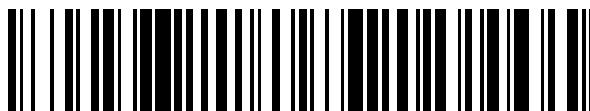


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 938 392**

51 Int. Cl.:

B01J 19/24

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2017** **PCT/EP2017/056715**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.09.2017** **WO17162681**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2017** **E 17717089 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2022** **EP 3433011**

54 Título: **Reactor para la producción de gas de síntesis**

30 Prioridad:

23.03.2016 DE 102016105492

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

10.04.2023

73 Titular/es:

**KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE
(100.0%)**

**Kaiserstrasse 12
76131 Karlsruhe, DE**

72 Inventor/es:

**PFEIFER, PETER;
PIERMARTINI, PAOLO;
BÖLTKE, TIM y
DÜRRSCHNABEL, ROBIN**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 938 392 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

Reactor para la producción de gas de síntesis

- 5 La presente invención se refiere a un reactor para la producción de gas de síntesis que, dado el caso, está conectado de forma estanca a fluidos a un intercambiador de calor, así como a un procedimiento para la producción de gas de síntesis, preferiblemente a alta presión.

Los reactores y los procedimientos para la producción de gas de síntesis, que en el estado de la técnica a menudo se definen como una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono, se conocen por los documentos
 10 US 2004/0229752 A1 (correspondiente al documento US 7,226,547), EP 0 962 422 A1, DE 101 14 173 A1, WO 2011/083333A1, así como el documento WO 98/49095 (correspondiente al documento AU 7143498 A) y el documento US 7,261,751 B2.

- 15 En la producción de gas de síntesis se utiliza a menudo la oxidación parcial catalítica. Un proceso de este tipo se conoce por el documento WO 02/47805 A2 y por el documento WO 2006/032644 A1.

Otros reactores y en particular micromezcladores se conocen por el documento WO 2006/105870 A1 (correspondiente al documento EP 1 866 066 A) y el documento EP 1 674 152 A2. El documento DE 103 38
 20 240 A1 da a conocer un reactor de vapor de agua de oxidación parcial para reformar una corriente de combustible de hidrocarburos en una corriente de reformado que comprende hidrógeno. Los reactores que contienen mezcladores con diferentes líneas de alimentación y su diferente disposición se conocen por los documentos US 2008/0140261 A1, JP 2002-292274 A, así como EP 1 473 077 A2. No obstante, no se da a conocer una inversión de flujo de un reactivo antes de la mezcla con el segundo reactivo en el espacio de
 25 mezcla, así como un reactor con estructura a contracorriente. El documento EP-A-0 312 757 da a conocer un reactor con espacio de mezcla.

Un problema que surge del estado de la técnica de reactores conocidos es el estrés termomecánico. En este caso se trata en particular de una sollicitación termomecánica o fatiga termomecánica de los materiales
 30 utilizados debido a cambios de temperatura, en particular debido a la aparición de gradientes de tensión térmica.

Dado que muchos materiales también cambian sus propiedades termomecánicas cuando cambia la temperatura, se pueden producir, por ejemplo, expansión térmica, ablandamiento, conversión de fibras o
 35 etapas de sinterización. Estas se investigan, por ejemplo, mediante análisis termomecánico, en el que se determina el cambio dimensional de materiales en función de la temperatura y/o el tiempo bajo sollicitaciones mecánicas definidas, tal como, por ejemplo, según DIN 51005, ASTM E 831, ASTM D 696, ASTM D 3386 e ISO 11359.

40 Además del estrés termomecánico, también pueden surgir problemas para controlar y garantizar una relación óptima de hidrógeno a monóxido de carbono en el gas del producto. Además, se puede producir una formación de coque, que representa un riesgo de obstrucción. Además, para garantizar un funcionamiento seguro, se debe evitar una reacción homogénea entre O_2 y el combustible. Esto conduce a un riesgo de explosión.

45 Otro problema que surge en muchos reactores conocidos hasta ahora es un mantenimiento difícil y, por lo tanto, costoso. En particular, se configura como difícil la accesibilidad de elementos y componentes individuales de los reactores para la reparación o para la sustitución. Esto suele ocurrir cuando no se realiza una inversión de corriente en el reactor.

50 En los procesos en los que los eductos gaseosos se transforman en productos que contienen componentes líquidos, según el estado de la técnica se debe aplicar una oxidación parcial homogénea o una reformación catalítica con calentamiento mediante sistemas de quemador o una combinación de estos dos procedimientos. No obstante, los procedimientos conocidos hasta ahora requieren mucho espacio específicamente para el rendimiento de la producción y, por lo tanto, no son adecuados para su uso en contenedores móviles o sistemas
 55 basados en patines.

Como alternativa a esto se propone la oxidación parcial catalítica para la intensificación del proceso. No obstante, este procedimiento es difícil de controlar desde el punto de vista de la seguridad en las realizaciones conocidas, tal como, por ejemplo, un reactor tubular o un sistema de reactor monolítico, ya que se pueden
 60 producir reacciones homogéneas y/o temperaturas demasiado altas en el catalizador. Esto puede conducir a un fallo de componente, en particular si el gas de síntesis se debe generar a presión. Como eductos se utilizan, por ejemplo, metano, gas natural o gas asociado al petróleo (con otros componentes de hidrocarburos más altos) o gases renovables, tal como, por ejemplo, biogás. La compresión de estos eductos es más económica y técnicamente más fácil de realizar. Sin embargo, bajo la presión relativamente alta utilizada, también se puede
 65 producir coque. Esto se refuerza por algunos conceptos de control de temperatura.

Para alcanzar la temperatura de reacción, en muchas realizaciones también se debe recircular completamente el calor en el gas de escape. En la oxidación parcial catalítica (CPOX, por sus siglas en inglés), la gestión térmica de la entrada de gas, es decir, el control y el ajuste de los eductos gaseosos, es de gran importancia para evitar que se superen los picos de explosión y/o temperatura en caso de un cambio en el caudal.

5

El objetivo de la presente invención era proporcionar un reactor, así como un procedimiento para la producción de gas de síntesis, en el que ya no se produzcan las desventajas del estado de la técnica.

10 El reactor debe permitir un fácil manejo y ensamblaje, el mantenimiento y la sustitución de componentes individuales deben ser rápidos y fáciles de realizar.

En particular, se debe garantizar la producción y/o el uso posterior de gas de síntesis para la producción de combustibles o productos químicos a alta presión. Adicionalmente, el reactor y el procedimiento deben posibilitar una intensificación del proceso, es decir, un aumento de la eficacia y/o rendimiento, de la generación
15 de gas de síntesis, en particular mediante una oxidación parcial catalítica. Tanto el reactor como también el procedimiento deben evitar de forma independiente y/o en combinación los problemas técnicos de seguridad, en particular en la oxidación parcial por reacción en fase gaseosa y/o picos de temperatura en el catalizador. Estos problemas de seguridad pueden conducir a la destrucción del modo de funcionamiento del reactor y a un rendimiento deficiente. Son especialmente ventajosos los efectos sinérgicos a través del reactor en
20 interacción con el proceso de producción, es decir, a través de características constructivas y técnicas de proceso.

Este objetivo se consigue mediante un reactor según la reivindicación 1 para la producción de gas de síntesis con mezclador, espacio de mezcla, espacio de reactor, líneas de alimentación para al menos dos reactivos
25 fluidos y derivación para al menos un producto fluido y una envoltura de reactor que lo rodea, que contiene entre la envoltura de reactor y el mezclador en el interior del reactor una línea de alimentación exterior, estanca a fluidos para al menos un reactivo, en la que está dispuesta al menos una línea de alimentación estanca a fluidos para otro reactivo.

30 Tanto el reactor como los componentes individuales están compuestos de materiales y ensamblados de modo que garanticen altas presiones de hasta al menos 30 bar o más durante el funcionamiento sin deterioro. La selección de la materia se produce, por un lado, por la presión con la que se alimentan los eductos en el reactor y, por otro lado, mediante las altas temperaturas de funcionamiento.

35 En el sentido de la invención, una alta presión se define como 10 - 50 bar, preferiblemente 15 - 40, de manera especialmente preferida 20-35, en particular aprox. 30 bar con valores de fluctuación del 20 % cada uno, preferiblemente 10 %, de manera especialmente preferida 5 %, en particular 3 %.

El reactor puede presentar exteriormente cualquier forma deseada, preferiblemente como cilindro o
40 paralelepípedo, dado el caso con bordes redondeados. El reactor presenta una tapa estanca a fluidos y estable a la presión que se abre y eventualmente desmontable, a través de la cual los elementos o componentes individuales del reactor son accesibles y extraíbles.

En una realización de la presente invención, el reactor tiene esencialmente la forma de un cilindro que, dado el
45 caso, presenta en el exterior un aislamiento, dado el caso, en forma de paralelepípedo. Esencialmente, la forma de un cilindro significa que las superficies de base circulares del cilindro también pueden mostrar un abombamiento y/o que estas presentan un borde redondeado con respecto a la superficie envolvente. Asimismo, en una alternativa, la superficie de revestimiento también puede presentar un abombamiento. Por lo tanto, en el caso límite, la forma esencialmente cilíndrica puede ser un esferoide u ovoide.

50

En una alternativa, el reactor se compone de dos semicoquillas. Por lo tanto, partiendo del modelo del cilindro, cada semicoquilla tiene como superficie base un semicírculo. En consecuencia, la forma de la semicoquilla cambia en esferoides y ovoides. Las dos semicoquillas están conectadas entre sí de forma estanca a fluidos y/o a la presión, preferentemente atornilladas. Esto permite una apertura de la envoltura de reactor y, por lo
55 tanto, del reactor, por lo que se garantiza un fácil mantenimiento y reemplazo de los elementos. El aislamiento exterior circundante está construido igualmente de manera correspondiente a partir de al menos dos partes, de modo que las dos semicoquillas del reactor se pueden abrir.

En otra alternativa, el reactor según la invención tiene la forma de un paralelepípedo. También en esta
60 alternativa el reactor puede estar construido a partir de dos coquillas en forma de paralelepípedo correspondientemente. No obstante, también es posible la apertura a través de una tapa. En esta realización, la tapa se extiende esencialmente sobre toda una superficie lateral. Esencialmente, en este caso significa que la tapa ocupa al menos 70 - 100%, preferiblemente 80 - 100%, de manera especialmente preferida 90 - 100% de la superficie lateral.

65

En otra realización, la envoltura de reactor se debe abrir por lo tanto de modo que todos los componentes del

reactor sean accesibles e intercambiables individualmente.

En una alternativa, todas las conexiones, es decir, tanto las líneas de alimentación, como también de evacuación, están colocadas en un lado del reactor.

5

Una construcción semejante permite un fácil mantenimiento técnico.

Los componentes individuales y el reactor son estancos a fluidos, de modo que en el interior están garantizadas las altas presiones mencionadas anteriormente.

10

En el sentido de la invención, el gas de síntesis es una mezcla que contiene o que se compone de hidrógeno y monóxido de carbono, $H_2:CO$.

El producto según la invención, que se evacúa del reactor, contiene en una realización adicionalmente CO_2 y/o agua, dado el caso como vapor de agua.

15

En una realización, el producto según la invención, que se evacúa del reactor, contiene gas de reforma o reformado o se compone de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y/o agua, dado el caso como vapor de agua. El agua, dado el caso como vapor de agua, se retira posteriormente en una alternativa.

20

En una alternativa de la presente invención, al menos uno de los dos reactivos fluidos es una mezcla de sustancias. En otra alternativa, ambos reactivos fluidos son respectivamente mezclas de sustancias.

Como reactivos, es decir, eductos, se utilizan fluidos que contienen o se componen de hidrocarburos, preferiblemente alcanos, alquenos y/o alcoholes con cadenas de carbono $C_1 - C_{10}$, en particular metano, agua, dado el caso como vapor de agua, oxígeno y/o aire. Los reactivos pueden contener todavía otras sustancias, tal como, por ejemplo, hidrocarburos más altos o compuestos cíclicos como tolueno, benceno y xileno, dióxido de carbono CO_2 así como nitrógeno N_2 . Los hidrocarburos, preferiblemente alcanos, alquenos y/o alcoholes con cadenas de carbono $C_1 - C_{10}$, en particular

25

metano, así como los hidrocarburos más altos o los compuestos cíclicos como tolueno, benceno y xileno se denominan como combustible.

Según la invención, el término "fluido" se utiliza para gases y/o líquidos. En una alternativa de la presente invención, al menos uno de los dos reactivos fluidos es una mezcla de sustancias. En otra alternativa, ambos reactivos fluidos son respectivamente mezclas de sustancias.

30

Dentro de la envoltura de reactor están dispuestos en el espacio de reactor un mezclador, un espacio de mezcla, un espacio de reacción, así como líneas de alimentación y de evacuación. En una realización, la envoltura de reactor puede presentar aislamientos interiores, es decir, en el espacio del reactor, o exteriores. Como axial se designa la dirección o disposición en paralelo a las líneas de alimentación, perpendicularmente a la misma como radial.

40

Las líneas de alimentación están dispuestas entre la envoltura del reactor y el mezclador y guían los reactivos al reactor; en última instancia, a la cámara de mezcla. Además, desde el espacio de reactor guía hacia fuera una evacuación para el gas de síntesis como producto a través de la envoltura de reacción.

45

Las al menos dos líneas de alimentación para los al menos dos reactivos fluidos están dispuestas de modo que al menos una línea de alimentación estanca a fluidos está dispuesta dentro de otra línea de alimentación, es decir, una línea exterior, estanca a fluidos. Esto se refiere en particular a las líneas de alimentación dentro del reactor, es decir, en el espacio de reactor entre la envoltura de reactor y el mezclador.

50

En otra realización de la presente invención, la línea de alimentación interior es más larga que la línea de alimentación exterior, la línea de alimentación interior es por lo tanto sobresaliente con respecto a la línea de alimentación exterior.

55

En una realización, las líneas de alimentación son un tubo doble, es decir, un tubo exterior con un diámetro mayor, en el que está dispuesto al menos un segundo tubo con un diámetro menor, preferiblemente de forma concéntrica. De este modo se garantiza que un reactivo se conduzca de forma estanca a fluidos separado de un segundo reactivo en el tubo exterior al mezclador y que el al menos segundo reactivo en el tubo interior también se alimente al mezclador.

60

Por lo tanto, el reactor según la invención contiene al menos un mezclador. El mezclador contiene un fondo de mezclador, al menos un disco mezclador para un primer fluido, al menos un disco mezclador para un segundo fluido, una terminación de mezclador y una tapa, o se compone de ello.

65

En una realización, el fondo de mezclador tiene la forma de un disco con un orificio concéntrico en el centro, a través del cual se conduce la línea de alimentación interior descrita anteriormente o el reactivo de la línea de alimentación interior. El fondo de mezclador presenta otros orificios para el paso del primer reactivo, que se introduce desde la línea de alimentación exterior. Por lo tanto, el fondo de mezclador se pone sobre la línea de alimentación exterior, de modo que el reactivo de la línea de alimentación exterior solo puede fluir axialmente a través de los otros orificios. Por lo tanto, los dos reactivos todavía están separados, aún no mezclados.

Siguiendo el fondo de mezclador está dispuesto al menos un primer disco mezclador. Este presenta también en el centro un orificio concéntrico para el paso de la línea de alimentación interior o del reactivo de la línea de alimentación interior. El disco mezclador contiene además otros orificios de forma análoga al fondo de mezclador para el paso del segundo reactivo desde la línea de alimentación exterior. Estos orificios para el reactivo de la línea de alimentación exterior están dispuestos de la misma manera en el disco mezclador y en el fondo de mezclador y están posicionados para el paso del reactivo de la línea de alimentación exterior sin mezclarse con el reactivo de la línea de alimentación interior. Decalado de los orificios para el reactivo de la línea de alimentación exterior, el primer disco mezclador presenta orificios para el reactivo de la línea de alimentación interior, que son independientes y separados del orificio concéntrico dispuesto en el centro. Estos orificios para el reactivo de la línea de alimentación interior se cubren y cierran por el fondo de mezclador. De estos orificios, canales / acanaladuras - es decir, depresiones en el lado dirigido hacia el fondo de mezclador - conducen en el primer disco mezclador hacia fuera, preferiblemente tangencialmente, es decir, hacia el espacio de mezcla para liberar el reactivo de la línea de alimentación interior en el espacio de mezcla.

En una alternativa, aparte del orificio concéntrico interno, el primer disco mezclador tiene el doble de orificios que el fondo de mezclador, de los cuales la mitad están asignados al reactivo de la línea de alimentación exterior y la otra mitad al reactivo de la línea de alimentación interior.

A continuación del primer disco mezclador está dispuesto al menos un segundo disco mezclador, provisto de un orificio concéntrico en el centro, a través del cual se conduce la línea de alimentación interior descrita anteriormente o el reactivo de la línea de alimentación interior. Este es idéntico al primer disco mezclador, pero dispuesto en forma de espejo. Por lo tanto, presenta canales / acanaladuras en el lado alejado del primer disco mezclador. Estos canales están asignados además a los orificios para el reactivo de la línea de alimentación exterior. Por consiguiente, los canales del primer disco mezclador están dispuestos decalados con respecto a los del segundo disco mezclador, para evitar una superposición de los canales. Por lo tanto, las salidas de canal están en un nivel, lo que produce una mejor mezcla.

A continuación del segundo disco mezclador está dispuesto una terminación de mezclador. Esta es idéntica al fondo de mezclador, pero los orificios están dispuestos decalados con respecto a los orificios del fondo de mezclador para el reactivo de la línea de alimentación exterior. Por lo tanto, los orificios de la línea de alimentación interior están asociados al reactivo de la línea de alimentación interior. La terminación de mezclador cierra y además cubre los orificios del segundo disco mezclador y los canales correspondientes para el reactivo de la línea de alimentación exterior.

Finalmente, a continuación de la terminación de mezclador, está dispuesta una tapa de mezclador. Esta presenta canales, es decir, orificios no continuos, que guían desde el centro del disco mezclador hacia fuera, pero que están cerrados delante del borde de la tapa de mezclador. De este modo, el reactivo de la línea de alimentación interior se conduce a través de los canales desde el centro de la tapa hacia fuera. La tapa de mezclador está dispuesta de modo que los canales con los orificios de la terminación de mezclador forman un espacio común para el reactivo de la línea de alimentación interior. De este modo, se invierte la corriente del reactivo en la tapa de mezclador.

El mezclador se coloca en las líneas de alimentación interiores de los reactivos. En una variante, se suelda aquí.

En una realización de la presente invención, para la construcción del mezclador, todos los discos se conectan entre sí y se sellan entre sí. Estos se colocan a continuación sobre la línea de alimentación que sobresale y se fijan a la misma, preferiblemente se sueldan. Gracias a esta estructura sencilla solo se puede realizar una fijación en el borde exterior, preferiblemente una soldadura. Esta construcción se termina a continuación mediante la tapa de mezclador.

En una realización, el mezclador está construido de forma radialmente simétrica, en particular que comprende el fondo de mezclador, cualquier número par de discos mezcladores. Y terminación de mezclador.

El fondo de mezclador, los discos mezcladores y la terminación de mezclador presentan un orificio concéntrico en el centro para el flujo a través del reactivo de la línea de alimentación interior. El reactivo de la línea de alimentación exterior fluye a través de los orificios correspondientes del fondo de mezclador del primer disco mezclador y del segundo disco mezclador. Los orificios del segundo disco mezclador para el reactivo de la línea de alimentación exterior están cubiertos por la terminación de mezclador, de modo que el reactivo fluye

- a través de los canales situados tangencialmente hacia el exterior a la cámara del mezclador. El reactivo de la línea de alimentación interior fluye a través del orificio dispuesto de forma concéntrica en el centro del fondo de mezclador, de los dos discos del mezclador, así como de la terminación de mezclador hasta la tapa de mezclador. Aquí se realiza una inversión del flujo a través de las hendiduras de la tapa de mezclador, de modo
- 5 que el reactivo fluye a través de la terminación de mezclador, el segundo disco mezclador y el primer disco mezclador hasta el fondo de mezclador, que cubre los orificios para estos reactivos del primer disco mezclador. A través de los canales dirigidos tangencialmente hacia fuera, el reactivo fluye igualmente hacia la cámara de mezcla.
- 10 En otra realización, en particular en mezcladores más grandes con un mayor rendimiento total, los discos mezcladores se disponen alternativamente, repetidamente uno tras otro, de modo que está garantizada una mezcla en todo el espacio de mezcla y la velocidad de flujo en los canales de salida no supera preferentemente los 50 m/s
- 15 Según la invención, los orificios y discos descritos anteriormente son aberturas y componentes en forma de disco en el sentido más amplio, es decir, no necesariamente aberturas y componentes circulares, sino que los orificios y componentes pueden poseer cualquier forma (es decir, sección transversal).
- En una realización, la sección transversal de las líneas de alimentación y del mezclador es circular. En una
- 20 alternativa, no obstante, la sección transversal también puede tener una forma ovalada o rectangular o una forma cuadrada, dado el caso con bordes redondeados.
- Como materiales para el reactor o la envoltura de reactor se emplean aleaciones metálicas, en particular acero inoxidable, preferiblemente aleaciones de hierro-cromo y aleaciones de níquel-cromo (FeCrAlloy, Nicrofer,
- 25 Crofer)
- Como materiales para el mezclador y los componentes correspondientes son adecuados igualmente aleaciones metálicas, acero inoxidable, preferentemente aleaciones de hierro-cromo y aleaciones de níquel-cromo.
- 30 El reactor está construido de modo que el espacio de mezcla se encuentra en el extremo opuesto de la entrada de las líneas de alimentación de los reactivos y de la evacuación del gas de síntesis a través de la envoltura de reactor.
- 35 En una realización, el espacio de mezcla está llena al menos parcialmente con espuma o polvo cerámico. La mezcla de fluido formada en el espacio de mezcla se desvía en la envoltura de reactor eventualmente aislada en dirección al extremo opuesto (en el que las líneas de alimentación y de evacuación pasan a través de la envoltura de reactor). En una realización, la mezcla de fluidos fluye a este respecto a través de la espuma cerámica.
- 40 En una realización preferida, el espacio entre el mezclador, preferiblemente el micromezclador y el primer escudo térmico, se llena con un material cerámico poroso. De este modo se puede evitar una reacción homogénea. El material de relleno, preferiblemente de poros finos con alta resistencia al flujo, actúa como un bloqueo de llama y, dado el caso, como un escudo térmico. De este modo, se realiza una distribución
- 45 homogénea de la mezcla de los reactivos a continuación del mezclador.
- El reactor posee en una realización un escudo térmico de al menos un cuerpo monolítico. En una alternativa, contiene o se compone de al menos un monolito de los siguientes materiales: **Óxidos mixtos de Al-Si, cordierita**, ZrO_2 o aceros de alta temperatura. Dispuesto alrededor de la línea de alimentación, de modo que
- 50 la mezcla de fluidos atraviese el escudo térmico a contracorriente con respecto a las líneas de alimentación. Dado el caso, igualmente está dispuesta espuma o polvo cerámico entre el espacio de mezcla y el escudo térmico.
- En una alternativa, el monolito es una espuma cerámica.
- 55 En una alternativa, el escudo térmico está formado por varios monolitos que forman una capa alrededor de las líneas de alimentación.
- Al escudo térmico le sigue el espacio de reacción del reactor.
- 60 El espacio de reacción se forma igualmente por al menos un monolito. Este monolito es un monolito funcionalizado con un catalizador, es decir, en una realización, el monolito contiene o se compone de los siguientes materiales: Óxidos mixtos de Al-Si, cordierita, ZrO_2 o aceros de alta temperatura.
- 65 En una alternativa, el término monolito también comprende otros cuerpos (micro)estructurados o paquetes de polvo de catalizador.

En otra realización, el espacio de reacción, que se une al escudo térmico, está formado por varios monolitos.

El o los monolitos del espacio de reacción poseen una estructura porosa con una densidad celular de 200 a 1.000 cpsi, preferiblemente 250 a 800, de manera especialmente preferible 200 a 700, 350 a 650, en particular 400 a 600. El o los monolitos están funcionalizados con un catalizador, es decir, en los poros se encuentra al menos un catalizador para la catálisis de la formación de gas de síntesis.

Como catalizador se utilizan preferentemente catalizadores - que contienen metales preciosos preferiblemente rodio y/o níquel. En una alternativa se utilizan materiales de soporte para aumentar la superficie del material activo Ni, Rh. A este respecto, el material de soporte (típicamente Al_2O_3) se aplica sobre el monolito con procedimientos comunes como técnica de sol-gel, capa de lavado o similares, alternativamente sobre un cuerpo recubierto de otro modo tal como, por ejemplo, un sistema microestructurado.

En una alternativa, el catalizador que se encuentra en el espacio de reacción, es decir, en los poros del monolito, muestra un gradiente de concentración. La concentración en el catalizador por unidad de volumen de monolito o célula se puede modificar axial o radialmente.

En una variante, el espacio de reacción o el monolito funcionalizado contiene diferentes zonas, es decir, segmentos con diferente concentración de catalizador. En otra alternativa, el espacio de reacción contiene segmentos con diferentes catalizadores. En otra alternativa, existe una combinación de diferentes catalizadores y diferentes concentraciones.

Las zonas o segmentos mencionados anteriormente también pueden ser monolitos individuales. Es esencial que el espacio de reacción de los monolitos se forme como una capa alrededor de la línea de alimentación de los reactivos.

En una alternativa, cada capa de monolitos, es decir, cada zona monolítica individual, también puede estar configurada por una o varias capas de monolitos. Por su lado, una capa individual se puede componer por varios segmentos.

A este respecto, se entiende como zona monolítica cualquier zona del reactor que esté constituida por monolitos, preferiblemente el espacio de reacción; en una variante, sin embargo, también adicionalmente el al menos un escudo térmico.

Los segmentos individuales pueden poseer diferentes estructuras, en particular tamaños de poro o bien de ajuste y paredes.

El espacio de reacción, por ejemplo, se puede componer de varias capas de varios segmentos de monolitos. Los segmentos individuales pueden presentar diferentes estructuras o dimensiones de celda y pared, y/o estar llenos o cargados con diferentes catalizadores. A través de la estructura de segmentos o capas de las capas individuales, como el escudo térmico y el espacio de reacción, la conducción de calor se puede controlar de forma dirigida en dirección axial o vertical a ella, es decir, radial. También se puede controlar el flujo de los reactivos. En el espacio de reacción, los segmentos y capas individuales se pueden alinear entre sí, de modo que se construya un gradiente con respecto al catalizador y/o se puedan usar catalizadores diferentes.

Una capa se puede construir a partir de varias capas. Por lo tanto, una capa no está definida necesariamente por segmentos de monolitos de la misma estructura, sino principalmente por el modo de funcionamiento de los monolitos, que, sin embargo, puede predeterminar determinadas estructuras.

En una realización de la invención se conecta al espacio de reacción un segundo escudo térmico, formado por al menos un monolito. En una alternativa, el término monolito también comprende aquí otros cuerpos (micro)estructurados o paquetes de polvo de catalizador.

A continuación del espacio de reacción, dado el caso del segundo escudo térmico, está dispuesta la evacuación del gas de síntesis. Esta se encuentra en el mismo extremo o en el mismo lado del reactor que la línea de alimentación de los reactivos. En una alternativa, la evacuación del gas de síntesis se realiza a partir de una cavidad que se conecta al espacio de reacción o al segundo escudo térmico.

El reactor según la invención ofrece las siguientes ventajas:

Resulta ser especialmente ventajosa la estructura según la invención del reactor para el mantenimiento y la sustitución de componentes individuales. Al abrir el reactor, cada elemento individual del reactor es fácilmente accesible. Los componentes individuales, tal como, por ejemplo, el mezclador, reactor de escudo térmico, pero también los elementos individuales, tal como, por ejemplo, los segmentos monolíticos, se pueden reemplazar fácilmente.

La estructura del reactor también garantiza preferiblemente un volumen muerto extremadamente bajo. Además, representa una unidad de reacción muy compacta, menor en al menos un factor 10 que los reactores conocidos por el estado de la técnica con la misma conversión. Por lo tanto, el reactor es ideal para su uso en instalaciones
5 basadas en contenedores o patines móviles, llave en mano.

Además, mediante el reactor según la invención se consigue una alta intensificación del proceso, es decir, se pueden dominar y controlar las reacciones a alta presión en un espacio pequeño.

10 Mediante el uso del mezclador según la invención se incrementa adicionalmente la seguridad del reactor, ya que los reactivos individuales solo se reúnen aquí. Por lo tanto, una reacción exotérmica con picos de temperatura altos no es posible de antemano.

El mezclador según la invención se puede fabricar además fácilmente y cumple altos estándares de seguridad.
15

Debido al flujo tangencial preferido de los fluidos del mezclador a través de las acanaladuras previstas se consigue una mezcla rápida. Además, de este modo se evita una difusión inversa y un encendido no deseado a través de los canales, en particular durante la desconexión de emergencia.

20 Además, la estructura a contracorriente evita la aparición de estrés termodinámico axial debido a los diferentes materiales. La estructura a contracorriente provoca solo un pequeño aumento de la temperatura de los reactivos al pasar a través de las líneas de alimentación. A este respecto, es especialmente ventajoso el apantallamiento térmico de la línea de alimentación situada en el interior frente al calor de reacción del espacio de reacción frente a procesos de coquización, en particular en el caso de que se conduzcan reactivos que contienen
25 hidrocarburos. De este modo, el reactor es resistente a largo plazo.

El primer escudo térmico situado delante del espacio de reacción produce temperaturas fuera de los cuerpos monolíticos del espacio de reacción por debajo de los valores críticos para reacciones homogéneas. En el caso de una guía de reacción adiabática preferida en la dirección radial y/o axial, la temperatura se baja incluso por
30 debajo de los valores críticos.

La conducción de calor axial en las estructuras monolíticas, escudo térmico y espacio de reacción permite un transporte de calor axial controlado, de modo que no es necesario precalentar a la temperatura de reacción. Al mismo tiempo, se suaviza el máximo de temperatura. Debido a la estructura monolítica, el transporte de calor
35 se reduce por la radiación.

Además, el calor de reacción se puede utilizar a través de la diferencia de temperatura entre la temperatura de entrada y de salida en un intercambiador de calor externo.

40 Mediante la interconexión con uno o varios intercambiadores de calor se pueden controlar adicionalmente de forma dirigida las condiciones de entrada y, por lo tanto, también de salida, así como los picos de temperatura en la zona monolítica.

Debido a la interconexión y la estructura del reactor se puede dominar una regulación flexible de la carga del
45 proceso.

Debido al uso de diferentes catalizadores o concentraciones de catalizador, se puede controlar adicionalmente la velocidad de reacción y, por lo tanto, el pico de temperatura.

50 El reactor según la invención puede estar configurado como instalación transportable, en particular como sistema basado en SKID.

En otra realización, los reactores según la invención están presentes en un diseño modular, es decir, al menos dos o más reactores están interconectados en paralelo. De este modo se ofrecen posibilidades adicionales
55 para un mejor ajuste de la carga.

Debido al suministro separado de los reactivos y a los pequeños cambios de temperatura en estas líneas de alimentación, se pueden realizar diseños o interconexiones especiales con uno o varios intercambiadores de calor de productos con reactivos, que conducen a un aumento de la flexibilidad de carga.

60 El reactor según la invención, dado el caso en interconexión con uno o varios intercambiadores de calor, tiene una flexibilidad de carga del 30 al 100%. Por lo tanto, el reactor también puede funcionar con baja corriente, con hasta un 30% de la carga nominal (100%). Esto es importante en particular cuando se utiliza, por ejemplo, biogás, cuya composición es estacionalmente diferente, o cuando se utiliza gas de acompañamiento en la
65 perforación petrolífera, que disminuye continuamente con el funcionamiento de la perforación petrolífera.

Mediante una interconexión con intercambiadores de calor se pueden conseguir efectos sinérgicos, ya que una parte del calor del producto se devuelve al reactor, en particular para el precalentamiento de los reactivos. Dado que el CPOX discurre de forma exotérmica, no se tiene que o no se debe suministrar calor adicional a la cámara de reacción.

5

En una realización de la presente invención, el reactor según la invención está conectado de manera estanca a fluidos a un intercambiador de calor.

El intercambiador de calor posee al menos dos líneas de alimentación para un medio refrigerante fluido, así como al menos en cada caso una línea de alimentación y una evacuación para el producto fluido del reactor.

10

En otra alternativa, el intercambiador de calor posee dos cámaras de diferentes tamaños o dos cámaras con diferentes superficies de enfriamiento.

En una alternativa, el reactor está configurado como un intercambiador de calor cruzado de dos etapas. En otra alternativa pueden estar interconectados, por ejemplo, también dos intercambiadores de calor a contracorriente o de corriente en el mismo sentido a un único intercambiador de calor.

15

En otra alternativa, el intercambiador de calor está configurado como un intercambiador de calor microestructurado.

20

Además, el intercambiador de calor posee una regulación de encendido/apagado, que se garantiza en una alternativa por una válvula.

La división de la superficie de refrigeración dentro del intercambiador de calor o de las dos cámaras separadas entre sí es preferible en la relación 4:1 o 3:1, preferiblemente 2:1.

25

Para conmutar entre las dos zonas de la superficie de refrigeración se pueden utilizar dos válvulas en una alternativa.

30

Las al menos dos líneas de alimentación están configuradas de modo que respectivamente una línea de alimentación está asociada a al menos una cámara o a una superficie de refrigeración del intercambiador de calor y conduce el medio refrigerante a la zona correspondiente.

El producto de reacción del reactor según la invención se puede conducir al intercambiador de calor de forma estanca a fluidos y enfriarse por medio del medio refrigerante. El medio refrigerante calentado en el intercambiador de calor se puede suministrar al reactor, dado el caso, como reactivo precalentado.

35

El reactor según la invención y, dado el caso, el intercambiador de calor según la invención se utilizan para la producción de gas de síntesis.

40

El objeto de la presente invención es, además, un procedimiento para la producción de gas de síntesis, en el que se utiliza el reactor según la invención. En una realización preferida, la síntesis se realiza a alta presión.

El procedimiento está caracterizado porque un reactivo fluido se alimenta primero al mezclador en una línea de alimentación interior con corriente en el mismo sentido con otro reactivo fluido en la línea de alimentación exterior.

45

El reactivo fluido de la línea de alimentación exterior se conduce a través de un primer disco mezclador y se conduce a través de canales de otro disco mezclador preferiblemente tangencialmente al espacio mezclador, mientras que el segundo reactivo fluido de la línea de alimentación interior, después de una inversión de flujo interior en la tapa de mezclador, se conduce preferiblemente tangencialmente al espacio mezclador a través del otro segundo disco mezclador a través de canales del primer disco mezclador. La denominación primero y segundo así como dado el caso otros discos mezcladores se realizan en el orden a lo largo de la dirección de flujo de los reactivos en las líneas de alimentación.

50

55

En otra etapa se conducen los dos reactivos desde el espacio de mezcla a contracorriente con respecto a la línea de alimentación de los reactivos delante del espacio de mezcla a través de un primer escudo térmico hacia el espacio de reacción.

60

El producto formado allí se conduce igualmente a contracorriente para la línea de alimentación de los reactivos, dado el caso a través de otro escudo térmico para la evacuación desde el reactor.

En una alternativa, la evacuación del espacio de reacción se realiza sin flujo a través de un escudo térmico.

65

En una realización, el producto formado de esta manera se puede conducir al intercambiador de calor descrito

anteriormente y enfriarse allí por medio de un medio líquido.

En una realización preferida, una mezcla de combustible y vapor de agua se suministra al reactor como primer reactivo. En una alternativa, esto se realiza en la línea de alimentación interior.

5

En la otra línea de alimentación separada de la misma se introduce aire como segundo reactivo fluido, preferiblemente aire que se ha calentado previamente como medio refrigerante en el intercambiador de calor. En una alternativa, la línea de alimentación de aire se realiza en la línea de alimentación exterior.

10 En otra realización de la invención, para enfriar la cantidad de producto, se puede conectar una línea de alimentación adicional al intercambiador de calor, por lo tanto, corresponde a la evacuación del producto, para adaptar así la superficie de enfriamiento a la cantidad de producto.

15 En una alternativa se utiliza gas que contiene metano como combustible. Esto consiste esencialmente en metano, pero puede contener otros hidrocarburos más altos, es decir alcanos y alquenos con carbonos C2 - C10, así como hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos aromáticos sustituidos con alquilo, en particular benceno, tolueno y xileno, así como cualquier combinación de estas sustancias.

20 Al gas que contiene metano se le añade vapor y se conduce a través de una de las dos líneas de alimentación del reactor, preferentemente el interior hacia la cámara de mezcla. Con la corriente en el mismo sentido para ello se realiza la línea de alimentación del otro reactivo, del agente oxidante, preferentemente en la línea de alimentación exterior. Ventajosamente, según la invención se utiliza aire y no oxígeno puro. De este modo, se reduce el esfuerzo para la facilitación de los reactivos.

25 La línea de alimentación se realiza con una velocidad de flujo de al menos 1 m/s, preferiblemente 5-30 m/s, en particular 5-10 m/s.

30 En una alternativa, la mezcla de los reactivos se realiza de tal manera que un 5 - 60 % en volumen de vapor en la mezcla de reacción con respecto al metano están contenidos en el espacio de mezcla, preferiblemente un 10 - 50%, de manera especialmente preferente un 15 - 25% en volumen. Mediante esta proporción de vapor se reduce la velocidad de reacción de la oxidación total y al mismo tiempo se controla la diferencia de temperatura con respecto al pico de temperatura.

35 La temperatura en la cámara de reacción no debe superar los 1000 °C debido a la estabilidad del catalizador y de los materiales monolíticos, preferiblemente se encuentra entre 800 y 900 °C.

40 El proceso se puede controlar adicionalmente porque una proporción de CO₂ de 5 - 60% en volumen, preferiblemente 10 - 50% en volumen, de manera especialmente preferible 25 - 40% en volumen está presente en la mezcla de los reactivos.

45 De este modo, se aumenta la proporción de gas de síntesis en la estequiometría de H₂:CO de 2:1 en el gas de producto, así como la eficiencia de la conversión de CH₄ o combustibles relacionados en CO. Al mismo tiempo, así se controla el pico de temperatura en el catalizador. En general, las indicaciones de concentración hechas aquí se refieren a la mezcla de sustancias CH₄, CO₂, H₂O y O₂, ya que es posible tanto una oxidación parcial con oxígeno puro, como también con aire; es decir, el nitrógeno como lastre, que está presente en el aire, no se tiene en cuenta aquí.

50 Según la invención ventajosamente contiene al menos uno de los dos reactivos, preferiblemente ambos, CO₂. Debido a la presencia de CO₂ en la mezcla de reacción, debido al cambio de equilibrio, solo se realiza una oxidación completa del combustible hasta CO₂ en muy pequeña medida. De este modo, se obtiene un balance significativamente mejor en cuanto a la utilización de carbono que con el uso de reactivos libres de CO₂. En particular, en la CPOX no se requiere una deposición de CO₂ antes de la reacción.

55 El tiempo de permanencia en el catalizador en el intervalo de reacción es de 1 - 500 ms, preferiblemente de 2 - 100 ms, de manera especialmente preferible de 5 - 20 ms.

60 La velocidad de flujo es de al menos 0,25 m/s, preferiblemente 0,25 - 2 m/s, de manera especialmente preferible 0,4 a 0,8 m/s, en particular 0,6 m/s. Los valores están normalizados a 0°C y presión normal, así como la sección transversal total del cuerpo monolítico - dado el caso, restando el volumen de los otros cuerpos estructurados -, es decir, sin tener en cuenta el aumento de la velocidad de flujo a través del grosor de pared de los canales individuales.

65 Debido a la velocidad de flujo relativamente alta se reduce la posición del pico de temperatura y la pendiente de la temperatura al entrar en el espacio de reacción para evitar una reacción homogénea anterior a una presión de hasta aprox. 30 bar.

- En una realización, el pico de temperatura en el reactor es de 500 - 1000°C, preferiblemente 700 - 900°C, de manera especialmente preferible 750 - 800°C. A partir de una temperatura de aprox. 500 °C se puede producir la autoignición de la mezcla. El aire como agente oxidante se puede emplear como corriente de aire precalentado desde el intercambiador de calor y se puede suministrar bajo presión a una temperatura de 250 - 600 °C, preferentemente 450 - 550 °C, de manera especialmente preferente 350 - 500 °C en el espacio de mezcla del reactor. Por lo tanto, también con una reducción arbitraria a hasta el 30% de la carga nominal se puede lograr una temperatura de mezcla en la cámara de mezcla de combustible, vapor de agua y aire de 200 - 400°C, preferiblemente 250 - 350°C.
- 10 El reactor según la invención se puede utilizar en la industria del petróleo y del gas natural. En el caso de trayectos de transporte demasiado amplios o cantidades demasiado pequeñas de gas de acompañamiento o de gas de refinería, que se debe quemar para reducir el potencial de gases de efecto invernadero, se puede utilizar el reactor según la invención. Además, también se puede utilizar en conexión con plantas de cogeneración.
- 15 El reactor según la invención también se utiliza con biogás como combustible. La generación de electricidad o la inyección de biogás son muy rentables en función del precio de mercado de la electricidad o el gas natural. Debido al uso de biogás como combustible en el reactor y el procedimiento según la invención, este se puede utilizar de manera más eficiente.
- 20 Además, el reactor según la invención se puede utilizar para la generación de pequeñas cantidades de gas de síntesis o hidrógeno para fines industriales. A modo de ejemplo cabe mencionar aquí la síntesis Fischer-Tropsch, generación de gas de síntesis o de hidrógeno a partir de hidrocarburos líquidos.
- 25 En una realización, el reactor según la invención y el intercambiador de calor según la invención se emplean de la siguiente manera en el procedimiento según la invención para la producción de gas de síntesis:

El reactor (1-01) está representado en la fig. 1: La carcasa del reactor se muestra en sección transversal .

- 30 Los tornillos (1-11) se sueltan para el desmontaje y se abren la envoltura de reactor y el reactor. Se puede reconocer claramente la fácil accesibilidad de los elementos individuales del reactor. El diseño estable permite un funcionamiento a alta presión, preferiblemente a aprox. 30 bar.

Para la producción de gas de síntesis se introduce preferentemente aire en la línea de alimentación exterior (1-02) de las dos líneas de alimentación situadas una dentro de la otra, que está presente preferentemente como tubo doble.

- En la línea de alimentación interior (1-03) se introduce el segundo reactivo, preferiblemente un combustible, preferiblemente que contiene CH₄ mezclado con vapor de agua. El vapor de agua se genera preferiblemente externamente, pero también puede estar presente como aerosol en el gas o pulverizarse en el mezclador. Las dos líneas de alimentación (1-05) situadas una dentro de otra transportan los dos reactivos en dirección axial hasta el mezclador (1-06). El mezclador está representado en la fig. 2. El mezclador se compone de un fondo de mezclador, que está presente preferiblemente como disco, de modo que a través de la abertura del disco se conduce la línea de alimentación interior (2-03 = 1-03). El fondo de mezclador (2-02) cierra la línea de alimentación exterior (2-01 = 1-02) y tiene varios orificios para el paso del reactivo de la línea de alimentación exterior, preferiblemente aire. Al fondo de mezclador le sigue un disco mezclador (2-04) con los canales correspondientes para la salida del mezclador del reactivo de la línea de alimentación interior, preferentemente gas y vapor de agua. Este disco presenta orificios a través de los cuales puede pasar el reactivo de la línea de alimentación exterior, preferentemente el aire.

- 50 A esto se une otro disco (2-05), que está provista de los canales para la salida de mezclador del reactivo de la línea de alimentación exterior, preferiblemente aire. Los discos con salida de mezclador para los reactivos (2-04) y (2-05) se pueden emplear tantas veces como se desee, tal como se representa en la fig. 2. Al último disco con salida de mezclador para el reactivo de la línea de alimentación exterior le sigue el cierre de mezclador (2-06). Este tiene orificios para el paso del reactivo de la línea de alimentación interior, preferentemente gas y vapor de agua.

- Como se describió anteriormente, los elementos de fondo de mezclador (2-02), discos con salida de mezclador de los reactivos (2-04 y 2-05), se conectan entre sí de forma estanca a fluidos en cualquier número, así como la terminación de mezclador (2-06), de modo que los reactivos puedan fluir a través de los orificios correspondientes. Estos discos se sueldan preferentemente entre sí y se ponen sobre la línea de alimentación interior, preferiblemente el tubo interior del tubo doble y se fijan aquí, preferentemente se suelda.

- Como último elemento, el mezclador presenta la tapa de mezclador (2-7), que es responsable de una desviación del flujo para el reactivo de la línea de alimentación interior.

Las salidas de mezclador para los reactivos están presentes decaladas, de modo que se garantiza una buena mezcla en el espacio de mezcla (1-07).

El espacio de mezcla presenta preferiblemente un relleno dado el caso parcial con una espuma o polvo
5 cerámico.

Fuera de la línea de alimentación, la mezcla de los reactivos se guía a contracorriente al espacio de reacción (1-09) a través del escudo térmico (1-08).

10 Después de la reacción, el producto, preferentemente reformado, se conduce además a contracorriente con respecto a la línea de alimentación dado el caso a través de otro escudo térmico (1-10) hacia la evacuación (1-04).

En una realización de la invención, el producto se conduce a un intercambiador de calor. Una alternativa del
15 intercambiador de calor está representada en la figura 3. El producto se conduce en el intercambiador de calor a través de la entrada (3-01). A través de las entradas 1 y/o 2 (3-02 y/o 3-03) se conduce medio refrigerante, preferiblemente aire, al intercambiador de calor. El medio refrigerante calentado se evacua a través de las salidas 1 y 2 (3 - 04 y/o 3 - 05), mientras que el producto refrigerado se transmite preferiblemente reformado a través de la salida (3 - 06).

20 Una estructura preferida del reactor según la invención con un intercambiador de calor según la invención está representada esquemáticamente en la fig. 4. Se pueden lograr efectos sinérgicos en los que el medio refrigerante calentado (4 - 11) se guía preferiblemente aire, como reactivo, al reactor, preferiblemente la línea de alimentación exterior.

25 Ejemplos:

Para los experimentos se utilizó un reactor con un primer escudo térmico, espacio de reacción con 2 monolitos con catalizador idéntico (comercial) en serie, un segundo escudo térmico. Monolitos para los escudos térmicos
30 y en espacio de reacción de cordierita.

Condiciones experimentales

Experimento	1	2	3	4
x_i [%] CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂ , H ₂ O	17,24;11,50;10, 77; 43,25;17,24	17,24;11,50;10, 77; 43,25;17,24	16,67;11,11;11, 11; 44,44;16,67	17,24;11,50;10,7 7; 43,25;17,24
v [m/s] a 0 °C y 1,013 bar	0,52	0,42	0,43	0,52
p [bar]	30	20	20	1
T_{in} [°C]	Aprox. 340	Aprox. 340	Aprox. 340	Aprox. 320
$T_{máx.}$ [°C]	834	832	865	800
X_{CH_4} [%]	79	79	83	88
S_{H_2} [%]	83	79	81	92
S_{CO} [%]	81	72	77	81

x_i : Porcentaje de reactivos en el espacio de mezcla en %

v : Velocidad de flujo

p : Presión en líneas de alimentación o reactor

T_{in} : Temperatura de los reactivos en la línea de alimentación

$T_{máx.}$: Temperatura máxima en el reactor / espacio de reactor

$X(CH_4)$: Volumen CH₄

$S(H_2)$: Selectividad del hidrógeno

$S(CO)$: Selectividad para el monóxido de carbono

Leyenda:

35 Las figuras son meramente una representación esquemática, las relaciones de tamaño pueden variar.

1- 01 - Reactor

- 1- 02 - Línea de alimentación exterior para reactivo fluido, preferiblemente aire
- 1- 03 - Línea de alimentación interior para reactivo fluido, preferiblemente gas + vapor
- 1- 04 - Evacuación de producto, preferiblemente gas de síntesis (reformado)
- 1- 05 - Líneas de alimentación situadas una dentro de otra, preferiblemente tubo doble
- 5 1- 06 - Mezclador
- 1- 07 - Espacio de mezcla, preferiblemente relleno con espuma cerámica
- 1- 08 - Escudo térmico (monolito)
- 1- 09 - Espacio de reacción, monolito funcionalizado (catalizador)
- 1-10 - Escudo térmico (monolito)
- 10 1-11 - Tornillos para abrir y cerrar el reactor y la envoltura de reactor
- 2- 01 - Línea de alimentación exterior, preferiblemente tubo exterior
- 2- 02 - Fondo de mezclador con paso para el reactivo de la línea de alimentación exterior, preferiblemente aire
- 2- 03 - Línea de alimentación interior, preferiblemente tubo interior
- 15 2- 04 - Disco con salida de mezclador de reactivo de la línea de alimentación interior, preferiblemente gas + vapor
- 2- 05 - Disco con salida del mezclador de reactivo de la línea de alimentación exterior, preferiblemente aire
- 2- 06 - Terminación de mezclador con paso de reactivo de la línea de alimentación interior, preferiblemente gas + vapor
- 20 2-07 - Tapa de mezclador con desviación de flujo para reactivo de la línea de alimentación interior, preferiblemente gas + vapor
- 3- 01 - Entrada producto de reactor, preferiblemente gas de síntesis (reformado)
- 3- 02 - Entrada 1 medio refrigerante, preferiblemente aire
- 3- 03 - Entrada 2 medio refrigerante, preferiblemente aire
- 25 3- 04 - Salida 1 medio refrigerante calentado, preferiblemente aire
- 3- 05 - Salida 2 medio refrigerante calentado, preferiblemente aire
- 3- 06 - Salida producto refrigerado, preferiblemente gas de síntesis (reformado)
- 4- 01 - Reactor = 1-01
- 4- 02 - Línea de alimentación interior y exterior, preferiblemente como tubo doble
- 30 4- 03 - Reactivo línea de alimentación interior, preferiblemente gas + vapor
- 4- 04 - Mezclador = 1-06
- 4- 05 - Escudo térmico = 1-08
- 4- 06 - Espacio de reacción, monolito funcionalizado (catalizador) = 1-09
- 35 4-07 - Escudo térmico = 1-10
- 4-08 - Producto, preferiblemente gas de síntesis (reformado), = 1-04
- 4-09 Intercambiador de calor
- 4-10 - Medio refrigerante, preferiblemente aire, = 3-03 y/o 3-04
- 4-11 - Medio refrigerante calentado, preferiblemente aire, 3-04 y/o 3-05 y 1-02
- 40 4-12 - Producto refrigerado, preferiblemente gas de síntesis (reformado)
- 4-13 - Válvula

REIVINDICACIONES

1. Reactor (1-01) para la producción de gas de síntesis con un mezclador (1-06), un espacio de mezcla (1-07), un espacio de reactor, líneas de alimentación para al menos dos reactivos fluidos y descarga para al menos un producto fluido y una envoltura de reactor que lo rodea, que contiene
 - entre la envoltura de reactor y el mezclador en el interior del reactor, una línea de alimentación exterior (1-02) estanca a fluidos para al menos un reactivo, en la que está dispuesta al menos una línea de alimentación (1-03) estanca a fluidos para otro reactivo
 - que presenta una estructura de contracorriente, con respecto al flujo de los reactivos en la línea de alimentación, entre el espacio de mezcla y la evacuación,**caracterizado por**
 - el mezclador y **porque** el mezclador contiene
 - un fondo de mezclador (2-02),
 - al menos un disco mezclador (2-04) con canales que guían hacia fuera al espacio de mezcla para el primer fluido,
 - al menos un disco mezclador (2-05) con canales que guían hacia fuera al espacio de mezcla para el segundo fluido,
 - una terminación de mezclador (2-06) y
 - una tapa de mezclador (2-07).
2. Reactor según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las líneas de alimentación separadas son un doble tubo concéntrico.
3. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** el mezclador está conectado de forma estanca a fluidos con las líneas de alimentación.
4. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que contiene al menos un cuerpo monolítico funcionalizado con un catalizador.
5. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que contiene al menos un escudo térmico de al menos un cuerpo monolítico.
6. Reactor según las reivindicaciones 4 y 5, **caracterizado porque** el al menos un cuerpo monolítico funcionalizado con un catalizador y el escudo térmico de al menos un cuerpo monolítico están dispuestos respectivamente como un estrato / capa alrededor de las líneas de alimentación dentro de la envoltura de reactor.
7. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** el reactor comprende un intercambiador de calor, donde el reactor está conectado de forma estanca a fluidos con el intercambiador de calor.
8. Reactor según la reivindicación 7, **caracterizado porque** el intercambiador de calor presenta al menos dos líneas de alimentación para un medio refrigerante fluido y al menos una línea de alimentación y una derivación para el producto fluido del reactor.
9. Reactor según la reivindicación 7 u 8 **caracterizado porque** el intercambiador de calor posee al menos dos cámaras de diferente tamaño.
10. Uso de un reactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 para la producción de gas de síntesis.
11. Procedimiento para la producción de gas de síntesis **caracterizado porque** se utiliza un reactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
12. Procedimiento según la reivindicación 11 para la producción de gas de síntesis a alta presión.
13. Procedimiento según la reivindicación 11 o 12 **caracterizado porque** un primer reactivo fluido se conduce al espacio de mezcla a través de aberturas de un primer disco mezclador a través de canales para

el primer fluido de un segundo disco mezclador y un segundo reactivo fluido después de una inversión de flujo interno en la tapa de mezclador se conduce al espacio de mezcla a través de aberturas de un segundo disco mezclador a través de canales para el segundo medio del primer disco mezclador.

5 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 **caracterizado porque** los reactivos se guían al mezclador en conducción de corriente separada en las dos líneas de alimentación situadas una en la otra, y a continuación se conducen como mezcla a contracorriente a través de un primer escudo térmico al espacio de reacción y el producto formado allí se guía igualmente a contracorriente para la conducción de los reactivos, dado el caso a través de al menos otro escudo térmico, para la evacuación del
10 producto.

15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** el producto formado de esta manera se conduce al intercambiador de calor y allí se enfría preferiblemente en la corriente cruzada con un medio fluido.

15 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, **caracterizado porque** en una línea de alimentación del reactor (preferiblemente la interior) se introduce una mezcla de combustible y vapor de agua como primer reactivo y en la otra línea de alimentación separada (preferentemente exterior) se introduce aire como segundo reactivo fluido, preferiblemente aire que se ha calentado previamente en el
20 intercambiador de calor como medio refrigerante.

17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16 **caracterizado porque** la superficie de refrigeración del intercambiador de calor se adapta a la cantidad de producto mediante la conexión de al menos otra línea de alimentación.
25

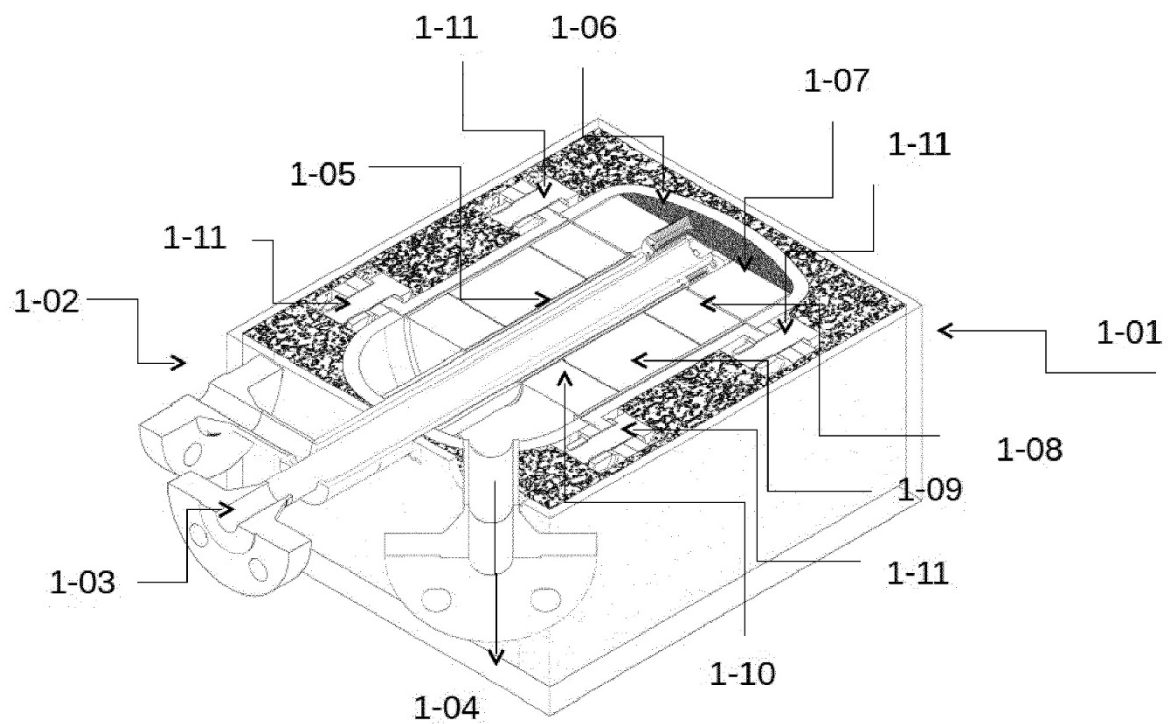


Fig. 1

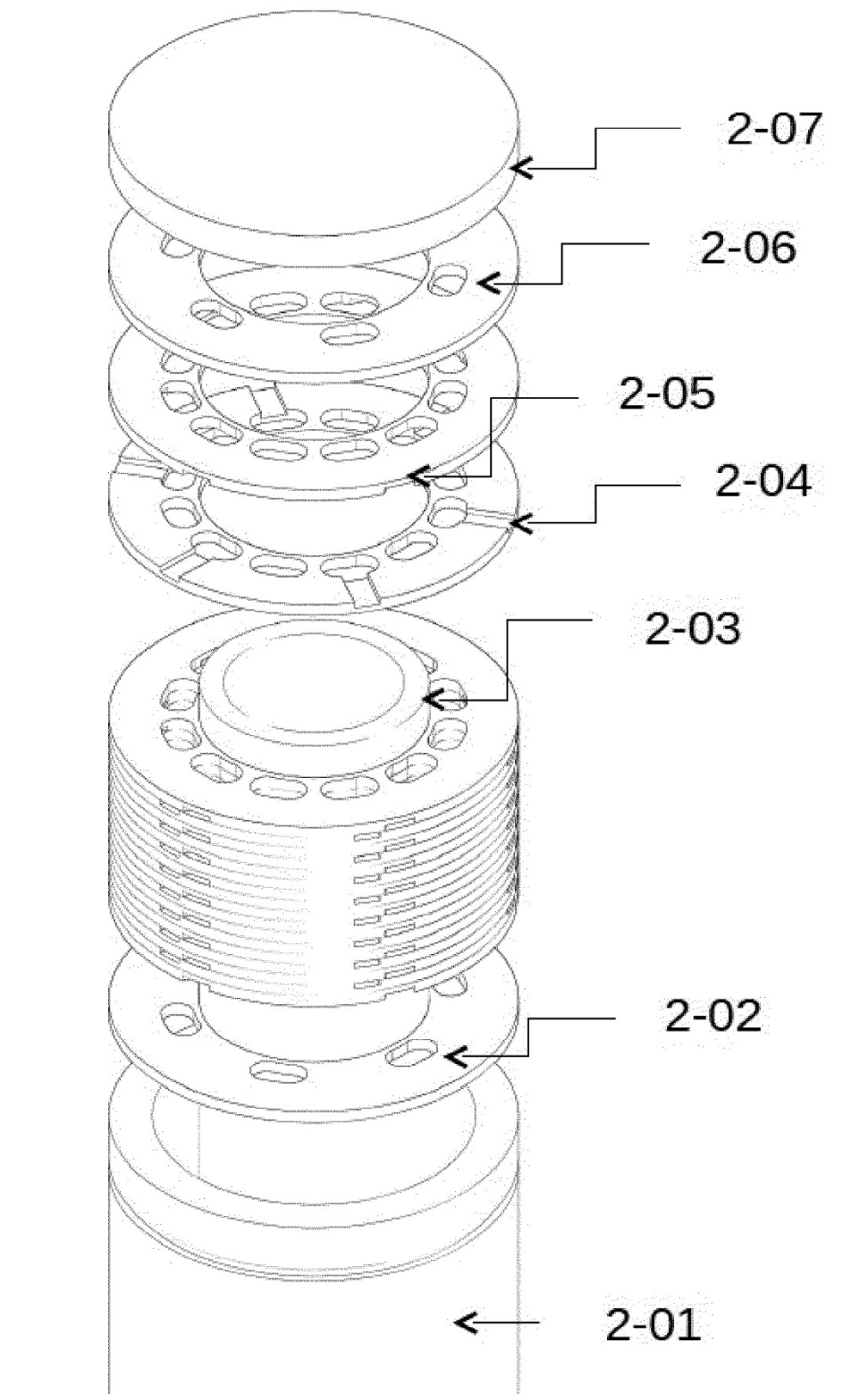


Fig. 2

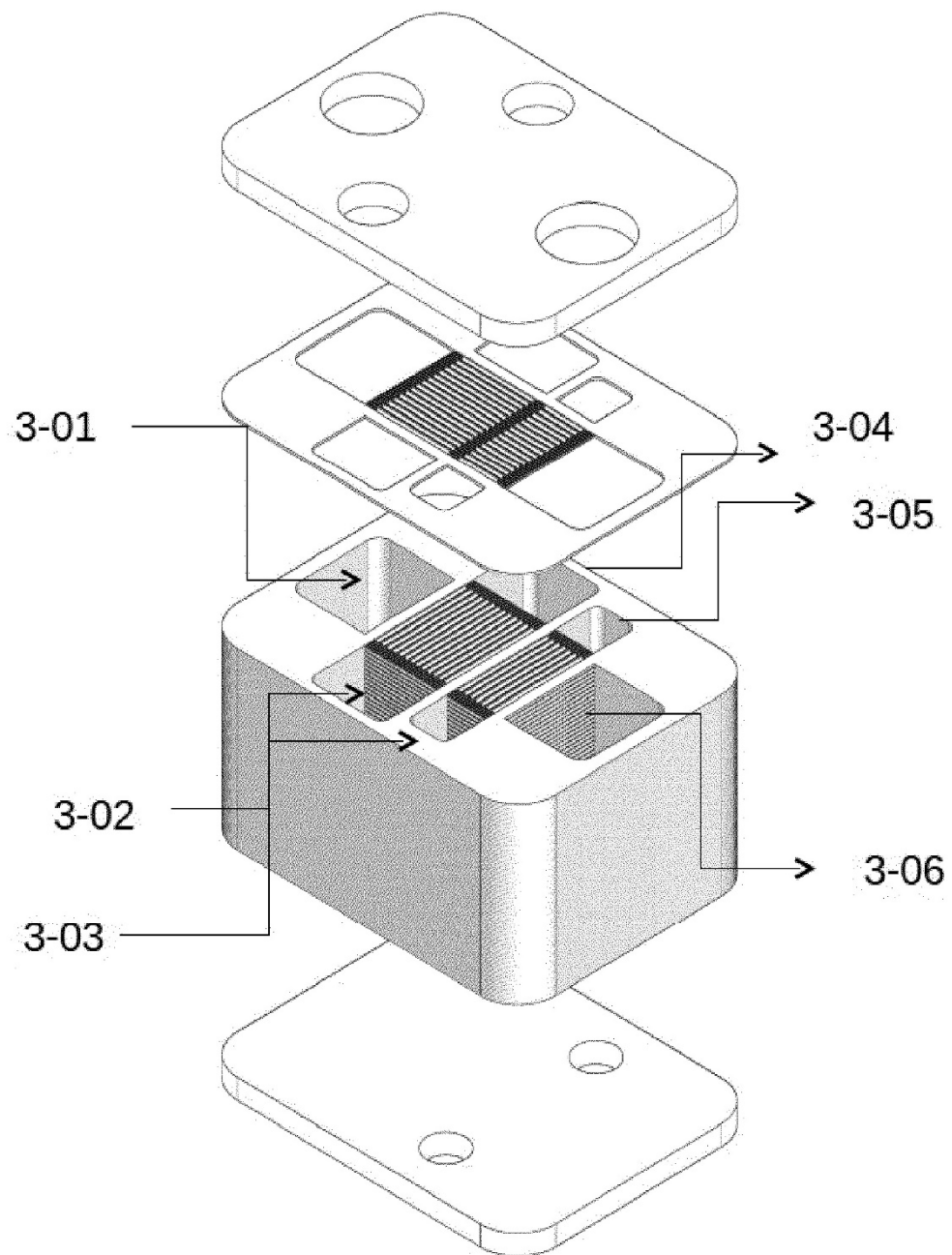


Fig. 3

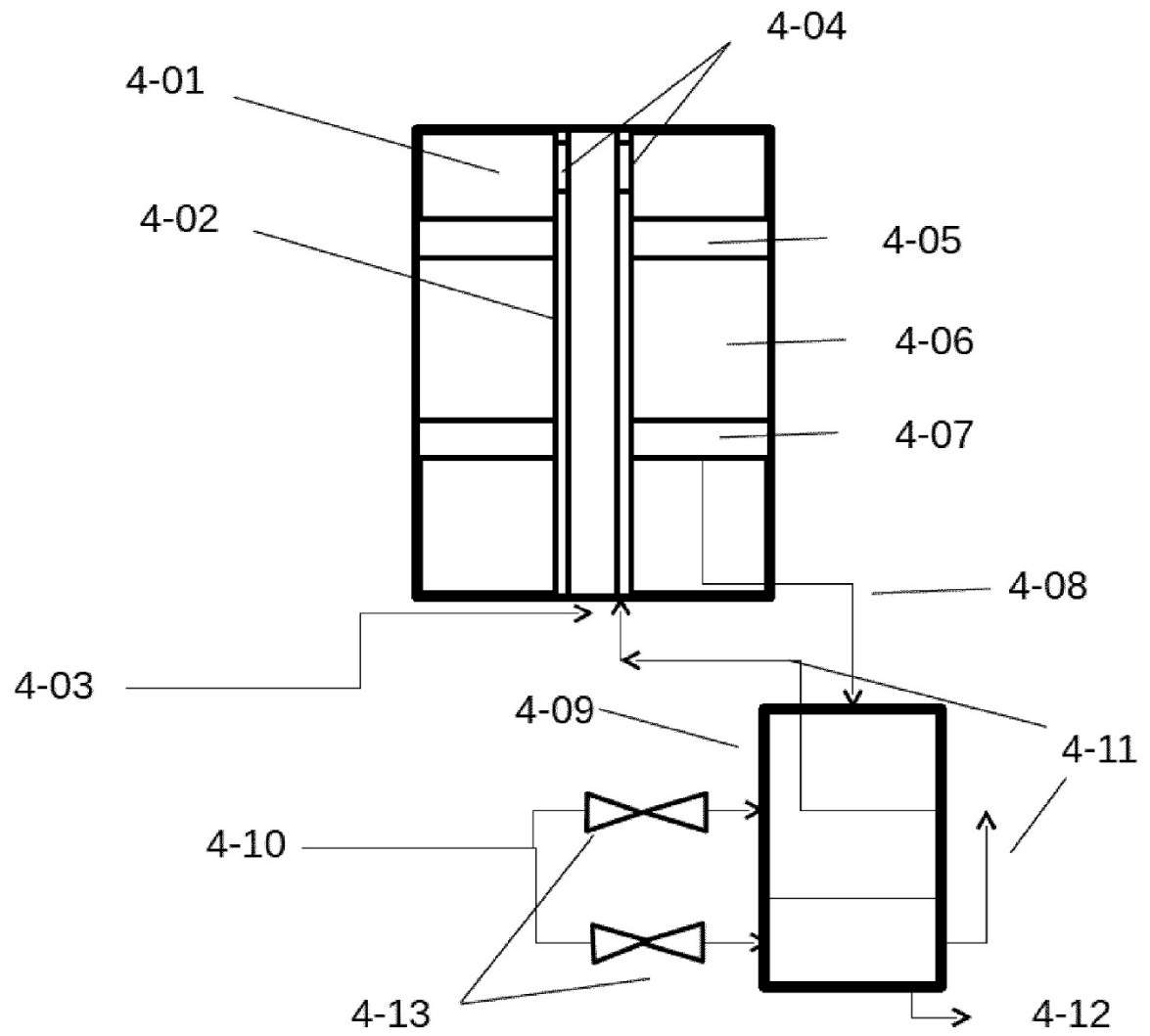


Fig. 4