

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 725**

51 Int. Cl.:

F28D 21/00 (2006.01)

F27B 7/10 (2006.01)

F28F 5/06 (2006.01)

F27B 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.05.2016 PCT/EP2016/062014**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16189138**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2016 E 16731519 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 3303960**

54 Título: **Horno tubular y procedimiento para la transformación química**

30 Prioridad:

27.05.2015 DE 102015209742

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.06.2020

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastraße 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**HORNUNG, ANDREAS;
HENSE, PETER;
AIGNER, JONATHAN;
REH, KATHARINA y
FRANKE, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 769 725 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

Horno tubular y procedimiento para la transformación química

5 La invención se refiere a un horno tubular con una carcasa, la cual comprende un intercambiador de calor, el cual presenta una pared, la cual separa un primer volumen de un segundo volumen, estando configurado el segundo volumen para el alojamiento de al menos un reactivo y estando configurado el primer volumen para el alojamiento de un fluido caloportador. La invención se refiere además de ello a un procedimiento para la transformación química de reactivos en un segundo volumen, en cuyo caso se suministra al o se evacúa del espacio de proceso mediante al menos un fluido caloportador que atraviesa un intercambiador de calor, calor. Los dispositivos y procedimientos del tipo mencionado inicialmente pueden usarse por ejemplo para la pirólisis o para el tratamiento térmico de materiales sólidos.

10 Del documento US 4,639,217 se conoce un horno tubular, el cual comprende una espiral de Arquímedes como intercambiador de calor. El calor se suministra a los reactivos en cuanto que se transportan cenizas calientes a contracorriente a través de la espiral de Arquímedes. Debido a ello puede aprovecharse el calor que queda en las cenizas tras la combustión para el calentamiento del horno tubular.

15 Este procedimiento conocido presenta no obstante la desventaja de que la temperatura en el espacio de reacción puede controlarse solo de manera insuficiente. Además de ello las partículas de ceniza son abrasivas, de manera que el interior de la espiral de Arquímedes se desgasta rápidamente. Finalmente las partículas de ceniza con formas irregulares tienden a formar aglomerados y a ser transportadas de manera no uniforme a través de la espiral de Arquímedes o incluso a atascar ésta.

20 El documento GB 1 440 525 A describe un dispositivo en seco para materiales fluyentes, presentando este dispositivo, entre otros, esferas.

25 Partiendo del estado de la técnica, la invención se basa por lo tanto en la tarea de poner a disposición un horno tubular y un procedimiento para su uso, en cuyo caso la temperatura puede controlarse mejor y es posible un funcionamiento fiable.

30 La tarea se soluciona de acuerdo con la invención mediante un horno tubular de acuerdo con la reivindicación 1 y un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10. En las reivindicaciones secundarias se encuentran perfeccionamientos ventajosos de la invención.

35 En una forma de realización la invención se refiere a un horno tubular con una carcasa, la cual comprende un intercambiador de calor. El intercambiador de calor presenta una pared, la cual separa un primer volumen de un segundo volumen. Esto ha de entenderse de tal manera que un primer volumen cerrado en sí, se forma mediante la pared de limitación del intercambiador de calor, y un segundo volumen cerrado en sí, está limitado por la pared o por la carcasa del horno tubular por un lado y por la superficie exterior del intercambiador de calor por otro lado. Esto permite un transporte de calor entre el primer volumen y el segundo volumen, sin que las sustancias o los flujos de sustancias se mezclen o entren en contacto entre sí. De esta manera puede suministrarse calor a un reactivo que se encuentra en el horno tubular, cuando el fluido caloportador se encuentra a una temperatura mayor que el reactivo. En caso de que en otras formas de realización de la invención el reactivo reaccione de forma exotérmica en el horno tubular y presente de este modo una temperatura más alta que el fluido caloportador, puede evacuarse calor del reactivo o del espacio de proceso.

40 De acuerdo con la invención se propone ahora que el fluido caloportador presente al menos un fluido en esferas. Un fluido en esferas consiste en una pluralidad de esferas de tamaño y naturaleza predeterminables. En algunas formas de realización de la invención todas las esferas del fluido en esferas pueden presentar en el marco de tolerancias habituales una forma y/o un tamaño idénticos. En otras formas de realización de la invención las esferas pueden presentar diferente tamaño o una distribución de tamaños y/o consistir en diferentes materiales. Dado que las esferas son en el marco de tolerancias habituales redondas, éstas no presentan cantos afilados, de manera que el desgaste abrasivo está reducido en el intercambiador de calor por el fluido caloportador. Las esferas no tienden además de ello debido a su superficie lisa, a un atasco o a la formación de aglomerados. El fluido en esferas puede atravesar el intercambiador de calor como un líquido. En comparación con líquidos, un fluido en esferas a partir de cuerpos sólidos puede poner a disposición no obstante, calor a un nivel de temperatura más alto, sin que se produzca en un intercambiador de calor una transición de fase. En algunas formas de realización de la invención el fluido en esferas puede presentar una capacidad térmica más alta que un fluido caloportador líquido o gaseoso, de manera que el flujo de masa puede estar reducido. Debido a ello el intercambiador de calor puede configurarse más pequeño, de manera que el horno tubular requiera en general menos espacio constructivo. El fluido en esferas presenta además de ello la ventaja de que éste no rellena por completo el intercambiador de calor o los canales de flujo. Debido a ello el intercambiador de calor puede ser atravesado opcionalmente de forma adicional por un portador de calor gaseoso, para adaptar la temperatura del fluido en esferas a valores teóricos predeterminables o mantenerla dentro de valores teóricos predeterminables.

El fluido en esferas presenta de acuerdo con la invención esferas con un diámetro de aproximadamente 1 mm hasta aproximadamente 50 mm. En otras formas de realización de la invención el fluido en esferas puede presentar esferas con un diámetro de aproximadamente 5 mm hasta aproximadamente 50 mm. En por su parte otras formas de realización de la invención el fluido en esferas puede presentar esferas con un diámetro de aproximadamente 15
5 mm hasta aproximadamente 30 mm. Las esferas en el intervalo de tamaños mencionado pueden por una parte acumular suficiente calor, para poder ser usadas con flujos de masa manejables técnicamente como fluido caloportador. Además de ello, las esferas en este intervalo de tamaños pueden tener una estructura de varias capas, comprender por ejemplo un núcleo de un primer material y un recubrimiento de un segundo material. El primer y el segundo material pueden ser respectivamente metales o aleaciones. Esto permite por ejemplo proveer un núcleo
10 con alta capacidad térmica y/o alta temperatura de fusión, de un recubrimiento, el cual es químicamente inerte y/o presenta propiedades catalíticas. En algunas formas de realización de la invención la temperatura de fusión del recubrimiento puede ser más alta que la temperatura de fusión del núcleo. En por su parte otras formas de realización de la invención el núcleo puede ser un material de cambio de fase o un acumulador de calor latente, el cual puede poner a disposición en caso de su temperatura de fusión una cantidad de calor comparativamente alta en
15 caso de temperatura constante.

En algunas formas de realización de la invención las esferas del fluido en esferas pueden contener al menos un elemento químico con los números atómicos 3 a 6 o con los números atómicos de 11 a 14 o con los números atómicos de 19 a 34 o con los números atómicos de 37 a 52 o con los números atómicos de 55 a 84 o con los
20 números atómicos de 87 a 116. En algunas formas de realización de la invención las esferas del fluido en esferas pueden contener al menos un elemento químico con el número atómico 13 o con los números atómicos de 21 a 30 o de 39 a 48 o de 57 a 80 o de 89 a 112 o consistir en ello. En algunas formas de realización de la invención las esferas del fluido en esferas pueden comprender al menos cobre y/o hierro y/o aluminio y/o una cerámica o consistir en ello. En algunas formas de realización de la invención las esferas pueden comprender un metal de transición o
25 consistir en éste. Este tipo de esferas pueden caracterizarse por alta capacidad de conducción térmica y/o alta capacidad térmica, de manera que puede suministrarse una cantidad de calor correspondientemente alta a los reactivos que se encuentran en el espacio de proceso del horno tubular o evacuarse de éstos. Dado que el fluido en esferas está separado no obstante por la pared del intercambiador de calor de los reactivos, se evitan reacciones secundarias no deseadas, las cuales pueden aparecer en caso de contacto de las esferas con los reactivos.
30

En algunas formas de realización de la invención la carcasa del horno tubular puede presentar una sección transversal esencialmente cilíndrica y el intercambiador de calor puede comprender un tornillo transportador de varios pasos. El tornillo transportador comprende en este caso una pared, la cual separa un paso de tornillo interior como primer volumen de un paso de tornillo exterior como segundo volumen, estando configurado un paso de
35 tornillo para el alojamiento del al menos un reactivo y estando configurado el otro paso de tornillo para el alojamiento del fluido caloportador. El tornillo transportador permite el transporte simultáneo del reactivo o del producto consistente en éste a través del horno tubular, como también el transporte del fluido caloportador. Dado que el producto o reactivo entra en contacto durante el proceso de transporte permanentemente con la pared del tornillo transportador de varios pasos, resulta una transferencia térmica eficiente del fluido en esferas como fluido
40 caloportador en el primer volumen a los reactivos a transformar en el segundo volumen. El tornillo transportador puede dar lugar simultáneamente en algunas formas de realización de la invención también a una mezcla de los reactivos, de manera que la reacción se desarrolla más uniformemente.

Los reactivos o el fluido caloportador pueden ser transportados en algunas formas de realización de la invención en corriente continua a través del horno tubular, es decir, el flujo de material y el fluido caloportador entran por un extremo y salen por el otro extremo. En otras formas de realización de la invención el transporte puede producirse a contracorriente, es decir, el lado de entrada de un flujo de material se corresponde con el lado de salida del fluido
45 caloportador. Debido a ello pueden alcanzarse en algunas formas de realización de la invención altas temperaturas o un atemperado uniforme o un calentamiento más rápido.
50

En algunas formas de realización de la invención el tornillo transportador puede presentar un eje, el cual porta las roscas de tornillo y alrededor del cual puede girar el tornillo transportador durante el funcionamiento del horno tubular. Debido a ello se evita que los reactivos o productos caigan a través de la zona central libre del tornillo transportador y se transporten debido a ello de manera no uniforme a través del horno tubular. Simultáneamente
55 pueden unirse de manera particularmente sencilla al eje medios de accionamiento, para poner en rotación el tornillo transportador.

En algunas formas de realización de la invención el eje puede ser hueco para permitir el retorno del fluido en esferas. De esta manera pueden producirse el avance y el retorno del fluido caloportador en un lado del horno tubular, de manera que el horno tubular es más fácil de usar.
60

En algunas formas de realización de la invención el tornillo transportador de varios pasos puede ser un tornillo secuencial con una pluralidad de diferentes secciones longitudinales. En algunas formas de realización de la invención pueden estar unidas entre sí varias secciones longitudinales mediante un único árbol. En algunas formas de realización de la invención diferentes secciones longitudinales pueden presentar diferentes medios de accionamiento, de manera que el número de revoluciones y/o el momento de accionamiento de diferentes secciones
65

- longitudinales pueden controlarse independientemente entre sí. En algunas formas de realización de la invención diferentes secciones longitudinales del tornillo transportador pueden presentar una diferente inclinación y/o una diferente sección transversal, de manera que el flujo de masa y/o la superficie que se encuentra a disposición para la transmisión térmica son diferentes en diferentes secciones longitudinales. Debido a ello puede adaptarse la temperatura que se ajusta y/o la cantidad de calor transmitida al correspondiente fin de uso. Esto permite también producir un producto intermedio y un producto final en diferentes secciones longitudinales del horno tubular o del tornillo transportador, cuando el producto producido en una primera sección longitudinal se traslada como reactivo a una segunda sección longitudinal.
- 5
- 10 En algunas formas de realización de la invención el horno tubular comprende además de ello un recuperador, en el cual puede ponerse en contacto el fluido en esferas con un portador de calor en forma de gas. El portador de calor en forma de gas permite el calentamiento del fluido en esferas, antes de que éste acceda al acceso del intercambiador de calor o del tornillo transportador. Después de que el fluido en esferas haya aportado el calor a los reactivos que se encuentran en el horno tubular, el fluido en esferas abandona el horno tubular a través de una tubería de retorno y se suministra de esta manera de vuelta al recuperador, para volver a absorber calor de un flujo de gas caliente, por ejemplo de un flujo de gas de escape resultante en caso de una combustión. Siempre y cuando las esferas estén provistas de un revestimiento efectivo catalíticamente, éstas pueden usarse simultáneamente para la detoxificación del gas de escape.
- 15
- 20 Siempre y cuando en el horno tubular se produzca una reacción exotérmica, el recuperador puede usarse para transmitir el calor del fluido en esferas a un portador de calor en forma de gas y de esta manera evacuarlo al entorno.
- 25 En algunas formas de realización de la invención también el recuperador puede comprender un tornillo transportador. Esto permite el enfriamiento o calentamiento simultáneo del fluido en esferas y su transporte a través del recuperador o también el transporte desde la tubería de retorno del intercambiador de calor a la tubería de avance del intercambiador de calor del horno tubular.
- 30 En algunas formas de realización de la invención el horno tubular puede comprender además de ello una instalación de calentamiento, con la cual puede generarse un flujo de calor a través de la pared de la carcasa cilíndrica. De este modo puede ponerse a disposición adicionalmente al intercambiador de calor en el interior del horno tubular, un flujo de calor a través de la pared exterior o evitarse o reducirse un enfriamiento, es decir, una entrega de calor a través de la pared de la carcasa cilíndrica. Esto permite por un lado un control de temperatura más exacto en el interior del horno tubular o también el suministro de una cantidad de calor mayor para llevar un flujo de masa grande de reactivos rápidamente a una temperatura teórica predeterminable o para llevar los reactivos a un nivel de temperatura más alto.
- 35
- 40 En algunas formas de realización de la invención puede suministrarse al intercambiador de calor del horno tubular adicionalmente al fluido en esferas otro portador de calor en forma de gas. Esto permite por ejemplo un calentamiento posterior del fluido en esferas cuando éste durante el primer contacto se enfría con el reactivo aún frío. Dado que el suministro de un portador de calor en forma de gas puede absorberse o interrumpirse rápidamente, éste puede servir también para llevar a cabo la regulación de la temperatura predominante en el horno tubular o para reducir las oscilaciones de temperatura que se producen durante la regulación. En este caso se suministra un flujo de calor de base a través del fluido en esferas y se pone a disposición energía térmica adicional para regular la temperatura a través del portador de calor en forma de gas. Esta posibilidad caracteriza el horno tubular de acuerdo con la invención, dado que los portadores de calor líquidos o las partículas de ceniza conocidas del estado de la técnica no pueden combinarse con un flujo de gas adicional.
- 45
- 50 A continuación se explica la invención con mayor detalle mediante figuras y ejemplos de realización. A este respecto muestran:
- La figura 1 una sección seccionada parcialmente de una forma de realización del horno tubular de acuerdo con la invención.
- 55 La figura 2 muestra un detalle del tornillo transportador usado como intercambiador de calor.
- La figura 3 muestra la zona de paso entre recuperador y horno tubular.
- 60 La figura 4 muestra el suministro del fluido en esferas de acuerdo con otra forma de realización.
- 65 Mediante las figuras 1, 2 y 3 se explica con mayor detalle una forma de realización del horno tubular de acuerdo con la invención. El horno tubular 1 comprende una carcasa 10 con una pared 101. La carcasa 10 presenta al menos una sección transversal interior aproximadamente con forma circular, de manera que el espacio interior presenta la forma de un cilindro circular. En el ejemplo de realización representado la pared 101 de la carcasa 10 tiene un grosor uniforme, de manera que también la forma exterior adopta la forma de un cilindro circular. En general la carcasa 10 tiene en el ejemplo de realización representado la forma de un tubo redondo.

La carcasa 10 presenta un primer extremo 11 y un segundo extremo 12. En el primer extremo 11 se encuentra la tubería de avance del fluido caloportador y en el segundo extremo 12 se encuentra la tubería de retorno del fluido caloportador. Limitando con el primer extremo 11 está dispuesta la abertura de llenado 15 para reactivos a procesar. Estos pueden suministrarse en particular como material sólido, alternativamente no obstante también en forma de gas o líquido al interior de la carcasa 10. Limitando con el segundo extremo 12 se encuentra una salida 16 para productos de reacción gaseosos y una salida 17 para productos de reacción sólidos o líquidos. Tanto el fluido caloportador, como también los reactivos a transformar, se transportan a través de un tornillo transportador 2 desde el primer extremo 11 hasta el segundo extremo 12 del horno tubular 1. Dado que en el caso del tornillo transportador 2 se trata de un tornillo transportador de varios pasos, se produce a este respecto solamente una transferencia de calor, sin embargo ninguna transferencia de sustancias entre el fluido caloportador y los reactivos a transformar.

Tal como muestra la figura 2, se trata en el caso del tornillo transportador 2 de un tornillo transportador de varios pasos, en cuyo caso un primer volumen 21 y un segundo volumen 22 están separados por una pared 23 uno del otro. El segundo volumen 22 es accesible directamente a través de la abertura de llenado 15. Para permitir al fluido caloportador el acceso al primer volumen 21, se encuentra en el extremo del tornillo transportador 2 una zona de entrada 25, en la cual el primer volumen 21 está abierto hacia el exterior. Para evitar una entrada del correspondiente otro medio en la abertura 25, ésta está separada mediante una chapa deflectora 26 del segundo volumen 22.

Durante el funcionamiento del dispositivo el tornillo transportador 2 rota, siendo transportados los reactivos por el segundo volumen 22 y siendo transportado un fluido caloportador por el primer volumen 21. Esto permite un paso de calor a través de la pared 23, de manera que los reactivos en el segundo volumen 22 o bien se calientan o se enfrían, en dependencia de si el fluido caloportador suministrado a través de la abertura 25 presenta una temperatura más alta o más baja. Dado que la superficie existente a disposición, de la pared 23 del tornillo transportador 2, es mayor que la pared 101 de la carcasa 10, puede transferirse un flujo de calor notablemente mayor por unidad de tiempo de lo que sería posible en caso de calentamiento o enfriamiento puro de la carcasa 10.

En las figuras puede verse además de ello un eje 24, el cual es hueco y presenta por su lado frontal una abertura 241. El interior del eje 24 hueco puede usarse opcionalmente para el transporte del fluido caloportador, por ejemplo para hacer retornar el fluido desde el segundo extremo 12 al primer extremo 11.

Mediante las figuras 1 y 3 se explica el modo de actuación de un recuperador 3, el cual presenta igualmente una carcasa 30 aproximadamente en forma de tubo con un tornillo transportador 35 dispuesto dentro de ésta. El segundo extremo 32 del recuperador 3 está dispuesto más abajo que el segundo extremo 12 de la carcasa 10. En correspondencia con ello el primer extremo 31 del recuperador 3 está dispuesto más arriba que el primer extremo 11 de la carcasa 10. De esta manera el recuperador no sirve solo para el suministro o la evacuación de energía térmica al fluido caloportador, sino también para el transporte del fluido caloportador desde la tubería de retorno a la tubería de avance del horno tubular 1.

A modo de ejemplo se representa en la figura 3 la zona de paso en el primer extremo 11 de la carcasa 10. Ésta presenta un depósito o un recipiente para el fluido caloportador. Las esferas del fluido en esferas que abandonan el recuperador 3 a través de su primer extremo 31 caen desde el primer extremo 31 del recuperador 3 y son recogidas por el depósito en el primer extremo 11 de la carcasa 10.

En caso de rotación del árbol 24 del tornillo transportador 2, la abertura 25 entra periódicamente en el recipiente y aloja a este respecto una pluralidad de esferas del fluido en esferas. Éstas son transportadas a continuación a través del primer volumen 21 del tornillo transportador 2 hacia el segundo extremo 12 del horno tubular 1.

Por el segundo extremo 12 las esferas del fluido en esferas abandonan el tornillo transportador y se suministran de modo análogo al recuperador 3 a través de su segundo extremo 32. Esto permite una circulación cíclica del fluido en esferas usado como fluido caloportador. En el recuperador el fluido en esferas puede ser calentado o enfriado, de manera que accede con una temperatura predeterminable al tubo de avance en el primer extremo 11 del horno tubular 1.

Debido a la buena capacidad de flujo del fluido en esferas en comparación con otras partículas, puede introducirse la cantidad de calor necesaria de manera precisa en los reactivos a transformar. De esta manera el grado de llenado del primer volumen 21 puede adaptarse al grado de llenado del segundo volumen 22. Las esferas de al menos un metal, una cerámica o una sal pueden presentarse también en caso de temperaturas más altas de por ejemplo 150 a 900 °C o entre aproximadamente 250 y 700 °C, sólidas. Debido a ello puede ponerse a disposición calor a un nivel de temperatura más alto que por ejemplo con agua o aceite como fluido caloportador.

La figura 4 muestra una forma de realización alternativa para el suministro del fluido caloportador. Tal como muestra la figura 4, también esta forma de realización hace uso dentro del horno tubular 1 de un tornillo transportador de varios pasos, en cuyo caso un primer volumen 21 y un segundo volumen 22 están separados uno del otro por una pared 23. El primer volumen 21 es accesible a través del eje hueco 24. Para permitir al fluido caloportador el acceso

al primer volumen 21, existe en el extremo del eje 24, que es hueco, una abertura. En prolongación del eje 24 hay dispuesto un tornillo de suministro de un paso 45 en el ejemplo representado, con un árbol 451 como parte de un transportador de suministro 4, el cual transporta el fluido en esferas desde una instalación de calentamiento, por ejemplo un recuperador 3, a través de un recipiente 47 al interior del eje hueco 24 del tornillo transportador de varios pasos 2. El transportador de suministro 4 puede estar provisto de una carcasa 48, la cual puede presentar nervios de enfriamiento 485 opcionales.

En el interior del eje hueco 24 del tornillo transportador de varios pasos 2 se encuentra una chapa deflectora 245, la cual desvía el fluido en esferas y lo conduce al primer volumen 21 del tornillo transportador 2.

Para el acoplamiento estanco a los gases del transportador de suministro 4 puede servir una junta de grafito 41, la cual se solicita a través de un casquillo de deslizamiento 42 y un resorte de pretensado 43 con una fuerza de pretensado axial. Dado que el primer volumen 21 no presenta en esta forma de realización ninguna abertura directa, como por ejemplo la abertura 25 en las formas de realización que se han descrito anteriormente, se asegura tanto la separación estanca a los gases del horno tubular hacia el exterior, como también la separación estanca a los gases del primer volumen 21 y del segundo volumen 22.

Para la guía del fluido en esferas dentro del tornillo de suministro de un paso 45, sirve un tubo 46, el cual rodea el tornillo de suministro 45. Éste puede estar fabricado de un material con capacidad de conducción de calor baja, por ejemplo una cerámica. Alternativamente el tubo puede estar provisto de un revestimiento amortiguador de calor, por ejemplo una cerámica de óxido o vermiculita. De esta manera pueden reducirse pérdidas de calor. En algunas formas de realización de la invención el eje 24 del tornillo transportador 2 puede estar prolongado hasta el transportador de suministro 4. El tubo 46 puede suprimirse en este caso o estar sustituido por un revestimiento amortiguador de calor de la sección longitudinal que se encuentra en el transportador de suministro 4, del eje 24.

Ejemplos de realización

En un ejemplo de realización ha de llevarse a cabo una pirólisis de materiales plásticos con contenido de halógeno. Este tipo de procedimientos pueden usarse por ejemplo para la pirólisis de resinas de fenol-formaldehído, que se usan a menudo para la fabricación de placas de circuito impreso. Las placas de circuito impreso contienen además de ello cantidades significativas de aluminio reciclable y de cobre. Para evitar productos de conversión no deseados, en particular aromatos, la temperatura de pirólisis para este tipo de placas de circuito impreso o un granulado producido a partir de éstas, debería encontrarse por encima de 580 °C. Para poder recuperar no obstante aluminio de manera lo más sencilla posible, la temperatura debería encontrarse por debajo de 660 °C. Dado que sin embargo ya en caso de una temperatura por encima de 660 °C se produce una evaporación no deseada de cobre halogenado, la pirólisis ha de llevarse a cabo en la medida de lo posible en un intervalo de temperaturas estrecho de aproximadamente 580 °C a 600 °C. Simultáneamente existe la necesidad de suministrar en caso de altos rendimientos también una correspondiente alta cantidad de calor, para pasar rápidamente la zona de temperatura crítica por debajo de 580 °C.

El horno tubular de acuerdo con la invención soluciona este problema, dado que el fluido en esferas, por ejemplo en caso del uso de esferas de cobre o de hierro, puede poner a disposición calor al nivel de temperatura alto deseado. Mediante el tornillo transportador 2 que funciona como intercambiador de calor, con su superficie comparativamente grande, puesta a disposición para la transmisión de calor, puede entregarse una potencia térmica alta a los reactivos. Simultáneamente se evita la formación de compuestos de dioxina y furano polibromados persistentes, altamente tóxicos, debido al efecto catalítico de la superficie de cobre, dado que el cobre del fluido en esferas está separado a través de la pared 23, de los reactivos.

A continuación se indican parámetros de funcionamiento a modo de ejemplo para un horno tubular 1 con un diámetro interior de 340 mm, una longitud calentada de 4000 mm y una primera inclinación del tornillo transportador de 110 a 150 mm.

En el primer ejemplo de realización ha de ponerse a disposición una temperatura de pirólisis de 450 °C con una potencia calorífica total de 3,0 kW.

El tornillo transportador 2 usado para ello presenta una inclinación de 150 mm. Como fluido caloportador se usan esferas de acero con una temperatura de entrada en la tubería de avance de 500 °C. En caso de un grado de llenado del primer volumen 21, del 26 %, con un número de revoluciones promedio del tornillo transportador 2, de 27 h⁻¹ y una potencia de accionamiento de 0,6 W, resulta un flujo de masa del fluido en esferas de 450 kg/h y una temperatura de salida del fluido en esferas de 464 °C. La potencia calorífica es de este modo 2,6 kW.

La potencia calorífica restante de 400 W se pone a disposición a través de un intercambiador de calor adicional en la carcasa 10 del horno tubular 1. Éste transmite calor directamente a través de la pared 101 de la carcasa 10 al interior del horno tubular 1. A este intercambiador de calor adicional se suministra un flujo de masa de 100 kg/h de gas de escape húmedo con una temperatura de entrada de 500 °C. La temperatura de salida es entonces de 487 °C, de manera que la potencia calorífica total del proceso es de 3,0 kW.

ES 2 769 725 T3

En un segundo ejemplo ha de ponerse a disposición temperatura de pirólisis de 600 °C con una potencia calorífica total de 3,5 kW.

5 El tornillo transportador 2 usado para ello presenta una inclinación de 150 mm. Como fluido caloportador se usan esferas de acero con una temperatura de entrada en la tubería de avance de 650 °C. En caso de un grado de llenado del primer volumen 21, del 26 %, con un número de revoluciones promedio del tornillo transportador 2, de 27 h⁻¹ y una potencia de accionamiento de 0,6 W, resulta un flujo de masa del fluido en esferas de 450 kg/h y una temperatura de salida del fluido en esferas de 609 °C. La potencia calorífica es de este modo 2,9 kW.

10 La potencia calorífica restante de 600 W se pone a disposición a través de un intercambiador de calor adicional en la carcasa 10 del horno tubular 1. Éste transmite calor directamente a través de la pared 101 de la carcasa 10 al interior del horno tubular 1. A este intercambiador de calor adicional se suministra un flujo de masa de 100 kg/h de gas de escape húmedo con una temperatura de entrada de 650 °C. La temperatura de salida es entonces de 635 °C, de manera que la potencia calorífica total del proceso es de 3,5 kW.

En un tercer ejemplo de realización ha de ponerse a disposición una temperatura de pirólisis de 450 °C con una potencia calorífica de 3,3 kW.

20 El tornillo transportador 2 usado para ello presenta una inclinación de 130 mm. Como fluido caloportador se usan esferas de acero con una temperatura de entrada en la tubería de avance de 500 °C. En caso de un grado de llenado del primer volumen 21, del 26 %, con un número de revoluciones promedio del tornillo transportador 2, de 31 h⁻¹ y una potencia de accionamiento de 0,6 W, resulta un flujo de masa del fluido en esferas de 450 kg/h y una temperatura de salida del fluido en esferas de 460 °C. La potencia calorífica es de este modo 2,9 kW.

25 La potencia calorífica restante de 400 W se pone a disposición a través de un intercambiador de calor adicional en la carcasa 10 del horno tubular 1. Éste transmite calor directamente a través de la pared 101 de la carcasa 10 al interior del horno tubular 1. A este intercambiador de calor adicional se suministra un flujo de masa de 100 kg/h de gas de escape húmedo con una temperatura de entrada de 500 °C. La temperatura de salida es entonces de 487 °C, de manera que la potencia calorífica total del proceso es de 3,3 kW.

En un cuarto ejemplo de realización ha de ponerse a disposición una temperatura de pirólisis de 450 °C con una potencia calorífica de 4,0 kW.

35 El tornillo transportador 2 usado para ello presenta una inclinación de 150 mm. Como fluido caloportador se usan esferas de acero con una temperatura de entrada en la tubería de avance de 500 °C. En caso de un grado de llenado del primer volumen 21, del 26 %, con un número de revoluciones promedio del tornillo transportador 2, de 27 h⁻¹ y una potencia de accionamiento de 0,6 W, resulta un flujo de masa del fluido en esferas de 450 kg/h y una temperatura de salida del fluido en esferas de 483 °C. La potencia calorífica es de este modo 3,4 kW.

40 La potencia calorífica restante de 600 W se pone a disposición a través de un intercambiador de calor adicional en la carcasa 10 del horno tubular 1. Éste transmite calor directamente a través de la pared 101 de la carcasa 10 al interior del horno tubular 1. A este intercambiador de calor adicional se suministra un flujo de masa de 100 kg/h de gas de escape húmedo con una temperatura de entrada de 550 °C. La temperatura de salida es entonces de 535 °C, de manera que la potencia calorífica total del proceso es de 3,5 kW.

En un quinto ejemplo de realización ha de ponerse a disposición una temperatura de pirólisis de 450 °C con una potencia calorífica de 5,0 kW.

50 El tornillo transportador 2 usado para ello presenta una inclinación de 110 mm. Como fluido caloportador se usan esferas de acero con una temperatura de entrada en la tubería de avance de 530 °C. En caso de un grado de llenado del primer volumen 21, del 26 %, con un número de revoluciones promedio del tornillo transportador 2, de 37 h⁻¹ y una potencia de accionamiento de 0,6 W, resulta un flujo de masa del fluido en esferas de 450 kg/h y una temperatura de salida del fluido en esferas de 468 °C. La potencia calorífica es de este modo 4,5 kW.

55 La potencia calorífica restante de 500 W se pone a disposición a través de un intercambiador de calor adicional en la carcasa 10 del horno tubular 1. Éste transmite calor directamente a través de la pared 101 de la carcasa 10 al interior del horno tubular 1. A este intercambiador de calor adicional se suministra un flujo de masa de 100 kg/h de gas de escape húmedo con una temperatura de entrada de 550 °C. La temperatura de salida es entonces de 532 °C, de manera que la potencia calorífica total del proceso es de 5,0 kW.

60 En todos los ejemplos de realización el calor suministrado al fluido en esferas puede extraerse de un proceso de combustión. En este caso el gas de escape caliente puede introducirse junto con el fluido en esferas directamente en el recuperador 3. Dado que entre las esferas del fluido en esferas quedan suficientes espacios libres, los gases de escape pueden atravesar el fluido en esferas y de esta manera entregar calor a las esferas individuales. Siempre y cuando las esferas individuales del fluido en esferas presenten un revestimiento catalítico por su lado exterior,

éstas pueden usarse simultáneamente como limpieza de gas de escape. Debido a la separación espacial del fluido en esferas de los reactivos a procesar en el horno tubular mediante la pared 23, no resulta debido a este revestimiento catalítico ninguna influencia negativa en el proceso que se desarrolla en el horno tubular 1.

- 5 Naturalmente la invención no está limitada a la forma de realización representada en las figuras. La anterior descripción no ha de considerarse por lo tanto como limitadora, sino como explicación. Las reivindicaciones que siguen han de entenderse de tal manera que una característica mencionada está presente en al menos una forma de realización de la invención. Esto no excluye la presencia de otras características. Siempre y cuando las reivindicaciones y la descripción anterior definan "primeras" y "segundas" formas de realización, esta denominación
- 10 sirve para la diferenciación de dos formas de realización del mismo tipo, sin fijar un orden de preferencia. Las características de diferentes formas de realización de la invención pueden combinarse en cualquier momento para obtener de este modo otras formas de realización de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Horno tubular (1) con una carcasa (10), la cual comprende un intercambiador de calor, el cual presenta una pared, la cual separa un primer volumen de un segundo volumen, estando configurado un volumen (21, 22) para el alojamiento de al menos un reactivo y estando configurado el otro volumen (22, 21) para el alojamiento de un fluido caloportador, conteniendo el fluido caloportador un fluido en esferas o consistiendo en éste, y comprendiendo el horno tubular además de ello un recuperador (3), en el cual puede ponerse en contacto el fluido en esferas con un portador de calor en forma gas, **caracterizado por que** el fluido en esferas comprende esferas con un diámetro de aproximadamente 1 mm hasta aproximadamente 50 mm.
2. Horno tubular de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el fluido en esferas comprende esferas con diámetro de aproximadamente 15 mm hasta aproximadamente 30 mm.
3. Horno tubular de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el fluido en esferas contiene esferas de un metal o de una aleación o consiste en ellas, y/o que las esferas del fluido en esferas comprenden al menos un elemento químico con los números atómicos de 3 a 6 o con los números atómicos de 11 a 14 o con los números atómicos de 19 a 34 o con los números atómicos de 37 a 52 o con los números atómicos de 55 a 84 o con los números atómicos de 87 a 116 y/o por que las esferas del fluido en esferas comprenden al menos cobre y/o hierro y/o aluminio y/o un material de cambio de fase y/o una cerámica.
4. Horno tubular de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la carcasa (10) presenta una sección transversal esencialmente cilíndrica y el intercambiador de calor comprende un tornillo transportador de varios pasos (2), que presenta una pared (23), la cual separa un paso de tornillo interior (21) como primer volumen de un paso de tornillo exterior (22) como segundo volumen, estando configurado un paso de tornillo (21, 22) para el alojamiento del al menos un reactivo y estando configurado el otro paso de tornillo (22, 21) para el alojamiento del fluido caloportador, siendo en particular el tornillo transportador de varios pasos (2) un tornillo secuencial con una pluralidad de diferentes secciones longitudinales.
5. Horno tubular de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** comprende un transportador de suministro (4), en particular comprendiendo el transportador de suministro (4) un árbol de tornillo de suministro de un paso (45).
6. Horno tubular de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** en el interior del eje hueco (24) del tornillo transportador de varios pasos (2) hay dispuesta una chapa deflectora (245).
7. Horno tubular de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 o 6, **caracterizado por que** el transportador de suministro (4) comprende un tubo (46), el cual rodea el árbol de tornillo de suministro (45).
8. Horno tubular de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** el recuperador (3) comprende un tornillo transportador (35).
9. Horno tubular de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo además de ello una instalación de calentamiento, con la cual puede generarse un flujo de calor a través de la pared (101) de la carcasa cilíndrica (10).
10. Procedimiento para la transformación química de reactivos en un segundo volumen (22), en el que se suministra al o se evacua calor del segundo volumen (22) mediante al menos un fluido caloportador que atraviesa un intercambiador de calor, comprendiendo el fluido caloportador un fluido en esferas o consistiendo en éste, y comprendiendo el fluido caloportador además del fluido en esferas al menos un portador de calor adicional en forma de gas, **caracterizado por que** se usan esferas con un diámetro de aproximadamente 1 mm hasta aproximadamente 50 mm como fluido en esferas.
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** se usan esferas con un diámetro de aproximadamente 15 mm hasta aproximadamente 30 mm como fluido en esferas.
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado por que** el fluido en esferas comprende esferas de un metal o de una aleación o consiste en ellas, y/o por que las esferas del fluido en esferas comprenden al menos un elemento químico con el número atómico 13 o con los números atómicos de 21 a 30 o de 39 a 48 o de 57 a 80 o de 89 a 112 y/o por que las esferas del fluido en esferas comprenden al menos cobre y/o hierro y/o aluminio y/o un material de cambio de fase y/o una cerámica.
13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado por que** el intercambiador de calor comprende un tornillo transportador de varios pasos (2), el cual presenta una pared (23), la cual separa un paso de tornillo (22) interior de un paso de tornillo (21) exterior, conteniendo un paso de tornillo (21, 22) al menos un reactivo y siendo atravesado el otro paso de tornillo (22, 21) por el al menos un fluido caloportador.

14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado por que** el portador de calor en forma de gas adicional comprende al menos un gas de escape o consiste en él.

5 15. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado por que** el fluido en esferas se calienta o se enfría en un recuperador (3).

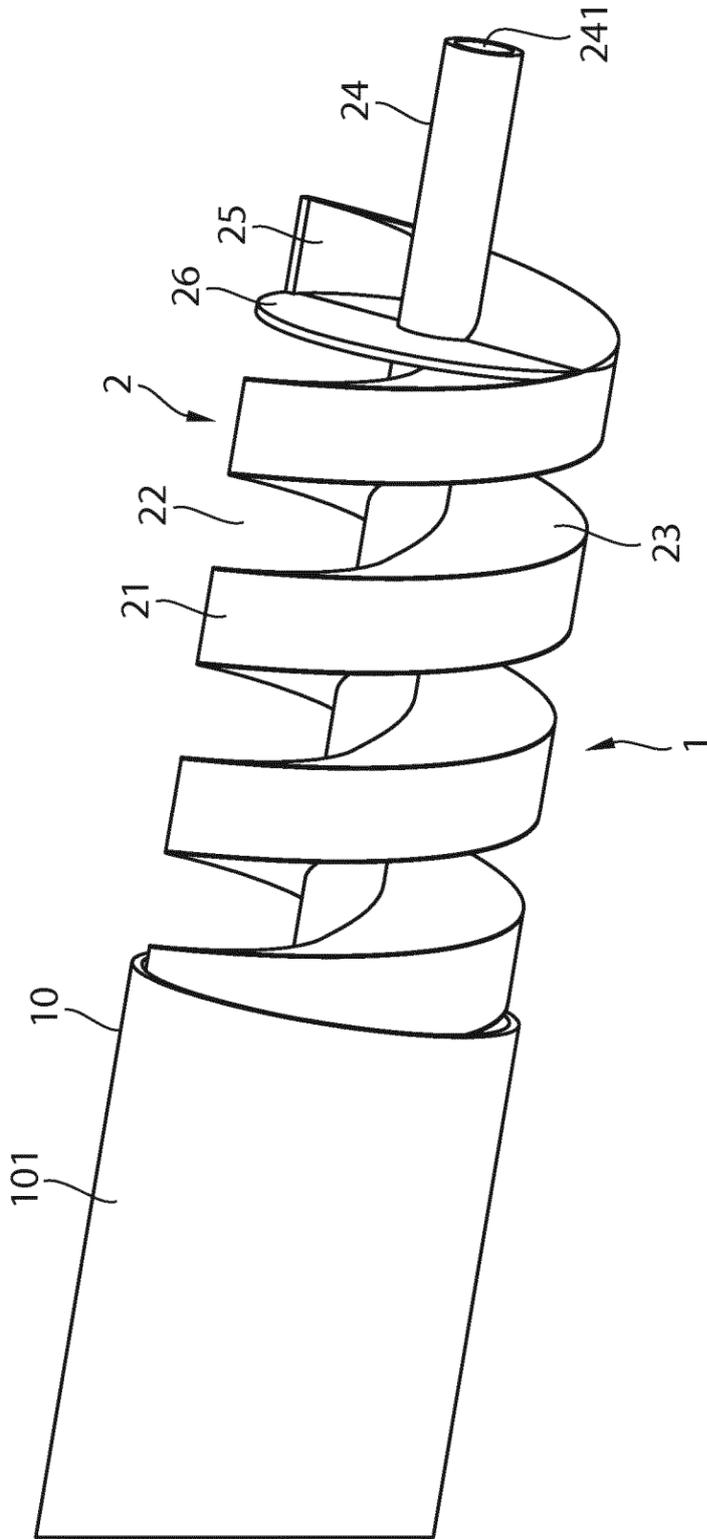


Fig. 2

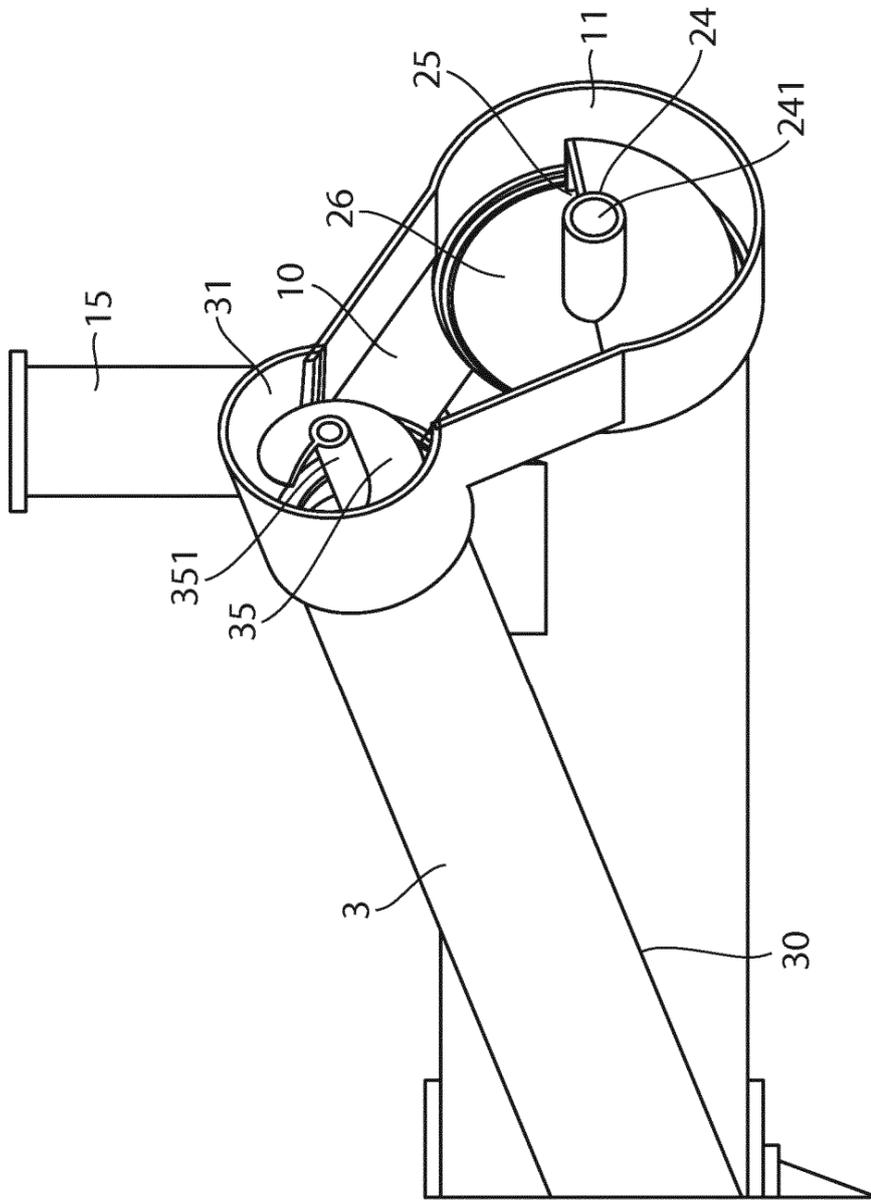


Fig. 3

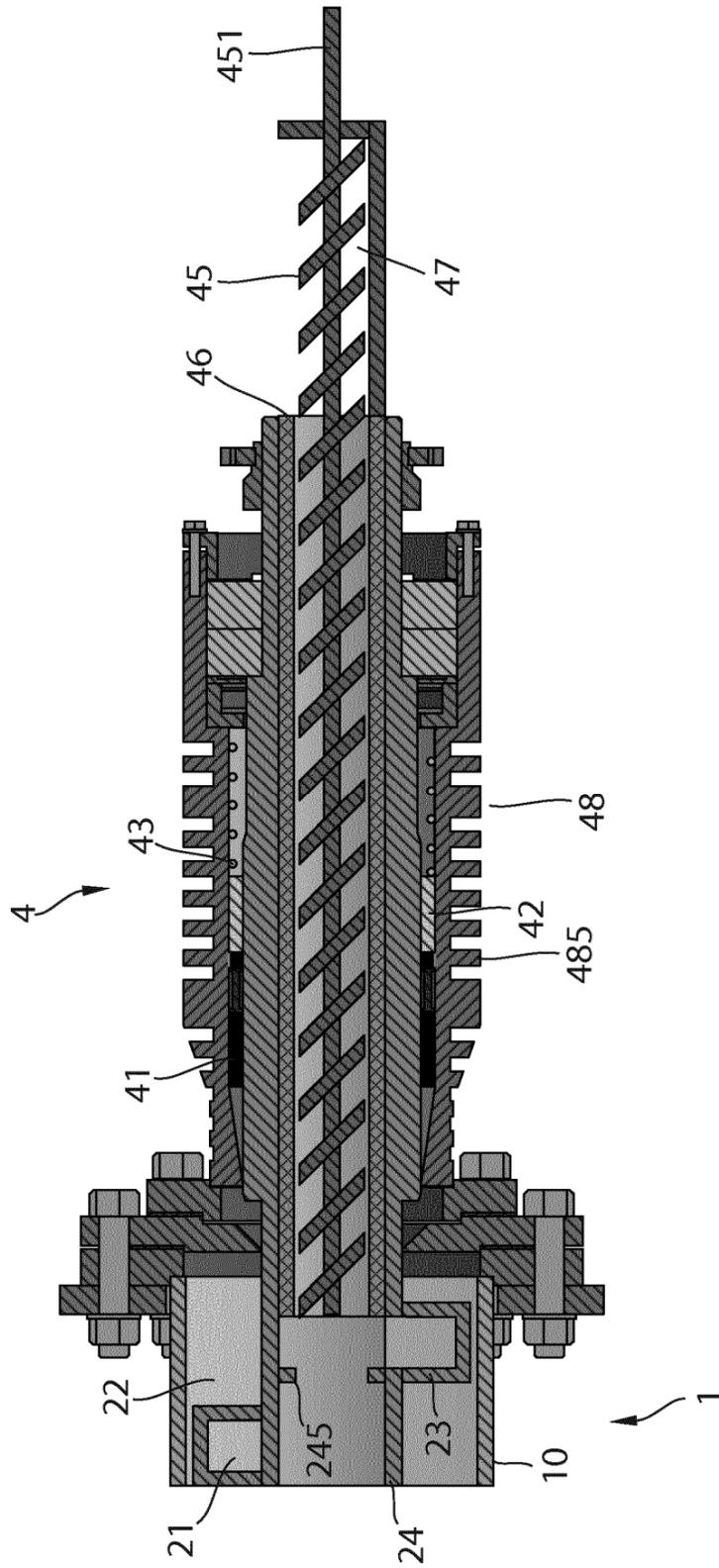


Fig. 4