

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 894 683**

51 Int. Cl.:

G21C 3/32 (2006.01)
G21C 3/334 (2006.01)
G21C 17/022 (2006.01)
G21C 19/307 (2006.01)
G21F 9/00 (2006.01)
G21C 3/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2018 E 18184161 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.09.2021 EP 3438990**

54 Título: **Método de reparación de un conjunto de combustible, método de producción de un conjunto de combustible y conjunto de combustible**

30 Prioridad:

31.07.2017 JP 2017148073
07.06.2018 JP 2018109357

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.02.2022

73 Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA (50.0%)
1-1, Shibaura 1-chome
Minato-ku, Tokyo 105-8001, JP y
TOSHIBA ENERGY SYSTEMS & SOLUTIONS
CORPORATION (50.0%)

72 Inventor/es:

HARA, TAKAHIRO;
SHIBASAKI, OSAMU;
OKAMURA, MASATO y
HORAYAMA, YUSUKE

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 894 683 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

Método de reparación de un conjunto de combustible, método de producción de un conjunto de combustible y conjunto de combustible

Campo

Las realizaciones que se describen en el presente documento se refieren a un método de reparación de un conjunto de combustible.

Antecedentes

Uno de los problemas importantes inherentes a las centrales nucleares que tienen uno o más reactores nucleares del tipo de agua en ebullición es cómo reducir los niveles de exposición a la radiación de los operadores de los reactores nucleares, particularmente en el momento de las inspecciones periódicas.

En las centrales nucleares, se producen sustancias radiactivas a medida que se irradian neutrones sobre elementos tales como el cobalto y el níquel en los núcleos de los reactores, de entre todos los metales que se emplean para formar la central. Las sustancias radiactivas se trasladan al agua de refrigeración que circula por la central nuclear y una parte de las sustancias radiactivas se capta en forma de óxidos en las superficies interiores de las tuberías por las que fluye el agua de refrigeración que contiene sustancias radiactivas. Las sustancias radiactivas captadas son las fuentes principales de exposición a la radiación.

Se han propuesto técnicas de control de la calidad del agua, tales como el "control de la relación Ni/Fe" y el "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto", para reducir los niveles de exposición a la radiación en centrales nucleares.

Con "control de la relación Ni/Fe", el agua de alimentación introducida en el interior del reactor nuclear se controla en cuanto a la concentración de hierro del agua de alimentación para lograr un estado de exceso de hierro con respecto al níquel en el agua del reactor introducida en el interior del reactor nuclear. En un estado de exceso de hierro, se forman ferrita de níquel (NiFe_2O_4), que es un óxido compuesto de níquel y hierro, y ferrita de cobalto, que es un óxido compuesto de cobalto y hierro, en las superficies de las barras de combustible que entran en contacto con el agua del reactor. Estos óxidos compuestos se convierten parcialmente en sustancias radiactivas a medida que se irradian neutrones sobre ellos. Los óxidos compuestos citados anteriormente representan una solubilidad baja. Sin embargo, surgen casos en los que la cantidad de elución de dichos óxidos compuestos aumenta y la cantidad de elución de sustancias radiactivas también aumenta cuando se alteran las especificaciones del combustible nuclear para cambiar, a su vez, el entorno que rodea las superficies de las barras de combustible.

Para hacer frente a dichas situaciones, se ha propuesto un "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto" para reemplazar el "control de Ni/Fe". Con un "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto", se emplea una técnica de ajuste de la concentración para lograr un estado de exceso de níquel con respecto al hierro en el agua del reactor. La operación de ajuste de la concentración se ejecuta normalmente eliminando los componentes metálicos o inyectando agua de acuerdo con las concentraciones medidas de los componentes metálicos. Más específicamente, la operación de ajuste de la concentración se ejecuta para dar lugar a un estado en el que la concentración de hierro en el agua de alimentación no es superior a 0,1 ppb y la concentración de níquel en el agua del reactor es superior a 0,2 ppb. Después, como resultado, se produce una fase densa de ferrita de níquel (NiFe_2O_4) en las superficies de las tuberías como película de recubrimiento de protección, de manera que, por ejemplo, se suprime la aparición del fenómeno de adhesión de sustancias radiactivas a las superficies de las barras de combustible que entran en contacto con el agua del reactor.

A partir del documento JP 2006 153607 se conoce el uso de TiO_2 como aditivo para el agua de refrigeración del reactor. El contenido de níquel en el agua de refrigeración no se aborda en el presente documento.

Sin embargo, con un "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto", puede haber casos en los que sea difícil reducir satisfactoriamente la concentración de radiactividad en el agua del reactor. Más específicamente, con un "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto", los óxidos metálicos, tales como el óxido de níquel (NiO) y el óxido de cobalto (CoO), que representan una solubilidad alta con respecto al agua, se adhieren a las superficies del conjunto de combustible (incluyendo las barras de combustible) que entra en contacto con el agua del reactor, además de la fase de ferrita de níquel (NiFe_2O_4). Por esta razón, puede haber casos en los que los óxidos metálicos, tales como el óxido de níquel y el óxido de cobalto, lleguen a contener sustancias radiactivas y, posteriormente, se disuelvan en el agua del reactor. Después, como resultado, pueden darse casos en los que la concentración de radiactividad en el agua del reactor aumente.

Por lo tanto, un problema a resolver por la presente invención es proporcionar un método de reparación de un conjunto de combustible.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una ilustración esquemática de una parte principal de una central nuclear de acuerdo con una realización.

La FIG. 2 es una vista esquemática en sección transversal de una parte principal de un conjunto de combustible que ha de cargarse en un núcleo del reactor en una central nuclear de acuerdo con la realización.

La FIG. 3 es una ilustración esquemática del funcionamiento de un conjunto de combustible para el control de la calidad del agua de una central nuclear de acuerdo con la realización, un método de reparación de un conjunto de combustible de este tipo y un método de producción de un conjunto de combustible de este tipo.

La FIG. 4 es también una ilustración esquemática del funcionamiento de un conjunto de combustible para el control de la calidad del agua de una central nuclear de acuerdo con la realización, un método de reparación de un conjunto de combustible de este tipo y un método de producción de un conjunto de combustible de este tipo.

Descripción detallada

En una realización, un método de reparación de un conjunto de combustible en un reactor nuclear, que comprende: aplicar un compuesto que contiene al menos una sustancia seleccionada del grupo que consiste en TiO_2 , TiCl_4 , $\text{Ti}(\text{OH})_4$, TiF_4 , TiCl_3 , TiN , TiC , $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$, Ti_3O_5 , $\text{Ti}(\text{NO}_3)_4$, Al_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, AlCl_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, WO_2 , WO_3 , WC_{16} , WF_6 , $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2WO_4 y H_4WO_5 a una superficie de una barra de combustible del conjunto de combustible.

(A) Configuración global de una central nuclear

Una parte principal de una central nuclear de acuerdo con una realización aplicable se describirá a continuación haciendo referencia a la FIG. 1.

Como se ilustra en la FIG. 1, la central nuclear 1 incluye un reactor nuclear 10, un sistema de vapor principal 20, un sistema 30 de agua de alimentación de condensado, un sistema de eliminación 40 de calor residual y un sistema de limpieza 50 del agua de refrigeración. Los componentes de la central nuclear 1 descritos anteriormente se forman usando materiales metálicos tales como el acero inoxidable y la aleación a base de Ni. Los componentes que forman la central nuclear 1 se describirán secuencialmente en detalle a continuación.

El reactor nuclear 10 incluye una vasija de presión 11, y un núcleo del reactor 12 y el núcleo del reactor 12 está contenido en la vasija de presión 11. En la realización, el reactor nuclear 10 es un reactor nuclear de tipo agua en ebullición y el agua (agua del reactor) introducida en el interior de la vasija de presión 11 se calienta por el calor generado en el núcleo del reactor 12 para convertirse en vapor.

El sistema de vapor principal 20 incluye la tubería H20 del sistema de vapor principal y se dispone de manera que el vapor producido en el reactor nuclear 10 se suministra a la turbina de vapor 21 como medio de trabajo a través de la tubería H20 del sistema de vapor principal. En la realización, la turbina de vapor 21 aplicable normalmente incluye una turbina de presión alta 21a y una turbina de presión baja 21b y el vapor producido trabaja primero en la turbina de presión alta 21a y posteriormente trabaja en la turbina de presión baja 21b. A medida que se accionan la turbina de presión alta 21a y la turbina de presión baja 21b, se acciona el generador (no ilustrado) para generar electricidad. El vapor descargado por la turbina de presión baja 21b se condensa y se licua en un condensador 31.

El sistema 30 de agua de alimentación de condensado incluye la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado y el agua (condensado) producida como resultado de la condensación en el condensador 31 y se suministra al reactor nuclear 10 a través de la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado. Más específicamente, en el sistema 30 de agua de alimentación de condensado, las impurezas contenidas en el agua producida como resultado de la condensación en el condensador 31 se eliminan secuencialmente mediante un filtro de condensado 32 y un desalador de condensado 33. Después, el agua (agua de alimentación) se calienta secuencialmente mediante un calentador 34 de agua de alimentación de presión baja y un calentador 35 de agua de alimentación de presión alta y posteriormente se suministra al reactor nuclear 10. En el calentador 34 de agua de alimentación de presión baja, el vapor descargado de la turbina de presión alta 21a se suministra normalmente como medio de fuente de calor a través de la tubería H21b y el agua de drenaje producida por intercambio de calor fluye hacia la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado a través de una tubería de drenaje H34. En el calentador 35 de agua de alimentación de presión alta, por otro lado, el vapor extraído de la turbina de presión alta 21a se suministra normalmente como medio de fuente de calor a través de la tubería H21 y el agua de drenaje producida por intercambio de calor fluye hacia la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado a través de una tubería de drenaje H35.

El sistema de eliminación 40 de calor residual incluye la tubería H40 del sistema de eliminación de calor residual, y se disponen aquí una bomba 41 y un intercambiador de calor 42. El sistema de eliminación 40 de calor residual se instala con el fin de eliminar el calor generado en el núcleo del reactor 12 del reactor nuclear 10 después de una parada del reactor nuclear 10. En el sistema de eliminación 40 de calor residual, el agua introducida desde el reactor nuclear 10 en la tubería H40 del sistema de eliminación de calor residual es impulsada por la bomba 41 y después alimentada al intercambiador de calor 42. Después, el agua alimentada al intercambiador de calor 42 por la bomba

se enfría en el intercambiador de calor 42 y posteriormente se devuelve al reactor nuclear 10.

El sistema de limpieza 50 del agua de refrigeración incluye la tubería H50 del sistema de limpieza del agua de refrigeración, y allí se proporcionan un intercambiador de calor 51, una bomba 52 y un eliminador 53 (filtro-desalador). La tubería H50 del sistema de limpieza del agua de refrigeración se conecta en uno de sus extremos opuestos a la tubería H40 del sistema de eliminación de calor residual en una posición de la tubería H40 ubicada en el lado corriente arriba con respecto a la bomba 41. Adicionalmente, la tubería H50 del sistema de limpieza del agua de refrigeración se conecta en el otro extremo opuesto de la misma a la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado en una posición de la tubería H30 ubicada en el lado corriente abajo con respecto al calentador 35 de agua de alimentación de presión alta. En el sistema de limpieza 50 del agua de refrigeración, el agua alimentada en la tubería H50 del sistema de limpieza del agua de refrigeración es enfriada por el intercambiador de calor 51. Después, el agua enfriada es impulsada por la bomba 52 y se alimenta al eliminador 53 y las impurezas contenidas en el agua enfriada son eliminadas por el eliminador 53. Posteriormente, la temperatura del agua se eleva mediante un intercambiador de calor (no ilustrado) y el agua después se devuelve al reactor nuclear 10 como agua de refrigeración.

(B) Composición del conjunto de combustible 100

Ahora, una parte principal de un conjunto de combustible 100 que ha de cargarse en el núcleo del reactor 12 del reactor nuclear 10 de la central nuclear 1 descrita anteriormente se describirá a continuación haciendo referencia a la FIG. 2. La FIG. 2 ilustra esquemáticamente una vista en sección transversal del conjunto de combustible 100 tomada a lo largo de un plano vertical (plano xz).

Como se ilustra en la FIG. 2, el conjunto de combustible 100 incluye una caja de canales 101, barras de combustible 102, una barra de agua 103, un separador de combustible 104, una placa de sujeción superior 106 y una placa de sujeción inferior 107.

Del conjunto de combustible 100, la caja de canales 101 es un cuerpo tubular normalmente hecho de un material metálico. Aunque no se ilustra, la caja de canales 101 se forma para representar normalmente una sección transversal cuadrada que interseca ortogonalmente el eje del tubo.

Cada una de las barras de combustible 102 incluye una vaina de combustible cilíndrico, que está hecha de un material metálico, y el combustible nuclear en forma de una pluralidad de gránulos (no ilustrados) se carga en la vaina de combustible. La al menos una barra de agua 103 es un cuerpo tubular normalmente hecho de un material metálico. Por lo tanto, el haz de la pluralidad de barras de combustible 102 y la al menos una barra de agua 103 se disponen en el interior de la caja de canales 101 para representar una sección transversal de tipo rejilla cuadrada.

El espaciador de combustible 104 se proporciona con el fin de mantener los huecos que separan la pluralidad de barras de combustible 102 y los huecos que separan las barras de combustible 102 y la al menos una barra de agua 103 en la dirección axial a un valor constante.

La placa de sujeción superior 106 se dispone en el lado del extremo superior de la caja de canales 101 para asegurar rígidamente las barras de combustible 102 y la barra de agua 103 en las respectivas partes del extremo superior de las mismas. Adicionalmente, la placa de sujeción superior 106 está provista de un asa 105 formada en la superficie superior de la misma.

La placa de sujeción inferior 107 se dispone en el lado del extremo inferior de la caja de canales 101 para asegurar rígidamente las barras de combustible 102 y la barra de agua 103 en las respectivas partes del extremo inferior de las mismas. Más específicamente, las barras de combustible 102 y la barra de agua 103 se aseguran rígidamente a la sección de red 108 de la placa de sujeción inferior 107 a través de un tapón terminal inferior 109.

Cuando la central nuclear está en funcionamiento, el agua del reactor W fluye hacia la caja de canales 101 del elemento combustible 100 a través de la placa de sujeción inferior 107 y después fluye hacia arriba en la caja de canales 101. En este momento, el agua del reactor W hierve por el calor de las barras de combustible 102 y se convierte en vapor. Después, el vapor producido fluye fuera de la caja de canales 101 a través de la placa de sujeción superior 106. Después de eso, el vapor se suministra a la turbina de vapor 21 (véase la FIG. 1) como medio de trabajo.

(C) Método de control de la calidad del agua de la central nuclear

Ahora, se describirán a continuación un método de reparación de un conjunto de combustible que funciona para el control de la calidad del agua de una central nuclear, un método de producción de un conjunto de combustible y un conjunto de combustible de acuerdo con la realización haciendo referencia a las FIG. 3 y 4. Cada una de las FIG. 3 y 4 es una vista ampliada de una parte de la superficie de un conjunto combustible 100 que entra en contacto con el agua del reactor W (agua de refrigeración). Mientras que cada una de las FIG. 3 y 4 ilustra la superficie de una barra de combustible 102 que incluye el conjunto de combustible 100, estas ilustraciones son también aplicables a los

otros miembros que incluye el conjunto de combustible 100.

Cuando se pone en práctica el "control de hierro extremadamente bajo-níquel alto" como método de control de la calidad del agua (para dar lugar a un estado en el que la concentración de hierro en el agua de alimentación no es superior a 0,1 ppb y la concentración de níquel en el agua del reactor es superior a 0,2 ppb), la ferrita de níquel 200 precipita en la superficie de la barra de combustible 102 como se ilustra en la FIG. 3. Al mismo tiempo, puesto que existen iones de níquel en exceso en el agua del reactor W por encima de la cantidad necesaria para producir ferrita de níquel 200, también precipita óxido de níquel 210 en la superficie de la barra de combustible 102. Adicionalmente, también precipita óxido de cobalto 220. Normalmente se producen óxido de níquel 210 y óxido de cobalto 220 en la superficie de la barra de combustible 102 como mezcla en forma de partículas de los óxidos y también se producen como partículas de óxido aisladas en la superficie de la barra de combustible 102.

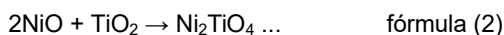
Como se ha descrito anteriormente, tanto el óxido de níquel 210 como el óxido de cobalto 220 son óxidos metálicos que representan una solubilidad alta con respecto al agua. Por lo tanto, cuando el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220 se disuelven en el agua del reactor W en un estado en el que contienen sustancias radiactivas, la concentración de radiactividad en el agua del reactor W aumenta.

Por esta razón, de acuerdo con la realización, se forman compuestos de solubilidad baja 310 que son termodinámicamente más estables que el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220 y representan una solubilidad baja con respecto al agua del reactor W en la superficie de la barra de combustible 102.

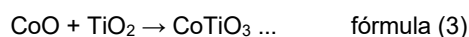
Más específicamente, para este fin se ejecuta un proceso para formar dichos compuestos de solubilidad baja 310 haciendo reaccionar el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220 con un agente estabilizante 300.

En la realización, por ejemplo, se emplea óxido de titanio (TiO_2) como agente estabilizante 300.

Después, tienen lugar espontáneamente en el interior del reactor nuclear 10 reacciones químicas entre el óxido de níquel 210 (NiO) y el óxido de titanio (TiO_2), que es el agente estabilizante 300, como se expresa en las fórmulas de reacción (1) y (2). Como resultado, se produce titanato de níquel (NiTiO_3 , Ni_2TiO_4) como compuesto de solubilidad baja 310.

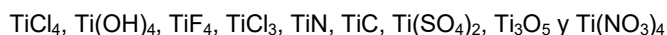


Además, tienen lugar espontáneamente en el interior del reactor nuclear 10 reacciones químicas entre el óxido de cobalto 220 (CoO) y el óxido de titanio (TiO_2), que es el agente estabilizante 300, como se expresa en las fórmulas de reacción (3) y (4). Después, como resultado, se produce titanato de cobalto (CoTiO_3 , Co_2TiO_4) como compuesto de solubilidad baja 310.

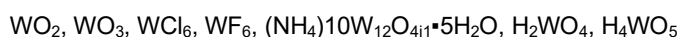
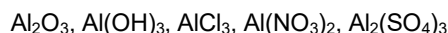


El agente estabilizante 300 que ha de usarse para este fin es preferentemente un compuesto cuya composición incluye al menos un elemento seleccionado de titanio (Ti), aluminio (Al) y wolframio (W).

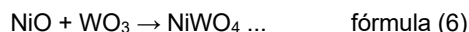
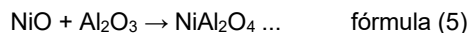
Más específicamente, como agente estabilizante 300, puede usarse adecuadamente cualquiera de los compuestos de titanio que se enumeran a continuación junto al óxido de titanio (TiO_2) descrito anteriormente.



Adicionalmente, como agente estabilizante 300, puede usarse adecuadamente cualquiera de los compuestos de aluminio y los compuestos de wolframio que se enumeran a continuación.



Por ejemplo, tiene lugar espontáneamente en el interior del reactor nuclear 10 una reacción química entre óxido de níquel 210 (NiO) y óxido de aluminio (Al_2O_3), que es el agente estabilizante 300, como se expresa en las fórmulas de reacción (5) que se representan a continuación, para producir un compuesto de solubilidad baja 310 (NiAl_2O_4). De manera similar, tiene lugar espontáneamente en el interior del reactor nuclear 10 una reacción química entre óxido de níquel 210 (NiO) y trióxido de wolframio (WO_3), que es el agente estabilizante 300, como se expresa en las fórmulas de reacción (6) que se representan a continuación, para producir un compuesto de solubilidad baja 310 (NiWO_4).



5

Obsérvese que la energía de Gibbs estándar de formación $\Delta_f G^\circ$ a 280 °C es de -188,276 KJ/mol para NiO y de -197,965 KJ/mol para CoO. Por otro lado, con respecto al compuesto de solubilidad baja 310, la energía de Gibbs estándar de formación $\Delta_f G^\circ$ a 280 °C es de -1042,69 KJ/mol para NiTiO₃, -1061,255 KJ/mol para CoTiO₃, -1269,169 KJ/mol para Co₂TiO₄, -1696,177 KJ/mol para NiAl₂O₄ y -939,149 KJ/mol para NiWO₄. Como se desprende

10

de los valores citados anteriormente, los compuestos de solubilidad baja 310 mencionados anteriormente son termodinámicamente más estables que el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220.

Para formar compuestos de solubilidad baja 310 en la superficie del conjunto combustible 100, normalmente en la superficie de la barra de combustible 102, ha de prepararse en primer lugar un líquido que contiene el agente estabilizante 300 (etapa de preparación de líquido).

15

El líquido preparado que contiene el agente estabilizante 300 es una solución obtenida disolviendo el agente estabilizante 300 en un disolvente o una dispersión (suspensión) obtenida dispersando el agente estabilizante 300 en un medio de dispersión. Para el líquido que contiene el agente estabilizante 300, el disolvente o el medio de dispersión es el agua. La relación de contenido del agente estabilizante 300 preferentemente no es superior al 10 % en masa en vista del agrietamiento por corrosión por tensión intergranular. El líquido que contiene el agente estabilizante 300 contiene un aglutinante con el fin de mejorar la adhesividad del agente estabilizante 300. El aglutinante es sílice o poliorganosiloxano. El líquido contiene preferentemente el aglutinante del 0,01 al 2,5 % en masa con respecto al agente estabilizante 300 en vista de la adhesividad y el agrietamiento por corrosión por tensión intergranular. Adicionalmente, cuando el líquido que contiene el agente estabilizante 300 es una dispersión (suspensión), preferentemente se añade un dispersante al líquido con el fin de suprimir la aglomeración del agente estabilizante 300. El dispersante es normalmente amoníaco o ácido carboxílico y el líquido contiene preferentemente el dispersante en no más del 0,34 % en masa con respecto al agente estabilizante 300 en vista del agrietamiento por corrosión por tensión intergranular.

20

25

30

Posteriormente, el agente estabilizante 300 se adhiere a las superficies del elemento combustible 100, tal como las superficies de las barras de combustible 102 con las que entra en contacto el agua del reactor W (agua de refrigeración), aplicando el líquido que contiene el agente estabilizante 300 a las superficies (etapa de aplicación del líquido). En esta etapa, el agente estabilizante 300 se adhiere a las superficies normalmente por medio de un método de aplicación, un método de inmersión, un método de inyección o similar.

35

Cuando se emplea un método de aplicación, el conjunto de combustible 100 se extrae del agua del reactor cuando la central nuclear está parada (etapa de extracción) y se pulveriza un líquido que contiene el agente estabilizante 300 sobre la superficie del conjunto de combustible o las superficies de las barras de combustible 102 para que el agente estabilizante se adhiera a la superficie o las superficies (etapa de pulverización). Este método es aplicable no solo al conjunto de combustible que ya se ha cargado en un reactor nuclear, sino también a una nueva barra de combustible o a un nuevo conjunto de combustible antes de que la barra de combustible o el conjunto de combustible se carguen en un reactor nuclear. Cuando se emplea este método para una nueva barra de combustible, no es necesario extraer el conjunto de combustible del reactor nuclear. Después, la nueva barra de combustible o el nuevo conjunto de combustible que se está sumergiendo en el agua de refrigeración se extrae simplemente del agua de refrigeración y el líquido que contiene el agente estabilizante se pulveriza en la superficie del mismo.

40

45

Con un método de inmersión, las barras de combustible 102 o el conjunto de combustible se extraen del agua del reactor cuando la central nuclear está parada (etapa de extracción) y las barras de combustible 102 o el conjunto de combustible 100 se sumergen en un baño que contiene líquido que contiene el agente estabilizante 300 (etapa de inmersión). Después, el agente estabilizante 300 se adhiere a las superficies de las barras de combustible 102 sacando las barras de combustible 102 o el conjunto de combustible 100 del líquido en el que se han sumergido las barras de combustible 102 o el conjunto de combustible 100. Este método es aplicable no solo al conjunto de combustible que ya se ha cargado en un reactor nuclear, sino también a una nueva barra de combustible o a un nuevo conjunto de combustible antes de que la barra de combustible o el conjunto de combustible se carguen en un reactor nuclear. Cuando se emplea este método para una nueva barra de combustible, no es necesario extraer el conjunto de combustible del reactor nuclear. Después, la nueva barra de combustible o el nuevo conjunto de combustible que se está sumergiendo en el agua de refrigeración se extrae simplemente del agua de refrigeración, se sumerge en un baño que contiene el líquido que contiene el agente estabilizante 300 en él y después se saca del baño.

50

55

60

Cuando se emplea un método de inyección, el líquido que contiene el agente estabilizante 300 se inyecta en el agua que circula en la central nuclear 1 (también denominada agua de refrigeración o agua del reactor) (etapa de adición). Más específicamente, se inyecta adecuadamente líquido que contiene el agente estabilizante 300, por ejemplo, desde la posición de inyección A30 del sistema 30 de agua de alimentación de condensado, desde la posición de

65

inyección A40 del sistema de eliminación 40 de calor residual y también desde la posición de inyección A50 del sistema de limpieza 50 del agua de refrigeración, como se ilustra en la FIG. 1. La posición de inyección A30 del sistema 30 de agua de alimentación de condensado se ubica en el lado corriente abajo con respecto al calentador 35 de agua de alimentación de presión alta en la tubería H30 del sistema de agua de alimentación de condensado.

5 La posición de inyección A40 del sistema de eliminación 40 de calor residual se sitúa entre la bomba 41 y el intercambiador de calor 42 en la tubería H40 del sistema de eliminación de calor residual. La posición de inyección A50 del sistema de limpieza 50 del agua de refrigeración se ubica en el lado corriente abajo con respecto al eliminador 53 en la tubería H50 del sistema de limpieza del agua de refrigeración.

10 Durante el período de funcionamiento en estado estacionario, el líquido que contiene el agente estabilizante 300 se inyecta de forma continua para que la concentración del agente estabilizante 300 en el agua (agua de refrigeración) que circula en la central nuclear 1 no sea superior a 500 ppb en vista del valor estándar de calidad del agua. Por el contrario, durante el período transitorio de arranque o parada, la operación de inyección del líquido que contiene el agente estabilizante 300 se controla de manera que la concentración del agente estabilizante 300 en el agua (agua de refrigeración) que circula en la central nuclear 1 no sea superior a 10 ppm.

15 La concentración se ajusta normalmente controlando el funcionamiento del dispositivo de inyección (no ilustrado) del agente estabilizante 300 por medio de la unidad de control (no ilustrada) sobre la base de la concentración del agente estabilizante 300 detectada por el detector (no ilustrado). Cuando, por ejemplo, la concentración del agente estabilizante 300 es superior al nivel predeterminado, se suspende la operación de inyección del agente estabilizante 300. Cuando, por otro lado, la concentración del agente estabilizante 300 es inferior al nivel predeterminado, se realiza la operación de inyección del agente estabilizante 300.

20 Después de que el agente estabilizante 300 se adhiera a la superficie del conjunto de combustible 100 como se ha descrito anteriormente, tiene lugar espontáneamente en el entorno de alta temperatura en el reactor nuclear 10 una reacción entre el agente estabilizante 300 y el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220. Por lo tanto, el níquel y el cobalto se oxidan como resultado de la corrosión de algunos de los elementos estructurales que constituyen la central nuclear 1 y, por lo tanto, se producen óxido de níquel 210 y óxido de cobalto 220 como productos de corrosión. Después, el óxido de níquel 210 y el óxido de cobalto 220 reaccionan con el agente estabilizante 300 para producir los compuestos de solubilidad baja 310.

(D) Conclusión (Ventajas)

35 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con la realización, los óxidos metálicos (óxido de níquel 210, óxido de cobalto 220) que precipitan en parte de la superficie del elemento combustible 100 que entra en contacto con el agua del reactor y el agente estabilizante 300 se hacen reaccionar entre sí para producir compuestos de solubilidad baja 310. La solubilidad del compuesto de solubilidad baja 310 con respecto al agua del reactor es inferior a la solubilidad de los óxidos metálicos (óxido de níquel 210, óxido de cobalto 220) y los compuestos de solubilidad baja 310 que contienen sustancias radiactivas apenas se disuelven en el agua del reactor. Como resultado, es posible suprimir el aumento de la concentración de radiactividad en el agua del reactor. Por lo tanto, de acuerdo con la realización, la concentración de radiactividad en el agua del reactor puede reducirse.

45 En particular, cuando el agua del reactor contiene iones de níquel y la concentración de níquel en el agua del reactor es superior a 0,2 ppb, el óxido de níquel 210, muy soluble, puede precipitar como óxido metálico. Sin embargo, de acuerdo con la realización, el óxido de níquel 210 se transforma químicamente en un compuesto de níquel de solubilidad baja 310 mediante el uso del agente estabilizante 300 de manera que, incluso cuando la concentración de níquel en el agua del reactor es superior a 0,2 ppb, es posible suprimir eficazmente el aumento de la concentración de radiactividad en el agua del reactor.

50 De acuerdo con la realización, el agente estabilizante 300 es preferentemente un compuesto cuya composición química incluye al menos un elemento seleccionado de titanio, aluminio y wolframio. Después, de acuerdo con la realización, puede formarse fácilmente un compuesto de solubilidad baja 310.

(E) Modificaciones

55 Aunque se hacen reaccionar óxido de níquel 210 y óxido de cobalto 220 con el agente estabilizante 300 para producir un compuesto de solubilidad baja 310 en la descripción anterior de la realización, la realización no se limita en absoluto a una reacción de este tipo. Pueden producirse compuestos de solubilidad baja 310 provocando que reaccionen óxidos metálicos distintos del óxido de níquel 210 y del óxido de cobalto 220 (tales como óxido de hierro, óxido de cinc, etc.) con el agente estabilizante 300.

Aunque se han descrito determinadas realizaciones, estas realizaciones se han presentado únicamente a modo de ejemplo y no pretenden limitar el alcance de las invenciones. De hecho, las realizaciones novedosas que se describen en el presente documento pueden realizarse en otras diversas formas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de reparación de un conjunto de combustible en un reactor nuclear, que comprende:

5 aplicar un compuesto que contiene al menos una sustancia seleccionada del grupo que consiste en TiO_2 , TiCl_4 , Ti(OH)_4 , TiF_4 , TiCl_3 , TiN , TiC , $\text{Ti(SO}_4)_2$, Ti_3O_5 , $\text{Ti(NO}_3)_4$, Al_2O_3 , Al(OH)_3 , AlCl_3 , $\text{Al(NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, WO_2 , WO_3 , WCl_6 , WF_6 , $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2WO_4 y H_4WO_5 , a una superficie de una barra de combustible del conjunto de combustible, en donde la aplicación del compuesto comprende

10 proporcionar agua de refrigeración alrededor del conjunto de combustible, e
inyectar líquido que contiene el compuesto en el agua de refrigeración,

en donde el agua de refrigeración contiene más de 0,2 ppb de iones de Ni.

15 2. Un método de reparación de un conjunto de combustible en un reactor nuclear, que comprende:

aplicar un compuesto que contiene al menos una sustancia seleccionada del grupo que consiste en TiO_2 , TiCl_4 , Ti(OH)_4 , TiF_4 , TiCl_3 , TiN , TiC , $\text{Ti(SO}_4)_2$, Ti_3O_5 , $\text{Ti(NO}_3)_4$, Al_2O_3 , Al(OH)_3 , AlCl_3 , $\text{Al(NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, WO_2 , WO_3 , WCl_6 , WF_6 , $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2WO_4 y H_4WO_5 , a una superficie de una barra de combustible del conjunto de combustible, en donde la aplicación del compuesto comprende

20

retirar el conjunto de combustible del agua de refrigeración del reactor nuclear, y
pulverizar en el conjunto de combustible líquido que contiene el compuesto,

25 en donde el agua de refrigeración contiene más de 0,2 ppb de iones de Ni.

3. Un método de reparación de un conjunto de combustible en un reactor nuclear, que comprende:

30 aplicar un compuesto que contiene al menos una sustancia seleccionada del grupo que consiste en TiO_2 , TiCl_4 , Ti(OH)_4 , TiF_4 , TiCl_3 , TiN , TiC , $\text{Ti(SO}_4)_2$, Ti_3O_5 , $\text{Ti(NO}_3)_4$, Al_2O_3 , Al(OH)_3 , AlCl_3 , $\text{Al(NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, WO_2 , WO_3 , WCl_6 , WF_6 , $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2WO_4 y H_4WO_5 , a una superficie de una barra de combustible del conjunto de combustible, en donde la aplicación del compuesto comprende

35 preparar líquido que contiene el compuesto en un baño,
retirar el conjunto de combustible del agua de refrigeración del reactor nuclear, y
sumergir el conjunto de combustible en el líquido en el baño,

en donde el agua de refrigeración contiene más de 0,2 ppb de iones de Ni.

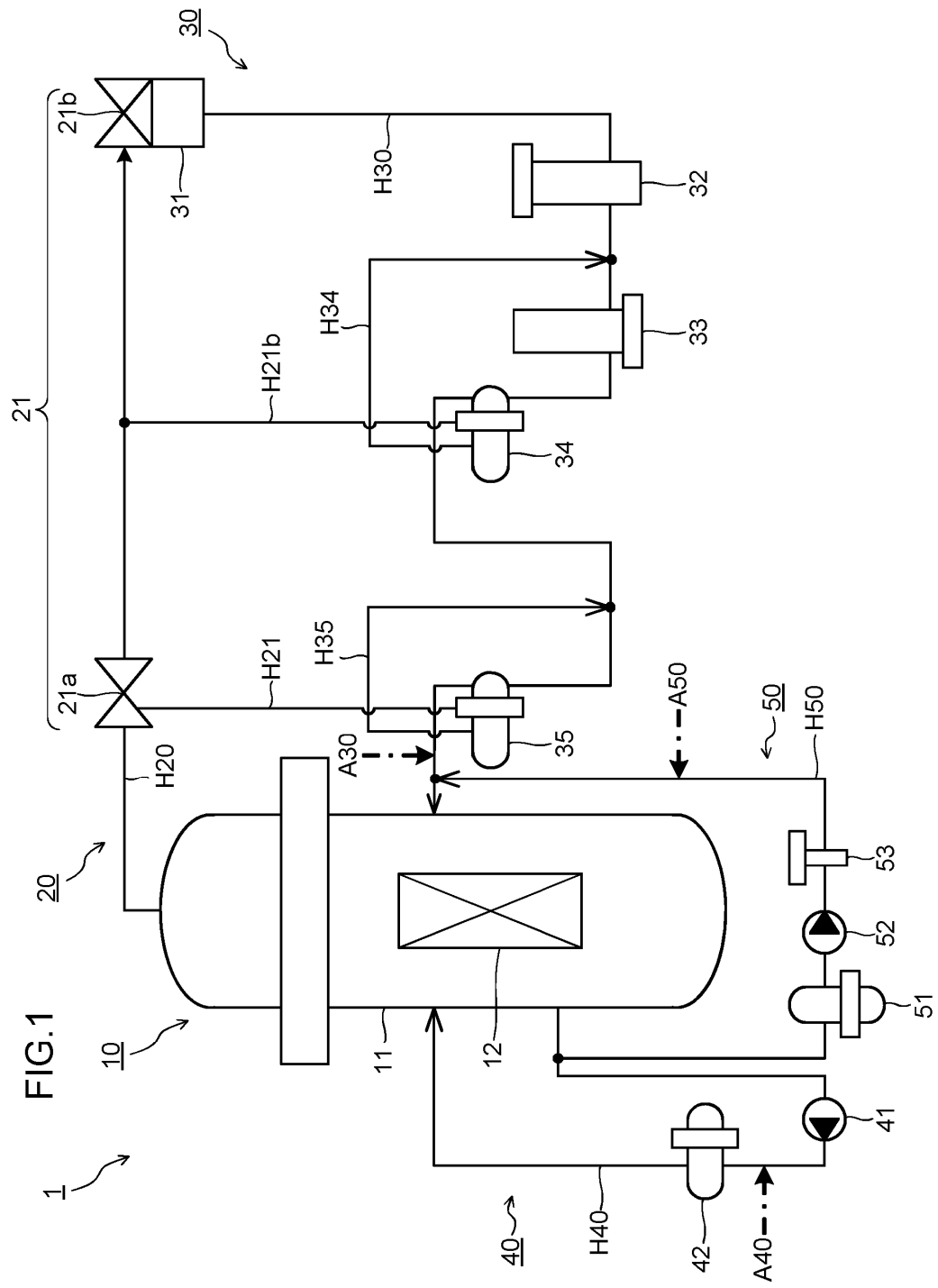


FIG.2

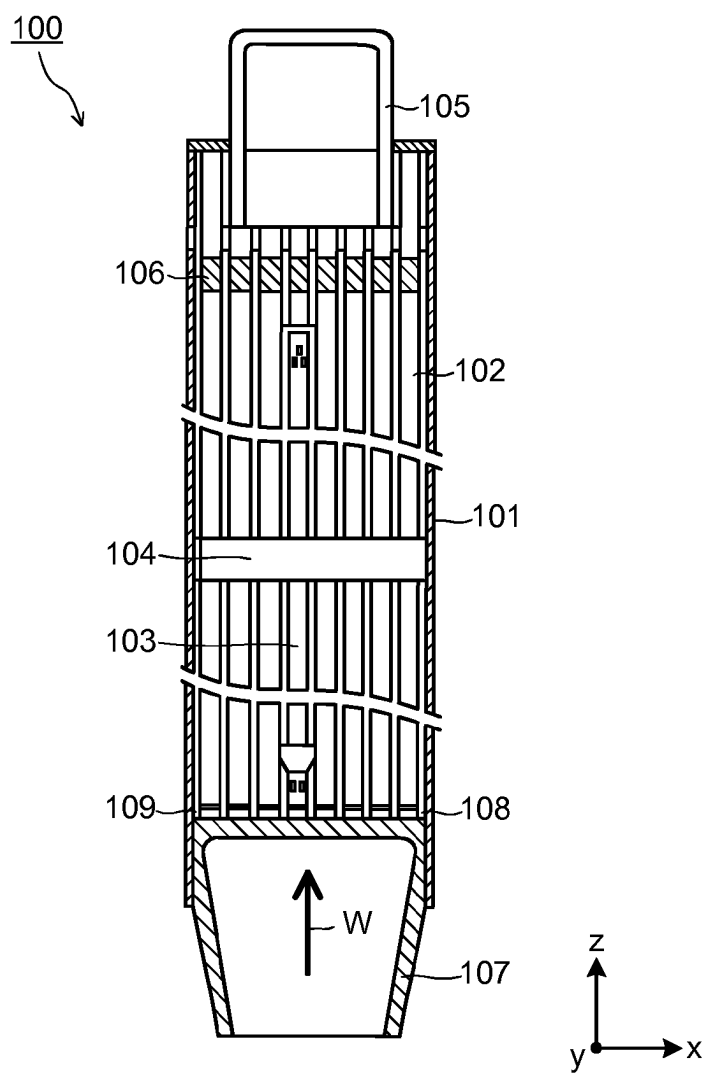


FIG.3

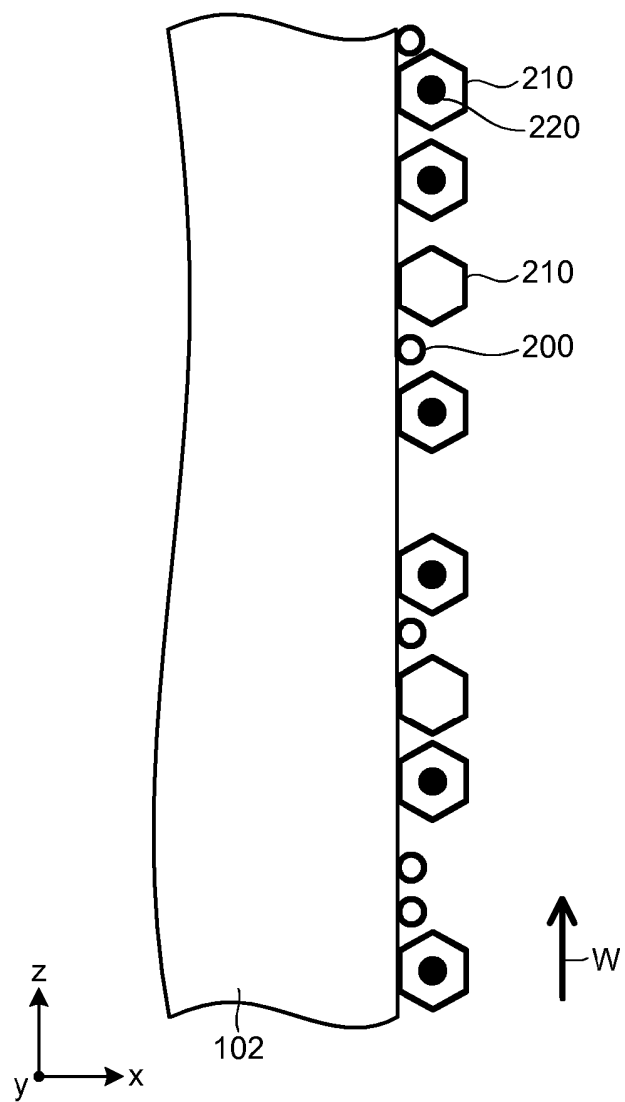


FIG.4

