



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 265 106**

51 Int. Cl.:
G21C 19/307 (2006.01)
G21C 17/022 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03732160 .1**
86 Fecha de presentación : **07.07.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1525588**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2005**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una central nuclear así como dispositivo para la realización del procedimiento.**

30 Prioridad: **26.07.2002 CH 1316/02**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.02.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.02.2007

73 Titular/es: **Alstom Technology Ltd.**
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es: **Wolf, Hartwig**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 265 106 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

Procedimiento para el funcionamiento de una central nuclear así como dispositivo para la realización del procedimiento.

Campo técnico

La presente invención se refiere al campo de la técnica de centrales nucleares. Se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una central nuclear de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 así como a un dispositivo para la realización del procedimiento.

Un procedimiento del tipo mencionado al principio se conoce, por ejemplo, a partir del Artículo de W. Blazer y col., Ensayos de alimentación de hidrocarburos en centrales nucleares, Parte 1: Central nuclear de Leibstadt, VGB Kraftwerks Technik, 1/98, páginas 82-86 (1998).

Estado de la técnica

Los reactores de agua en ebullición son accionados con agua muy pura como moderador y refrigerante. Como resultado de la radiolisis del agua del núcleo del reactor, el vapor generado allí contiene productos de descomposición, en el presente caso hidrógeno (H₂) y oxígeno. A la expansión del vapor en el grupo turbo sigue la condensación, teniendo lugar en los condensadores de la central eléctrica, además de la conversión de las fases del vapor, una aspiración de los gases no condensables. Los gases de radiolisis aspirados en el condensador son quemados posteriormente, en general, por medio de un recombinador de H₂ catalíticamente en agua.

En los años pasados, se han llevado a cabo muchas veces investigaciones, en las que se ha dosificado hidrógeno al agua de alimentación de un reactor de agua en ebullición de una manera continua (ver a este respecto el artículo mencionado al principio de W. Blazer y col.). De esta manera, en la zona del reactor se puede producir la bajada del potencial electroquímico y, por lo tanto, una protección eficaz del reactor frente a la corrosión por tensofisuración intercrystalina. De la misma manera, se reduce claramente la tasa de descomposición del agua en gases de radiolisis, lo que reduce de nuevo la porción de los gases inertes en el vapor fresco y conduce a un incremento de la potencia del condensador.

En este tipo de adición de hidrógeno es un inconveniente que, por una parte, el hidrógeno presente en los gases de radiolisis debe eliminarse de una manera costosa, mientras que, por otra parte, debe prepararse hidrógeno nuevo para la adición al agua de alimentación.

Ya se ha propuesto en el documento US-A-3.975.170 regular el contenido de hidrógeno en el circuito de refrigeración normal de un reactor de agua a presión por medio de una célula de difusión (62 en la figura 2), que está dividida por medio de una membrana permeable al hidrógeno en dos cámaras. El hidrógeno necesario para ello es tomado en una célula de separación de hidrógeno (40 en la figura 2) provista igualmente en una membrana de una corriente parcial derivada desde la corriente de agua de refrigeración. A la misma corriente parcial se añade de nuevo una porción regulada de hidrógeno en la célula de difusión, antes de que se purifique de nuevo la corriente parcial con la corriente de agua de refrigeración.

De este documento no se deduce una solución pa-

ra el reactor de agua en ebullición con su circuito de vapor de agua.

Se publican en los documentos JP-52011397 y JP-62150198 soluciones para un reactor de agua en ebullición, sin embargo tienen inconvenientes en la obtención del hidrógeno.

Representación de la invención

El cometido de la invención es indicar un procedimiento para el funcionamiento de un reactor de agua en ebullición, que se caracteriza por una seguridad elevada y conduce a ahorros de costes, así como indicar un dispositivo para la realización del procedimiento.

El cometido se soluciona a través de la totalidad de las características de las reivindicaciones 1 y 7. El núcleo de la invención consiste en obtener al menos una parte del hidrógeno añadido al agua de alimentación a partir de gases no condensables generados en el reactor y de esta manera reconducirlos al circuito de vapor de agua, siendo aspirados los gases no condensables en el condensador, siendo separado hidrógeno a partir de los gases no condensables aspirados, siendo comprimido el hidrógeno separado y siendo inyectado el hidrógeno comprimido después de la bomba de condensado en el circuito de vapor de agua y siendo concentrados los gases no condensables en el condensador antes de la aspiración.

A partir de la mezcla de gases no condensables se puede separar el hidrógeno de una manera especialmente sencilla, cuando, de acuerdo con un desarrollo preferido de la invención, los gases no condensables son conducidos a través de un módulo de separación equipado con membranas permeables al hidrógeno de una manera selectiva, y el hidrógeno es obtenido a partir del permeato del módulo de separación. De una manera preferida, los gases no condensables son comprimidos antes de la entrada en el módulo de separación.

La separación del hidrógeno se mejora en este caso porque el permeato, que está constituido de una manera predominante por hidrógeno y vapor de agua, es aspirado a partir del módulo de separación y es llevado a una presión más elevada, porque después de la elevación de la presión se separa vapor de agua del permeato y porque el hidrógeno restante es alimentado entonces a la compresión.

Una configuración preferida del dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza porque los medios de separación comprenden un módulo de separación, que está equipado con membranas permeables al hidrógeno de una manera selectiva, porque entre la primera entrada del módulo de separación y el condensador están dispuestas primeras instalaciones de aspiración, especialmente en forma de ventosas de chorro de vapor, porque entre la primera salida del módulo de separación y el circuito de vapor de agua está dispuesta una segunda instalación de aspiración, especialmente en forma de una ventosa de chorro de vapor, porque entre la segunda instalación de aspiración y el circuito de vapor de agua está dispuesto un compresor, porque entre la segunda instalación de aspiración y el compresor está dispuesto un condensador intermedio.

Otras formas de realización se deducen a partir de las reivindicaciones dependientes.

Breve explicación de la figura

A continuación se explica en detalle la invención con la ayuda de un ejemplo de realización en cola-

boración con el dibujo. La figura única muestra un diagrama de bloques muy simplificado de una central nuclear de acuerdo con un ejemplo de realización preferido.

Modos de realización de la invención

En la figura se representa un diagrama de bloques muy simplificado de una central nuclear de acuerdo con un ejemplo de realización preferido de la invención. La central nuclear 10 tiene un circuito de vapor de agua 11, del que solamente se representan en la figura partes seleccionadas, que son esenciales para la explicación de la invención. En el circuito de vapor de agua 11 se encuentra un reactor 26, que está configurado como reactor de agua en ebullición. En el reactor 26 se calienta agua a través de los procesos nucleares que se desarrollan en las barras de combustión y se convierte continuamente en vapor, que es cedido entonces de un grupo turbo, del que solamente se muestra la turbina de baja presión 12. En la turbina de baja presión 12 -como también en las turbinas de alta presión y de presión media conectadas delante. Se expande el vapor bajo potencia de trabajo y llega entonces a un condensador 13, en el que se condensa a través de refrigeración. El condensado que se produce en el condensador 13 es bombeado con una bomba de condensado 14 a un depósito de agua de alimentación 25 y desde allí es alimentado por medio de una bomba de agua de alimentación 15 de nuevo al reactor 26. De esta manera se obtiene un circuito cerrado de vapor de agua. Otros elementos del circuito con el calentador previo, los radiadores intermedios, etc. no se muestran para mayor claridad.

Como ya se ha mencionado al principio, en virtud de la radiolisis del agua en el campo de radiación del núcleo del reactor, el vapor generado en el reactor 26 recibe productos de descomposición en forma de gases no condensables, de una manera predominante hidrógeno (H₂) y oxígeno. En el condensador 13 de una central de agua en ebullición se concentran ahora los gases no condensables a través de refrigeradores de aire 16, que están integrados en el mazo de cables del condensador y se aspiran a través de una primera ventosa de corro de vapor 17. La mezcla de gases es comprimida a continuación, por ejemplo por medio de una segunda ventosa de chorro de vapor 18. Mientras que habitualmente en el estado de la técnica se lleva a cabo ahora una combustión catalítica posterior de los gases de radiolisis en un recombinador, antes de que los gases de escape sean liberados al medio ambiente a través de un recorrido de tratamiento, la invención prevé conducir los gases aspirados después de la compresión, es decir, después de abandonar la segunda ventosa de chorro de vapor 18, a la primera entrada 20a de un módulo de separación. El módulo de separación 19 puede contener, por ejemplo, membranas especiales para la permeación del gas, que presentan una alta selectividad con respecto al gas hidrógeno. Las membranas con las propiedades deseadas están actualmente tanto en el empleo técnico (ver a este respecto el artículo de S. Hirata y col., Experimental and analytical study on membrane detritiation process, Fusion Technology, Vol. 28, páginas 1521-1526 (Octubre de 1995) como también en desarrollo con respecto a un incremento de la selectividad y la estabilidad a largo plazo.

El producto retenido cedido a la primera salida 20b (retenido por la membrana) que procede del módulo de separación 19 se compone de nitrógeno, oxí-

geno, vapor de agua y una pequeña cantidad de hidrógeno, el permeato cedido a la segunda salida 21 b (que ha atravesado la membrana) contiene en una medida predominante hidrógeno y vapor de agua. A través de una segunda entrada 21aa se puede introducir, en caso necesario, sobre el lado del permeato de la membrana vapor de aclarado en el módulo de separación 19. El permeato es transportado por medio de otra ventosa de chorro de agua 22 a una presión más elevada. Con la ayuda de un condensador intermedio 23 se separa el vapor de agua. Un compresor 24 conectado a continuación comprime el hidrógeno y permite la reinyección / recirculación del hidrógeno recuperado al circuito de vapor de agua 11 después de la bomba de condensado 14.

Las siguientes ventajas resultan a partir de la recuperación y recirculación de acuerdo con la invención de hidrógeno en el proceso del circuito de vapor de agua de las centrales nucleares:

a) debido a la dosificación / recirculación continua de hidrógeno:

- reducción del peligro de la corrosión por tensosifuración intercrystalina,
 - aminoración de la tasa de descomposición y, por lo tanto, de la cantidad de gases de radiolisis producidos,
- Efectos secundarios: mejor comportamiento de potencia del condensador 13, reducción potencial del sistema de ventilación del condensador.

b) debido a la instalación de recuperación:

- ahorro de costes con respecto a la adquisición de hidrógeno o bien a una instalación necesaria para la descomposición del agua,
- supresión de una dosificación de oxígeno delante del recombinador, para obtener una mezcla estequiométrica de la combustión,
- reducción clara del tamaño o posible supresión del recombinador,
- a ser posible, la garantía de una conducción del proceso de tal forma que las presentes mezclas de gases presentan siempre concentraciones de hidrógeno fuera de los límites de explosión (eliminación del peligro de detonaciones),
- recirculación del hidrógeno en la zona de radiación y, por lo tanto, aminoración de las emisiones al medio ambiente.

Lista de signos de referencia

- | | |
|------------|-------------------------------|
| 10 | Central nuclear |
| 11 | Circuito de vapor de agua |
| 12 | Turbina de baja presión |
| 13 | Condensador |
| 14 | Bomba de condensado |
| 15 | Bomba de agua de alimentación |
| 16 | Ventilador de aire |
| 17, 18, 22 | Ventosa de chorro de vapor |
| 19 | Módulo de separación |

20a, 21a	Entrada (módulo de separación)	24	Compresor
20b, 21b	Salida (módulo de separación)	25	Depósito de agua de alimentación
23	Condensador intermedio	26	Reactor

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de una central nuclear (10), en la que en un circuito de vapor de agua (1) se evapora agua en un reactor (26), que expande el vapor generado en una o varias turbinas de vapor (12), el vapor expandido es condensado en un condensador (13) siguiente, el condensado es bombeado por medio de una bomba de condensado (14) en un depósito de agua de alimentación (25) y el agua de alimentación es bombeada desde el depósito de agua de alimentación (25) por medio de una bomba de agua de alimentación (15) para la generación de vapor de retorno al reactor (26), siendo alimentado hidrógeno al agua de alimentación para la reducción de la corrosión por tensofisuración, siendo obtenida al menos una parte del hidrógeno añadido al agua de alimentación a partir de gases no condensables generados en el reactor (26), los gases no condensables son aspirados en el condensador (13), a partir de los gases no condensables aspirados se separa hidrógeno y se comprime el hidrógeno separado y el hidrógeno comprimido es inyectado detrás de la bomba de condensado (14) en el circuito de vapor de agua (11), **caracterizado** porque los gases no condensados con concentrados en el condensador (13) antes de la aspiración.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque los gases no condensables son conducidos a través de un módulo de separación (19) equipado con membranas permeables de forma selectiva al hidrógeno y porque el hidrógeno se obtiene a partir del permeato del módulo de separación (19).

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque los gases no condensables se comprimen antes de la entrada en el módulo de separación.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque el permeato, que está constituido de una manera predominante por hidrógeno y vapor de agua, es aspirado a partir del módulo de separación (19) y es llevado a una presión más elevada, porque después de la elevación de la presión se separa vapor de agua del permeato y porque el hidrógeno restante es alimentado entonces a la compresión.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque la aspiración del permeato se lleva a cabo bajo la adición de vapor de aclarar.

6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado** porque se acondicio-

na el producto de retención que procede del módulo de separación (19).

7. Dispositivo para la realización del procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, con el circuito de vapor de agua (11), en el que están dispuestos de una manera sucesiva el reactor (26), al menos una turbina de vapor (12), el condensador (13), la bomba de condensado (14), el depósito de agua de alimentación (25) y la bomba de agua de alimentación (15), en el que están previstos medios (19) para la separación de hidrógeno a partir de los gases no condensables, que están presentes en el circuito de vapor de agua (11), los medios de separación (19) presentan una primera entrada (20a) para la mezcla de gas a separar, cuya primera entrada (20a) está en conexión con el condensador (13), y los medios de separación (19) presentan una primera salida (21 b) para el hidrógeno separado, cuya primera salida (21b) está en conexión con el circuito de vapor de agua (11) detrás de la bomba de condensado (14), **caracterizado** porque en el condensador (13) están previstos medios para la concentración de los gases no condensables.

8. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado** porque están presentes medios para la concentración de los gases no condensables en forma de ventiladores de aire.

9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, **caracterizado** porque los medios de separación comprenden un módulo de separación (19), que está equipado con membranas permeables al hidrógeno de una manera selectiva

10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado** porque entre la primera entrada (20a) del módulo de separación (19) y el condensador (13) están dispuestas primeras instalaciones de aspiración, especialmente en forma de ventosas de chorro de vapor (17, 18).

11. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9 ó 10, **caracterizado** porque entre la primera salida (21 b) del módulo de separación (19) y el circuito de vapor de agua (11) está dispuesta una segunda instalación de aspiración, especialmente en forma de una ventosa de chorro de vapor (22).

12. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** porque entre la segunda instalación de aspiración (22) y el circuito de vapor de agua (11) está dispuesto un compresor (24).

13. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, **caracterizado** porque entre la segunda instalación de aspiración (22) y el compresor (24) está dispuesto un condensador intermedio (23).

55

60

65

