasta 20,68 barías, como en diseños convencionales u otro gas de relleno, por ejemplo, un gas que presente una conductividad térmica similar o mejorada, por ejemplo hidrógeno. Como alternativa, un agujero o abertura central puede estar formada en un obturador terminal para permitir la entrada de gas a su través para presurizar la varilla. A continuación, el agujero o abertura puede ser, al menos parcialmente, llenada y cerrada herméticamente con el material de unión según lo antes descrito. Los diseños convencionales de varilla de combustible y obturador terminal incluyen un agujero central formado en su interior, sin embargo, en determinadas formas de realización, en las que el cierre estanco con una soldadura fuerte a alta temperatura se lleva a cabo en una cámara presurizada, no se necesita un agujero o abertura central en el obturador terminal.

Después de esta primera etapa de sellado, una segunda junta selladora es aplicada empleando la CVI o CVD para depositar el SiC sobre la superficie de la vaina de la varilla de combustible incluyendo la superficie, por ejemplo, la superficie superior, de los obturadores terminales. Es ventajoso llevar a cabo esta etapa sobre una pluralidad de varillas de manera simultánea dado que los tiempos del procedimiento asociados con la CVI y CVD son considerables. En determinadas formas de realización, la temperatura en el reactor de la CVI o CVD es controlada de manera que la deposición se produzca de modo preferente en la parte superior de la vaina y sobre el obturador terminal superior. Como se indicó anteriormente en la presente memoria, el obturador terminal que está situado en más íntima proximidad con la retención de la pila es típicamente designado como obturador terminal "superior".

La FIG. 2 ilustra una porción de un tubo 22 de vaina de varilla de combustible de doble junta selladora de acuerdo con determinadas formas de realización de la invención, en la que una junta 30 (esto es, el material de unión que cierra herméticamente la tapa terminal a la vaina) está situada en la superficie interior del tubo de la vaina. Como se muestra en la FIG. 2, una pila de pastillas 20 de combustible y un dispositivo 24 de retención están contenidos dentro de la vaina 22. Las pastillas 20 de combustible son mantenidas en posición por el dispositivo 24 de retención. Un obturador 26 terminal superior está insertado en el extremo de la vaina 22 y es fijado mediante una junta selladora doble. La primera junta selladora incluye un material 30 de soldadura fuerte depositado entre la superficie exterior del obturador 26 terminal superior y la superficie interior de la vaina 22. El diámetro 32 exterior del obturador 26 terminal superior es inferior al diámetro 34 interior de la vaina 22. De esta manera existe un huelgo o espacio entre el diámetro 32 exterior y el diámetro 34 interior y este espacio, al menos parcialmente, incluye el material 30 de soldadura fuerte. En determinadas formas de realización, el material 30 de soldadura fuerte se selecciona entre el grupo consistente en Si, Al, C, Ti, Zr, Ca, Na, Mg, K, Li, Ce, Fe, Cr, Ni, Zn, Pb, y combinaciones de estos. En determinadas formas de realización el material de soldadura fuerte se presenta en forma precipitada.

La FIG. 2 muestra también un agujero 40 de llenado conformado en posición central en la tapa 26 terminal superior como medio de bombear un gas inerte dentro de la vaina 22. Después de obtener el gas inerte, el material 30 de soldadura fuerte es insertado dentro del agujero 40 de llenado para cerrar herméticamente esta abertura. En la invención, el primer agujero 40 es opcional.

Así mismo, la FIG. 2 muestra un revestimiento 42 de material cerámico depositado sobre la superficie superior del obturador 26 terminal superior y al menos una porción de la vaina 22. En determinadas formas de realización, el revestimiento 42 está compuesto por SiC y puede ser aplicado mediante un procedimiento convencional CVI o CVD. El revestimiento 42 resulta eficaz para completamente cerrar o encapsular el extremo de la vaina 22 y la entera superficie superior externa de los obturadores 26 terminales.

De acuerdo con la invención, el material 30 de soldadura fuerte y el revestimiento 42 proporcionan una junta selladora hermética de doble estanqueidad libre de fugas para las pastillas de combustible contenidas dentro de la vaina 22.

5 La FIG. 3 ilustra un tubo 22 de la vaina de varilla de combustible de doble junta selladora de acuerdo con determinadas formas de realización de la invención en el que una junta selladora está situada fundamentalmente en la cara terminal de la vaina 22. La FIG. 3 incluye una vaina 22 tubular de material cerámico composite, la pila de pastillas 20 de combustible, el dispositivo 24 de retención, el obturador 26 terminal superior, el agujero 40 de llenado, el revestimiento 42 con material cerámico y el material 30 de soldadura fuerte, como se muestra en la FIG. 2. En la FIG. 2 el material 30 de soldadura fuerte es depositado en la cara terminal, por ejemplo, el extremo 36 cuadrado de la vaina 22. Esto es, el material 30 de soldadura fuerte está entre un extremo 36 cuadrado del extremo de la vaina 22 y de la tapa 26 terminal superior.

10 En determinadas formas de realización, la deposición del material 30 de soldadura fuerte, como se muestra en las FIGs. 2 y 3 puede combinarse para disponer un obturador 26 terminal superior de doble estanqueidad que incluya el material 30 de soldadura fuerte depositado en la cara terminal de la vaina, por ejemplo, el extremo 36 cuadrado, y el material 30 de soldadura fuerte depositado sobre la porción interior de la vaina 22, donde el diámetro 32 exterior del obturador 26 terminal superior es inferior al diámetro 34 interior de la vaina 22 para formar un huelgo o espacio. Así mismo, en esta forma de realización, el material 30 de soldadura fuerte se muestra llenando el agujero 40 de llenado

20 Con referencia ahora a la FIG. 4, que muestra el procedimiento de la presente invención en un diagrama de flujo de ventanas, donde se suministra una vaina tubular de material cerámico composite que presenta ninguno o un obturador terminal instalado con el material de estanqueidad. La vaina 50 de material cerámico composite está llena de combustible nuclear y con un resorte de retención u otro dispositivo. Los uno o dos de los obturadores terminales sobre los extremos abiertos de la vaina de material cerámico composite son entonces cerrados herméticamente utilizando un material de soldadura fuerte de manera que el material de soldadura fuerte sea aplicado en una interconexión interior al material cerámico composite 54 y / o en un extremo exterior de la interconexión del material cerámico composite con el obturador 56 terminal. El obturador terminal y la vaina de material cerámico composite es calentado 58 para elevar la temperatura hasta 2500° C, de modo preferente de 1000° C hasta 2500° C, a lo largo de un periodo aproximadamente de 10 minutos a 120 minutos, para obtener una varilla 60 de combustible herméticamente cerrada. Finalmente, una capa de estanqueidad de material cerámico que utilice CVI y / o CVD 62 es aplicada al obturador terminal y al menos una porción de la vaina de material cerámico composite para obtener una junta terminal de doble junta selladora sobre una varilla 64 de combustible herméticamente cerrada.

Ejemplos

Ejemplo 1

35 Se suministró al fabricante de combustible un tubo de vaina de material composite de SiC de 3,65 m. Un extremo de la vaina fue cerrada herméticamente utilizando un obturador de SiC que fue revestido con un compuesto de soldadura fuerte con una aleación de un 60% de Si / un 40% A1 que fue empujado sobre el extremo del tubo de la vaina mientras el extremo fue calentado hasta 1300° C a 100° C / min y retenido durante 30 segundos y, a continuación, se dejó enfriar a temperatura ambiente. El tubo de material cerámico fue entonces llenado con pastillas de material cerámico de uranio y con un resorte de retención, y presurizado con gas He hasta 20,06 MPa. El obturador terminal final fue aplicado utilizando un obturador de SiC que fue revestido con un compuesto de soldadura fuerte con una aleación de un 60% de Si / un 40% de A1 que fue empujado sobre el extremo del tubo de la vaina mientras el extremo fue calentado a 1300° C a 100° C / min y mantenido durante 30 segundos y, a continuación, se dejó enfriar a temperatura ambiente. Un revestimiento de 10 micrómetros de SiC fue a continuación aplicado a la entera varilla utilizando la CVD a 1000° C para obtener la resistencia química.

Ejemplo 2

50 Se suministró al fabricante del combustible un tubo de vaina de material composite de SiC de 3,6 m de longitud con un extremo ya cerrado herméticamente. El tubo de la vaina fue llenado con pastillas de material cerámico de uranio y con un resorte de retención. Y un obturador terminal con un agujero de llenado formado en posición central en su interior fue aplicado al extremo abierto del tubo de la vaina utilizando un obturador de SiC que fue revestido con un compuesto de soldadura fuerte con una aleación de un 60% de Si / 40% A1 que fue empujado sobre el extremo del tubo de la vaina mientras el extremo fue calentado hasta 1300° C a 100° C / min y mantenido durante 30 segundos y a continuación se dejó enfriar a temperatura ambiente. El tubo fue primeramente evacuado y a continuación presurizado con gas He hasta 20,06 MPa. Un compuesto de soldadura fuerte de aleación de un 60% Si / un 40% A1 fue insertado dentro del agujero de llenado y el extremo calentado hasta 1300° C a 100° C / min y mantenido durante 30 segundos dejándose enfriar a temperatura ambiente manteniendo al tiempo una presión entre el obturador y la varilla. Un revestimiento de 10 micrómetros de SiC fue entonces aplicado a la entera varilla utilizando la CVD a 1000° C para obtener la resistencia química.

En general, en la provisión de un obturador terminal de doble estanqueidad en una vaina de varilla de combustible, la invención tiene en cuenta las siguientes informaciones:

- 5 • La temperatura de la vaina de material cerámico composite en las inmediaciones de la unión del obturador terminal superior (segundo) (donde está situado el dispositivo de retención) probablemente se cierra a o la misma temperatura del agua del líquido refrigerante (si el agua del líquido refrigerante se presenta bajo la forma de un líquido o un vapor). Por tanto es suficiente la tecnología de estanqueidad capaz de retener la estanqueidad a los gases y la resistencia mecánica en el intervalo de 300° C y 400° C. Sin embargo, dicha temperatura puede no ser suficiente para conseguir la necesaria resistencia a la corrosión.
- 10 • Para accidentes en base a diseños ulteriores, por ejemplo el apagón de la estación, donde la vaina y sus juntas de obturador terminales están expuestas a un vapor de alta temperatura durante extensos periodos de tiempo, son solo las porciones de SIC de la varilla de combustible las que se espera que proporcionen la protección durante periodos de tiempo prolongados

15 Aunque se han descrito con detalle formas de realización específicas de la invención, debe apreciarse por los expertos en la materia que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a aquellos detalles a la luz de las enseñanzas globales de la divulgación. Por consiguiente, las formas de realización concretas divulgadas pretenden únicamente ser ilustrativas y no limitativas del alcance de la invención la cual se ofrece en su total amplitud en las reivindicaciones adjuntas.

20

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento de cierre estanco de una vaina (22) con material cerámico para una varilla de combustible nuclear en un núcleo de reactor nuclear de agua, que comprende:

la provisión de la vaina (22) que comprende:

- 5 una pared tubular;
- una cavidad formada por la pared tubular;
- un primer extremo abierto;
- un segundo extremo abierto; y
- un diámetro (34) interno

10 la provisión de un primer obturador (26) terminal y de un segundo obturador (26) terminal;
 en el que cada uno de los primero y segundo obturadores (26) terminales comprende una superficie superior, una superficie de fondo, una superficie exterior, una longitud que se extiende entre ellas, y un diámetro (32) exterior inferior al diámetro (34) interior de la vaina (22),

15 la inserción y el cierre estanco del primer obturador (26) terminal dentro del primer extremo abierto de la vaina;

la carga de combustible (20) nuclear y de un dispositivo (24) de retención dentro de la cavidad;

la deposición de un material (30) de soldadura fuerte sobre al menos una porción de la superficie exterior del segundo obturador (26) terminal para formar sobre él un primer revestimiento;

20 la inserción del segundo obturador (26) terminal que presenta sobre él el primer revestimiento dentro del segundo extremo abierto de la vaina (22),

en el que la superficie de fondo del segundo obturador (26) terminal está situado dentro de una porción de la cavidad y la superficie superior forma un segundo extremo cerrado de la vaina (22);

25 el calentamiento del segundo obturador (26) terminal que presenta sobre aquél el primer revestimiento a una temperatura en o por encima de una temperatura de fusión del material (30) de soldadura fuerte para, al menos parcialmente, fundir el material (30) de material de soldadura fuerte;

el enfriamiento del segundo obturador (26) terminal que presenta sobre él un primer revestimiento para formar una primera junta selladora entre el segundo obturador terminal y la vaina (22); y

30 la deposición de un segundo revestimiento (42) que comprende SiC sobre la superficie superior del segundo obturador (26) terminal y sobre al menos una porción de la vaina (22) para formar una segunda junta selladora sobre la vaina (22).

2.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además la formación de una abertura (40) en el segundo obturador (16) terminal para permitir el paso de gas dentro de la cavidad.

3.- El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además el llenado de la abertura (40) con el material (30) de soldadura fuerte.

35 4.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el cierre hermético del primer obturador (26) terminal comprende:

la deposición de un material (30) de material de soldadura fuerte sobre al menos una porción de la superficie exterior del primer obturador (26) terminal para formar un primer revestimiento sobre aquél;

40 la inserción del primer obturador (26) terminal que presenta el primer revestimiento dentro del primer extremo abierto de la vaina (22),

en el que la superficie de fondo del primer obturador terminal está situada dentro de una porción de la cavidad y la superficie superior forma un segundo extremo cerrado de la vaina (22);

45 el calentamiento del primer obturador (26) terminal que presenta el primer revestimiento a una temperatura en o por encima de una temperatura de fusión del material (30) de soldadura fuerte para al menos parcialmente fundir el material (30) de soldadura fuerte;

el enfriamiento del primer obturador (26) terminal que presenta el primer revestimiento para formar una primera junta selladora entre el primer obturador (26) terminal y la vaina (22); y

5 la deposición de un segundo revestimiento (42) que comprende SiC sobre la superficie superior del primer obturador (16) terminal y sobre al menos una porción de la vaina (22) para formar una segunda junta selladora sobre la vaina (22)

5.- Una vaina (22) tubular de material cerámico composite para un reactor nuclear de agua, estando la vaina (22) compuesta por un material que incluye carburo de silicio que presenta un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto, una cavidad externa, un diámetro (34) interno y combustible (20) nuclear dispuesto dentro de la cavidad interna, que comprende:

10 un primer obturador (26) terminal y un segundo obturador (26) terminal cada uno de los cuales comprende:

una superficie superior;

una superficie de fondo;

una superficie exterior;

una longitud que se extiende entre las superficies superior y de fondo; y

15 un diámetro (32) exterior inferior al diámetro (34) interior de la vaina (22);

un material (30) de soldadura fuerte situado entre el diámetro (32) exterior y el diámetro (34) interior de la vaina (22);

20 un revestimiento (42) con SiC, en el que la superficie superior de cada uno de los primero y segundo obturadores (26) terminales y al menos una porción de la vaina (22) presenta el revestimiento (42) con SiC aplicado a aquellos; y

en la que el primero y el segundo obturadores (26) terminales están insertados en los primero y segundo extremos abiertos, respectivamente, de manera que la superficie superior de cada uno de los primero y segundo obturadores (26) terminales forma, respectivamente, un primero y un segundo extremos cerrados.

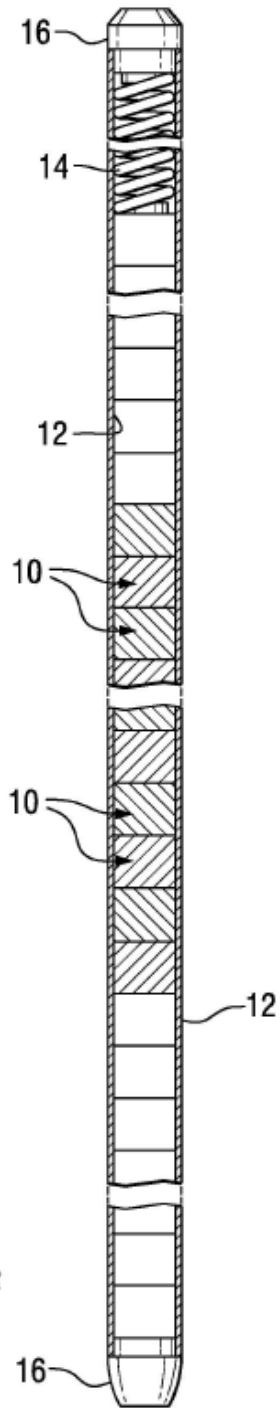


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

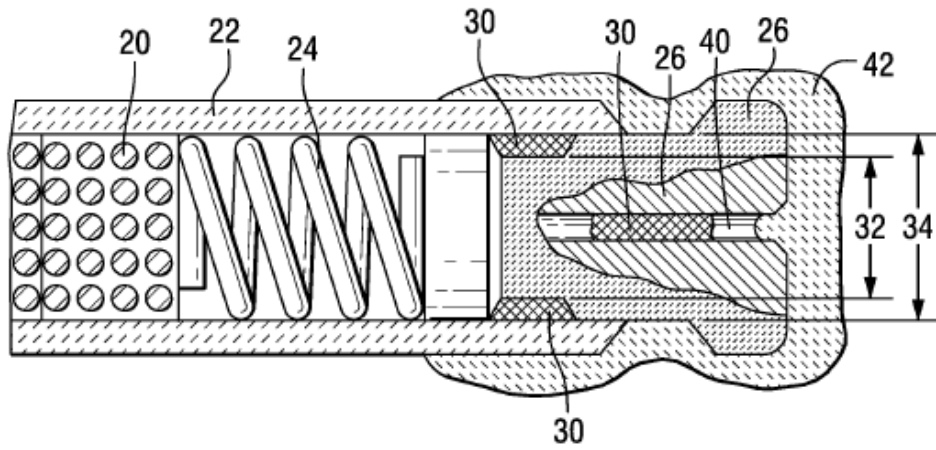


FIG. 2

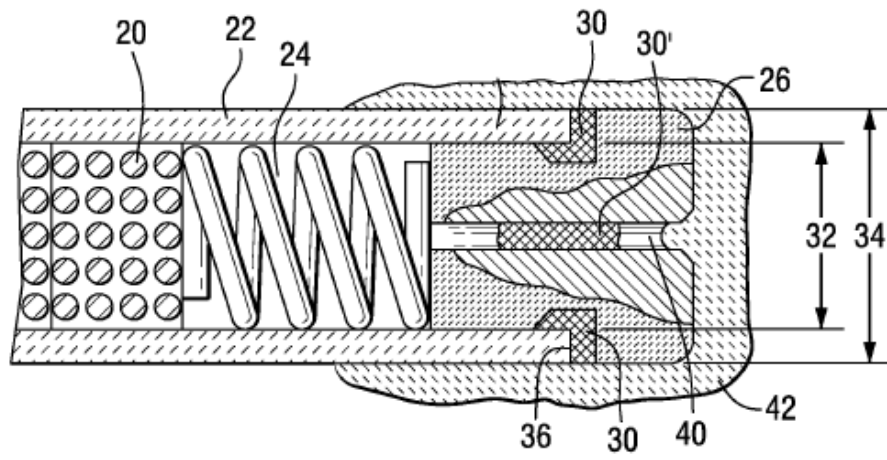


FIG. 3

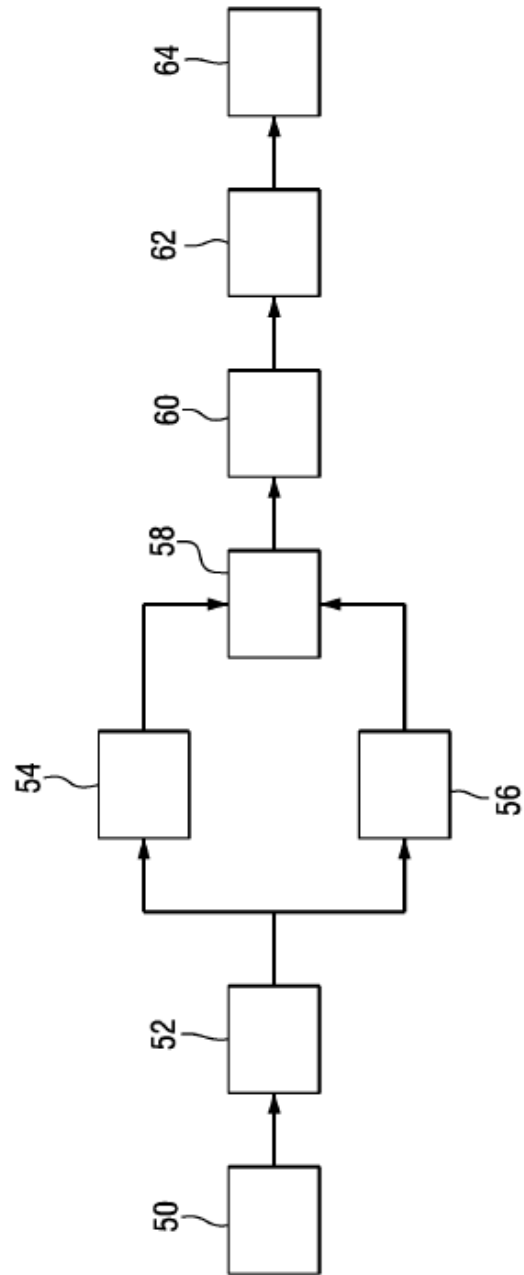


FIG. 4