

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 617**

51 Int. Cl.:

**G21C 13/08** (2006.01)

**G21C 21/00** (2006.01)

**G21F 9/30** (2006.01)

**G21F 9/00** (2006.01)

**G21C 17/022** (2006.01)

**G21C 19/28** (2006.01)

**G21F 9/28** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.08.2014 PCT/EP2014/067088**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.02.2015 WO15022270**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2014 E 14750217 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3033751**

54 Título: **Procedimiento para la reducción de la contaminación radiactiva de la superficie de un componente usado en un reactor nuclear**

30 Prioridad:

**14.08.2013 DE 102013108802**

**26.02.2014 DE 102014102487**

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

**23.06.2020**

73 Titular/es:

**AREVA GMBH (100.0%)  
Paul-Gossen-Strasse 100  
91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**STELLWAG, BERNHARD;  
SEMPERE-BELDA, LUIS y  
RAMMINGER, UTE**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 768 617 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 la reducción de la contaminación radiactiva de la superficie de un componente usado en un reactor nuclear

5 La invención se refiere a un procedimiento para la reducción de la contaminación radiactiva de la superficie de un componente usado en un reactor nuclear, que se sitúa en contacto con agua contaminada radiactivamente. En una primera variante del procedimiento, el componente mencionado es parte de un circuito conductor de agua de una central nuclear, es decir, en particular del circuito primario de un reactor de agua a presión, de un reactor de agua en ebullición o de un reactor de agua pesada, es decir, en general del sistema de circuitos de refrigeración de un reactor nuclear, y en una segunda variante del procedimiento un componente que entra en contacto con agua radiactiva durante los trabajos de mantenimiento en el reactor o en el sistema de circuitos, es decir, una herramienta o una pared de piscina. En cualquier caso, debido al contacto directo con agua radiactiva tiene lugar una contaminación de la superficie del componente. Así, antes de la realización de los trabajos de mantenimiento, es imprescindible someter las superficies interiores del sistema de circuitos a una descontaminación intensiva en tiempo y costes. Los correspondiente es válido para las superficies que se han contaminado en el curso de los trabajos de mantenimiento.

20 El documento WO 2010/094692 como también DE 10 2007 038947 describen procedimientos para la reducción de la contaminación radioactiva de la superficie de un componente usado en el reactor nuclear mediante el uso de una sustancia anfífilica formadora de film.

Partiendo de ello, el objetivo de la invención es proponer un procedimiento con el que se reduzca una contaminación de una superficie del componente y de este modo se disminuya el coste de limpieza o descontaminación, que también incluye la eliminación de soluciones de limpieza descontaminadas.

25 Este objetivo se consigue mediante un procedimiento según la reivindicación 1. Sorprendentemente se ha demostrado que un film hidrófobo, en particular también bajo las condiciones del funcionamiento de potencia de un reactor nuclear, presenta un efecto de filtrado entre otros respecto a los iones contenidos en el refrigerante. Por consiguiente, se impide o al menos dificulta la fijación de nucleidos radiactivos en una superficie del componente, lo que conduciría a una contaminación radiactiva o a un aumento de la dosis de los componentes. A ello está ligada la ventaja de que las superficies que entran en contacto con agua contaminada radioactivamente durante trabajos de revisión, en particular de herramientas, no se contaminan radioactivamente o al menos en menor medida, lo que estaría ligado con una contaminación radioactiva correspondiente del personal que realiza los trabajos de revisión. Además, se reduce el coste para la limpieza de las herramientas.

35 Además, fue sorprendente que, por debajo del film hidrófobo, es decir, entre el film y la superficie del componente metálico se origina una capa de óxido que constituye una protección frente a corrosión, donde esta no presenta radiactividad o al menos una más baja a lo que sería el caso con el modo de proceder convencional debido a la falta de incorporación o al menos una reducida de radionucleidos que proceden del agua radioactiva o refrigerante en el curso de su crecimiento. Además, es ventajoso que, durante una descontaminación posterior de un circuito conductor de agua, en el que la capa de óxido se retira de las superficies de componente con ayuda de una solución de limpieza química, se reduzca la cantidad de los radionucleidos en los residuos a eliminar.

45 La invención se explica ahora más en detalle en referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

Fig. 1: en forma muy esquemática el circuito primario de un reactor de agua a presión,

Fig. 2: un diagrama que reproduce el resultado de un test,

50 Fig. 3: una piscina de inundación, cuya pared se provee de un film hidrófobo,

Fig. 4: una herramienta configurada como vehículo sumergible, cuya superficie está provista con un film hidrófobo.

55 Bajo las condiciones del modo de potencia de un reactor nuclear, los aceros no aleados o de aleación pobre e incluso los aceros antioxidantes, p. ej. aceros austeníticos Fe-CrNi, de los que está hecho el sistema de tubos de los circuitos de refrigeración, aleaciones de Ni, de los que están hechos por ejemplo los tubos de intercambiadores de generadores de vapor y otros componentes usados por ejemplo para bombas de refrigerante, que contienen p. ej. cobalto, muestran una cierta solubilidad en agua. Los iones metálicos desprendidos de las aleaciones mencionadas llegan con el flujo de refrigerante al recipiente a presión del reactor, donde debido a la radiación de neutrones allí reinante se convierten parcialmente en nucleidos radioactivos. Los nucleidos se distribuyen de nuevo por el flujo de refrigerante en todo el sistema de refrigeración y se depositan en capas de óxido, que se forman durante el funcionamiento sobre las superficies de componentes del sistema de refrigeración. Con duración de funcionamiento creciente se suma la cantidad de los nucleidos activados depositados, de modo que aumenta la radiactividad o la dosis en los componentes del sistema de refrigeración.

65 Antes de que se puedan efectuar medidas de control, mantenimiento, reparación y desmantelamiento en el sistema

de refrigeración, se requiere una reducción de la radiación radioactiva de los componentes individuales o de todo el sistema de circuitos, a fin de reducir la exposición a radiación del personal. Esto ocurre porque la capa de óxido presente sobre las superficies de los componentes se retira a ser posible completamente por medio de un procedimiento de descontaminación. Durante una descontaminación de este tipo se rellena todo el sistema de refrigeración o una parte separada por válvulas con una solución de limpieza acuosa o se tratan componentes individuales del sistema en un recipiente separado, que contiene la solución de limpieza, donde se disuelve la capa de óxido. Los iones metálicos transferidos a este respecto de la capa de óxido en la disolución se pueden retirar entonces de la solución, en tanto que esta se conduce a través de un intercambiador de iones. A este respecto, es problemática en particular la gran cantidad originada a este respecto de residuos radioactivos, cuya eliminación está ligada con esfuerzo elevado y costes elevados.

En el procedimiento según la invención, sobre una superficie de un componente del circuito en contacto con el agua o refrigerante de reactor contaminados radioactivamente se genera un film hidrófobo de una sustancia anfífilica. Con esta finalidad, en el agua o refrigerante situado en el circuito se dosifica un agente formado de film del tipo mencionado anteriormente. A este respecto no está prevista una dosificación permanente, en particular tampoco durante el funcionamiento de potencia del reactor. Mejor dicho, la formación de film se finaliza cuando se ha formado un film hidrófobo cerrado sobre las superficies de componentes. De manera sorprendente se ha demostrado que el film hidrófobo presenta una cierta permeabilidad para las moléculas de agua, no obstante, no para moléculas no polares como oxígeno. Las moléculas de agua pueden penetrar por consiguiente hacia la superficie del componente, de modo que se puede formar allí una capa de óxido, donde esta está hecha esencialmente de magnetita debido a la ausencia de oxígeno. Por consiguiente, se obtiene la ventaja de que se forma una capa de óxido protectora, donde esta presenta una radiactividad reducida debido al efecto de filtro del film frente a los nucleidos y coloides radioactivos.

La superficie respectiva, sobre la que se debe generar un film hidrófobo, puede ser metálica brillante o presentar una capa de óxido ya originada durante el funcionamiento del reactor o también de otra manera. En el primer caso mencionado, el film se aplica sobre una superficie esencialmente liberada de una capa de óxido mediante un procedimiento de descontaminación o sobre la superficie de un nuevo componente a instalar o instalado en el circuito.

Es especialmente ventajoso que la primera variante del procedimiento se realice después de la realización de una descontaminación del circuito parcial o completo del circuito de refrigeración o en un nuevo componente que sustituye un componente ya instalado. Las superficies de componentes correspondientes no están revestidas entonces en el instante de la generación de un film hidrófobo por una capa de óxido digna de mención y solo están poco o nada contaminadas radioactivamente, de modo que están especialmente marcados los efectos ventajosos arriba mencionados. La generación de un film sobre una capa de óxido ya presente es conveniente entonces cuando se trata de una capa de óxido generada según la invención, es decir, una tal que está originada por debajo de un film hidrófobo aplicado sobre la superficie, cuando este se ha desprendido total o parcialmente tras una duración de funcionamiento más prolongada.

La dosificación de la sustancia anfífilica formadora de film en el refrigerante se realiza preferentemente en un instante situado fuera del funcionamiento de potencia del reactor, es decir, en una fase en la que el nivel de potencia del reactor todavía no está regulado al estado crítico. Debido a la intensidad de radiación muy reducida frente al funcionamiento de potencia en el recipiente a presión del reactor se reduce el peligro de una descomposición radiolítica de la sustancia anfífilica. Así, el film hidrófobo se puede generar, por ejemplo, durante la fase de arranque del reactor, donde existe la posibilidad de terminar la formación de film antes de que el nivel de radiación haya aumentado a un nivel dañino para la sustancia anfífilica. Una formación de film también se puede realizar en el curso de una medida de revisión, en la que los elementos combustibles están retirados del recipiente a presión del reactor. Por consiguiente, se garantiza que no se configuren filmes multicapa, se puede calcular la superficie a cubrir con el film y dosificarse una cantidad correspondiente de la sustancia anfífilica al refrigerante. También se puede recurrir a un indicador de que se ha configurado un film cerrado unimolecular, como se describe en el documento WO 2013/127844 A1, el desarrollo de la concentración de la sustancia anfífilica y, por ejemplo, finalizarse la dosificación de la sustancia mencionada, cuando su concentración en el refrigerante en al menos un punto de medición ha alcanzado un valor de 1 ppm a 2 ppm.

En el procedimiento según la invención se aplica al menos una sustancia de depósito antes de la generación del film hidrófobo sobre la superficie de un componente de un circuito de refrigeración. En el presente contexto, bajo una sustancia de depósito se debe entender un compuesto químico o un elemento, por ejemplo, un metal noble, como platino, que tiene una influencia sobre una capa de óxido que se forma sobre la superficie del componente. La sustancia de depósito o un precursor de ella se dosifica en una refrigeración, donde se distribuye a través de todo el circuito o una zona separada de él mediante el refrigerante que atraviesa el circuito de refrigeración. La sustancia de depósito se deposita en la superficie de un componente, por ejemplo, cuando en el refrigerante reinan condiciones reductoras. Mediante el modo de proceder mencionado se produce en general la posibilidad de proteger la sustancia de depósito presente en la superficie del componente o una capa de depósito correspondiente con la ayuda del film hidrófobo que la cubre frente a la acción de un agente contenido en el refrigerante bajo las condiciones durante la fase de arranque del reactor o en el funcionamiento de potencia, a fin de impedir por ejemplo una reacción que tiene como consecuencia, por ejemplo, una conversión química de la capa de depósito o la creación de los productos de reacción indeseados.

Es especialmente ventajosa la forma de realización en cuestión cuando para la generación de una capa de depósito se le deben dosificar sales de ácido crómico, por ejemplo, cromato de hierro o cromato de cinc, al refrigerante. En la superficie de los componentes se reduce el cromo hexavalente de las sales mencionadas en cooperación con el hierro de los componentes como agentes de reacción a cromo trivalente, de modo que se deposita cromita en la superficie del componente. El cromo trivalente se incorpora en la capa de óxido que crece sobre la superficie, donde se forman óxidos de espinela ricos en cromo con elevado efecto protector. Durante la fase de arranque del reactor nuclear están presentes condiciones oxidantes en el refrigerante, por ejemplo, debido al oxígeno o peróxido de hidrógeno disueltos en él, lo que conduce a una oxidación de la cromita depositada a cromato soluble, es decir, a una inversión de la reacción arriba mencionada, durante la fase de arranque del reactor. No obstante, según la invención se impide esto mediante el film hidrófobo, de modo que, cuando lo más tarde al final de la fase de arranque en el circuito de refrigeración están presentes de nuevo reacciones reductoras, que anteriormente, la cromita depositada anteriormente sobre las superficies de componentes está presente en cantidad no disminuida.

En el caso de una capa de depósito de platino, por ejemplo, debido a un revestimiento incompleto de las superficies de componentes con platino, existe el peligro de la creación de corrosión por contacto. En el caso de una corrosión por contacto entran en contacto entre sí dos elementos metálicos distintos en presencia de un electrolito. A este respecto se oxida el material menos noble, en el presente caso las zonas de superficie de los componentes no dotados con platino. Esto se puede impedir eficazmente mediante un film hidrófobo del tipo en cuestión, que forma una barrera que también cubre las zonas de superficie no dotadas respecto al oxígeno disuelto en el refrigerante. Para impedir que se origine corrosión por contacto ya durante la generación de la capa de depósito de platino, el tratamiento de platino se realiza bajo las condiciones reductoras.

El circuito primario mostrado en la fig. 1 de un reactor de agua a presión comprende un recipiente a presión del reactor 1, en el que se sitúan las barras de combustible 2. A través de las tubuladuras de conexión 3, con el recipiente a presión del reactor 1 está conectado un sistema de tuberías 4, en el que están intercalados distintos componentes o un generador de vapor y una bomba de refrigerante (no mostrados). Los componentes están simbolizados por el rectángulo 6 en la fig. 1. La dosificación de una sustancia anfífila que forma un film hidrófobo sobre las superficies del circuito primario, a continuación, se habla de forma acortada de un formador de film, se realiza por ejemplo durante la fase de arranque del reactor. Si la formación de un film sobre las superficies interiores del recipiente a presión del reactor 1 y las superficies de las barras de combustible 2 no es deseado, el recipiente a presión del reactor 1 se puede separar por fluido del circuito de refrigerante restante. Para la dosificación del formador de film se puede usar el sistema de dosificación propio de la instalación (no mostrado).

La generación de un film hidrófobo sobre las superficies del circuito de refrigeración se realiza preferentemente a continuación de una descontaminación de circuito completo o circuito parcial o cuando se retira un componente del circuito y se sustituye por uno nuevo. En último caso, la superficie del nuevo componente está todavía esencialmente desnuda, es decir, todavía no está revestida con una capa de óxido, tal y como se origina durante el funcionamiento de potencia del reactor. La dosificación se realiza a temperaturas por encima de la temperatura de Krafft de la sustancia anfífila usada respectivamente, es decir, por ejemplo, desde 70°C.

Con temperatura creciente y por consiguiente movimiento molecular browniano creciente se pueden separar los enlaces de Van der Waals entre los grupos no polares formando huecos, de modo que las moléculas de agua pueden llegar a estos huecos, donde debido a su carácter de dipolo se atraen mediante el potencial eléctrico que reina en la superficie de los componentes o en la zona de los grupos polares del film hidrófobo. No obstante, tampoco tiene lugar una contaminación de las capas de óxido, que se forman entre el film y las superficies de componente, por incorporación de sustancias radiactivas con temperaturas elevadas o en cualquier caso en pequeña medida. En el caso de radionucleidos iónicos, esto se debe presumiblemente a que estos, condicionado por su carga, presentan una envoltura de hidrato relativamente grande y por consiguiente un tamaño efectivo, que impide un paso a través del film hidrófobo.

El establecimiento de radiactividad en las capas de óxido que se forman se basa también en la acumulación o incorporación de coloides que contienen nucleidos radioactivos. Los coloides, que presentan un tamaño o un radio de aproximadamente 1 nm a 1000 nm, están en órdenes de magnitud mayores que los iones hidratados, de modo que se excluye prácticamente un paso a través del film hidrófobo. Durante la fase de arranque del reactor y también durante el funcionamiento de potencia subsiguiente es posible por tanto una formación de capas de óxido, que, frente a las capas de óxido en el modo de proceder habitual, es decir, aquellas capas de óxido que están en contacto directo con el refrigerante, presentan una radiactividad esencialmente reducida.

Debido a los radionucleidos transportados con el refrigerante, en el sistema de tuberías o en los componentes intercalados reina una cierta radiación radioactiva. No obstante, esta es comparablemente baja, de modo que no se debe temer una descomposición radiolítica de los grupos orgánicos del film.

Para los efectos protectores arriba descritos del film hidrófobo es suficiente que este esté presente en una capa unimolecular sobre las superficies de componentes. Para conseguirlo se debe tener en cuenta en primer lugar convenientemente la superficie geométrica del sistema de circuitos o de una sección de él en el cálculo de la cantidad requerida de formador de film. Según el tipo y duración de la instalación, las superficies del circuito de refrigeración

presentan una rugosidad más o menos marcada, lo que se puede tener en cuenta mediante un factor, por ejemplo, de 1,5 a 2,5. La cantidad de formador de film calculada para la superficie geométrica se multiplica entonces por este factor. Durante la dosificación del formador de film es conveniente que en varios puntos distribuidos sobre el circuito de refrigeración se determine o mida la concentración del formador de film en el refrigerante. Las moléculas anfífilas presentan una mayor afinidad de enlace con superficies brillantes metálicas o que presentan una capa de óxido que con zonas de superficie que ya están cubiertas con un film hidrófobo. Esto conduce a que - en el caso de tasa de dosificación constante - disminuya en primer lugar la concentración del formador de film en el refrigerante y con un desarrollo de concentración asintótica se consiga posteriormente una concentración esencialmente uniforme de formador de film, por ejemplo, de 1 ppm. Entonces se ha formado una capa completa, esencialmente unimolecular de formador por el formador de film sobre las superficies de componentes.

En un test se han colocado las muestras de acero al carbono ASME SA179 en forma de mitades de tubo de 7,3 cm de longitud en el sistema de circuitos de un reactor de agua en ebullición y así se expone a las condiciones del funcionamiento de potencia del reactor. Las muestras se han limpiado anteriormente, es decir, su superficie se corresponde esencialmente con un estado que está presente sobre las superficies interiores del sistema de circuitos tras una descontaminación química. Además, anteriormente se ha aplicado un film de octadecilamina sobre una parte de las muestras. Con esta finalidad se han posicionado las muestras en un circuito de ensayo y al agua que circula en él, que presenta una temperatura de aproximadamente 80°C se le dosifica la sustancia anfífilica mencionada.

Después de tres meses se han retirado las muestras del sistema de circuitos del reactor de agua en ebullición y examinado sus superficies. Sobre las muestras no tratadas se ha formado una capa de óxido, que se compone al menos predominantemente de hematita, por consiguiente, coloreada en rojo. Sobre las muestras tratadas, es decir, revestidas con un film hidrófobo, estaba presente igualmente una capa de óxido, no obstante, esta tuvo una coloración negra, es decir, se compuso predominantemente de magnetita. El film hidrófobo presente sobre las muestras tratadas ha impedido por consiguiente el acceso de oxígeno a la superficie metálica de las muestras. Como proveedor de oxígeno para la formación de manetita sirvieron en la práctica solo las moléculas de agua, que al menos con temperaturas elevadas, tal y como están presentes durante el funcionamiento de potencia del reactor, pasan a través de los radicales no polares, que sobresalen en el agua, del film que cubre la superficie de las muestras y por consiguiente llegan al metal de las muestras.

Con ayuda de un sensor gamma se ha determinado la dosis de las muestras. A este respecto, se mostró que la dosis de las muestras no tratadas estuvo en 4300 mSv/h y aquella de las muestras tratadas, es decir, cubiertas con un film del tipo en cuestión, con 580 mSv/h fue menor en un múltiplo.

Según se ha mencionado ya, es ventajoso que la formación de film se realice fuera de la fase de funcionamiento del reactor, por ejemplo, a continuación de trabajos de revisión o mantenimiento. El film se puede formar entonces con temperaturas relativamente bajas y ante todo sin acción de las radiaciones reinantes durante el funcionamiento del reactor. Esta situación se ha simulado en el test descrito, en tanto que las muestras se han provisto con un film hidrófobo en una instalación de laboratorio en presencia de radiación. La capa de óxido que se forma por debajo del film, lo que produce una comparación óptica de las muestras tratadas y no tratadas A y B, está configurada claramente más uniforme y sin huecos. Por ello la capa de óxido ofrece un mayor efecto protector frente a la corrosión que lo que es el caso en la capa de óxido de las muestras no tratadas A. El motivo para la calidad de film diferente en las muestras A y B pudo consistir en que la sustancia anfífilica actúa como un agente tensoactivo, de modo que las partículas que se adhieren en las superficies de componentes pasan al refrigerante, las superficies se limpian por consiguiente antes o en el curso de la formación de film.

Aun cuando el film ya no es efectivo tras un cierto tiempo de funcionamiento, la capa de óxido ya presente, que presenta una pequeña dosis, solo aumentará de forma relativamente lenta, dado que el transporte de agentes que actúan de forma oxidante, como agua y oxígeno, está dificultado a través de la capa de óxido densa hacia el metal base de un componente. También es posible renovar el film mediante la dosificación de una sustancia anfífilica en el agua o el refrigerante de reactor después de un cierto tiempo de funcionamiento.

Junto a los nucleidos radioactivos en forma iónica también pueden estar presentes coloides radioactivos, es decir, con un tamaño de aproximadamente 1 nm a 1000 nm en agua. Los coloides de los sólidos están cargados en general, es decir, en su superficie portan una carga positiva o negativa. Si ahora se usa una sustancia anfífilica, que presenta un grupo polar cargado del mismo signo, el coloide no se adhiere debido a la repulsión de Coulomb en la superficie de film. Un ejemplo de un coloide radioactivo es un coloide hecho de Ag 110m. La plata procede, por ejemplo, de juntas de estanqueidad, por ejemplo, la junta de tapa del recipiente a presión del reactor. Gracias al uso de una sustancia anfífilica con un grupo polar cargado del mismo signo con vistas al coloide presente, preferentemente un grupo amino, por ejemplo un grupo amino cuaternario, en el caso de coloides cargados positivamente y un grupo de ácido fosfónico en el caso de coloides cargados negativamente, se puede impedir o al menos reducir la fijación de los coloides radioactivos en las superficies de herramientas o en superficies de componentes de un circuito conductor de agua del reactor.

Una variante del procedimiento se refiere a la fase de revisión de un reactor nuclear, por consiguiente, es un procedimiento de revisión, es decir, un procedimiento para la realización de trabajos de mantenimiento y conservación,

para un reactor nuclear, en particular para un reactor de agua en ebullición, un reactor de agua a presión o un reactor de agua pesada. Los reactores nucleares se deben someter tras un cierto tiempo de funcionamiento, por ejemplo, en turnos anuales, a una revisión en la que se realizan junto a los trabajos arriba mencionados también medidas de verificación. En el curso de una revisión se abre habitualmente el recipiente a presión del reactor 11 del reactor, en el que se sitúan los elementos de combustible (no mostrados), en tanto que se retira su tapa 11a. Por motivos de protección frente a la radiación se inunda una piscina de inundación 12 dispuesta por encima del recipiente a presión del reactor 11. Desde una plataforma de trabajo (no mostrada) dispuesta por encima de la piscina de inundación 12 se pueden realizar entonces las medidas del tipo arriba mencionado en el recipiente a presión del reactor 11 y en los componentes y sistemas conectados con él.

Un problema en el caso de los trabajos de revisión es que no se puede evitar que el refrigerante del reactor se mezcle con el agua de la piscina de inundación 12, así como eventualmente otras piscinas, como, por ejemplo, la piscina de almacenamiento de elementos combustibles, y a este respecto se arrastra la radiactividad a zonas fuera del recipiente a presión del reactor 11 abierto. El agua contaminada a este respecto se puede retirar después de la revisión de las piscinas correspondientes y otros compartimentos. Pero los radionucleidos permanecen adheridos en las paredes de la piscina 15 y conducen a una contaminación por radiación o dosis elevada. Según el tipo del material de las paredes, que están revestidas por ejemplo con acero inoxidable, los radionucleidos permanecen adheridos de forma más o menos fija, de modo que eventualmente se requieren costosas medidas de limpieza, que conducen a un aumento de la contaminación radioactiva del personal que las realiza. Un problema similar se produce en los aparatos, como manipuladores, herramientas y construcciones auxiliares, cuyas superficies por ejemplo metálicas, que entran en contacto con el agua contaminada radioactivamente en el curso de la revisión, se usan en particular dentro del recipiente a presión del reactor 11. Los equipos de este tipo se ponen a disposición reiteradamente por las empresas de servicio que realizan la revisión, es decir, se transportan de nuevo tras la conclusión del trabajo de revisión y se usan en otras centrales nucleares. Pero también cuando los equipos permanecen en la zona de control de la central nuclear, es problemática la contaminación radioactiva del personal debido a la revisión, ya que los equipos en general allí se deben almacenar, mantener o, en el caso más desfavorable, eliminar. Los equipos mencionados se deben someter por ello a una descontaminación especialmente minuciosa.

De este modo, una descontaminación semejante es ahora innecesaria o al menos es posible de manera más sencilla, cuando sobre las superficies de componentes, es decir, las paredes 15 de las piscinas de almacenamiento 12 y la superficie de las herramientas, se genera un film hidrófobo hecho de una sustancia anfífilica o que contiene una sustancia semejante, antes de que las superficies entren en contacto con el agua contaminada radioactivamente, en particular el refrigerante primario del reactor.

El film se puede aplicar de diferente manera sobre las superficies, donde son preferibles la inmersión de los equipos en una solución que contiene la sustancia formadora del film o la pulverización de las superficies con una solución semejante, ya que se pueden realizar con pequeño coste.

La piscina de inundación 12 mencionada arriba, situada por encima del recipiente a presión del reactor 11 o una piscina o un recipiente en general, se puede proveer de manera sencilla con un film hidrófobo mediante un procedimiento de pulverización. Para ello solo se requiere un equipo de pulverización 13 p. ej. habitual en el mercado, que comprende una boquilla de pulverización 14 a dirigir hacia la pared de piscina 15 y un tubo flexible 16 que la conecta con el equipo de pulverización. Con ayuda de la boquilla de pulverización 14 sobre las paredes 15 se aplica una solución acuosa que contiene la sustancia formadora del film. Después de que el film está aplicado sobre la pared de la piscina se inunda el espacio anular 17 que circunda el recipiente a presión del reactor 11 y la piscina de inundación 12.

Un ejemplo para una herramienta usada en el curso de una revisión se muestra en la fig. 4. Se trata de un vehículo sumergible teledirigido 18, que sirve p. ej. para la verificación de los cordones de soldadura 19 de las tuberías de refrigerante principales 20. Sobre la superficie del vehículo sumergible 18 se aplica un film hidrófobo, por ejemplo, por pulverización con una solución que contiene una sustancia formadora de film. Pero también es concebible que el vehículo sumergible 18 se introduzca en una piscina o un baño de tratamiento, que está lleno con una solución acuosa que contiene la sustancia formadora del film.

La concentración de la sustancia formadora de film en la solución acuosa en un procedimiento pulverización o inmersión se sitúa, por ejemplo, en un rango de 1 ppm hasta 800 ppm. En el caso de la aplicación de la solución sobre una superficie es conveniente una temperatura elevada, es decir, situada por encima de la temperatura ambiente, por ejemplo, hasta 90 °C.

Como sustancia formadora de film, en la primera y la segunda variante del procedimiento entra en consideración un compuesto químico, que presenta un extremo polar, formado por al menos un grupo polar y un extremo no polar, formado por al menos un radical de hidrocarburo. El extremo polar sirve como grupo de anclaje, con el que la sustancia se adhiere en la superficie metálica o revestida con una capa de óxido de un componente. El extremo no polar penetra en el agua radioactiva.

El extremo no polar de la sustancia anfífilica presenta una cadena de carbonos, preferentemente un grupo anfífilico,

5 con 8 a 22 átomos de carbono. La parte polar es, por ejemplo, un grupo de ácido, p. ej. un grupo de ácido sulfónico, ácido fosfórico, ácido fosfónico o grupo carboxílico, y un derivado de los grupos mencionados. Además, como grupo polar entran en consideración un grupo hidróxilo (tioles) o un grupo base, como grupo amino primario, secundario, terciario o cuaternario, un grupo imina, así como derivados de los grupos mencionados. Ejemplos de sustancias anfífilas bien apropiadas para la finalidad en cuestión son las alquilaminas y ácidos alquifosfónico.

10 Para mejorar la acumulación de la sustancia anfífila en la superficie de un componente del circuito, en una variante del procedimiento se influye en la solución acuosa que contiene la sustancia anfífila, de modo que la carga de la superficie, que se produce debido a la capa doble electroquímica en la superficie límite metal/solución, provoca una repulsión de Coulomb lo mayor posible del grupo polar de la sustancia anfífila. Se puede influir en la carga de la superficie de cierta manera mediante la elección de la temperatura. Preferentemente se realiza una modificación de carga o refuerzo de carga a través del valor de pH de la solución. Partiendo de un punto de carga cero, en el que la superficie no presenta al menos una carga mencionable, mediante una reducción del valor de pH se puede provocar una carga de superficie visiblemente positiva y mediante el aumento del valor de pH una carga de superficie crecientemente negativa. En el caso de un refuerzo de carga ya está presente una carga de superficie opuesta a la carga del grupo polar.

20 A este respecto es conveniente que se usen sustancias anfífilas, cuyos grupos polares se comportan en virtud a la carga precisamente a la inversa que la superficie. Así, en la superficie cargada positivamente, que se ajusta en general con solución ácida, es apropiado, por ejemplo, un grupo de ácido fosfónico como grupo polar, que está cargado negativamente en las condiciones mencionadas. En el caso de superficies cargadas negativamente se usa en cambio una sustancia anfífila con un grupo cargado positivamente, por ejemplo, un grupo amino cuaternario.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la reducción de la contaminación radiactiva de la superficie de un componente usado en un reactor nuclear, que se sitúa en contacto con agua contaminada radiactivamente, en el que sobre la superficie de un componente se genera un film hidrófobo en tanto que la superficie se humedece con una solución acuosa que contiene una sustancia anfifílica formadora de film, donde el film hidrófobo se genera sobre la superficie interior de un componente de un circuito conductor de agua del reactor nuclear y/o a continuación de una descontaminación de circuito parcial o total del circuito, **caracterizado porque** al menos una sustancia de depósito se aplica sobre la superficie antes de la generación del film hidrófobo.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en el caso del intercambio de un componente por un nuevo componente se genera el film hidrófobo sobre el nuevo componente.
- 15 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el film hidrófobo se genera en un instante situado fuera del funcionamiento de potencia, en particular durante la fase de arranque del reactor.
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un metal noble y/o una sal de ácido crómico se aplica como sustancia de depósito antes de la generación del film hidrófobo.
- 25 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la aplicación de la sustancia anfifílica sobre una superficie se finaliza cuando la superficie está cubierta con el film hidrófobo.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** el uso de una sustancia anfifílica, que presenta un extremo polar, formado por al menos un grupo polar, y un extremo no polar, formado por al menos un radical hidrocarburo.
- 30 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el agua contiene coloides radioactivos y se genera un film con una sustancia anfifílica, que presenta un grupo polar con una carga del mismo signo a la carga del coloide.
- 35 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se usa una sustancia anfifílica, que contiene un grupo alifático como radical no polar.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** un radical no polar con 8 a 22 átomos de carbono.
- 40 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se usa una sustancia anfifílica, que contiene un grupo ácido como grupo polar, en particular un grupo ácido fosfónico, o un grupo amino primario, secundario, terciario o cuaternario.
- 45 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se influye en la solución acuosa, de modo que en la superficie se forma una carga que está opuesta a la carga del grupo polar de la sustancia anfifílica o porque se refuerza una carga de superficie opuesta al grupo polar de la sustancia anfifílica.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** la influencia en la solución se realiza a través de su valor de pH.

Fig. 1

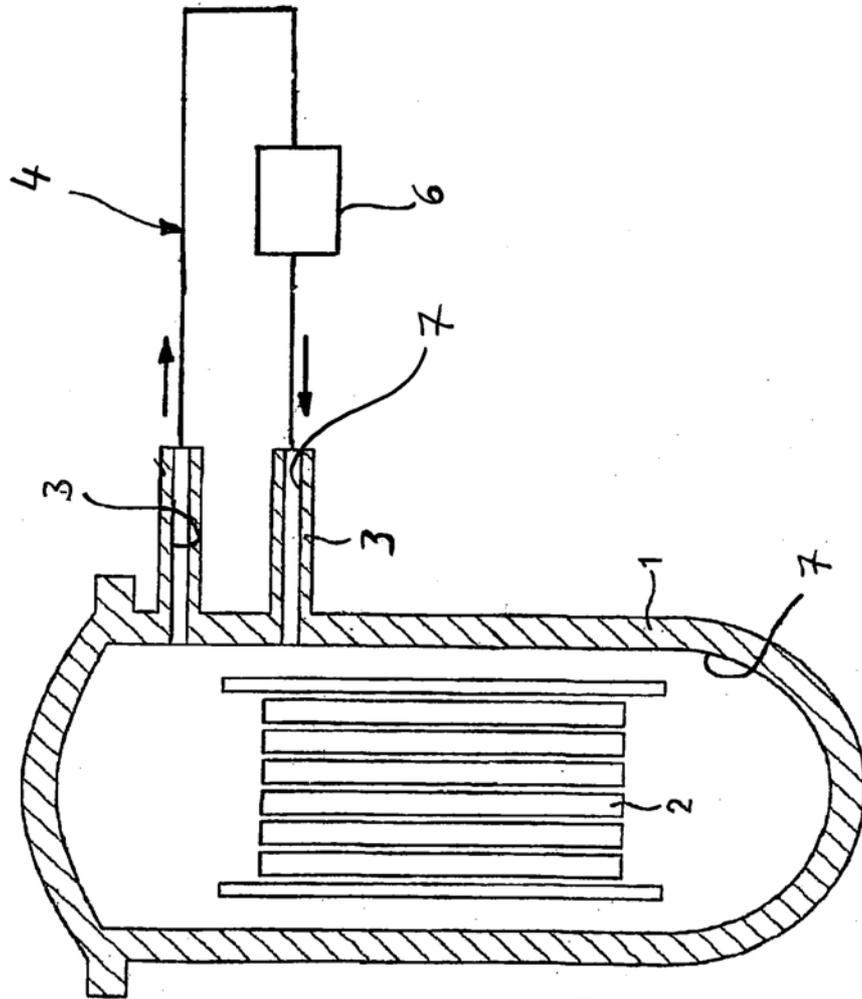


Fig. 2

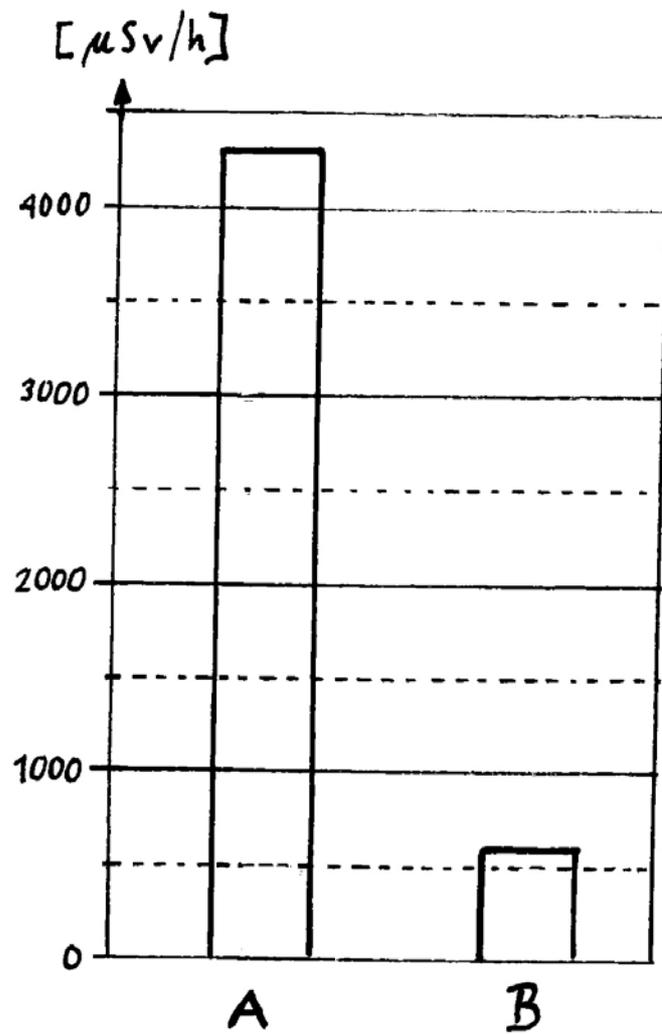


Fig. 3

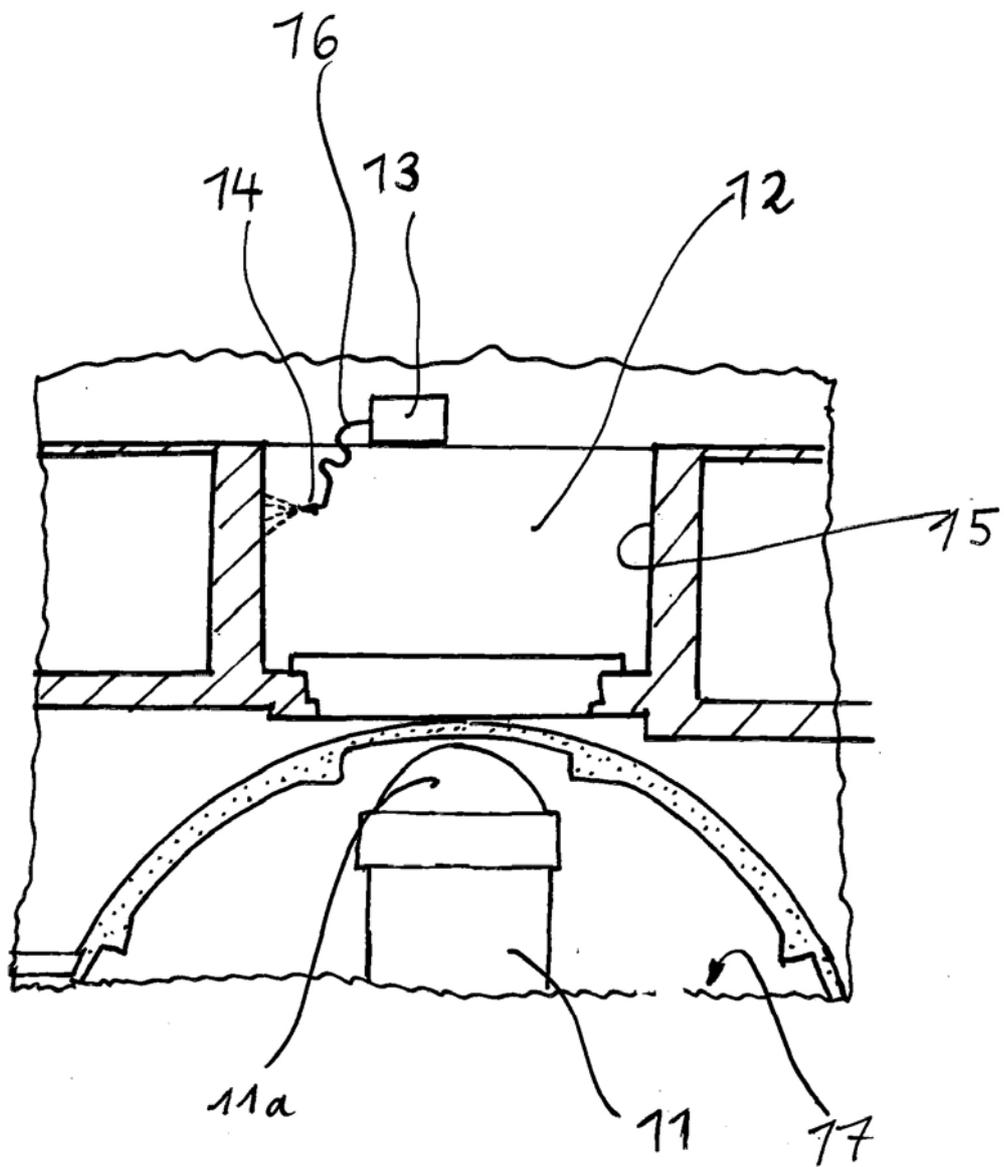


Fig. 4

