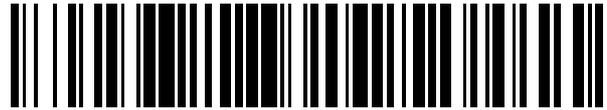


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 124**

51 Int. Cl.:

G21C 9/06 (2006.01)

G21C 19/317 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2008** **E 08859047 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012** **EP 2225761**

54 Título: **Sistema de seguridad para una central nuclear**

30 Prioridad:

11.12.2007 DE 102007059827

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

04.03.2013

73 Titular/es:

**AREVA NP GMBH (100.0%)
PAUL-GOSSEN-STRASSE 100
91052 ERLANGEN, DE**

72 Inventor/es:

**ECKARDT, BERND y
LOSCH, NORBERT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 397 124 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

Sistema de seguridad para una central nuclear

La invención se refiere a un sistema de seguridad para una central nuclear con un número de elementos de recombicación catalítica, que en cada caso desencadenan con el hidrógeno portado en un flujo de gas de entrada una reacción de recombicación con oxígeno.

En una central nuclear, en particular en una central nucleoelectrica, en el caso de situaciones de fallo o de accidente, en las que por ejemplo debido al calentamiento del núcleo puede producirse una oxidación de zirconio, ha de contarse con la formación y la liberación de gas hidrógeno y monóxido de carbono dentro del contenedor de seguridad que rodea el núcleo del reactor o la contención. En particular tras un incidente de pérdida del medio de refrigeración pueden liberarse en este caso grandes cantidades de hidrógeno. De esta manera pueden generarse mezclas de gases explosivos dentro de la contención. Sin contramedida, a este respecto, el enriquecimiento de hidrógeno en la atmósfera de la contención es posible siempre que en el caso de una ignición accidental por la combustión de una gran cantidad de hidrógeno pudiera ponerse en peligro la integridad del contenedor de seguridad.

Para evitar la formación de este tipo de mezclas de gases explosivos en la contención de una central nucleoelectrica se discuten distintos sistemas o procedimientos. Entre ellos figuran por ejemplo sistemas tales como recombinadores catalíticos, sistemas de ignición accionados de manera catalítica y/o eléctrica o la combinación de los dos sistemas mencionados anteriormente como procedimientos de una inertización permanente de la contención.

Con la utilización de un sistema de ignición para la eliminación del hidrógeno de la atmósfera de la contención debe conseguirse una recombicación eficaz del hidrógeno con oxígeno por medio de una combustión controlada. A este respecto debe evitarse una generación de presión significativa como consecuencia de una combustión de hidrógeno virulenta. A este respecto, un sistema de ignición de este tipo está habitualmente diseñado de tal manera que ya al superar el límite de ignición inferior de una mezcla de gases, es decir en el caso de una mezcla de gases con una menor concentración de hidrógeno en comparación de por ejemplo el 4 % en volumen de hidrógeno, o al quedar por debajo del límite de inertización de aproximadamente el 55 % en volumen de vapor, se desencadenará una ignición del hidrógeno.

El documento EP 0 388 955 da a conocer un sistema de seguridad para una central nuclear con una pluralidad de elementos de recombicación catalítica, que en cada caso desencadenan con el hidrógeno portado en un flujo de gas de entrada una reacción de recombicación con oxígeno, siendo adecuados los elementos de recombicación también como elementos de ignición.

Un sistema de ignición conocido por el documento EP 289 907 B1 para la ignición controlada de una mezcla de gases que contiene hidrógeno comprende un encendedor de chispa que puede almacenarse a través de un acumulador de energía integrado. El sistema de ignición está dotado, a este respecto, de un acumulador de energía diseñado de manera autárctica, de modo que no se necesita ninguna línea de alimentación. Como acumulador de energía está prevista en este caso en particular una batería seca. No obstante, este sistema de ignición, debido a la capacidad del acumulador de energía integrado, es sólo adecuado durante una duración de funcionamiento limitada. En particular, en el caso de una activación temprana del encendedor de chispas, durante un transcurso de incidencia con posterior liberación de hidrógeno, es sólo posible de manera limitada una ignición controlada del hidrógeno. Además, este sistema de ignición reacciona asimismo sólo tras el transcurso de un tiempo de retardo de ignición a la liberación de hidrógeno. También es posible un funcionamiento de larga duración del sistema de ignición, que sería necesario para cubrir todos los casos de avería concebibles, sólo con limitaciones. Además tampoco es posible una activación preventiva del sistema de ignición ya como preludeo de una avería que inicia por una estación externa, tal como por ejemplo la sala de control de una central nuclear.

Además, en el caso de sistemas de seguridad que se basan exclusivamente en la utilización de procedimientos de ignición para el hidrógeno, por ejemplo en forma de sistemas de bujías de ignición, existe la limitación adicional de que en situaciones inertes al vapor, no pueda realizarse ninguna degradación de hidrógeno. De manera correspondiente, en el contenedor de seguridad, sólo después de la correspondiente condensación de vapor, puede quemarse completamente el hidrógeno que se produce en sistema de este tipo. Esto puede llevar en el caso de enriquecimiento en hidrógeno en el vapor a cantidades o concentraciones de hidrógeno elevadas en comparación, que entonces, a consecuencia de la ignición se queman en menor tiempo en comparación, de modo que podrían generarse evoluciones de la reacción incontroladas. Además, en el caso de sistemas que se basan exclusivamente en la ignición, ha de tenerse en consideración que en los denominados casos de "apagón", es decir, casos con pérdida completa de suministro de corriente dentro de la contención podría fallar completamente la ignición.

Por lo tanto, de manera alternativa o complementaria, en el contexto de un sistema de seguridad en el contenedor de seguridad o contención de una central nuclear pueden estar dispuestos los denominados recombinadores autocatalíticos pasivos. Habitualmente, éstos comprenden elementos de catalizador adecuados que, por vías catalíticas, desencadenan con hidrógeno portado en un flujo de gas de entrada una reacción de recombicación con

oxígeno. A este respecto, los elementos de catalizador están habitualmente dotados de una carcasa circundante, estando diseñada la carcasa a modo de una chimenea, de tal manera que debido al efecto chimenea se genera de forma automática un flujo de convección dentro de la carcasa, de modo que la mezcla de gases se conduce de forma eficaz a lo largo de cada elemento de catalizador y con ello puede mantenerse la reacción de recombinación catalítica. En este sentido, los verdaderos elementos catalíticos están dispuestos dentro del elemento de recombinación catalítico respectivo principalmente en vertical y en gran parte en paralelo, para generar y favorecer la sustentación entre los elementos. En el caso de la acumulación de hidrógeno en la mezcla de gases de la contención estos sistemas inician habitualmente de forma automática y oxidan el hidrógeno con oxígeno contenido en la atmósfera, de modo que en particular también en caso de presencia de condiciones inertes al vapor o mezclas de gases que se encuentran ligeramente por encima del límite de ignición, puede conseguirse una degradación de hidrógeno efectiva sin ignición.

No obstante, también en sistemas de este tipo, en los casos de avería con altas tasas de liberación de hidrógeno con y al mismo tiempo bajas concentraciones de vapor en el contenedor de seguridad, pueden alcanzarse concentraciones locales o globalmente críticas y cantidades de hidrógeno producido.

Dado que las igniciones en los recombinadores hasta el momento se han observado sólo casualmente, en condiciones de atmósfera diferentes, tales como concentraciones de hidrógeno y porcentajes de vapor etc., mediante tales sistemas no se da ni una evitación fiable de igniciones indeseadas ni una garantía de la función de ignición. También, medidas para evitar por completo inflamaciones de catalizador tales como por ejemplo diferentes densidades de recubrimiento o capas inhibitoras de la difusión o similares, no llevan a una exclusión segura de igniciones. Incluso cuando se lograra esto, en general no pueden descartarse igniciones ocasionales debidas a otras fuentes de ignición discontinuas concebibles en la contención.

Para el diseño de una contención desde el punto de vista de la técnica de seguridad se determina por tanto con el uso de recombinadores catalíticos en cada caso la concentración máxima que aparece en el caso de una sobrealimentación de hidrógeno en el contenedor de seguridad y, en estas condiciones se supone una ignición, con largos recorridos de aceleración de la llama de manera correspondiente a través del contenedor de seguridad. En tales casos de ignición ha de contarse con la formación de rápidas deflagraciones hasta, posiblemente, transiciones de deflagración-detonación. Para poder compensar de manera adecuada incluso las cargas y diferencias de presión de hasta varios bar que aparecen en teoría a este respecto mediante el diseño estructural de la contención, se diseñan habitualmente de forma maciza de manera correspondiente las estructuras correspondientes de la contención así como las estructuras internas previstas en la misma. Por tanto, sería deseable un diseño modificado de un sistema de seguridad, en el que incluso en las condiciones mencionadas puedan descartarse a priori de manera fiable un gran enriquecimiento de hidrógeno en la atmósfera y por lo tanto puedan evitarse de manera segura los casos de ignición o detonación mencionados.

Para satisfacer tales aspiraciones, pueden preverse también sistemas combinados que comprenden tanto encendedores como recombinadores catalíticos. Por el documento EP 596 964 B1 se conoce por ejemplo un catalizador-sistema de ignición combinado para la recombinación de hidrógeno en una mezcla de gases. En este sistema, durante la recombinación catalítica de hidrógeno se conduce el calor obtenido en un cuerpo de catalizador a un dispositivo de ignición y allí se usa para la ignición directa de gases que contienen hidrógeno no empobrecidos. En el caso de un catalizador-sistema de ignición combinado de este tipo, sin embargo, la ignición del hidrógeno sólo aparece tras el transcurso de un tiempo de retardo de ignición tras la liberación del hidrógeno. Tras la primera liberación del hidrógeno es en concreto necesario un cierto tiempo hasta que se haya calentado suficientemente el cuerpo de catalizador y el sistema de ignición adyacente, para hacer posible una ignición del hidrógeno. Este retardo temporal lleva a que en procesos de desplazamiento de gas rápidos dentro de la contención, la ignición del hidrógeno sólo comience con concentraciones de hidrógeno comparativamente altas. Tras el calentamiento del sistema completo, sin embargo en las partes no catalíticas, se produce entonces una ignición temprana ya tras superarse el límite de ignición inferior.

En otros sistemas combinados con recombinadores catalíticos y con una pluralidad de encendedores de chispa autónomos, en los que la ignición se inicia en el sistema de ignición independientemente de la recombinación catalítica, ha de contarse con un gasto comparativamente grande por una coordinación correspondiente de los sistemas entre sí y en particular es problemático el manejo de consecuencias desfavorables en el caso de una frecuencia de ignición errónea. En principio, en este caso puede regir, a su vez, que se desencadenen igniciones individuales tempranas con procesos de desplazamiento de gas correspondientes, sin que, debido a las ausentes regiones de alta temperatura, se hagan posibles contraigniciones para garantizar recorridos de aceleración de la llama más cortos.

Por tanto, la invención se basa en el objetivo de indicar un sistema de seguridad del tipo mencionado anteriormente, con el que también considerando casos o condiciones comparativamente extremas del tipo mencionado con una seguridad de funcionamiento especialmente elevada se garantice una eliminación fiable del hidrógeno de la mezcla de gases.

Este objetivo se soluciona según la invención, estando diseñados una pluralidad de elementos de recombinación, que son adecuados como elementos de ignición; caminos de flujo que conectan dentro del contenedor de seguridad

o de la contención en el lado del gas, de tal manera que un pulso de presión, desencadenado en la zona de flujo de entrada mediante una ignición durante la reacción de recombinación en un primer elemento de recombinación en el medio de gas, de un segundo elemento de recombinación adyacente, desencadena un proceso de desplazamiento de gas con una velocidad de flujo de al menos 5 m/s, que provoca un calentamiento aumentado del segundo elemento de recombinación y de esta manera una ignición del flujo de gas incluso antes de que el frente de llama llegue al segundo elemento de recombinación. La velocidad de flujo deseada según el diseño en la zona de flujo de entrada debería superar a este respecto preferentemente el doble de la velocidad de flujo que impera en el funcionamiento de convección.

La invención parte a este respecto de la consideración de que puede conseguirse una eliminación fiable del hidrógeno en las condiciones extremas posibles mencionadas evitando de manera fiable la formación de concentraciones críticas y con al consecuente exclusión de casos de detonación, completándose un sistema que se basa esencialmente en una recombinación catalítica, de manera especialmente adecuada, por igniciones iniciadas de manera dirigida. Para ello, también el sistema de ignición debería estar diseñado para cumplir especialmente altas normas de seguridad de funcionamiento y también para controlar casos de "apagón" completamente o al menos en gran parte de manera pasiva. Una complementación dirigida de este tipo de un sistema que se basa en recombinadores catalíticos puede alcanzarse mediante mecanismos de ignición adecuados, usándose de manera especialmente adecuada el calor liberado durante la recombinación catalítica localmente en la zona de los elementos de catalizador para el inicio dirigido de igniciones.

A este respecto, el sistema debería estar diseñado en su conjunto en particular de tal manera que también en casos secos, con una liberación de hidrógeno moderada y porcentajes de vapor comparativamente bajos, se inicia de forma temprana una degradación de hidrógeno catalítica sin llama y se continúa aún más hasta ya concentraciones inflamables pero no críticas de por ejemplo el 6 hasta el 8 % en volumen de hidrógeno. Este funcionamiento de recombinador sin llama se ampliará en el caso de mayores concentraciones de vapor de por ejemplo > 30 % en volumen hasta aproximadamente > 8 % en volumen de concentración de hidrógeno, a > 40 % en volumen preferentemente hasta el 10 % en volumen y más concentración de hidrógeno. Con esto se consigue que en una pluralidad de casos no se produzca en absoluto ninguna ignición.

Sólo en casos extremos, en particular al aparecer cantidades de hidrógeno relevantes con concentraciones por encima de aproximadamente el 8 % en volumen con poco porcentaje de vapor, en cada caso sin embargo a concentraciones de hidrógeno de más del 10 % en volumen, se evitaría de manera preventiva un aumento de concentración adicional y se desencadenaría de manera dirigida automáticamente una ignición en las distintas zonas del espacio del contenedor de seguridad. Las concentraciones límite mencionadas se refieren a este respecto en particular a temperaturas atmosféricas de hasta aproximadamente 100 °C. A mayores temperaturas ha de tenerse en cuenta además que el área de ignición se amplíe aún más en el límite de ignición inferior y superior de una mezcla de hidrógeno y con ello se hace posible una ignición segura, aún más temprana.

Para garantizar esto de manera dirigida, está ahora previsto, por medio de una posición estructural adecuada de los elementos de catalizador entre sí y un diseño estructural adecuado, en particular en cuanto a la ventaja de los caminos de flujo y el dimensionamiento de los componentes previstos para ello, ajustar de manera dirigida el comportamiento de flujo de un flujo de gas en la zona de flujo de entrada de los elementos catalíticos respectivos.

A este respecto se basa en el conocimiento de que en el caso de un recombinador catalítico del tipo mencionado, en el que, por ejemplo a consecuencia de efectos chimenea o similares, se conduce el flujo de gas con una velocidad de flujo determinada a lo largo de los elementos catalíticos y con ello se inicia la reacción de recombinación y se mantiene, en el estado de equilibrio del catalizador tiene lugar un empobrecimiento del porcentaje de hidrógeno en el flujo de gas de manera directamente adyacente a la superficie catalíticamente activa. Esto es una consecuencia de la reacción de recombinación que directamente en la zona límite de la superficie catalíticamente activa con respecto al flujo de gas que pasa debido a la reacción del hidrógeno portado en la misma con oxígeno lleva a un empobrecimiento local del porcentaje de hidrógeno en proximidad directa al catalizador. El calor generado por la reacción de recombinación catalítica, que calienta de manera correspondiente el catalizador, puede conducir por tanto en un estado de equilibrio tal sólo a una ignición del flujo de gas circundante, cuando incluso en la zona empobrecida existe un porcentaje de hidrógeno de la mezcla de gas suficiente para la ignición en la zona empobrecida aún en cuanto a una temperatura que impera en el elemento de catalizador.

Con inestabilidades en los sistemas de este tipo ha de contarse por lo tanto en particular con que cuando localmente dentro de la contención en un punto aleatorio debido a cualquier motivo, por ejemplo por una ignición deseada por medio de encendedores, por ignición por medio de otros sistemas eléctricos, por una ignición inicial en uno de los recombinadores o también por procesos de alimentación de gas transitorios tales como por ejemplo golpes de vapor al alimentar agua fría de forma repentina sobre estructuras internas sobrecalentadas, tiene lugar una ignición y con ello se amplía en cuanto a un frente de llama a lo largo de los caminos de flujo en la contención. En cuanto este frente de llama llega a otro recombinador, se supera localmente la temperatura necesaria para una ignición de la mezcla de gases en la zona del entorno de este segundo recombinador, es decir en la zona de empobrecimiento mencionada, y la ignición inicia también en esta zona del espacio. Precisamente una interferencia de este tipo de efectos de ignición a consecuencia de una propagación mediante frentes de llama que avanzan a lo largo puede llevar a aceleraciones de llama indeseadas y a las inestabilidades

La disposición de recombinador tiene lugar de manera ventajosa según tras determinar el mecanismo de ignición pretendido que favorece los criterios estructurales de separación, de volumen y de edificio en la contención o el contenedor de seguridad del reactor. Es favorable por ejemplo la disposición de los recombinadores reforzada, es decir con un porcentaje de por ejemplo al menos el 70 %, en una zona de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ de la altura del edificio de contención. La disposición con mayor densidad de recombinador tiene lugar además preferentemente en la zona de liberación de hidrógeno potencial, cerca del circuito central, en un volumen de contención de aproximadamente el 20 - 50 % del volumen total así como en zonas con mayor subdivisión del espacio. De manera favorable, se dispone en este caso un elemento de recombinación por 300 a 1500 m³ de volumen del edificio. Además, en este caso se aplica de manera ventajosa un criterio de separación de < 15 m, preferentemente < 10 m, teniendo en cuenta la estructura del edificio, entre las unidades, para minimizar los efectos de aceleración de la llama. Las separaciones indicadas describen en este caso en particular la longitud del camino de flujo de gas previsto entre dos unidades de recombinador.

Dado que en el intervalo de concentración seleccionado se genera principalmente una propagación de la llama en dirección ascendente, la disposición de recombinador tiene lugar preferentemente por encima del circuito central, para garantizar una realización del procedimiento especialmente eficaz.

Por el contrario, preferentemente en la zona exterior, más bien libre del contenedor de seguridad en particular, debido a los gradientes de concentración claramente bajos en la misma y a los generadores de turbulencia apenas presentes, se realizan mayores separaciones entre los elementos de recombinación de hasta 25 m, preferentemente < 15 m. Además, en este caso se selecciona preferentemente un volumen de edificio de 1000 a 5000 m³ por recombinador.

La disposición de los recombinadores según este procedimiento tiene lugar además preferentemente en la zona del circuito central como cadena ininterrumpida así como de apoyo a la convección en la zona de las sendas de flujo locales y globales.

La disposición de los recombinadores tiene lugar adicionalmente de manera ventajosa teniendo en cuenta las geometrías espaciales y el grado de bloqueo en las sendas de flujo respectivas, pudiendo generar bloqueos en particular mediante componentes o estructuras internas adicionales dispuestos en la misma. En este sentido han de tenerse en cuenta en principio los efectos de propagación de la llama y el volumen, tales como por ejemplo más bien la extensión bi- o tridimensional así como generadores de turbulencia en el espacio y efectos de enfriamiento de amortiguación de estructuras de edificio.

En el caso de espacios que se amplían sólo de forma insignificante debería mantenerse preferentemente una mayor separación de recombinador de hasta 10 m, en cambio, en el caso de espacios que se amplían considerablemente, una menor separación de recombinador de < 7 m.

Zonas con factores de bloqueo del espacio de > 0,2 a < 0,5, en combinación con las zonas de concentración medias seleccionadas, son especialmente favorables para la disposición de recombinador. En este caso tiene lugar la disposición de manera ventajosa en las proximidades de zonas de flujo excesivo en el espacio relevantes para la velocidad antes o después de aberturas de sobreflujo, en particular en la zona de flujo de entrada o de chorro libre o en las áreas con mayor turbulencia. Mediante la contraignición temprana se evita de manera segura precisamente en estas velocidades de llama más lentas en esta zona de aceleración de la llama especialmente crítica, hasta deflagraciones rápidas. En el caso de un mayor bloqueo del espacio > 0,5 la disposición de recombinador se efectúa preferentemente tras el obstáculo y/o fuera de la zona de radiación nuclear del flujo.

En este sentido, el siguiente recombinador en segmentos de arranque más largos se coloca de manera favorable delante de un bloqueo del espacio relevante, en segmentos de arranque más cortos también en la zona de salida de flujo detrás del bloqueo del espacio.

En una configuración ventajosa adicional, el sistema de seguridad está diseñado también para una integración especialmente eficaz de la ignición de la mezcla de gases controlada deseada a consecuencia del calentamiento que entra y de la activación mediante el pulso de presión. Teniendo en cuenta la correlación entre concentración de hidrógeno y temperatura de ignición asociada, para ello el sistema está diseñado en una configuración especialmente ventajosa para que en el funcionamiento de convección natural del o cada elemento de recombinación se desencadene una ignición en el flujo de gas que fluye alrededor sólo cuando el porcentaje de hidrógeno portado ascienda al menos al 6 %, preferentemente al menos al 8 %, en condiciones atmosféricas y hasta aproximadamente 100 °C de temperatura del entorno. Para el diseño de los componentes respectivos puede tenerse en cuenta para ello en particular la inercia térmica de los elementos de catalizador y el efecto de enfriamiento de un flujo de gas que pasa a lo largo de la superficie, pudiendo modificarse la temperatura que se ajusta según el diseño del elemento de catalizador respectivo en particular mediante variación de la masa, espesor o extensión lateral del verdadero cuerpo de catalizador.

En una configuración adicional, especialmente ventajosa, está previsto un sistema de rociado de edificio, en particular para la condensación de vapor necesaria en la atmósfera de la contención. En determinados casos de funcionamiento puede tener lugar mediante esta combinación con un sistema de rociado de edificio la uniformización

de la atmósfera de contención y la reducción controlada del porcentaje de H₂ y/o de vapor, de manera sintónica y sincronizada.

En el caso de una condensación de vapor controlada y alcanzar la zona de concentración no inerte, de por ejemplo aproximadamente < 50 al 55 % en volumen de vapor y CO₂, a concentraciones ahora en gran parte homogéneas, puede desencadenarse por lo tanto cerca de los límites de inertización asimismo de manera segura la ignición, también a mayores concentraciones de hidrógeno, en la zona de la deflagración lenta con contraignición.

Mediante la combinación de los sistemas de recombinación dispuestos en distintas zonas del espacio con el funcionamiento de un sistema de rociado de contención, puede tener lugar en la zona inerte al vapor un mezclado intensivo de la atmósfera mediante rociado por un lado y los flujos de convección de recombinador por otro lado, así como al mismo tiempo alcanzarse una reducción del porcentaje de hidrógeno. En particular, por ello se mezclan nubes de concentración alta críticas posibles con potencial relevante para la aceleración de la llama brevemente con el resto de la atmósfera y además se llevan las distintas zonas de ignición teórica de alta temperatura a un nivel más uniforme. En este sentido pueden ajustarse especialmente marcadas altas temperaturas en las zonas de ignición teóricas dispuestas de manera correspondiente en el edificio de > 700 °C, preferentemente > 800 °C. El procedimiento proporciona, debido a la marcada zona de alta temperatura, también con la aparición de altas velocidades, de por ejemplo >50 m/s y más, igniciones espontáneas fiables. El efecto de enfriamiento que aparece en este sentido, debido a la atmósfera del entorno más fría que fluye de manera masiva, puede compensarse de manera segura mediante el templado existente de las masas.

Mediante la configuración correspondiente del funcionamiento del sistema de rociado puede tener lugar además el efecto de condensación según sea necesario de manera correspondiente de forma ralentizada, por ejemplo con una velocidad de condensación de vapor de < 1 % en volumen/min, de modo que se garantiza de manera ininterrumpida la uniformidad de la atmósfera y una degradación de hidrógeno. A temperaturas altas de manera correspondiente, preferentemente > 800 °C en las zonas de ignición teóricas de los recombinadores dispuestos de manera correspondiente, puede tener lugar también una iniciación de la pulverización o el rociado con el fin de la desinertización y, en particular a mayor probabilidad de fuga de la contención o al aproximarse al valor de diseño de sobrepresión, puede reducirse la presión de la contención rápidamente así como garantizarse el efecto especialmente fiable de los procedimientos con el inicio de deflagraciones lentas con contraignición.

Las ventajas obtenidas con la invención consisten en particular en que mediante la configuración estructural de los sistemas de recombinador y/o de los caminos de flujo unidos a los mismos, se garantiza que el pulso de presión que llega en el caso de un elemento de recombinación a consecuencia de una ignición en otro elemento de recombinación o proceso de desplazamiento de gas en la zona de entrada de flujo del elemento de recombinación genera altas velocidades de flujo de gas de tal manera que la capa de gas que se encuentra en proximidad directa de la superficie catalítica se abre con contenido en hidrógeno empobrecido o reducido.

De esta manera ahora nada o sólo poco gas empobrecido puede obtener contacto directo con las superficies comparativamente calientes del elemento catalítico, de modo que por ello se desencadena de manera fiable una ignición en esta zona del espacio. De esta manera, en el caso de deflagraciones lentas se adelantan las fuentes de presión generada a este respecto con una duración de oscilación comparativamente larga y menor amplitud del frente de llama correspondiente, se desencadena por lo tanto mediante los procesos de desplazamiento de gas provocados con ello la ignición en el recombinador, antes que llegue el frente de llama. El aporte masivo de gas combustible lleva por lo tanto a una sobrealimentación del sistema de recombinación local y a una minimización del empobrecimiento de la concentración en la zona de capa límite de las superficies de calefacción y en el límite de fases a una alteración de la superficie límite, de modo que adicionalmente se provocan adicionalmente flujos de convección y se hace posible una ignición segura. Con ellos se garantiza una ignición de seguridad de zonas críticas antes de un aumento de concentración adicional, desencadenándose de manera segura a modo de efecto dominó o ignición de dominó partiendo de un primer sistema de recombinador igniciones en sistemas de recombinador adyacentes o que se conectan en el lado del flujo. Efectos de interferencia y relaciones de flujo incontroladas pueden evitarse de modo que tenga lugar una minimización de las cargas que han de tenerse en cuenta.

De manera correspondiente el sistema está diseñado en su conjunto con su parte esencial sobre la función catalítica de la degradación de hidrógeno, teniendo lugar comparativamente en muchos casos, es decir en particular a concentraciones de menos del 8 % en volumen, preferentemente menos del 6 % en volumen, renunciando a igniciones, una degradación de hidrógeno exclusivamente catalítica. A mayores concentraciones tienen lugar igniciones y procesos de combustión principalmente en la zona de concentración o zona de arranque de deflagraciones lentas, iniciándose procesos de ignición seguros en sistemas adyacentes a consecuencia de los procesos de desplazamiento de gas que se adelantan a las fuentes de combustión o frentes de llama con separación.

Por lo tanto, se hace posible en la zona de concentración de por ejemplo el 5 a aproximadamente el 8 % en volumen en principio una oxidación catalítica sin llama mediante ignición temprana y con ello también una degradación catalítica sin llama ventajosa a mayores concentraciones así como la creación simultánea de regiones de alta temperatura (> 600 - 900 °C). La zona de la catálisis sin llama está ampliada de todos modos por lo tanto a través de la zona de no ignición. En el caso de ligeras diferencias de concentración se evitan igniciones individuales

tempranas con rápidos procesos de desplazamiento de gas, de modo que en las igniciones que llegan se hace posible una contraignición eficaz para conseguir caminos de aceleración de la llama cortos.

El efecto doble del procedimiento resulta ser ventajoso en particular en la zona inerte al vapor, a aproximadamente > 55 % en volumen de porcentaje de CO₂ del vapor, dado que mediante la oxidación sin llama puede descomponerse ya de manera agravante el hidrógeno y al mismo tiempo la creación de manera correspondiente de altos potenciales de temperatura, de por ejemplo > 600 °C, en particular sin embargo, en el límite de ignición superior más difícil visto por las condiciones de ignición, también se hacen posibles potenciales de temperatura de >900 °C. Mediante estas altas temperaturas puede compensarse la elevada derivación de calor que aparece debida al alto porcentaje de vapor y las condiciones de presión en la región de zona de ignición y también puede tener lugar en estas condiciones la ignición segura.

Un ejemplo de realización de la invención se explica en detalle por medio de dibujos. En ellos muestran:

la figura 1 un sistema de seguridad para la recombinación de hidrógeno y oxígeno en una mezcla de gases,

la figura 2 un recombinador catalítico, y

la figura 3 en detalle ampliado, una parte del sistema de seguridad según la figura 1.

Partes iguales están provistas en todas las figuras con el mismo número de referencia.

El sistema 1 de seguridad según la figura 1 está previsto para la recombinación de hidrógeno en una mezcla de gases, en concreto en la atmósfera de contención de un contenedor 2 de seguridad representado de manera resumida en la figura 1 de una central nuclear. El sistema 1 de seguridad comprende para ello un número de recombinadores 4 catalíticos dispuestos dentro del contenedor 2 de seguridad, de los que cada uno sobre caminos catalíticos desencadena una reacción de recombinación de hidrógeno portado en un flujo de gas que pasa con el oxígeno contenido en la atmósfera de contención.

Para ello cada uno de los recombinadores 4 catalíticos, tal como puede reconocerse en la representación ampliada en la figura 2, comprende un número de elementos 8 de catalizador dispuestos en una carcasa 6. Los elementos 8 de catalizador presentan a este respecto en cada caso una superficie dotada de un material seleccionado adecuado, por ejemplo paladio y/o platino, que en una mezcla de gases adyacente para el caso de que esta mezcla de gases contenga porcentajes de hidrógeno significativos de por ejemplo algún porcentaje en volumen, desencadenan una reacción de recombinación catalítica con el oxígeno contenido en el gas atmosférico. A este respecto el hidrógeno esquivando una reacción exotérmica con el oxígeno con formación de agua. Mediante esta reacción exotérmica se calientan los elementos 8 de catalizador por su parte, de modo que a consecuencia de la caída de temperatura que se genera, genera un flujo de convección de abajo a arriba en el espacio de gas circundante.

Para apoyar a este flujo de convección mediante el denominado efecto chimenea, la carcasa 6 que rodea los elementos 8 de catalizador del recombinador 4 respectivo, está configurada de manera adecuada, en particular a modo de chimenea, y para el mayor alivio del flujo de convección que se genera de este modo están dispuestos los elementos 8 de catalizador esencialmente a modo de placa y en paralelo entre sí. En conjunto, el recombinador 4 formado por estos componentes presenta por lo tanto propiedades estructurales que, con la presencia de hidrógeno en el gas atmosférico del contenedor 2 de seguridad inician automáticamente un proceso de recombinación catalítica y mantienen mediante el efecto de apoyo del flujo de convección a consecuencia del efecto chimenea y provocan un mezclado adicional de la atmósfera, hasta que ha tenido lugar una degradación suficiente del hidrógeno.

El sistema 1 de seguridad está diseñado en su conjunto para, en una pluralidad de posibles casos, incluyendo también condiciones de avería comparativamente extremas improbables, garantizar una recombinación segura y fiable del hidrógeno generado en la atmósfera del contenedor 2 de seguridad. Para ello el sistema 1 de seguridad está diseñado para degradar el hidrógeno con la parte esencial en la recombinación catalítica, teniendo lugar en caso necesario y en particular de manera local y globalmente complementaria también a una ignición una mezcla de gases ignición que puede encenderse. Para ello los recombinadores 4 catalíticos en cuanto al tipo, colocación y dimensionamiento de sus componentes, están diseñados principalmente de tal manera que en mezclas de gases con una concentración de hidrógeno de hasta aproximadamente el 6 por ciento en volumen o según sea necesario también hasta aproximadamente el 8 por ciento en volumen no tiene lugar tampoco una ignición, sino que tiene lugar la degradación de hidrógeno mediante reacción de recombinación desencadenada de manera catalítica en la superficie de los elementos 8 de catalizador.

Por el contrario, para mayores concentraciones de hidrógeno está previsto de manera complementaria que los elementos 8 de catalizador, a consecuencia de la energía térmica liberada por la reacción de combinación catalítica, se calienten de tal manera que su temperatura se encuentre a modo de los denominados "hotspots" por encima de la temperatura de ignición de la mezcla de gases y con ello una ignición de la mezcla de gases a modo de sistema pasivo desencadenada automáticamente apoye el proceso de recombinación.

En cambio, en el caso de este diseño, para evitar una interferencia indeseada de acontecimientos de ignición entre recombinaidores 4 individuales y acontecimientos de flujo inestables que resultan posiblemente de los mismos con largos recorridos de aceleración de la llama y similares, los recombinaidores 4 y los caminos de flujo que unen los mismos están diseñados de manera adecuada y dirigida. A este respecto ha de tenerse en cuenta el hecho en particular de que, tal como puede deducirse de la representación en sección ampliada en la figura 3, una ignición desencadenada en un primer recombinaidor 40 de manera deseada o indeseada, por acontecimientos inertizados activamente o un acontecimiento externo tal como por ejemplo un golpe de vapor o similar genera un frente 42 de llama que se amplía con el tiempo a modo de pulso. Podría ser problemático si este frente 42 de llama se amplía hasta un recombinaidor 44 adicional dispuesto aguas abajo en el lado del flujo y en el mismo desencadena la ignición por el aporte de calor adicional resultante en la mezcla de gases. En el caso de un desencadenamiento inducido por un frente de llama podrían resultar en concreto los efectos de interferencia indeseados con aceleración de la llama, contraigniciones y similares.

Para contrarrestar esto, en el sistema 1 de seguridad se aprovecha el conocimiento de que el frente 42 de llama desencadenado en el primer recombinaidor 40 por la ignición a modo de un proceso de desplazamiento de gas preceda a una fuente 46 de presión que, con ello llega antes del frente 42 de llama al recombinaidor 44 adicional conectado aguas abajo en el lado del flujo. Para las altas normas de seguridad deseadas evitando los efectos de interferencia mencionados, el sistema 1 de seguridad está ahora diseñado para que esta fuente 46 de presión desencadene la ignición en el recombinaidor 44 conectado aguas abajo en el lado del flujo.

Para garantizar esto, en el sistema 1 de seguridad se tiene en cuenta el conocimiento de que cada uno de los recombinaidores 4 en el funcionamiento de recombinación catalítico, es decir, en el caso de presencia de convección natural, se hace fluir alrededor por el flujo de gas necesario para el tratamiento, teniendo lugar en la proximidad directa de las superficies catalíticas de los elementos 8 de catalizador a consecuencia de la reacción de recombinación que se ha producido un empobrecimiento del porcentaje de hidrógeno en el flujo de gas. En el estado de la convección natural, los elementos 8 de catalizador entran en contacto por lo tanto a modo de un flujo de gas estratificado directamente con el gas empobrecido, encontrándose en zonas del espacio que se encuentran más alejadas gas no empobrecido con un porcentaje de hidrógeno elevado de manera correspondiente. En este estado de la convección natural se evita el efecto de ignición que puede ejercer el material de catalizador sobre el flujo de gas circundante.

Para aprovechar ahora de manera dirigida el efecto de los procesos de desplazamiento de gas o de la fuente 46 de presión que llega en la zona de flujo de entrada del recombinaidor 44 conectado aguas abajo, el camino de flujo o la disposición de recombinaidor en el camino de flujo entre los recombinaidores 4 está diseñado en cada caso de tal manera que la fuente de presión que entra en la zona de flujo de entrada del recombinaidor 4 respectivo presentan velocidades de flujo de al menos una velocidad mínima predefinida, por ejemplo de 5 m/s, preferentemente de al menos 10 m/s. Esto puede conseguirse por ejemplo estando previstos en el camino de flujo puntos de bloqueo del espacio adecuados, puntos de estrangulamiento, obturadores o similares, tal como se indica en la figura 3 mediante el punto 12 de estrechamiento. Mediante la velocidad de flujo de gas ajustada de manera correspondiente de la fuente de presión que llega se abren las capas de gas formada en el modo de convección natural, en particular la zona de empobrecimiento cercana a la superficie, y llega gas con porcentaje de hidrógeno no empobrecido en contacto directo con la superficie del elemento 8 de catalizador respectivo.

Los elementos 8 de catalizador respectivos están diseñados en cuanto a su elección de material, espesor de placa y otras propiedades estructurales teniendo en cuenta el efecto de enfriamiento del flujo de gas que atraviesa a este respecto de tal manera que, si bien en el modo de convección natural, teniendo en cuenta la capa de gas que pasa sobre la superficie con porcentaje de hidrógeno empobrecido, el calentamiento lleva, mediante la reacción de recombinación exotérmica a temperaturas que no llevan a la ignición de la mezcla de gases, que en cambio desencadenan una ignición al contacto con gas no empobrecido. Mediante la fuente de presión que llega en contacto con la superficie caliente del elemento 8 de catalizador se enciende el gas no empobrecido portado, de modo que la ignición se desencadena por el ajuste adecuado de la velocidad controlada antes de la entrada del frente 42 de llama.

Además el sistema 1 de seguridad comprende un sistema 50 de rociado de edificio, a través del que en caso de necesidad puede rociarse un agente de inertización en el contenedor 2 de seguridad. En el ejemplo de realización está previsto a este respecto un rociado de agua según sea necesario, que a la vista de las temperaturas que imperan en el contenedor 2 de seguridad en el caso diseñado se evapora inmediatamente tras su rociado. El vapor formado a este respecto inertiza luego la atmósfera en el contenedor 2 de seguridad. Tal como puede deducirse de la representación según la figura 1, el sistema 50 de rociado de edificio está dispuesto asimismo como una pluralidad de los recombinaidores 4 por encima del circuito 52 principal de la central nuclear.

El sistema 50 de rociado de edificio está adaptado de manera adecuada a los recombinaidores 4 en cuanto al diseño de su control. Han de tenerse en cuenta en cuanto al desencadenamiento del rociado y a este respecto en particular los criterios mencionados anteriormente.

Lista de números de referencia

	1	sistema de seguridad
	2	contenedor de seguridad
	4	recombinador
5	6	carcasa
	8	elemento de catalizador
	40	recombinador
	42	frente de llama
	44	recombinador
10	46	fuelle de presión
	50	sistema de rociado de edificio
	52	circuito principal

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema (1) de seguridad para una central nuclear con una pluralidad de elementos (40, 44) de recombinación catalítica, que en cada caso desencadenan con el hidrógeno portado en un flujo de gas de entrada una reacción de recombinación con oxígeno, siendo adecuados los elementos de recombinación también como elementos de ignición,
caracterizado porque
los elementos de recombinación y en cada caso los caminos de flujo que conectan dos elementos de recombinación en el lado del gas están diseñados de tal manera que un pulso (46) de presión desencadenado en el medio de gas mediante una ignición durante la reacción de recombinación en un primer elemento (40) de recombinación en la zona de flujo de entrada de un segundo elemento (44) de recombinación adyacente desencadena un proceso de desplazamiento de gas que precede a un frente (42) de llama con una velocidad de flujo de al menos 5 m/s, que provoca un calentamiento aumentado del segundo elemento de recombinación y de esta manera una ignición del flujo de gas incluso antes de que el frente de llama llegue al segundo elemento de recombinación.
- 10
- 15 2. Sistema (1) de seguridad de acuerdo con la reivindicación 1, en el que como velocidad de flujo para el proceso iniciado de desplazamiento de gas está fijada en al menos 10 m/s.
3. Sistema (1) de seguridad de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el o cada elemento de recombinación está diseñado de tal manera que en el funcionamiento de convección natural se desencadena una ignición en el flujo de gas que fluye alrededor sólo cuando el porcentaje de hidrógeno portado asciende al menos al 6 % en volumen, preferentemente al menos al 8 % en volumen.
- 20
4. Sistema (1) de seguridad de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, con un sistema (50) de rociado de edificio, en particular para la inyección de agua cuando sea necesario.
- 25 5. Sistema (1) de seguridad de acuerdo con la reivindicación 4, en el que los elementos de recombinación y el sistema (50) de rociado de edificio están adaptados entre sí de tal manera que en caso de respuesta tiene lugar en primer lugar la formación de zonas de ignición teóricas de alta temperatura y a continuación la desinertización de vapor.
6. Central nuclear con un sistema de seguridad de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5.

FIG. 1

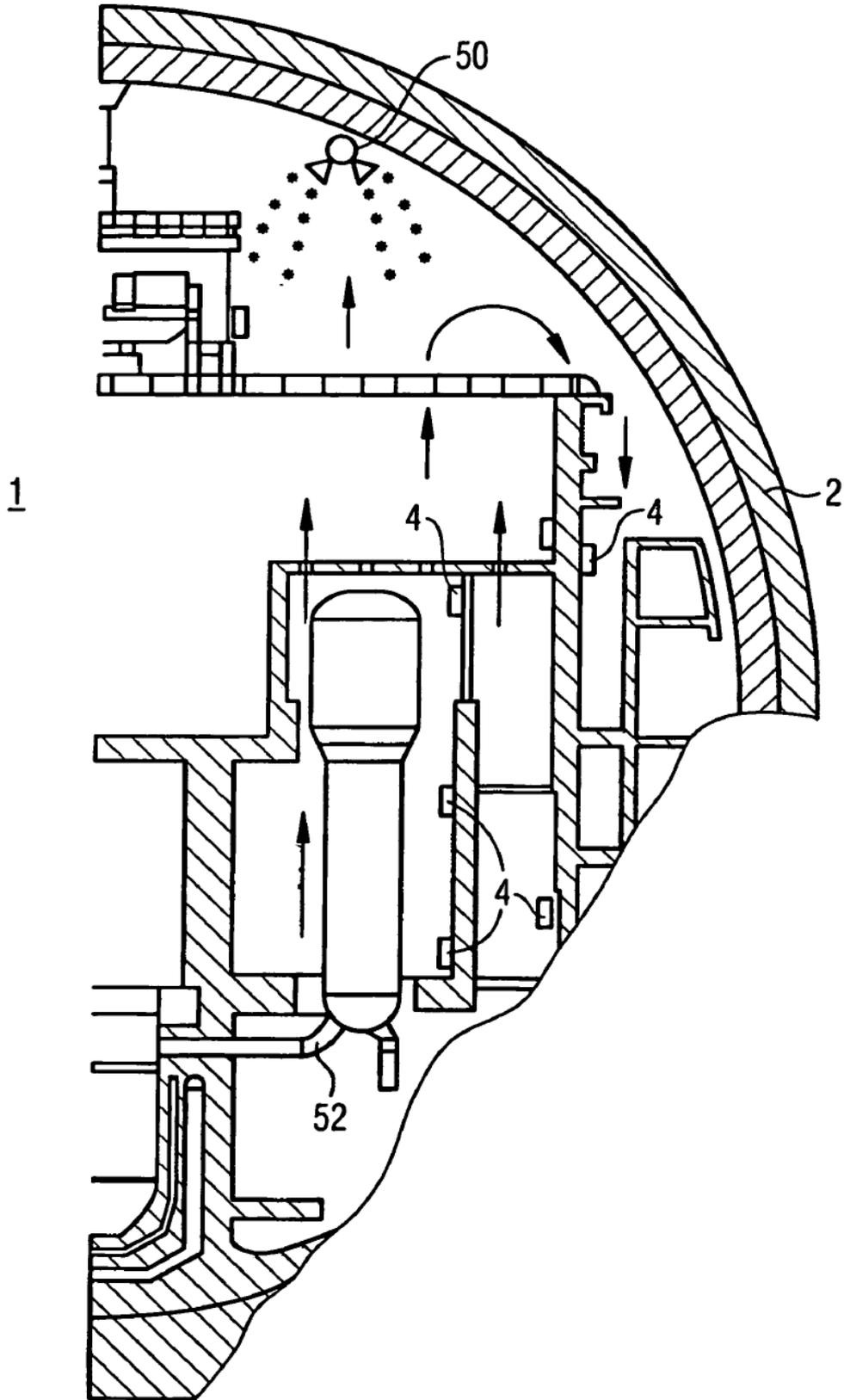


FIG. 2

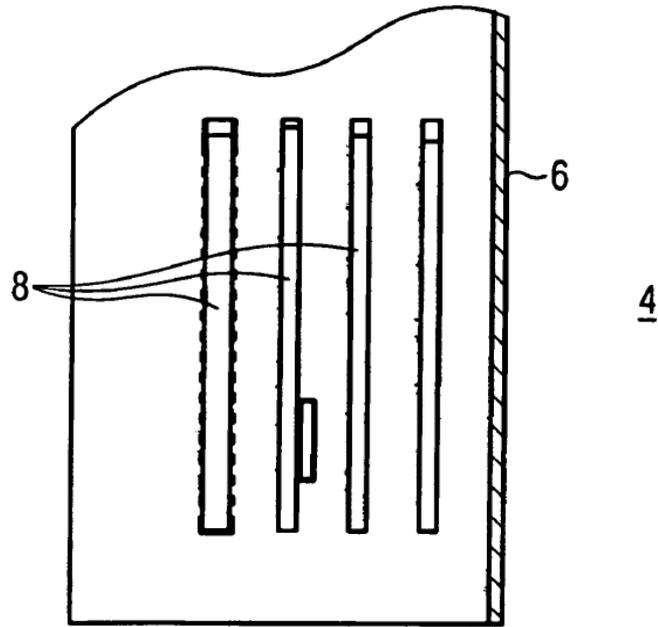


FIG. 3

