

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 181**

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.03.2021 PCT/EP2021/056226**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.09.2021 WO21180864**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.03.2021 E 21710312 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2024 EP 4117811**

54 Título: **Reactor y método para llevar a cabo una reacción química**

30 Prioridad:

13.03.2020 EP 20163163

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

26.06.2024

73 Titular/es:

**LINDE GMBH (50.0%)
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach, DE y
BASF SE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**POSSELT, HEINZ;
ZELLHUBER, MATHIEU;
HOFSTÄTTER, MARTIN;
DELHOMME-NEUDECKER, CLARA;
SHUSTOV, ANDREY;
JENNE, ERIC;
KOCHENDÖRFER, KIARA AENNE;
LAIB, HEINRICH;
JACOB, REINER y
KÜHN, HEINZ-JÜRGEN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 974 181 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 y método para llevar a cabo una reacción química

- 5 La invención se refiere a un reactor y a un método para llevar a cabo una reacción química según los preámbulos de las reivindicaciones independientes.

Técnica anterior

- 10 En una serie de procesos en la industria química, se usan reactores en los que uno o más reactivos se conducen a través de tubos de reacción calentados y allí se convierten catalíticamente o no catalíticamente. El calentamiento sirve en particular para superar el requisito de energía de activación para que tenga lugar la reacción química. La reacción puede proceder de manera endotérmica total o exotérmicamente después de superar el requisito de energía de activación. La presente invención se refiere en particular a reacciones fuertemente endotérmicas.

- 15 Los ejemplos de tales procesos son agrietamiento con vapor, diferentes procesos de reformado, en particular reformado al vapor, reformado en seco (reformado con dióxido de carbono), procesos de reformado mixto, procesos para deshidrogenar alcanos y similares. En el agrietamiento con vapor, los tubos de reacción se guían a través del reactor en forma de bobinas de tubo, que tienen al menos una curva en U en el reactor, mientras que los tubos que se extienden típicamente a través del reactor sin curvas en U se usan en el reformado al vapor.

- 20 La invención es adecuada para tales procesos y realizaciones de tubos de reacción. Solo para fines ilustrativos, se hace referencia aquí a los artículos "Ethylene", "Gas Production" y "Propene" en Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, por ejemplo, las publicaciones del 15 de abril de 2009, DOI: 10.1002/14356007.a10_045.pub2, del 15 de diciembre de 2006, DOI: 10.1002/14356007.a12_169.pub2, y del 15 de junio de 2000, DOI: 10.1002/14356007.a22_211.

- 25 Los tubos de reacción de reactores correspondientes se calientan convencionalmente usando quemadores. Los tubos de reacción se guían a través de una cámara de combustión en la que también se disponen los quemadores.

- 30 Sin embargo, como se describe por ejemplo en el documento DE 10 2015 004 121 A1 (también documento EP 3 075 704 A1), la demanda de gas de síntesis e hidrógeno producidos sin o con emisiones locales reducidas de dióxido de carbono, está aumentando actualmente. Sin embargo, los procesos en los que se usan reactores encendidos no pueden satisfacer esta demanda basándose en la quema de portadores de energía típicamente fósiles. Por ejemplo, otros procesos se rechazan debido a los altos costes. Lo mismo también se aplica al suministro de olefinas y/u otros hidrocarburos mediante agrietamiento con vapor o deshidrogenación de alcanos. En tales casos también existe el deseo de procesos que emitan menores cantidades de dióxido de carbono al menos en el sitio.

- 35 En este contexto, el citado DE 10 2015 004 121 A1 propone el calentamiento eléctrico de un reactor para reformado al vapor, además de una combustión. Aquí, se usan una o más fuentes de voltaje que proporcionan un voltaje alterno trifásico en tres conductores externos. Cada conductor externo está conectado a un tubo de reacción. Se forma una conexión en estrella, en la que se realiza un punto de estrella mediante un colector en el que se abren las líneas de tubos y al que se conectan conductivamente los tubos de reacción. De esta manera, el colector idealmente permanece libre de potencial. En relación con la orientación vertical, el colector se dispone debajo y fuera de la cámara de combustión y preferiblemente se extiende transversalmente a los tubos de reactor o a lo largo de la orientación horizontal. WO 2015/197181 A1 describe de la misma manera un reactor cuyos tubos de reacción se disponen en una conexión de punto de estrella.

- 40 Además del calentamiento directo de los tubos de reacción, con los que fluye una corriente a través de los tubos de reacción, también existe una gran variedad de conceptos para el calentamiento eléctrico indirecto de los tubos de reacción. El calentamiento eléctrico indirecto puede tener lugar, como se describe, entre otros, en WO 2020/002326 A1, en forma de calentamiento eléctrico externo. Es también posible el calentamiento interno como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2019/228798 A1. Además de la resistencia o calentamiento por impedancia, puede tener lugar, por ejemplo, el calentamiento eléctrico inductivo de los tubos de reacción o de un lecho de catalizador, como se describe en el documento WO 2017/072057 A1. El calentamiento inductivo puede, por ejemplo, calentar un elemento de calentamiento interno o externo o los propios tubos de reacción. El calentamiento directo (no inductivo) de un tubo de reacción también se describe en DE 10 2015 004 121 A1. Para el calentamiento, se pueden realizar conceptos básicos con corriente alterna monofásica o polifásica o con corriente directa. En el caso de calentamiento directo de reactores por medio de corriente directa también con corriente alterna monofásica, no se puede realizar un circuito de estrella con un punto de estrella libre de potencial, pero la entrada de energía se puede realizar básicamente de manera similar. La presente invención es adecuada para todas las variantes de calentamiento eléctrico.

- 45 El documento DE 2362 628 A1 describe un horno de tubo para el tratamiento térmico de medios líquidos o gaseosos en tubos metálicos que se pueden calentar mediante calentamiento por resistencia, en donde los tubos a calentar por medio de calentamiento por resistencia se conectan de manera conductora en los extremos de las secciones a calentar a las líneas de suministro de energía mediante conexiones eléctricas.

El documento US 2014/0238523 A1 se refiere a un dispositivo para calentar un sistema de tuberías para una sal fundida, que comprende al menos dos tuberías a lo largo de las cuales se extiende un elemento de calentamiento por resistencia eléctrica en cada caso, en donde un potencial cercano al potencial de tierra se establece en cada elemento de calentamiento de resistencia eléctrica en al menos un extremo, y el elemento de calentamiento de resistencia eléctrica se conecta de forma remota desde el mismo a una conexión de una fuente de corriente continua o, en cada caso, a una fase de una fuente de corriente alterna de fase n.

Un dispositivo para calentar un fluido descrito en el documento WO 2020/035575 A1 comprende al menos una tubería eléctricamente conductora y/o al menos un segmento de tubería eléctricamente conductor para recibir el fluido y al menos una fuente de corriente continua y/o fuente de voltaje de CC, en donde a cada tubería y/o a cada segmento de tubería se le asigna una fuente de corriente continua o fuente de voltaje de CC, que está conectada a cada tubería y/o a cada segmento de tubería, en donde cada fuente de corriente continua y/o fuente de voltaje de CC está diseñada para generar una corriente eléctrica en cada tubería y/o en cada segmento de tubería; cada tubería y/o cada segmento de tubería se calienta por calor Joule, que se produce cuando la corriente eléctrica pasa a través del material de tubería conductora, para calentar el fluido, en donde el dispositivo tiene una pluralidad de tuberías y/o segmentos de tubería, en donde las tuberías y/o segmentos de tubería están conectados entre sí y, por lo tanto, forman un sistema de tuberías para recibir el fluido.

Un reactor de lecho fijo conocido del documento EP 2 805 762 A1 tiene una trayectoria de entrada para gas crudo (sin refinar) para una reacción catalítica y una trayectoria de salida para el gas reformado, un recipiente de reacción catalítico que está conectado a la trayectoria de entrada y la trayectoria de salida y contiene un catalizador, soportes de catalizador que tienen una propiedad de ventilación y mantienen el catalizador, y un mecanismo de accionamiento que mueve el catalizador hacia arriba y hacia abajo moviendo los soportes de catalizador hacia arriba y hacia abajo.

El documento WO 2004/091773 A1 describe un reactor calentado eléctricamente para llevar a cabo reacciones de gas a alta temperatura. El reactor consiste en un bloque de reactor, de uno o más módulos monolíticos de un material adecuado para el calentamiento eléctrico, módulos que están rodeados por un alojamiento, de canales que se extienden a través del(de los) módulo(s) y se diseñan como canales de reacción, y de un dispositivo para conducir o inducir una corriente en el bloque del reactor. La seguridad durante el funcionamiento de dicho reactor debe aumentarse porque el alojamiento del bloque de reactor comprende una camisa de doble pared, que sella dicho bloque de reactor de manera hermética a los gases, y al menos un dispositivo para alimentar un gas inerte en la camisa de doble pared.

En particular, la entrada de potencia ha demostrado ser un desafío en tales reactores calentados eléctricamente debido a los altos flujos de corriente y temperaturas. Por lo tanto, el objeto de la invención es mejorar los correspondientes reactores eléctricamente calentados para llevar a cabo reacciones químicas.

Descripción de la invención

En este contexto, la presente invención propone un reactor y un método para llevar a cabo una reacción química según los preámbulos de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones son respectivamente la materia de las reivindicaciones dependientes y de la descripción a continuación.

En el concepto de horno normalmente parcialmente electrificado (el término “horno” se entiende comúnmente como un reactor correspondiente o al menos su espacio de reacción aislado térmicamente) que es la base de la presente invención, tubos de reacción, por ejemplo, o secciones de tubo correspondientes de estos (a continuación, en la memoria también denominados abreviadamente “tubos”) se usan en sí mismos como resistencias eléctricas para generar calor. Este enfoque tiene la ventaja de una mayor eficiencia en comparación con el calentamiento indirecto por elementos de calentamiento eléctricos externos, así como una mayor densidad de flujo de calor alcanzable. Sin embargo, como se ha mencionado al inicio, también es posible llevar a cabo cualquier otro tipo de calentamiento eléctrico (directa o indirectamente, en forma de resistencia, impedancia o calentamiento por inducción, por medio de una corriente alterna monofásica o polifásica o con corriente continua) dentro del alcance de la presente invención, si este tipo de calentamiento resulta ser ventajoso. La posibilidad de proporcionar también parte de toda la capacidad de calor aplicada en el horno al quemar portadores de energía química se incluye dentro del alcance de la invención.

Por lo tanto, si se menciona el calentamiento eléctrico en la presente memoria, esto no excluye la presencia de un calentamiento no eléctrico adicional. En particular, también se puede proporcionar para variar la parte de calentamiento eléctrico y no eléctrico a lo largo del tiempo, por ejemplo, en función del suministro y el precio de la electricidad y/o en función del suministro y el precio de los portadores de energía no eléctrica tales como, por ejemplo, gas natural.

En el caso de calentamiento con corriente alterna polifásica, la corriente se alimenta directamente a los tubos de reacción calentados a través de las M fases conectadas por separado. Los tubos de reacción conductores de corriente conectados a las M fases también pueden conectarse eléctricamente a un punto de estrella. El número de M fases es en particular 3, correspondiente al número de fases de redes o fuentes convencionales de corriente trifásica. Sin embargo, en principio, la presente invención no se limita al uso de tres fases, sino que también se puede usar con un

mayor número de fases, por ejemplo, un número de fases de 4, 5, 6, 7, u 8. Un desplazamiento de fase es en particular de $360^\circ/M$, es decir, en el caso de una corriente alterna trifásica, 120° .

5 En un calentamiento eléctrico con corriente alterna polifásica, la conexión en estrella en el punto de estrella logra una ecualización potencial entre las fases, lo que hace superfluo el aislamiento eléctrico de las líneas de tubos conectadas. Esta es una ventaja particular de tal concepto de horno ya que una interrupción de los tubos de reacción metálicos para aislamiento de ciertas secciones no es deseable, en particular debido a las altas temperaturas usadas y el alto material y los costes de diseño requeridos.

10 Sin embargo, las medidas propuestas según la invención y explicadas a continuación son adecuadas de la misma manera para el uso de corriente directa y corriente alterna monofásica, y la presente invención se puede usar tanto en reactores calentados con corriente alterna como en reactores calentados con corriente directa o también en formas mezcladas correspondientes. Como se ha mencionado, la presente invención también es adecuada para usar en tubos de reacción calentados indirectamente. En comparación con una disposición de corriente alterna, por ejemplo, solo el
15 tipo de fuente de corriente y una región de los tubos de reacción opuestos a la entrada de potencia o las secciones energizadas correspondientes son diferentes en una disposición de corriente continua. En este último, se lleva a cabo solo opcionalmente una conexión eléctrica de diferentes secciones de tubo. Dado que no está presente un punto de estrella libre de potencial en una disposición de corriente directa, se deben proporcionar elementos de descarga de corriente adecuados, que conduzcan de manera segura el flujo de corriente hacia el exterior. Esto último puede
20 diseñarse de manera análoga a las entradas de potencia descritas a continuación. Una cámara de conexión como se describe a continuación puede estar presente en la región superior, pero también puede omitirse, ya que se elimina el requisito de movilidad.

25 En la terminología de las reivindicaciones, la presente invención se refiere a un reactor para llevar a cabo una reacción química, que tiene un recipiente de reactor (es decir, una región aislada térmicamente o al menos parcialmente aislada) y uno o más tubos de reacción, en donde los elementos de entrada de potencia para el calentamiento eléctrico del uno o más tubos de reacción se guían al interior del recipiente de reactor. Según la invención, cada uno de los elementos de entrada de potencia tiene una sección en forma de varilla, en donde cada una de las secciones en forma de varilla se extiende a través de una pared del recipiente de reactor en un paso de pared.
30

En particular, la primera región puede ubicarse en un primer extremo terminal de las secciones de tubo rectas, y la segunda región puede ubicarse en un segundo extremo terminal que está opuesto al primer extremo terminal. En particular, la primera región puede ubicarse en una región superior del reactor, y la segunda región puede ubicarse en una región inferior del reactor, o viceversa. En otras palabras, la primera región y la segunda región están ubicadas
35 en particular en extremos opuestos del recipiente del reactor o el espacio interior del mismo, en donde el espacio interior del recipiente de reactor entre la primera y la segunda regiones corresponde en particular a la región intermedia. La primera región puede representar, por ejemplo, o comprender el 5 %, 10 % o 20 % terminal del espacio interior en un extremo del recipiente del reactor, mientras que la segunda región representa o comprende el 5 %, 10 % o 20 % terminal en el otro extremo opuesto del espacio interior del recipiente de reactor. Durante el funcionamiento del reactor en particular, la primera región está dispuesta en la parte inferior y la segunda región está dispuesta en la parte superior.
40

Dentro del alcance de la presente invención, una cámara de conexión en la que se proyectan las secciones en forma de varilla se dispone fuera del recipiente de reactor y adyacente a la pared a través de la cual se extienden las secciones en forma de varilla del uno o más elementos de entrada de corriente, es decir, en la que se forma(n) o forman el uno o más pasos de pared. Dependiendo del tipo de entrada de potencia, la cámara de conexión puede disponerse debajo o lateralmente del recipiente de reactor, de modo que la pared pueda ser una pared inferior o pared lateral.
45

Las secciones en forma de varilla están conectadas en la cámara de conexión a elementos de contacto flexibles, en particular, por ejemplo, a filamentos, regletas, regletas laminares o resortes de corriente, por ejemplo, también mediante secciones intermedias o elementos intermedios adecuados. Estos elementos de contacto flexibles están sujetos con un extremo, que no está conectado a las secciones en forma de varilla, a elementos de contacto rígidos, que típicamente se disponen de manera inmóvil en la cámara de conexión, por ejemplo de una manera aislada en una pared, y se suministran, por ejemplo, mediante un transformador de CDC o ACA. En particular, los elementos de contacto flexibles compensan el movimiento longitudinal de las secciones en forma de varilla en los pasos de pared.
50
55

Según la invención, se proporcionan paneles de refrigeración a través de los cuales puede fluir un fluido de refrigeración en la cámara de conexión y se disponen entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones en forma de varilla que se proyectan en la cámara de conexión.
60

La invención se describe además a continuación con referencia a desarrollos en los que varias secciones de tubo del uno o más tubos de reacción se extienden en cada caso entre una primera región y una segunda región dentro del recipiente de reactor y a través de un región intermedia entre la primera y la segunda regiones y en donde, para el calentamiento eléctrico de las secciones de tubo, las secciones de tubo éstas están o pueden estar conectadas eléctricamente, en la primera región, están o pueden estar conectadas a una o más conexiones de potencia de una
65

fuelle de alimentaci3n, especialmente, en el caso de una disposici3n de corriente continua, a una o m3s conexiones de corriente continua y, en el caso de una disposici3n de corriente alterna monof3sica o polif3sica, a la conexi3n de fase o las conexiones de fase ("conductores exteriores") de la fuente de corriente alterna, como se explica en detalle a continuaci3n. En el calentamiento indirecto alternativamente posible, que tambi3n se puede usar como se ha mencionado, los elementos de conexi3n para los dispositivos t3rnicos correspondientes se gu3an a trav3s de la pared del recipiente de reactor.

Como se ha mencionado, en un desarrollo correspondiente de la invenci3n, un voltaje alterno se proporciona en este caso a trav3s de las conexiones de fase mediante una disposici3n de corriente alterna polif3sica, y los voltajes alternos de las conexiones de fase se desfasan de la manera explicada anteriormente. Por ejemplo, una red de suministro o un generador y/o transformador adecuados pueden servir como fuente de corriente alterna polif3sica. Las secciones de tubo en esta disposici3n forman en particular un circuito de estrella en el que se acoplan de forma el3ctricamente conductora entre s3 en su extremo relevante opuesto a la entrada de potencia, es decir, en la segunda regi3n.

Por el contrario, en el caso de una disposici3n de corriente continua, en otros desarrollos, se alimentan potenciales el3ctricos est3ticos iguales o diferentes a trav3s de una o m3s conexiones de corriente continua y, en particular, en el extremo relevante opuesto a la entrada de potencia se proporcionan elementos de extracci3n de potencia. Lo mismo se aplica de una manera comparable cuando se usa una corriente alterna monof3sica de una o m3s fuentes de corriente.

En la regi3n intermedia, las secciones de tubo en el desarrollo mencionado de la presente invenci3n atraviesan el recipiente de reactor en particular libremente, es decir, sin soporte mec3nico, sin contacto el3ctrico, y/o sin conexiones cruzadas flu3dicas o puramente mec3nicas entre s3. En este desarrollo, en particular se extienden sustancial o completamente rectas en la regi3n intermedia, en donde "sustancialmente recta" debe entenderse como que est3 presente una desviaci3n angular de menos de 10° o 5°.

En particular, las reacciones de agrietamiento en el agrietamiento al vapor son reacciones fuertemente endot3rmicas. Por lo tanto, el suministro de la energ3a necesaria para la reacci3n mediante calentamiento directo (resistencia 3hmica) requiere corrientes elevadas, que en el concepto de reactor mencionado anteriormente son proporcionadas por uno o m3s transformadores colocados fuera del reactor.

En todos los conceptos de calentamiento el3ctrico mencionados anteriormente, la corriente el3ctrica debe conducirse con las menores p3rdidas posibles (baja resistencia el3ctrica) desde el exterior al interior del reactor aislado t3rmicamente y a las zonas conductoras del proceso. En dichas regiones, la reacci3n endot3rmica junto con el medio de proceso de flujo muy r3pido en el lado del tubo interior (alta transferencia de calor) conduce a un enfriamiento muy eficaz de los tubos del reactor, o a una densidad de flujo de calor muy alta en el lado del tubo interior. La transferencia de calor directa deseada desde el material de tubo al menos parcialmente el3ctricamente calentado al gas de proceso se logra, por lo tanto, en los tubos de procesamiento.

Un problema particular se refiere al suministro de baja p3rdida de la corriente alta a los tubos de procesamiento mencionados anteriormente. Cuando la corriente se va a alimentar a los tubos dentro del reactor, esta alimentaci3n debe realizarse necesariamente mediante l3neas que no puedan enfriarse mediante transferencia directa de calor por convecci3n a un gas de proceso m3s fr3o, como se explicar3 tambi3n m3s adelante. En este caso, no debe haber un sobrecalentamiento inaceptable en las regiones enfriadas menos eficientemente. Adem3s, un aumento brusco de temperatura de hasta 900 K (diferencia de temperatura m3xima entre el entorno y el reactor) dentro de longitudes de trayectoria cortas (parcialmente menos de 1 metro) tambi3n debe superarse a trav3s de este suministro.

Para reducir las p3rdidas t3rmicas y, por lo tanto, lograr una alta eficiencia del sistema, es imprescindible colocar los tubos de reacci3n calentados el3ctricamente directamente en una caja aislada (aqu3 denominada recipiente de reactor). Al penetrar la pared aislada t3rmicamente del recipiente de reactor, el conductor de corriente debe superar una zona casi adiab3tica, sin que en estas regiones se produzcan temperaturas locales inadmisiblemente altas.

Por lo tanto, dentro del alcance del desarrollo especialmente preferido de la presente invenci3n que se acaba de explicar, para lograr este objetivo, en la primera regi3n del reactor se proporcionan disposiciones de entrada de potencia, a las cuales se conecta el3ctricamente una secci3n de tubo relevante o un grupo relevante de secciones de tubo, es decir, en la regi3n de entrada de potencia. Las secciones de tubo se proporcionan en un n3mero tal que se puede conectar una secci3n de tubo o respectivamente, un grupo de una pluralidad de secciones de tubo a una de las disposiciones de entrada de potencia y viceversa. El n3mero de disposiciones de entrada de potencia proporcionado dentro del alcance de la presente invenci3n depende del n3mero de conexiones de fase de la fuente de corriente alterna polif3sica en el caso de una disposici3n de corriente alterna o este n3mero corresponde al n3mero de conexiones de corriente directa. Cuando se utiliza una disposici3n de corriente alterna, puede ser la misma que el n3mero de conexiones de fase o puede ser un m3ltiplo entero del mismo. En este 3ltimo caso, por ejemplo, dos de las disposiciones de entrada de potencia pueden conectarse cada una a una de las conexiones de fase de la fuente de alimentaci3n de CA, etc.

Las disposiciones de entrada de potencia en este caso comprenden cada una uno o más pasos de contacto, que se une o unen al menos a una de las secciones de tubo relevantes en la primera región y que se extienden a través de las disposiciones de entrada de potencia. El uno o más pasos de contacto en las disposiciones de entrada de potencia pueden, como se describe con más detalle a continuación, en cada caso, extenderse rectos o en forma de codo en U a través de las disposiciones de entrada de potencia. A continuación, se diseñan en particular como un codo reforzado con pared. Los tubos de reacción sin codos en U son en particular manguitos reforzados con pared.

El uno o más pasos de contacto en las disposiciones de entrada de potencia pueden diseñarse en uno o más componentes, que está o están unidos a las secciones de tubo y está o están firmemente unidos a las secciones de tubo de una manera resistente a la temperatura alta, o alternativamente en forma de una sección continua o, respectivamente, una sección continua de los tubos de reacción. En todos los desarrollos, un diseño con el menor número posible de componentes típicamente resulta ventajoso, como también se explica más adelante.

En el primer caso, las secciones de tubo que se extienden entre la primera y la segunda regiones en el reactor pueden soldarse a un componente prefabricado en el que uno o más de los pasos de contacto se extiende o extienden, o un componente adicional correspondiente puede ser fundido sobre las secciones de tubo que se extienden entre la primera y la segunda regiones en el reactor. En el último caso, se pueden proporcionar tubos continuos, que son para formar las secciones de tubo que se extienden entre la primera y la segunda regiones en el reactor y los pasos de contacto en las disposiciones de entrada de potencia relevantes, y los componentes adicionales de las disposiciones de entrada de potencia pueden proporcionarse por medio de colada o soldadura.

Cuando se ha mencionado anteriormente y se menciona a continuación que las disposiciones de entrada de potencia comprenden uno o más pasos de contacto “que se une o unen al menos a una de las secciones de tubo en la primera región,” se entiende que esto significa que los pasos de contacto en las disposiciones de entrada de potencia junto con las secciones de tubo relevantes entre la primera y la segunda regiones forman un canal continuo para que el fluido de proceso sea conducido a través de las secciones de tubo.

En particular, un espacio interior de tubo de las secciones de tubo relevantes entre la primera y la segunda regiones continúa en este caso en los correspondientes pasos de contacto, en particular sin un estrechamiento o ensanchamiento considerable, en donde un estrechamiento o ensanchamiento “considerable” es para indicar un estrechamiento o ensanchamiento en más del 10 % del área de sección transversal. El término “pasos de contacto” se usa para referirse a regiones en las que existe una conexión conductora a través de componentes metálicos a una conexión de potencia, incluso si, en determinados desarrollos de la invención, los “pasos de contacto” son prolongaciones continuas de las secciones de tubo en la primera región.

La expresión “unido firmemente de una manera resistente a altas temperaturas” pretende designar un tipo de conexión por medio de la cual dos o más partes metálicas se unen firmemente entre sí y la conexión es permanente a temperaturas de 500 °C a 1500 °C, en particular de 600 °C a 1200 °C o de 800 °C a 1000 °C, es decir, no se desprende a tales temperaturas durante el funcionamiento regular. Se puede diseñar una conexión integral con alta resistencia a la temperatura, en particular, como una conexión metal-metal, que se realiza de tal manera que no queda material no metálico entre las partes conectadas. Dicha conexión se puede producir en particular mediante soldadura, colada o refundición. También puede ser una conexión que no muestre ninguna diferencia estructural en los puntos donde las partes están conectadas, y en particular una conexión donde no se usa metal adicional para la conexión.

En el desarrollo de la presente invención que se acaba de explicar, las paredes de los pasos de contacto de las disposiciones de entrada de potencia están conectadas cada una a uno de los elementos de entrada de potencia, cada uno de los cuales tiene, como se ha descrito anteriormente, al menos una sección en forma de varilla que se extiende en cada caso en un paso de pared a través de una pared del recipiente de reactor. A diferencia de los filamentos o similares, por ejemplo, la sección en forma de varilla en todos los desarrollos de la presente invención está formada en particular de una pieza (es decir, en particular no en forma de cables paralelos o trenzados) de un material conductor de corriente, tal como metal. Puede diseñarse para ser sólido o al menos parcialmente tubular, es decir, como una varilla hueca. La sección en forma de varilla tiene una extensión longitudinal perpendicular a la pared del recipiente de reactor y al menos dos veces más grande, en particular al menos tres veces, cuatro veces o cinco veces y por ejemplo hasta diez veces mayor que la mayor extensión transversal paralela a la pared de la vasija del reactor. La sección en forma de varilla puede ser, por ejemplo, redonda, ovalada, o triangular o poligonal en sección transversal o tener cualquier otra forma.

Los elementos de entrada de potencia de las disposiciones de entrada de potencia se pueden unir con cada una de sus secciones en forma de varilla directamente a la pared de los pasos de contacto o pueden transitarlas como resultado de fabricarse en una sola pieza. Sin embargo, también se pueden proporcionar uno o más elementos intermedios, que luego forman cada uno parte de los elementos de entrada de potencia.

Los paneles de refrigeración proporcionados en la cámara de conexión proporcionada según la invención están diseñados para ser planos al menos en una sección, es decir, se extienden entre dos superficies de límite reales o imaginarias dispuestas a una distancia entre sí, en donde la distancia de las superficies de límite define un espesor de los paneles de refrigeración y una extensión a lo largo de las superficies de límite es más de dos veces, cinco

5 veces, diez veces o veinte veces mayor que el espesor. Las superficies límite pueden ser superficies límite planas o curvadas, de manera que los paneles de refrigeración pueden ser planos y llanos, pero también pueden ser curvados, de manera que los paneles de refrigeración en este caso pueden ser llanos y curvados de forma semicilíndrica o parcialmente cilíndrica. Los diferentes paneles de refrigeración también pueden tener dimensiones o diseños diferentes. Las “superficies límite” son superficies que definen el espesor máximo de los paneles de refrigeración. Los paneles de refrigeración no tienen que apoyarse en estas superficies límite en toda la superficie.

10 Estas dimensiones se aplican individualmente a cada uno de los paneles de refrigeración, es decir, un primer panel de refrigeración puede disponerse oblicuo o perpendicularmente a un segundo panel de refrigeración. Una pluralidad de paneles de refrigeración puede girar entre sí, en particular alrededor de un eje que es paralelo a la dirección de extensión longitudinal de las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia y perpendicular a la pared del recipiente de reactor.

15 Los paneles de refrigeración pueden configurarse en particular para que el líquido de refrigeración fluya a través de ellos en una dirección que corresponda en general a una dirección perpendicular o paralela a las secciones en forma de varilla, por ejemplo, a través de las correspondientes aberturas de alimentación y extracción del líquido de refrigeración en los lados paralelos a las secciones en forma de varilla.

20 El espesor de los paneles de refrigeración puede estar en el rango de 0,5 cm a 10 cm, en particular de 1 cm a 5 cm, al menos en la sección dimensionada como se ha mencionado.

25 En particular, la cámara de conexión puede tener paredes laterales que se extienden perpendicularmente a la pared del recipiente de reactor a través de las cuales se extienden las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia en los respectivos pasos de pared en cada caso. Uno o más paneles de refrigeración adicionales pueden disponerse sobre o en paralelo a al menos una de las paredes laterales. Al igual que los paneles de refrigeración mencionados anteriormente, estos paneles de refrigeración pueden diseñarse con un dimensionamiento básico.

30 En particular, la cámara de conexión también puede tener una pared paralela, que se extiende en paralelo a la pared del recipiente de reactor a través de la cual se extienden las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia en los pasos de pared en cada caso, es decir, por ejemplo, la pared inferior o pared lateral, en donde los elementos descritos anteriormente se disponen entre la pared mencionada del recipiente de reactor y la pared paralela de la cámara de conexión. La pared paralela puede diseñarse al menos parcialmente como una pared hueca y configurarse para que el fluido de refrigeración mencionado o adicional fluya a través.

35 Es particularmente ventajoso dentro del alcance de la presente invención si se usa una cámara de conexión sin dispositivos para proporcionar convección forzada en una atmósfera de gas que rodea los paneles de refrigeración, tales como sopladores, ventiladores y similares. Según la comprensión entre los expertos, se entiende aquí una convección forzada como una convección causada por una acción mecánica externa sobre un fluido. Una acción mecánica correspondiente produce diferencias de presión que hacen que el fluido fluya.

40 Cuando se utiliza enfriamiento forzado de las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia en la cámara de gas, que por lo tanto es predominante o radiactivo (excepto para convección natural), existe la posibilidad de diseñar la cámara de refrigeración con los paneles de refrigeración para ser hermética a los gases al exterior, pero permeable al gas, con respecto al recipiente de reactor (en particular a través de los pasos de pared). Por lo tanto, un desarrollo especialmente preferido de la presente invención comprende esta característica. Por ejemplo, una atmósfera deficiente en oxígeno puede por lo tanto aplicarse al interior del recipiente de reactor que incluye la cámara de refrigeración porque no es necesario ningún intercambio de gas, como se requeriría en el caso de la convección forzada.

50 La invención permite que las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia se reciban de forma móvil en la pared del recipiente de reactor sin la necesidad de un sello hermético a gases, lo que de cualquier otra manera sería necesario para evitar el escape de gases combustibles en el ambiente, por ejemplo, cuando los tubos de reacción se dañan (“fracturas de bobina”). Por lo tanto, dentro del alcance de la presente invención, los pasos de pared pueden ser significativamente más compactos y ser permanentes porque se dispensan materiales de sellado. Aquí es ventajoso que todos los componentes que salen de la cámara de refrigeración al ambiente tengan ahora movimientos de compensación muy pequeños, de manera que la implementación del hermetismo a gases con respecto a la propia pared del recipiente de reactor se simplifique significativamente en este caso.

60 En la presente invención, la refrigeración descrita, además del correspondiente dimensionamiento y diseño de los propios elementos de entrada de potencia, garantiza que en general se mantengan temperaturas suficientemente bajas, en particular para conectar elementos de contacto altamente conductores y/o flexibles. El enfriamiento activo, propuesto dentro del alcance de la presente invención, fuera del recipiente de reactor térmicamente aislado afecta a la distribución de temperatura en la parte exterior (es decir, la parte que sobresale en la cámara de conexión) de las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia. Los paneles de refrigeración proporcionados

en la cámara de conexión dentro del alcance de la presente invención, paneles que también pueden entenderse como paredes intermedias enfriadas, aseguran una mayor disipación de calor de las secciones con forma de varilla.

5 Mediante el uso de la presente invención, se puede reducir el uso de material en el diseño de los elementos de entrada de potencia o de las secciones con forma de varilla del mismo. En el caso de enfriamiento puramente pasivo, solo se podrían permitir tasas de desarrollo de calor muy bajas en las secciones con forma de varilla para evitar el sobrecalentamiento en caso de una carga permanente. Un mayor uso de material requerido para este propósito es indeseable con respecto a los costes y la carga mecánica en el sistema.

10 Dentro del alcance de la presente invención, se consiguen temperaturas suficientemente bajas en una región de conexión de las secciones con forma de varilla, de modo que, por ejemplo, se pueden conectar elementos de conexión que contienen cobre muy conductores pero sensibles a la temperatura. El uso de elementos de conexión muy conductores minimiza las pérdidas eléctricas en las líneas de alimentación. Además, estos elementos de conexión pueden diseñarse de manera flexible a una temperatura suficientemente baja para absorber de esta manera la expansión térmica de las secciones de los tubos de reacción durante el funcionamiento, expansión que transmite a las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia.

15 En un desarrollo especialmente ventajoso de la presente invención, las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia en la cámara de conexión están diseñadas por lo tanto con elementos de contacto de un tipo correspondiente, es decir, elementos de contacto que tienen un material de mayor conductividad que el material de las secciones en forma de varilla. De forma alternativa o adicional, estos elementos de contacto pueden ser elementos de contacto flexibles, tales como filamentos, regletas, regletas laminares o resortes de corriente, como se ha mencionado. En este desarrollo, estos elementos de contacto flexibles están sujetos con un extremo no conectado a las secciones en forma de varilla, como se ha mencionado, a elementos de contacto rígidos dispuestos de manera inmóvil en la cámara de conexión. Los elementos de contacto rígidos pueden fijarse en particular en la pared paralela mencionada y/o extenderse a través de esta pared paralela.

20 Dado que la resistencia del conductor eléctrico de muchos materiales metálicos aumenta con el aumento de la temperatura, la pérdida de potencia térmica puede reducirse mediante la reducción, resultante del enfriamiento forzado dentro del alcance de la presente invención, de la temperatura promedio en las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia, pero también en elementos de filamento flexible conectados a los mismos, por ejemplo, y, por lo tanto, la eficiencia del sistema puede aumentar.

25 Debido a su muy baja conductividad eléctrica, agua desmineralizada o completamente desalinizada, por ejemplo, con una conductividad de menos de $10 \mu\text{S}/\text{cm}$, en particular menos de 5, 1, 0,5 o $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C , se utiliza ventajosamente dentro del alcance de la presente invención como fluido de refrigeración. La colocación de los paneles de refrigeración también tiene lugar en particular con respecto a una protección suficiente contra cortocircuitos cortos (en particular al mantener distancias mínimas).

30 Según un desarrollo especialmente preferido de la presente invención, los paneles de refrigeración pueden formarse a partir de láminas metálicas paralelas que se conectan entre sí mediante soldadura láser o por rodillo y se inflan de manera similar a un cojín.

35 De manera especialmente ventajosa, las secciones con forma de varilla que se proyectan en la cámara de refrigeración tienen, al menos en un punto, en cada caso, una sección transversal que no es inferior a 10 centímetros cuadrados, de forma ventajosa no inferior a 30 centímetros cuadrados y, en particular, no inferior a 50 centímetros cuadrados. Al usar secciones transversales correspondientemente altas, se puede garantizar una temperatura de componente particularmente baja.

40 Ventajosamente, como se ha mencionado, cada una de las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia son guiadas longitudinalmente de forma móvil en sus pasos de pared a través de la pared del recipiente de reactor. Una libertad de movimiento garantizada de este modo es particularmente ventajosa para el comportamiento mecánico de los tubos de reacción, que está dominado principalmente por la dilatación térmica de los tubos en varios decímetros durante la operación del reactor. Debido a la libertad de movimiento, se reduce la carga de flexión sobre los tubos de reacción que se produciría con una fijación rígida. Por otra parte, como también se menciona más adelante, los tubos de reacción pueden fijarse con un puente de estrella rígido al techo del reactor en la segunda región en el caso de calentamiento por corriente alterna, de manera que de esta forma se da una suspensión estable incluso en el caso de una movilidad longitudinal correspondiente de las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia. Debido a su ventajoso dimensionamiento con una sección transversal de línea suficientemente alta, las secciones en forma de varilla de los elementos de entrada de potencia garantizan el guiado lateral seguro de los tubos de reacción. Por otra parte, como se ha mencionado, mediante la conexión en la cámara de refrigeración, en particular a través de elementos de contacto flexibles, los componentes que salen de la cámara de refrigeración al ambiente tienen ahora movimientos de compensación muy pequeños.

45 Dado que las reacciones llevadas a cabo en el reactor según la invención requieren altas temperaturas, la conexión eléctrica en la primera región debe realizarse en un intervalo de alta temperatura de, por ejemplo, aproximadamente

900 °C para el craqueo a vapor. Esto es posible debido a las medidas propuestas según la invención eligiendo materiales adecuados y un dimensionamiento suficiente de los mismos. Al mismo tiempo, la conexión es para mostrar una alta conductividad eléctrica y una alta estabilidad mecánica y fiabilidad a altas temperaturas. En el caso del uso de calentamiento de corriente alterna y una conexión de punto de estrella, un fallo de la conexión eléctrica conduce a potenciales asimétricos en el punto de estrella y, en consecuencia, a la parada inmediata relacionada con la seguridad del sistema en respuesta a la conducción de corriente no deseada de las partes del sistema. Al evitar tales situaciones, la presente invención proporciona ventajas sobre la técnica anterior.

Poner en contacto las secciones de tubo dentro del recipiente de reactor, contacto que se proporciona según la invención, en comparación con un contacto teóricamente igualmente posible fuera del recipiente de reactor para el cual los tubos de reacción tendrían que ser guiados fuera del recipiente de reactor, tiene la ventaja de una sección más claramente definida de la entrada de calor eléctrico, porque en este caso no tienen que guiarse secciones de tubo eléctricamente calentadas desde el interior más caliente hasta el exterior más frío. Debido al contacto según la invención, se pueden lograr condiciones de límite térmico externas espacialmente muy homogéneas de las secciones de tubo eléctricamente calentadas debido a que las secciones de tubo están dispuestas completamente dentro del recipiente de reactor. Esto da como resultado ventajas técnicas; por ejemplo, se puede evitar una formación de coque local excesiva esperada en pasos calentados que se aíslan térmicamente hacia el exterior.

Dentro del alcance de la invención, los elementos de entrada de potencia, los pasos de contacto y las secciones de tubo pueden formarse a partir del mismo material o de materiales cuyas conductividades eléctricas (en el sentido de una constante de material, como es habitual entre los expertos) difieren en no más del 50 %, no más del 30 %, no más del 10 %, entre sí o son ventajosamente iguales. Por ejemplo, los componentes mencionados también se pueden hacer a partir de aceros de la misma clase de acero. El uso de materiales idénticos o estrechamente relacionados puede facilitar la colada o soldadura. Por otro lado, los elementos de contacto conectados en la cámara de refrigeración pueden formarse a partir de otro material, que puede ser menos resistente a la temperatura.

En una realización preferida, los elementos de entrada de potencia, los pasos de contacto y las secciones de tubo tienen o están formados a partir de una aleación de acero al cromo-níquel resistente al calor con alta resistencia a la oxidación o a la incrustación y alta resistencia a la carburación.

Por ejemplo, puede ser un material que contiene hierro que tiene del 0,1 al 0,5 % en peso de carbono, del 20 al 50 % en peso de cromo, del 20 al 80 % en peso de níquel, del 0 al 2 % en peso de niobio, del 0 al 3 % en peso de silicio, del 0 al 5 % de tungsteno y del 0 al 1 % en peso de otros componentes, en donde los contenidos en cada caso suman el contenido no ferroso.

Por ejemplo, se pueden utilizar materiales con las designaciones estándar GX40CrNiSi25-20, GX40NiCrSiNb35-25, GX45NiCrSiNbTi35-25, GX35CrNiSiNb24-24, GX45NiCrSi35-25, GX43NiCrWSi35-25-4, GX10NiCrNb32-20, GX50CrNiSi30-30, G-NiCr28W, G-NiCrCoW, GX45NiCrSiNb45-35, GX13NiCrNb45-35, GX13NiCrNb37-25, o GX55NiCrWZr33-30-04 según la norma DIN EN 10027, Parte 1, "Materiales". Se han demostrado que son especialmente adecuados para el uso a alta temperatura.

En todos los casos explicados anteriormente, el elemento de conexión y las secciones de tubo se pueden formar a partir del mismo material o de materiales cuyas conductividades eléctricas (en el sentido de una constante de material, como es habitual en el campo) difieren en no más del 50 %, no más del 30 %, no más del 10 % o son ventajosamente las mismas. Por ejemplo, el elemento de conexión y las secciones de tubo también se pueden hacer a partir de aceros de la misma clase de acero. El uso de materiales idénticos o estrechamente relacionados puede facilitar el diseño de una sola pieza del elemento de conexión y de las secciones de tubo, por ejemplo, por medio de colada o soldadura.

En la segunda región, todas las secciones de tubo dentro del recipiente de reactor pueden conectarse eléctricamente de manera conductora entre sí por medio de un elemento de conexión rígido ("puente en estrella") en el caso de calentamiento por medio de corriente alterna, o esta conexión puede tener lugar en grupos por medio de una pluralidad de elementos de conexión rígidos.

En este caso, es decir, en el caso de calentamiento por medio de corriente alterna, la conexión eléctricamente conductora se lleva a cabo de tal manera que se obtiene una compensación de potencial al menos extensa de las fases conectadas en la primera región como se explica. El uno o más elementos de conexión acopla o acoplan las secciones de tubo conectadas en particular en una forma de recogida de fluido y no de distribución de fluidos, a diferencia de un colector conocido del estado de la técnica y dispuesto fuera del reactor. La compensación de potencial dentro del recipiente de reactor propuesto en la realización de la invención recién explicada tiene la ventaja de una ausencia casi completa de potencial o un retorno significativamente reducido de la corriente a través de un conductor neutro. El resultado es una disipación de corriente mínima a través de las conexiones del cabezal a otras partes del sistema de proceso y un alto nivel de protección contra golpes. A diferencia de una guía de los tubos de reacción a través de la pared del recipiente de reactor, que se requiere para la compensación de potencial fuera del recipiente de reactor, la ventaja de las condiciones de límite térmico externas espacialmente muy homogéneas también da como resultado en este contexto las ventajas relacionadas con el proceso ya explicadas anteriormente.

Mediante la realización correspondiente de un circuito de estrella en combinación con la entrada de potencia explicada a través de elementos de entrada de potencia guiados longitudinalmente, se crea una construcción en conjunto, construcción que permite una energización eficiente con una sujeción estable simultánea, que resiste las tensiones resultantes principalmente de las altas tasas de expansión térmica.

La presente invención se describe primero a continuación con referencia a tubos de reacción y reactores como se usa para el craqueo a vapor. Como se explica a continuación, la invención también se puede usar en otros tipos de reactores, como se aborda posteriormente. Generalmente, como se ha mencionado, el reactor propuesto según la invención se puede utilizar para llevar a cabo todas las reacciones químicas endotérmicas.

Los tubos de reacción, como se usan típicamente para el craqueo a vapor, típicamente tienen al menos un codo de retorno. Por ejemplo, estos pueden ser las llamadas bobinas de 2 pasos. Tienen dos secciones de tubo en el recipiente de reactor, que se fusionan entre sí a través de (precisamente) un codo de retorno y, por lo tanto, básicamente tienen la forma de una U (extendida). Las secciones que entran y salen del recipiente de reactor, que en particular pasan sin problemas o sin una transición relevante para el flujo a las secciones de tubo calentadas, se denominan aquí (también con referencia a los tubos de reacción descritos a continuación) “sección de alimentación” y “sección de extracción”. Siempre existe una pluralidad de tales tubos de reacción presentes.

Por lo tanto, en este desarrollo, el reactor puede diseñarse de tal manera que cada una de las secciones de tubo comprenda dos secciones de tubo de una pluralidad de tubos de reacción que se disponen al menos parcialmente uno al lado de otro en el recipiente de reactor, pasando entre sí en cada caso las dos secciones de tubo de los múltiples tubos de reacción en la primera región en cada caso mediante un codo en U. En particular, como se ha mencionado, una de cada una de las dos secciones de tubo en la segunda región está conectada a una sección de alimentación y las otras de cada una de las dos secciones de tubo en la segunda región están conectadas a una sección de extracción.

En este caso, el uno o más pasos de contacto en las disposiciones de entrada de potencia pueden comprender o representar los codos en U. Dado que hay una pluralidad de tubos de reacción con codos de retorno, si el número es apropiado, se puede proporcionar una pluralidad de codos de retorno en cada una de las disposiciones de entrada de potencia y conectarse a una conexión de potencia de esta manera. De este modo, puede mejorarse la fijación mecánica y puede reducirse el número de componentes. Alternativamente, sin embargo, también es posible, a saber, incluso cuando una pluralidad de codos en U se energizan a través de una conexión de potencia, para proporcionar una disposición de entrada de potencia por codo en U, por ejemplo, para garantizar la movilidad longitudinal individual de los elementos de entrada de potencia con una expansión térmica posiblemente diferente.

El desarrollo de la invención recién explicada también se puede transferir a casos en los que se usan tubos de reacción que tienen dos secciones de alimentación y una sección de extracción. En dichos tubos de reacción, las dos secciones de alimentación están conectadas en cada caso a una sección de tubo. La sección de extracción también está conectada a una sección de tubo. Las secciones de tubo conectadas a las secciones de alimentación pasan a la sección de tubo conectada a la sección de extracción en una región de conexión típicamente con forma de Y. No solo las secciones de tubo conectadas a las secciones de alimentación, sino también la sección de tubo conectada a la sección de extracción, pueden tener cada una uno o más codos en U o ninguno en absoluto.

Por ejemplo, se pueden usar tubos de reacción, como se ilustra en la Fig. 8C. En estos, las secciones de tubo conectadas a las secciones de alimentación no tienen un codo en U, mientras que la sección de tubo conectada a la sección de extracción tiene un codo en U.

Sin embargo, también se pueden usar tubos de reacción, como se ilustra en la Fig. 8B. En estos, cada una de las secciones de tubo conectadas a las secciones de alimentación tiene un codo en U y la sección de tubo conectada a la sección de extracción tiene dos codos en U.

Incluso el uso de tubos de reacción, como se ilustra en la Fig. 8A, es posible. En estos, las secciones de tubo conectadas a las secciones de alimentación tienen cada una tres codos en U y la sección de tubo conectada a la sección de extracción tiene dos codos en U.

Sin embargo, además de la realización descrita anteriormente con referencia a bobinas de 2 pasos, también es posible usar una realización que sea adecuada para su uso con las llamadas bobinas de 4 pasos. Estas bobinas tienen cuatro secciones de tubo sustancialmente rectas. Sin embargo, también son posibles disposiciones con un número incluso mayor de secciones de tubo rectas.

En términos más generales, un reactor diseñado correspondientemente comprende uno o más tubos de reacción, cada uno de los cuales tiene un número par de cuatro o más secciones de tubo conectadas en serie entre sí a través de varios codos en U, siendo el número de codos en U uno menos que el número de secciones de tubo conectadas en serie entre sí a través de los codos en U, y en donde los codos en U están dispuestos alternativamente en las regiones primera y segunda comenzando con un primer codo en U en la primera región.

Se entiende aquí que un “codo de retorno” significa, en particular, una sección de tubo o componente de tubo que comprende un tramo de tubo parcialmente circular o parcialmente elíptico, en particular semicircular o semielíptico. En particular, el inicio y el extremo tienen planos que se intersecan entre sí en un plano.

5 Cada uno de los codos en U, siempre que esté situado en la primera región dentro del recipiente de reactor y deba energizarse en consecuencia, puede conformarse en forma de un paso de contacto en una disposición de entrada de potencia según la invención o representar una parte de dicho paso de contacto. Por consiguiente, los elementos de entrada de potencia conectados se proyectan en la cámara de conexión.

10 Como se ha mencionado, un reactor correspondiente puede diseñarse en particular como un reactor para el craqueo a vapor, que es en particular por la elección de materiales resistentes a la temperatura y la configuración geométrica de los tubos de reacción.

15 Los tubos de reacción, como se usan típicamente para el reformado al vapor, típicamente no tienen codos de retorno dentro del recipiente de reactor. Sin embargo, en este caso, cada una de las secciones de tubo comprende una sección de tubo que consiste en una pluralidad de tubos de reacción, en donde las secciones de tubo dentro del recipiente de reactor están dispuestas sin conexión fluida y al menos en parte una junto a otra y en cada caso están conectadas a una sección de alimentación para fluido en la primera región y a una sección de extracción para fluido en la segunda región. Las secciones de alimentación y extracción para fluido se extienden en particular en la misma dirección que las secciones de tubo o no hacen que el flujo de fluido sea desviado en más de 15° en comparación con el flujo de fluido en las secciones de tubo conectadas al mismo. Las secciones de alimentación y las secciones de extracción se forman en particular igualmente de manera integral con estos, es decir, en particular en forma del mismo tubo. Para el reformado al vapor, los tubos de reacción pueden, en particular, también estar equipados con un catalizador adecuado.

25 En esta realización, los pasos de contacto en una disposición de entrada de potencia según la invención constituyen secciones o canales de tubo rectos. En este caso, el elemento de entrada de potencia se puede unir a los tubos de reacción en la segunda región en particular a modo de manguito.

30 En todos los casos, al formar los elementos de entrada de potencia y los pasos de contacto, así como también opcionalmente las secciones de tubo del menor número de piezas individuales posibles, el número de conexiones de metal a metal (por ejemplo, conexiones soldadas) puede reducirse o incluso prescindir de ellas completamente. Como resultado, se puede aumentar la estabilidad mecánica y la fiabilidad. En una realización especialmente ventajosa, los elementos de entrada de potencia y los pasos de contacto pueden implementarse en cada caso como una sola pieza moldeada, o, como se ha mencionado, partes de las tuberías conductoras de proceso pueden moldearse y/o partes de las tuberías conductoras de proceso pueden conformarse como un componente integral de una pieza moldeada correspondiente.

40 Las conexiones metal-metal o las transiciones metálicas que pueden reducirse dentro del alcance de la presente invención podrían conducir a un cambio en la resistencia eléctrica local y, por lo tanto, a puntos calientes. Los puntos calientes, a su vez, conducen a una reducción en la vida útil debido al aumento de las temperaturas locales o a los picos de tensión mecánica debido a los altos gradientes de temperatura local. Esto se evita dentro del alcance de la presente invención.

45 La formación de una sola pieza de tantos componentes como sea posible da como resultado estabilidad mecánica, fiabilidad y reducción de los componentes individuales. Es deseable una alta estabilidad mecánica ya que un fallo, como se ha mencionado, puede conducir a situaciones críticas para la seguridad. Por medio de la realización descrita en el sentido de la presente invención, el principio de los tubos de reacción calentados de manera resiliente con corriente alterna polifásica en un circuito de estrella es técnicamente realizable en el intervalo de alta temperatura, es decir, en particular a más de 500 °C, más de 600 °C, más de 700 °C o más de 800 °C.

50 La invención también se refiere a un método para llevar a cabo una reacción química usando un reactor que tiene un recipiente de reactor y uno o más tubos de reacción, en donde los elementos de entrada de potencia son guiados al recipiente de reactor para el calentamiento eléctrico del uno o más tubos de reacción.

55 Según la invención, se usa un reactor, con el que cada uno de los elementos de entrada de potencia tiene una sección en forma de varilla y las secciones en forma de varilla se extienden a través de una pared del recipiente de reactor en un paso de pared relevante. Fuera del recipiente de reactor y adyacente a la pared del recipiente de reactor se dispone una cámara de conexión, en la que se proyectan secciones en forma de varilla, a través de la cual las secciones en forma de varilla se extienden en sus pasos de pared. En la cámara de conexión, se proporcionan paneles de refrigeración a través de los cuales puede fluir un fluido de refrigeración y se disponen entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones en forma de varilla que se proyectan en la cámara de conexión.

65 En una realización especialmente preferida de la invención, se usa un reactor en el que varias secciones de tubo del uno o más tubos de reacción se extienden cada una entre una primera región y una segunda regiones en el recipiente

de reactor y en el que, para el calentamiento de las secciones de tubo, las primeras regiones se conectan eléctricamente a una o más conexiones de corriente de una fuente de corriente.

5 En este desarrollo, se usa un reactor, que en la primera región tiene disposiciones de entrada de potencia, a las que una sección de tubo o, respectivamente, un grupo de las secciones de tubo se conecta eléctricamente, y que cada una tiene uno de los elementos de entrada de potencia con la sección o secciones en forma de varilla que se extienden cada una a través de una pared del recipiente de reactor en pasos de pared. Fuera del recipiente de reactor y adyacente a la pared del recipiente de reactor se dispone una cámara de conexión, en la que se proyectan secciones en forma de varilla, a través de la cual las secciones en forma de varilla se extienden en sus pasos de pared. En la
10 cámara de conexión, se proporcionan paneles de refrigeración a través de los cuales puede fluir un fluido de refrigeración y se disponen entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones en forma de varilla que se proyectan en la cámara de conexión.

15 Para características y ventajas adicionales de un método correspondiente, en el que se usa ventajosamente un reactor según uno de los desarrollos de la invención anteriormente explicados, se hace referencia a las explicaciones anteriores.

20 La invención se explica en mayor detalle a continuación con referencia a las figuras adjuntas, que ilustran realizaciones de la presente invención con referencia a y en comparación con la técnica anterior.

Descripción de las figuras

25 La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según una realización no según la invención.

La Fig. 2 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según una realización de la invención.

30 La Fig. 3 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según otra realización de la invención.

La Fig. 4 ilustra esquemáticamente un reactor que tiene una disposición de entrada de potencia según una realización de la invención.

35 Las Figs. 5A y 5B muestran vistas parciales de reactores que tienen cámaras de conexión según los desarrollos de la presente invención en una sección longitudinal y una sección transversal.

40 Las Figs. 6A a 6C ilustran tubos de reacción y disposiciones correspondientes para su uso en un reactor según un desarrollo de la invención.

Las Figs. 7A y 7B ilustran tubos de reacción y disposiciones correspondientes para su uso en un reactor según una realización de la invención.

45 Las Figs. 8A a 8C ilustran tubos de reacción adicionales para su uso en un reactor según un desarrollo de la invención.

La Fig. 9 ilustra esquemáticamente un reactor que tiene una disposición de entrada de potencia según una realización de la invención.

50 En las siguientes figuras, los elementos que se corresponden entre sí funcional o estructuralmente están indicados por símbolos de referencia idénticos y en aras de la claridad no se explican repetidamente. Si los componentes de los aparatos se explican a continuación, las explicaciones correspondientes también en cada caso se refieren a los métodos realizados con los mismos, y viceversa. La descripción de las figuras se refiere repetidamente al calentamiento por corriente alterna. Sin embargo, como se ha mencionado, la presente invención también es adecuada de la misma manera cuando se usa corriente directa para calentamiento. Se hace referencia en este contexto a las
55 explicaciones anteriores.

La Fig. 1 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según una realización no según la invención.

60 El reactor indicado por 300 en la presente descripción se configura para llevar a cabo una reacción química. Para este fin, comprende un recipiente 10 de reactor que, en particular, está aislado térmicamente y un tubo 20 de reacción, en donde varias secciones de tubo del tubo 20 de reacción, secciones que se indican en la presente memoria con 21 solo en dos casos, se extienden en cada caso entre una primera zona 11' y una segunda zona 12' en el recipiente 10 de reactor. El tubo 20 de reacción, que se explicará en mayor detalle a continuación con referencia a la Fig. 2, se fija a un techo del recipiente de reactor o a una estructura de soporte con medios 13 de suspensión adecuados. En una
65

región inferior, el recipiente de reactor puede tener, en particular, una combustión (no se ilustra). Se entiende que, en este caso y a continuación, se pueden proporcionar una pluralidad de tubos de reacción en cada caso.

5 La Fig. 2 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según la realización de la presente invención, que se indica como un conjunto por 100.

10 Las zonas previamente designadas con 11' y 12' aquí toman la forma de regiones 11 y 12, en donde las secciones 21 de tubo para calentar las secciones 21 de tubo en las primeras regiones 11 pueden conectarse eléctricamente en cada caso a las conexiones de fase U, V, W de una fuente 50 de corriente alterna polifásica. No se ilustran los conmutadores y similares, así como el tipo específico de conexión.

15 En el desarrollo de la invención ilustrada aquí, las secciones 21 de tubo se conectan eléctricamente a nivel conductivo entre sí en las segundas regiones 12 por medio de un elemento 30 de conexión que está conectado integralmente al uno o más tubos 20 de reacción y se dispone dentro de la vasija 10 del reactor. También se puede conectar un conductor neutro al mismo.

20 En el reactor 100 ilustrado aquí, una pluralidad de secciones 21 de tubo de un tubo 20 de reacción (aunque se puede proporcionar una pluralidad de tales tubos 20 de reacción) se disponen, por lo tanto, lado a lado en el recipiente 10 de reactor. Las secciones 21 de tubo pasan entre sí a través de los codos en U 23 (solo se indican parcialmente) y se conectan a una sección 24 de alimentación y una sección 25 de extracción.

25 Un primer grupo de los codos en U 23 (en la parte inferior en la figura) está dispuesto uno al lado del otro en la primera región 11 y un segundo grupo de los codos en U 23 (en la parte superior en la figura) está dispuesto uno al lado del otro en la segunda región 12. Las curvas en U 23 del segundo grupo se forman en el elemento 30 de conexión, y las secciones 21 de tubo se extienden desde el elemento 30 de conexión en la segunda región 12 hasta la primera región 11.

30 En el contexto de la presente invención, el uso del elemento 30 de conexión es opcional, aunque ventajoso. Por otro lado, los desarrollos de la invención, que se explican a continuación, se refieren en particular al desarrollo de los medios para la entrada de potencia en la primera región 11. Esto último tiene lugar mediante el uso de elementos 41 de entrada de potencia, que se ilustran aquí de una manera altamente simplificada y de los cuales solo se designa uno. Estas son parte de disposiciones de entrada de potencia, como se explica en particular con referencia a la Fig. 4, y se proyectan en una cámara 60 de refrigeración, que se explica con más detalle en particular con referencia a las Figs. 5A y 5B, con paneles 61 de refrigeración.

35 La Fig. 3 ilustra esquemáticamente un reactor para llevar a cabo una reacción química según la realización de la presente invención, que se indica como un conjunto por 200.

40 En el reactor 200, las secciones de tubo, aquí en contraste denotadas con 22, en cada caso comprenden una sección 22 de tubo que consiste en una pluralidad de tubos 20 de reacción, en donde las secciones 22 de tubo están dispuestas una al lado de la otra en el recipiente 10 de reactor de una manera no conectada fluidicamente y en cada caso se conectan a las secciones 24 de alimentación y las secciones 25 de extracción. En cuanto a los otros elementos, se hace referencia expresamente a las explicaciones anteriores con respecto a las figuras anteriores.

45 En el contexto de la presente invención, el uso del elemento 30 de conexión es nuevamente opcional, aunque ventajoso. Aquí también, los elementos 41 de entrada de potencia, la cámara 60 de conexión y un panel 61 de refrigeración se ilustran de una manera muy simplificada. Los elementos de entrada de potencia pueden tener una región 49 en forma de manguito, que se colocan en la primera región 11 alrededor de los tubos 20 de reacción o las secciones de tubo.

50 La Fig. 4 muestra una vista detallada de la primera región 11 de un reactor 100, por ejemplo, según la Fig. 2, con una disposición 40 de entrada de potencia dispuesta en la primera región 11 y un tubo 20 de reacción conectado al mismo, cuyas secciones 21 de tubo, ilustradas en las secciones aquí, cambian entre sí a través de un codo en U 23.

55 El codo en U 23 se forma aquí en un paso 42 de contacto con una pared reforzada, que se une a las dos secciones 21 de tubo en la primera región 11. Una pared del paso 42 de contacto, y por lo tanto del codo en U 23, está conectada al elemento de entrada de potencia ya mencionado designado como un conjunto por 41, que, como se indica aquí entre líneas discontinuas, tiene una sección 43 en forma de varilla, que se extiende a través de una pared 14 del recipiente 10 de reactor en un paso 15 de pared correspondiente. El paso 15 de pared se muestra en un ancho exagerado aquí. La sección en forma de varilla se recibe longitudinalmente de forma móvil en el paso 15 de pared y se alinea, por ejemplo, con un material 16 aislante.

60 En el exterior de la pared 14 del recipiente 10 de reactor o adyacente al mismo, la cámara 60 de conexión mencionada se dispone con el panel 61 de refrigeración, que se explica adicionalmente con referencia a las Figs. 5A y 5B.

65

En el ejemplo mostrado, la sección 43 en forma de varilla está unida por una sección 45 en forma de varilla adicional, cuya temperatura disminuye cada vez más al aumentar la distancia al recipiente 10 de reactor, en particular debido al enfriamiento por medio del panel 61 de refrigeración. La sección en forma de varilla adicional pasa a una clavija 46 de entrada de potencia, a la que se unen dos elementos 66 de conexión, por ejemplo en forma de filamentos, para conectar las fases U, V, W.

Las Figs. 5A y 5B muestran vistas parciales de los reactores 100 con cámaras 60 de conexión según los desarrollos de la presente invención en una sección longitudinal (Fig. 5A) y una sección transversal (Fig. 5B), en donde en la sección transversal (Fig. 5B), solo se ilustran unos pocos elementos seleccionados y el número de elementos mostrados corresponde solo parcialmente entre sí por razones de ilustración de la aplicabilidad más general. En particular, las Figs. 5A y 5B se simplifican en gran medida en la medida en que un número significativamente mayor de los elementos ilustrados en cada caso se pueden proporcionar aquí en reactores reales.

Como se puede ver en particular en la Fig. 5A, las secciones 43 en forma de varilla de los elementos de alimentación de corriente se extienden a través de la pared 14 del recipiente 10 de reactor en los pasos 15 de pared relevantes. La cámara 60 de conexión, en la que se proyectan secciones 43 en forma de varilla, se dispone fuera del recipiente 10 de reactor y adyacente a la pared 14 del recipiente 10 de reactor a través de la cual las secciones 43 en forma de varilla se extienden en sus pasos 15 de pared.

Los paneles 61 de refrigeración se proporcionan en la cámara 60 de conexión y se disponen como se puede ver en particular en la Fig. 5B. Un fluido de refrigeración puede fluir a través de ellos y están dispuestos entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones 43 en forma de varilla que se proyectan en la cámara 60 de conexión.

La cámara 60 de conexión tiene paredes laterales 62 que se extiende cada una perpendicularmente a la pared 14 del recipiente 10 de reactor a través de la cual se extienden las secciones 43 en forma de varilla y, como se puede ver en la Fig. 5B y como se muestra por separado en la Fig. 5A, uno o más paneles 63 de refrigeración adicionales también pueden disponerse en al menos una de las paredes laterales 62.

La cámara 60 de conexión tiene una pared paralela 64 que se muestra en la Fig. 5A y se extiende en paralelo a la pared 14 del recipiente 10 de reactor a través de la cual se extienden las secciones 43 en forma de varilla, en donde la pared paralela 64 se forma al menos en una sección como una pared hueca y también se configura para que un fluido refrigerante fluya a través. La cámara 60 de conexión está diseñada sin dispositivos para proporcionar convección forzada en una atmósfera 65 de gas que rodea los paneles 61 de refrigeración y las secciones 43 en forma de varilla.

En la cámara 60 de conexión, los elementos de conexión flexibles ilustrados como filamentos 66 en la Fig. 5A están conectados a las secciones 43 en forma de varilla y están fijados, con un extremo no conectado a las secciones 43 en forma de varilla, a elementos 67 de contacto rígidos, que están dispuestos de manera inmóvil en la cámara 60 de conexión y están sujetos aquí en receptáculos aislados en el fondo 64 (sin una designación más detallada).

En hornos de craqueo, además de los tubos 20 de reacción mostrados previamente en las Figs. 1 y 2, que se denominan comúnmente bobinas de 6 pasos, y que comprenden seis secciones 21 de tubo rectas que tienen dos codos de 180°, es decir, codos en U 23, encima o en la segunda región 12, y tres codos de 180°, es decir, codos U 23, debajo o en la primera región 11 (esta última con disposiciones de alimentación de corriente correspondientes), también pueden usarse variantes con menos pasos. Por ejemplo, las llamadas bobinas de 2 pasos solo tienen dos secciones 21 de tubo rectas y solo un codo de 180° o codo de retorno 23. Transferido al calentamiento eléctrico, esta variante puede considerarse una combinación de hornos de craqueo de 6 pasos (Figs. 1 y 2) y hornos de reformado (Fig. 3, con tubos de reacción sin codos en U 23):

La entrada de potencia puede tener lugar en cada caso en un punto por el tubo 21 de reacción en el codo de retorno inferior (o único). En cada caso, los M tubos de reacción pueden acoplarse eléctricamente entre sí, con un desplazamiento de fase de 360°/M y con un elemento 30 de conexión común. En una primera alternativa, puede usarse un elemento 30 de conexión particularmente grande por paquete de bobina o para todos los tubos 20 de reacción considerados en cada caso. Sin embargo, en una segunda alternativa, también es posible usar dos elementos 30 de conexión de menor tamaño.

La primera alternativa recién explicada se ilustra en la Fig. 6B y la segunda alternativa recién explicada se ilustra en la Fig. 6C en una vista en sección transversal a través de las secciones 21 de tubo, en donde un tubo 20 de reacción correspondiente se muestra en una vista perpendicular a las vistas de las Figs. 6B y 6C en la Fig. 6A. Con respecto a la designación de los elementos correspondientes, se hace referencia a la Fig. 1. No hace falta decir que el elemento o elementos 30 de conexión con los codos en U 23 posiblemente dispuestos ahí, por un lado, y los otros codos en U 23 con las conexiones a las fases U, V, W a través de las disposiciones 40 de entrada de potencia (mostradas aquí de manera muy simplificada), por otro lado, están dispuestos en diferentes planos correspondientes a la primera y segunda regiones 11, 12 de un reactor. Debe enfatizarse una vez más que la presencia y disposición de los elementos 30 de conexión en el contexto de la presente invención es puramente opcional o discrecional.

Por consiguiente, este concepto también se puede aplicar a bobinas o tubos 20 de reacción con cuatro pasos o secciones 21 de tubo (las llamadas bobinas de 4 pasos), que en este caso tienen uno, dos o cuatro puentes en estrella o elementos 30 de conexión. Un ejemplo correspondiente se muestra en las Figs. 7A y 7B, mostrándose cuatro elementos 3 de conexión en la Fig. 6B. Para una ilustración mejorada, los codos en U 23 se muestran aquí mediante líneas discontinuas (codos en U en la segunda región 12 del reactor) y mediante líneas no discontinuas (codos en U en la primera región 11). En aras de la claridad, los elementos solo están parcialmente provistos de signos de referencia.

Las cámaras 60 de conexión en los desarrollos ilustrados en las Figs. 6A a 6C y 7A junto con 7B están diseñadas, como se ha explicado en principio, y por lo tanto solo se ilustran de forma muy esquemática aquí.

Ya se ha hecho referencia a la Fig. 8A a 8C, que ilustran tubos de reacción adicionales para su uso en un reactor según un desarrollo de la invención. Los tubos de reacción y las secciones de tubo solo se proporcionan parcialmente con signos de referencia en la presente memoria. Las secciones de entrada y retirada resultan de las flechas de flujo mostradas. Las disposiciones 40 de entrada de potencia o las cámaras 60 de conexión, que pueden diseñarse en particular de la manera explicada anteriormente, se indican de una manera muy simplificada mediante líneas discontinuas.

La Fig. 9 muestra una vista detallada de la primera región 11 de un reactor 200, en donde los elementos mostrados en cada caso ya se han explicado en relación con la Fig. 4. A diferencia de la Fig. 4, sin embargo, el tubo 20 de reacción no tiene codo en U aquí y las secciones 21 de tubo están dispuestas a lo largo de un eje central común. Una región de transición no curva se indica mediante 23a. Por ejemplo, puede usarse una realización correspondiente en lugar de un collar en el reactor 200 según la Fig. 3. La disposición también puede estar dispuesta en particular en una pared lateral del reactor 200 y, en este caso, gira 90° en comparación con la Fig. 9.

En este caso también, la región 23a de transición está formada en un paso 42 de contacto con una pared reforzada, que se une a las dos secciones 21 de tubo en la primera región 11. Para una explicación adicional, se hace referencia a la Fig. 4. El paso 15 de pared también se muestra en un ancho exagerado aquí. En este caso también, la sección en forma de varilla se recibe longitudinalmente de forma móvil en el paso 15 de pared y se alinea, por ejemplo, con un material 16 aislante adecuado. Sin embargo, en la desviación de la ilustración mostrada aquí, el paso 15 de pared también puede diseñarse de manera diferente, en particular para crear otras posibilidades de movimiento. Esto también se aplica a la disposición 44 de fuelle opcional.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor (100, 200) para llevar a cabo una reacción química, comprendiendo el reactor un recipiente (10) de reactor y uno o más tubos (20) de reacción, elementos (41) de entrada de potencia para el calentamiento eléctrico del tubo o tubos (20) de reacción que se extienden en el recipiente (10) de reactor, caracterizado por que
- 5
- los elementos (41) de entrada de potencia tienen cada uno una sección (43) en forma de varilla que se extiende a través de una pared (14) del recipiente (10) de reactor en un paso (15) de pared correspondiente,
- 10
- una cámara (60) de conexión, en la que se proyectan las secciones (43) en forma de varilla, se dispone fuera del recipiente (10) de reactor y adyacente a la pared (14) del recipiente (10) de reactor en la que se forman los pasos (15) de pared,
- 15
- en la cámara (60) de conexión se proporcionan paneles (61) de refrigeración a través de los cuales puede fluir un fluido de refrigeración y se disponen entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones (43) en forma de varilla que se proyectan en la cámara (60) de conexión.
2. El reactor (100, 200) según la reivindicación 1, en donde varias secciones (21, 22) de tubo del uno o más tubos (20) de reacción se extienden cada una entre una primera región (11) y una segunda región (12) en el recipiente (10) de reactor, estando, o pudiendo estar, cada una de las secciones (21, 22) de tubo en la primera región (11) conectada eléctricamente o conectable en la primera región (11) a conexiones de potencia (U, V, W) de una fuente (50) de alimentación para calentar eléctricamente las secciones (21, 22) de tubo, proporcionándose las disposiciones (40) de entrada de potencia a las que una sección de tubo o un grupo de las secciones (21, 22) de tubo se conecta o conectan eléctricamente en cada caso en la primera región (11), teniendo cada una de las disposiciones (40) de entrada de potencia uno de los elementos (41) de entrada de potencia que tienen las secciones (43) en forma de varilla que se extienden cada una a través de una pared (14) del recipiente (10) de reactor en los pasos (15) de pared.
- 20
3. El reactor (100, 200) según la reivindicación 1 o 2, en donde los paneles (61) de refrigeración se extienden cada uno entre superficies de límite, la distancia entre las cuales define un espesor de los paneles (61) de refrigeración y a lo largo de las superficies de límite, siendo la extensión de los paneles (61) de refrigeración a lo largo de las superficies de límite más del doble, cinco veces, diez veces o veinte veces el espesor de los paneles (61) de refrigeración.
- 30
4. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las superficies de límite, la distancia entre las cuales define un espesor de los paneles (61) de refrigeración, son planas o curvadas.
- 35
5. El reactor (100, 200) según la reivindicación 3 o 4, en donde al menos dos de los paneles (61) de refrigeración giran uno con respecto al otro alrededor de un eje que es paralelo a una dirección de extensión longitudinal de las secciones (43) en forma de varilla y perpendicular a la pared (14) del recipiente (10) de reactor.
- 40
6. El reactor (100, 200) según la reivindicación 3, 4 o 5, en donde los paneles (61) de refrigeración están configurados para que el fluido de refrigeración fluya a través de una dirección perpendicular o paralela a una dirección de extensión longitudinal de las secciones (43) en forma de varilla.
- 45
7. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones 3 a 6, en donde el espesor de los paneles (61) de refrigeración en al menos la sección está en un intervalo de 0,5 cm a 10 cm.
8. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (60) de conexión tiene paredes laterales (62) que se extienden perpendicularmente a la pared (14) del recipiente del reactor a través de la cual se extienden las secciones (43) en forma de varilla, estando dispuestos uno o más paneles (63) de refrigeración adicionales en al menos una de las paredes laterales (62).
- 50
9. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (60) de conexión tiene una pared paralela (64) que se extiende en paralelo con la pared (14) del recipiente (10) de reactor a través de la cual se extienden las secciones (43) en forma de varilla, estando formada la pared paralela (64) al menos en una sección como una pared hueca y configurada para que el fluido de refrigeración o un fluido de refrigeración adicional fluya a través.
- 55
10. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (60) de conexión está diseñada sin medios para proporcionar convección forzada en una atmósfera (65) de gas que rodea los paneles (61) de refrigeración y las secciones (43) con forma de varilla.
- 60
11. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la cámara (60) de conexión es hermética a los gases excepto por la pared (14) del recipiente (10) de reactor que forma una pared de la cámara (60) de conexión.
- 65

12. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde los elementos de conexión que contienen cobre y/o elementos (66) de conexión flexibles, que están sujetos en un extremo que no está conectado a las secciones (43) en forma de varilla a elementos de contacto rígidos dispuestos de manera inmóvil en la cámara (60) de conexión, están conectados en la cámara (60) de conexión a las secciones (43) en forma de varilla.
13. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las secciones (43) en forma de varilla que se proyectan en la cámara de refrigeración tienen cada una una sección transversal que es, al menos en parte, no inferior a 10 centímetros cuadrados.
14. El reactor (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, que está diseñado como un reactor (100) para el craqueo a vapor o como un reactor (200) para el reformado al vapor, para el reformado en seco, o para la deshidrogenación catalítica de alcanos.
15. Un método para llevar a cabo una reacción química usando un reactor (100, 200) que tiene un recipiente (10) de reactor y uno o más tubos (20) de reacción, elementos (41) de entrada de potencia para el calentamiento eléctrico del tubo o tubos (20) de reacción que se extienden en el recipiente (10) de reactor, caracterizado por que se usa un reactor (100, 200), en el que
- los elementos (41) de entrada de potencia tienen cada uno una sección (43) en forma de varilla que se extiende a través de una pared (14) del recipiente (10) de reactor en un paso (15) de pared en cada caso,
 - una cámara (60) de conexión, en la que se proyectan las secciones (43) en forma de varilla, se dispone fuera del recipiente (10) de reactor y adyacente a la pared (14) del recipiente (10) de reactor a través de la cual las secciones (43) en forma de varilla se extienden en sus pasos (15) de pared,
 - en la cámara (60) de conexión se proporcionan paneles (61) de refrigeración a través de los cuales puede fluir un fluido de refrigeración y se disponen entre al menos dos o entre al menos dos grupos de las secciones (43) en forma de varilla que se proyectan en la cámara de conexión.

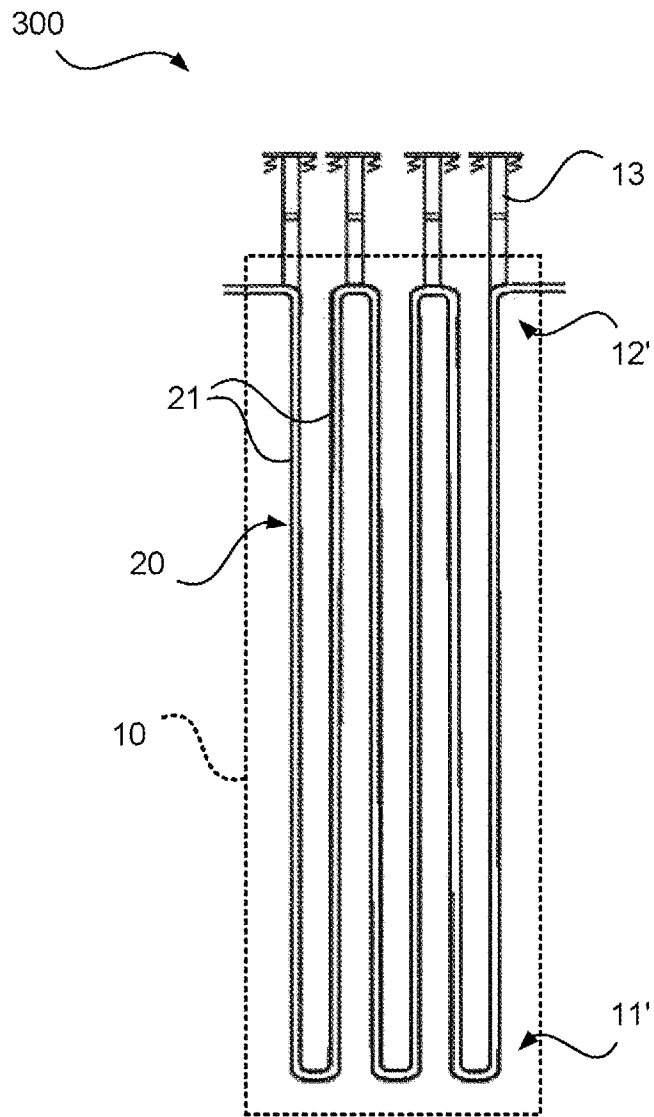


Figura 1

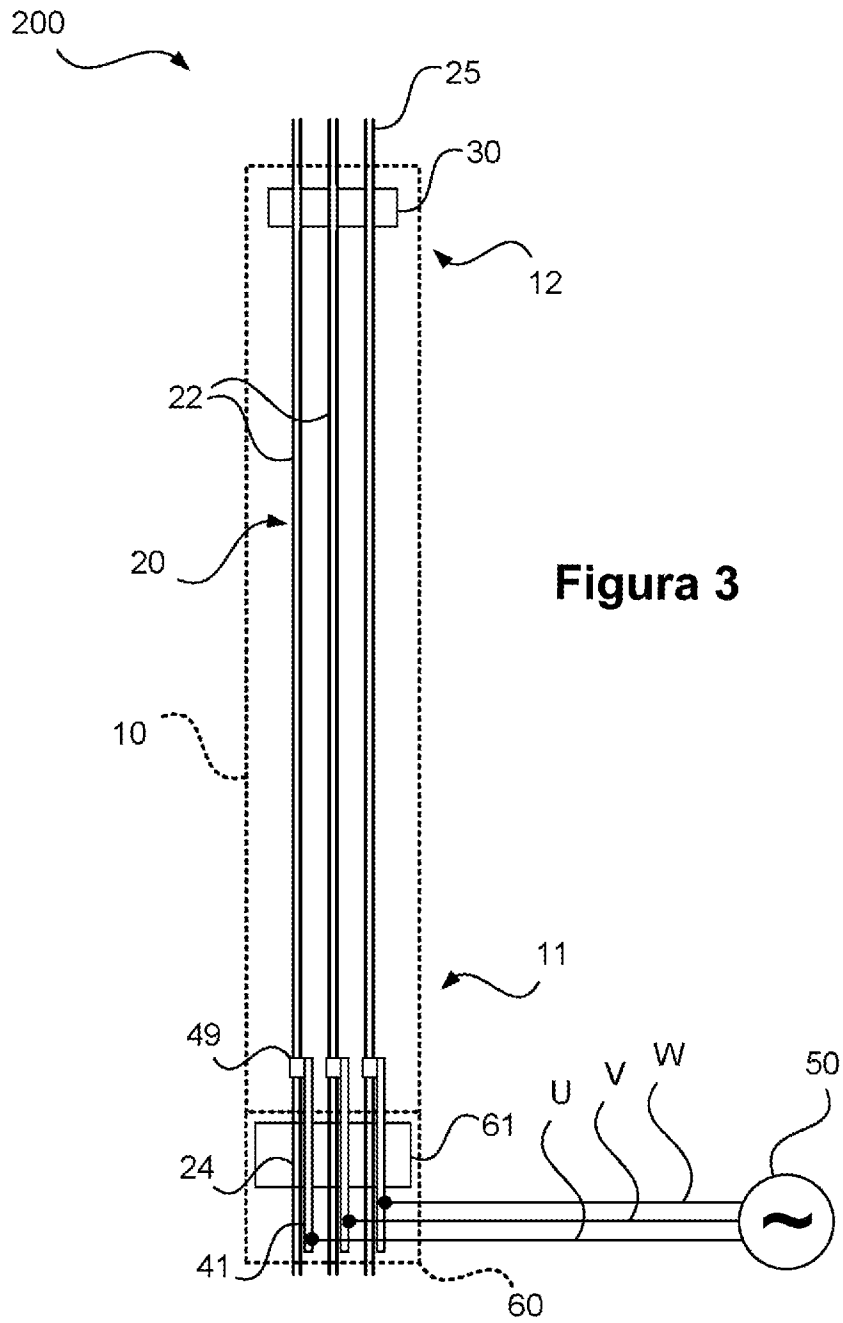
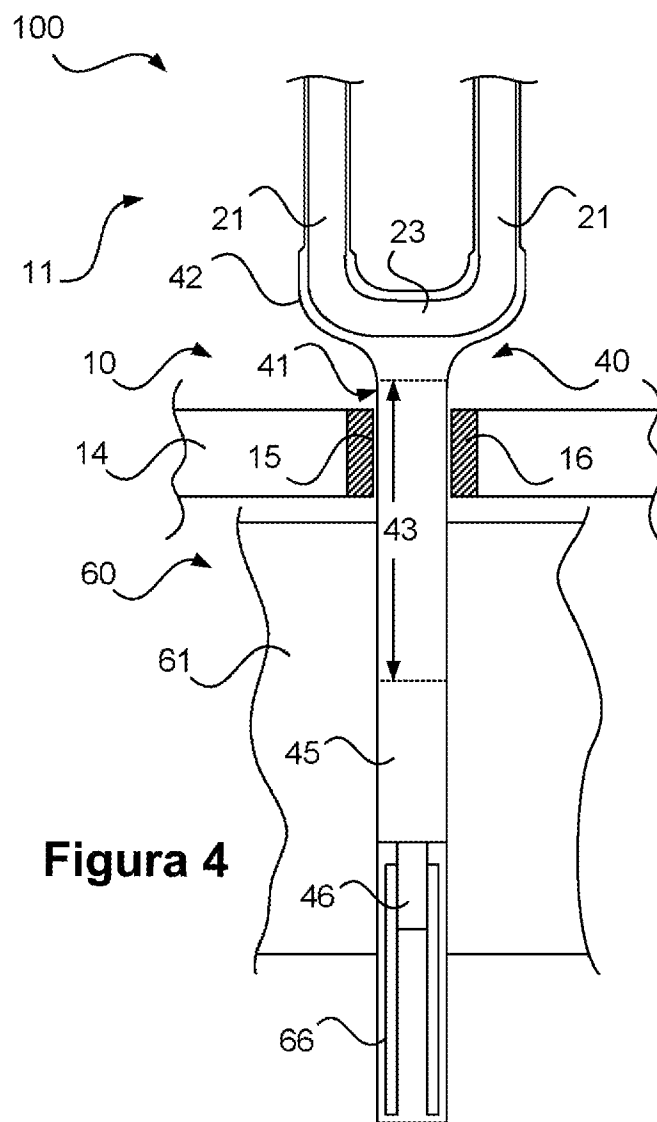


Figura 3



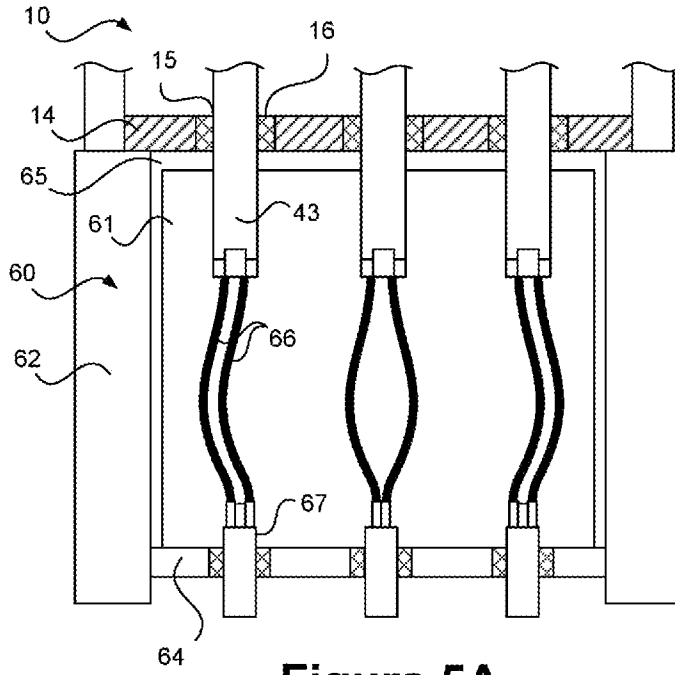


Figura 5A

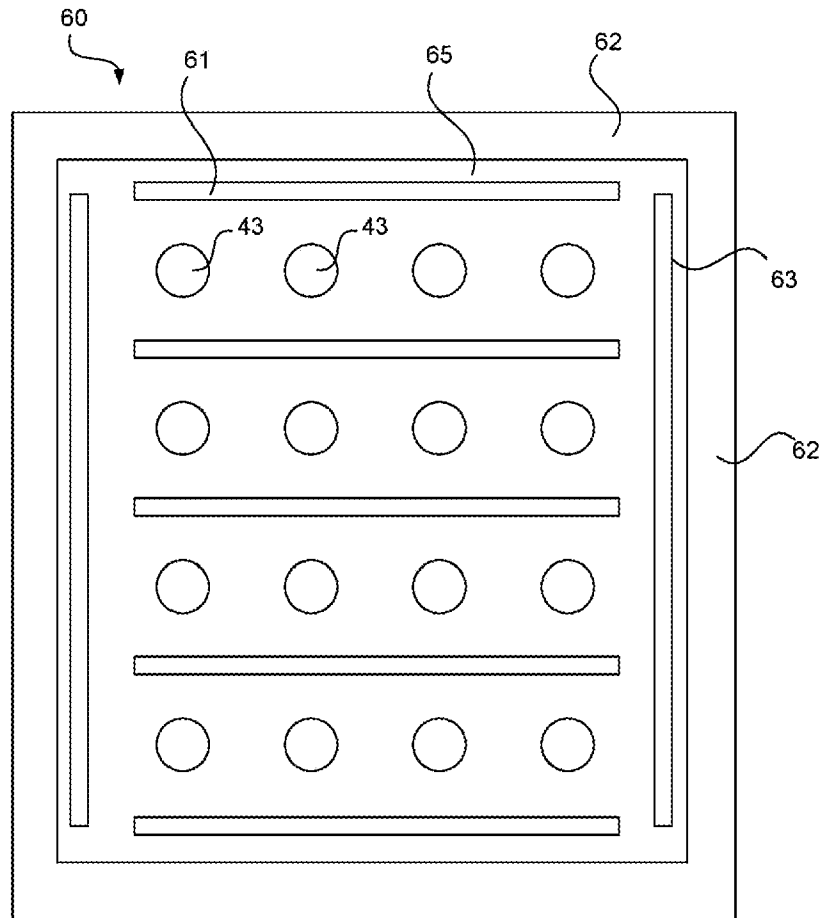


Figura 5B

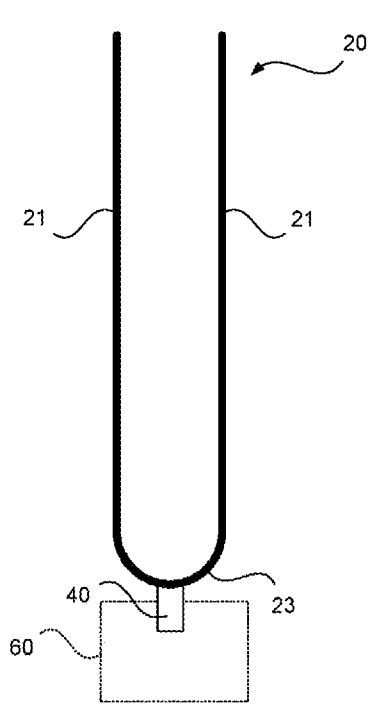


Figura 6A

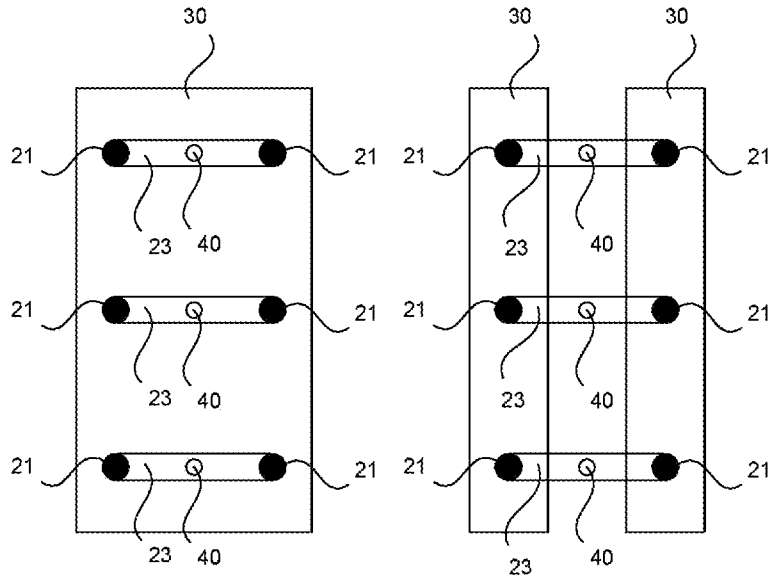


Figura 6B

Figura 6C

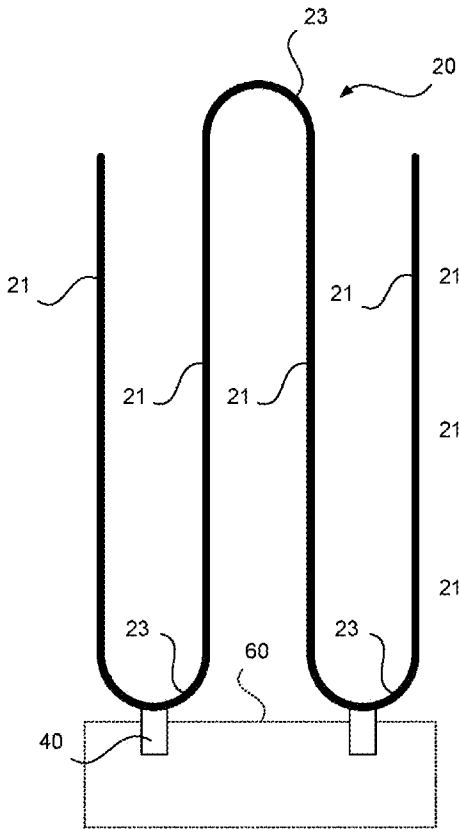


Figura 7A

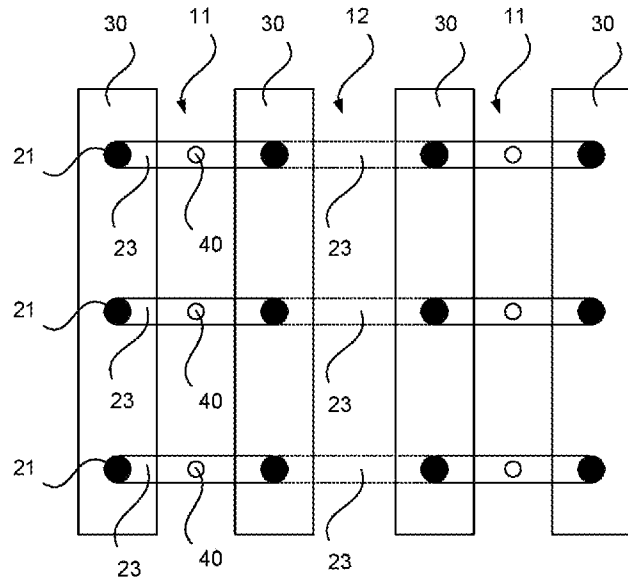


Figura 7B

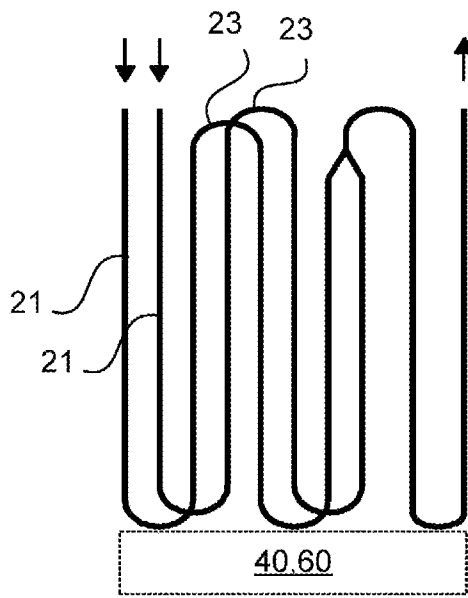


Figura 8A

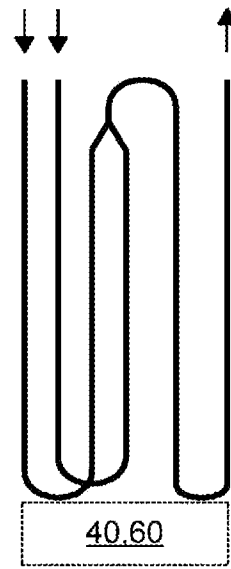


Figura 8B

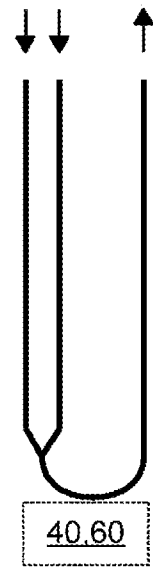


Figura 8C

