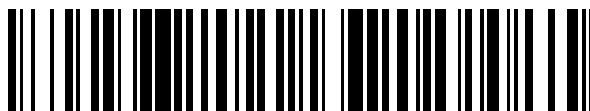


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 712**

51 Int. Cl.:

C10J 3/64 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.10.2007 PCT/EP2007/008943**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2008 WO08046578**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2007 E 07846494 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 2082013**

54 Título: **Procedimiento para la generación de un producto gaseoso rico en hidrógeno**

30 Prioridad:

18.10.2006 DE 102006049701
06.02.2007 DE 102007005799

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.09.2017

73 Titular/es:

CONCORD BLUE PATENT GMBH (100.0%)
Königsallee 6-8
40212 Düsseldorf, DE

72 Inventor/es:

MÜHLEN, HEINZ-JÜRGEN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 632 712 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la generación de un producto gaseoso rico en hidrógeno

- La presente invención se relaciona con un procedimiento para la generación de un producto gaseoso rico en hidrógeno con alto poder calorífico a partir de un material de partida en forma de sustancias o mezclas de sustancias orgánicas, en el que el material de partida se descompone en una zona de pirólisis mediante pirólisis en un residuo sólido conteniendo carbono y gas de pirólisis como fase volátil y los gases de pirólisis se mezclan con vapor de agua como reactivo y se calientan posteriormente en una zona de reacción de tal manera que se produzca un producto gaseoso con alto poder calorífico, con lo que el calor necesario para la pirólisis y el calentamiento posterior al menos en su mayor parte procede de la combustión de los residuos sólidos conteniendo carbono de la pirólisis y se alimenta al sistema mediante un producto a granel que sirve como portador de calor, transportado en el circuito, que se calienta en una zona de calentamiento con los gases de escape de la combustión de los residuos conteniendo carbono, a continuación en la zona de reacción se pone en contacto con la mezcla de gas de pirólisis y vapor de agua, entonces aporta al menos una parte de su calor medible en la zona de pirólisis (2) y a continuación se devuelve por medio de un transportador de cargas a granel (6) al principio del circuito portador de calor.
- Un procedimiento de este tipo se conoce por ejemplo gracias a la EP 1 226 222 B1 y la solicitud divisional DE 19945771 C1. En este procedimiento se pone el producto a granel usado como portador de calor dentro de la zona de pirólisis en contacto directo con el material de partida introducido en fragmentos o en pequeños fragmentos y se tiene que separar a continuación mecánicamente o por mecánica de fluidos (fraccionamiento por aire) del coque de pirólisis originado en la pirólisis. Este paso puede ser difícil por la calidad del coque obtenido, aunque es también dificultada generalmente por el hecho de que ha de realizarse a aproximadamente 550 ° C. A esta temperatura relativamente alta, el coque de pirólisis es una sustancia extremadamente más inflamable y combustible. Otro inconveniente de este procedimiento estriba en que el producto a granel que sirve como portador de calor con 550 ° C se tiene que recircular de nuevo a la zona de calentamiento. El manejo con un producto a granel caliente tal manera es costoso. Otro inconveniente consiste en que mediante esta temperatura relativamente alta se define la temperatura base del proceso. Las corrientes calientes por debajo de esta temperatura no pueden seguirse empleando directamente en el proceso, porque son energéticamente muy poco valiosas. Otro inconveniente estriba en que la temperatura del producto gaseoso a la salida del procedimiento se encuentra a 950 ° C, de forma que, además de la habitualmente necesaria limpieza del gas, también se tiene que efectuar aún un enfriamiento de esta muy alta temperatura.
- Gracias al estado actual de la técnica se conocen aparatos de pirólisis calentados indirectamente (comp. Instalación Contherm en la central eléctrica RWE Hamm-Uentrop, construida por la empresa Technip GmbH). Estos aparatos de pirólisis calentados indirectamente evitan el inconveniente de la separación de lo contrario necesaria del coque de pirólisis y el medio portador de calor.
- Además se conocen como "piro-gasificador" (publicación de la empresa NRP pirólisis de materias primas naturales GmbH, en la calle Aitrangerstr. 7, 87847 Unterthingau, Alemania) los gasificadores de vapor de agua, que en un paso transforman la sustancia orgánica a gasear en un tubo de pirólisis calentado indirectamente, por ejemplo con producto gaseoso, para dar coque de pirólisis y entonces se transforma el gas de pirólisis con el coque en otra reacción de gasificación, para obtener así un producto gaseoso rico en hidrógeno. Además, el material de partida se transporta con un transportador de tornillo a través del tubo de pirólisis y de ese modo se pone en contacto con la pared del tubo calentada.
- Es objeto de la presente invención perfeccionar el procedimiento del tipo citado inicialmente partiendo de que por un lado se va a aprovechar la ventaja del aporte térmico con ayuda del circuito del portador de calor, es decir que se logra una transferencia de calor más intensiva en superficies calefactoras siempre limpias, y en el que sin embargo por otra parte se evita la problemática separación del portador de calor (producto a granel) y el coque de pirólisis. Además, en el nuevo procedimiento debería extraerse calor del producto gaseoso en la medida de lo posible, o al menos separación parcial del alquitrán quizás presente en el producto gaseoso. Finalmente, debería mejorarse térmicamente el procedimiento, es decir deberían conectarse más conjuntos de calor residual y de ser posible hacerlos utilizables en el procedimiento.
- Para la resolución de este objeto, la invención propone, partiendo del procedimiento del tipo citado inicialmente, que en el circuito del portador de calor antes de la zona de calentamiento se prevea una zona de precalentamiento, en la que el producto a granel se precaliente con el producto gaseoso caliente procedente de la zona de reacción y además reciba la mayor parte de su calor, y que la transferencia de calor del producto a granel al material de partida se lleve a cabo en la zona de pirólisis indirectamente y sin contacto directo con el producto a granel.

El procedimiento conforme a la invención opera antes como ahora con un circuito portador de calor de producto a granel. El circuito portador de calor se extiende sin embargo, a diferencia del estado actual de la técnica conforme a la EP 1 226 222 B1, a través de una zona de precalentamiento conectada antes de la zona de calentamiento, en la que por un lado se enfría el producto gaseoso y por otro lado se precalienta el producto a granel que sirve como portador de calor. El enfriamiento del producto gaseoso en esta zona de precalentamiento llega tan lejos que ya una gran parte del alquitrán de alto punto de ebullición se separe del producto gaseoso. Simultáneamente se libera el producto gaseoso de una gran parte del polvo arrastrado. Mediante esta medida una gran parte del calor contenido primero en el producto gaseoso permanece particularmente en el circuito portador de calor y se conserva por consiguiente en el proceso. Otra ventaja fundamental del procedimiento conforme a la invención respecto al estado actual de la técnica conforme a la EP 1 226 222 B1 consiste en que el producto a granel que sirve como portador de calor no sigue entrando en contacto en la zona de pirólisis directamente con el material de partida. Esto tiene por un lado la ventaja de que el producto a granel que sirve como portador de calor no sigue precisando separarse de los productos de pirólisis sólidos que quedan atrás en la pirólisis. Por otra parte, con este paso procedimental es sin la menor dificultad posible seguir enfriando considerablemente el portador de calor, por ejemplo, a una temperatura base de 220°C o menos. A una temperatura base así de pequeña se desarrolla el transporte inverso del portador de calor al principio del circuito portador de calor de manera considerablemente más sencilla. Además, pueden reducirse considerablemente las pérdidas térmicas en la zona del transportador de cargas a granel.

La pirólisis del material de partida se verifica apropiadamente en un intervalo de temperatura de 500°C a 700°C, preferentemente en un intervalo de temperatura de 550°C a 650°C Este intervalo de temperatura se puede ajustar y mantener de manera especialmente exacta en el procedimiento conforme a la invención.

Además se prevé que la mezcla de gas de pirólisis y vapor de agua se caliente en la zona de reacción de 750°C a 1000°C, preferentemente de 900°C a 1000°C. Para el respeto de estos intervalos de temperatura es lo mejor la producción de hidrógeno.

Para mejorar adicionalmente la reacción calificada como un reformado en la zona de reacción, esta puede efectuarse en presencia de un catalizador.

Además, se añade un catalizador que acelera la reacción al portador de calor transportado en el circuito y se transporta con este en el circuito. Esto es posible sin la menor dificultad, porque en el procedimiento conforme a la invención el producto a granel que sirve como portador de calor y el catalizador agregado a este no entran en contacto directo con el material de partida. Por el mismo motivo, además el consumo de material catalizador es mínimo.

El portador de calor conducido como producto a granel en el circuito consiste preferentemente en sustancias ignífugas como en sustancias refractarias como arena, guijarros, gravilla, silicato de aluminio, corindón, grauvaca, cuarcita o cordierita. Todas estas sustancias son mecánicamente suficientemente estables, ignífugas e inertes respecto de las demás sustancias presentes, de forma que pueden permanecer largo tiempo en ese circuito.

Alternativamente, los portadores de calor pueden consistir también en cuerpos moldeados cerámicos, donde la mezcla cerámica se selecciona de forma que la cerámica cocida cubra óptimamente las anteriores necesidades. Apropiadamente se lleva a cabo el transporte del portador de calor en el circuito del portador de calor hasta la zona del transportador de cargas a granel solamente por gravedad. Como ya se ha aclarado antes, la temperatura del producto a granel conducido en el circuito como portador de calor en la zona del transportador de cargas a granel puede reducirse a una temperatura base de menos de 220°C, de forma que allí pueda trabajar el transportador de cargas a granel sin problemas. En todas las demás zonas, el transporte se lleva a cabo por gravedad, lo que conlleva la ventaja fundamental de que allí no es necesario ningún medio de maquinaria, con el que se ponga en movimiento el producto a granel.

El procedimiento conforme a la invención prevé que la transferencia indirecta de calor del portador de calor al material de partida se realice en la zona de pirólisis a través de un medio calefactor gaseoso intermedio, que se calienta en una zona de enfriamiento del circuito del portador de calor y emite a continuación una parte del calor absorbido a través de la camisa calefactora de un aparato de pirólisis al material de partida a pirolicar, enfriándose el circuito portador de calor en la zona de enfriamiento antes de la entrada en el transportador de cargas a granel a una temperatura entre la temperatura ambiente y 200°C. El empleo de este medio calefactor gaseoso intermedio hace posible, por un lado, la temperatura base antes citada al final del circuito del portador de calor y por otro lado ajustar selectivamente la temperatura precisa para la pirólisis a los valores necesarios.

En caso necesario, se pueden combinar la zona de enfriamiento del circuito del portador de calor por una parte y la camisa calefactora del aparato de pirólisis por otra parte en una carcasa en una única unidad. Esta unidad es atravesada por el medio calefactor intermedio antes citado, que por un lado refrigera el producto a granel empleado como portador de calor y por el otro calienta el material de partida que recorre el aparato de pirólisis.

Para que no se pierda ningún calor, se prevé además que el calor residual remanente en el medio calefactor gaseoso detrás de la zona de pirólisis se emplee para la generación del vapor de agua necesario para el proceso.

Además se prevé para prevenir pérdidas de calor que el gas de escape que abandona la zona de calentamiento del circuito del portador de calor se use para el precalentamiento del aire de combustión para la combustión de los residuos sólidos conteniendo carbono de la pirólisis.

A continuación se describen más a fondo dos ejemplos de ejecución de la invención en base al diseño. Muestran:

Fig. 1 esquemáticamente, el desarrollo del procedimiento en un primer modo de operación:

Fig. 2 el mismo desarrollo del procedimiento con un aparato de pirólisis modificado.

La línea principal del procedimiento consiste en la adición del material de partida 1 en forma de sustancias o mezclas de sustancias orgánicas, de la zona de pirólisis 2 con la camisa calefactora 2a, de la zona de reacción 3, también denominada reformador, en el que el gas de pirólisis se sigue calentando junto con el vapor añadido como reactivo en el punto de alimentación 9 dentro de la zona de pirólisis 2, después la zona de precalentamiento 4 adicionalmente prevista conforme a la invención, en que el producto gaseoso de la zona de reacción 3 se enfría y limpia parcialmente, de forma que se emita un producto gaseoso 5 relativamente libre de polvo y de alquitrán como producto del procedimiento. El vapor reactivo se produce a partir de agua alimentada 8a en una caldera de vapor saturado 8. Mediante la configuración de la caldera 8 y la selección de los parámetros del vapor (vapor saturado de menos de 20 bar) se alcanzan unas exigencias de calidad del agua empleada 8a bastante bajas.

Mediante la selección de los parámetros procedimentales, es decir, presión atmosférica del sistema, temperatura de hasta 700°C al final de la zona de pirólisis 2 y 950°C por el lado del gas bruto al final de la zona de reacción 3, así como la cantidad de vapor, que conlleve concentraciones de vapor de agua de más del 30% en volumen en el producto gaseoso no enfriado, se logra que la concentración de hidrógeno con más del 35% en volumen y el poder calorífico con típicamente más de 9 MJ/Nm³ sean muy altos. Adicionalmente respecto a la presión atmosférica del sistema queda por decir que sobre todo por motivos de seguridad la planta opera generalmente con una ligera sobrepresión, preferentemente con hasta 200 hPa, lo que sin embargo permanece prácticamente sin efecto sobre la cinética del procedimiento descrito. Si esta línea principal del procedimiento se calentara mediante un circuito portador de calor con un transportador de cargas a granel 6 discurriendo perpendicularmente hacia arriba y los sucesivos tramos 6a a 6i. Preferentemente se lleva a cabo el transporte del portador de calor en las secciones 6a a 6i solamente por gravedad. Únicamente en la zona del transportador de cargas a granel 6 que conduce perpendicularmente hacia arriba se transporta con energía mecánica. En el circuito portador de calor se disponen además compuertas 7a a 7d técnicamente estancas al gas, porque en los aparatos atravesados por el producto a granel en la secuencia zona de precalentamiento 4 - zona de calentamiento 13 - zona de reacción 3 - zona de enfriamiento 19 imperan diferentes atmósferas, dependiendo de por qué gas es atravesado el respectivo aparato. Como medios portadores de calor entran en consideración todos los materiales minerales y resistentes a los cambios de temperatura como productos a granel granulados del mismo modo que en la EP 1 226 222 B1: arena, guijarros, gravilla, corindón, silicato de aluminio, generalmente materiales cerámicos oxidicos entre otros. El perfil de temperatura del circuito del portador de calor se configura como sigue: cuando se suponen pérdidas de calor muy pequeñas en el transportador de cargas a granel 6, entonces las temperaturas en los puntos 6a y 6i marcan el mínimo de temperatura, definido por un gas calefactor intermedio 17 posteriormente alimentado, que tenga una temperatura en el intervalo de temperatura de la temperatura ambiente a 200°C. Esto es un punto obligatorio en el proceso. En cambio, el nivel de temperatura en los puntos 6c y 6d no está determinado a priori, sino que depende de manera totalmente considerable de la cantidad y calidad del producto gaseoso formado en el proceso. Este nivel de temperatura debería estabilizarse en el rango de 550 a 900°C. En cambio, el nivel de temperatura en los puntos 6e y 6f es de nuevo un punto obligatorio, que puede ajustarse bastante exactamente con el gas de escape 12 mediante la temperatura del gas de escape de la combustión 11 y se encuentra en el rango de 1050°C a 1100°C. La temperatura en los puntos 6g y 6h depende en cambio fuertemente del transcurso de la pirólisis y no está por tanto determinado a priori. La temperatura de pirólisis se encuentra preferentemente en el rango de 550°C a 700°C, de forma que la temperatura del portador de calor sea algo mayor, preferentemente hasta 100 °K mayor, donde el objetivo ideal está a 0 °K de distancia de la temperatura de pirólisis. La sustancial cantidad de calor necesaria para la ejecución del proceso se acopla, como en el estado actual de la técnica, en la zona de calentamiento 13 a un alto nivel de temperatura de 1050°C a 1100°C en el circuito portador de calor. Esto ocurre mediante transferencia directa de calor de un gas de escape 12, obtenido mediante combustión del coque de pirólisis 10 obtenido en el aparato de pirólisis 2 en la combustión 11, a las partículas de producto a granel al atravesar la carga de portador de calor presente en la zona de calentamiento 13. Posteriormente se emplea el calor residual aún contenido en el gas de escape en un intercambiador de calor 14 para el calentamiento del aire de combustión 16 necesario en la combustión 11, antes de que se ceda como gas de escape enfriado 15 a una limpieza adicional o - si fuera posible - al ambiente. Como ya se ha señalado antes, si el medio calefactor gaseoso intermedio 17, con cuya ayuda el circuito portador de calor se enfría por su extremo, tras lo cual el medio calefactor gaseoso calentado de este modo calienta la auténtica pirólisis, representa una parte esencial de la invención, que junto con la zona de precalentamiento 4 convierte el procedimiento aquí descrito en un nuevo proceso bien diferenciado respecto del estado der Técnica. Este medio

calear factor gaseoso intermedio 17 puede ser gas de escape o sin embargo también aire ambiental. El primero tendría la ventaja de que de este modo aún escasos calores residuales podrían usarse en el proceso. En cualquier caso, el medio calefactor gaseoso intermedio 17 no debería estar a más de 200°C, pues su temperatura tras el paso a través de un compresor 18 define la temperatura base muy reducida respecto al estado actual de la técnica, muy marcada en el circuito portador de calor en una zona de enfriamiento 19 perteneciente a la zona de pirólisis. En esta zona de enfriamiento 19 se calienta el medio calefactor gaseoso intermedio 17 aproximadamente a la temperatura, que presenta el circuito portador de calor tras abandonar la zona de reacción 3, o sea generalmente de 600°C a 800°C. En la camisa calefactora 2a del aparato de pirólisis 2 cede el medio calefactor intermedio 17 una gran parte de su calor. Posteriormente se emplea en una caldera 8 para generar el vapor de proceso necesario para el proceso. Además, la caldera es atravesada del lado del gas (8b) por el medio calefactor intermedio. Posteriormente abandona el medio calefactor intermedio la instalación en forma de un flujo de material 20.

Fundamentalmente es posible extraer del flujo de material 20 más calor o conducirlo al circuito.

Según una configuración alternativa, el procedimiento conforme a la invención puede estar también provisto de un aparato de pirólisis compacto, como se muestra en la Fig. 2. Aquí la zona de enfriamiento ejecutada como aparato compacto de pirólisis es designada con el símbolo de referencia 119 y muestra un husillo de pirólisis 102, en el que entra el material de partida y del que salen los productos de pirólisis 101. En la zona de enfriamiento 119 se introduce el medio calefactor intermedio 118 a través de un anillo de distribución 119a, para así atravesar uniformemente la carga de portador de calor situada en la zona de enfriamiento y además enfriarla.

Posteriormente se lleva el medio calefactor intermedio 118 a través de la entrada 102b en una camisa calefactora 102a de un husillo de pirólisis 102 situado dentro del aparato compacto. El medio calefactor intermedio enfriado abandona la camisa calefactora entonces a través de la salida 102c. La corriente entrante de portador de calor 106h puede además llenar la zona de enfriamiento 119 completamente, como se sugiere en la Fig. 2. La corriente enfriada de portador de calor 106i deja además el aparato con la temperatura del medio calefactor intermedio entrante 118. Un posible punto para la alimentación de vapor en la pirólisis se sugiere con el símbolo de referencia 109. Esta configuración no es sin embargo obligatoria; el vapor puede introducirse también por un punto situado delante.

Otra ejecución favorable se sugiere asimismo en la Fig. 2. Con un flujo de material 121 puede introducirse en la pirólisis aire en bajas concentraciones, por lo que el rendimiento del gas en la pirólisis puede elevarse significativamente. Esto es significativo, porque el mayor grado de efectividad del gas frío provocado por la particular conducción térmica sólo puede obtenerse cuando la cantidad de coque sea tan pequeña que la potencia calorífica del proceso 11 en la Fig. 1 pueda controlarse a través de la recirculación variable del producto gaseoso. En contraste serviría un exceso de coque sin beneficios adicionales en la combustión 11 únicamente para quemarlo.

En el ejemplo se puede aclarar el modo de acción como sigue:

Se utiliza una biomasa leñosa con una humedad residual del 20 %, que en estado seco tenga un contenido en cenizas del 2,7 %. La proporción alcanza 573 Kg/h crudo correspondiente a la potencia de calentamiento del fuego de 2,254 MW. La biomasa quisiera transformarse en la pirólisis hasta el 95 %, es decir un 5 % del material empleado sin la proporción de agua debería convertirse en el producto gaseoso, de forma que se origine un coque rápido con un 54 % de cenizas, donde un 46 % del material combustible remanente consiste hasta un 92 % en carbono. Surgen 870 Nm³/h de un producto gaseoso con un 46,5 % de hidrógeno y un poder calorífico de 11,7 MJ/Nm³, donde la concentración de hidrógeno y el poder calorífico se refieren en cada caso al producto gaseoso seco, que por lo demás contiene un 30% en volumen de vapor de agua. Con ello se obtiene un grado de efectividad del gas frío del 87,6 %. Además se asumió una pérdida de 50 KW mediante radiación térmica, así como una pérdida residual de 129 KW de calor en el producto gaseoso, que se emite con 220°C. En ellos hay contenidos 110 KW de calor de condensación de la proporción de vapor de agua contenida en el producto gaseoso bruto.

Lista de símbolos de referencia

1 Material de partida

2 Zona de pirólisis

2a Camisa calefactora

3 Zona de reacción

4 Zona de precalentamiento

5 Producto gaseoso

- 6 Transportador de cargas a granel
- 7 compuertas
- 8 caldera de vapor saturado
- 9 cesión de vapor
- 5 10 coque de pirólisis
- 11 combustión
- 12 gas de escape
- 13 zona de calentamiento
- 14 intercambiador de calor
- 10 15 gas de escape (enfriado)
- 16 aire de combustión
- 17 gas calefactor intermedio
- 18 compresor
- 19 zona de enfriamiento
- 15 20 flujo de material
- 100 material de partida
- 101 productos de pirólisis
- 102 husillo de pirólisis
- 102a camisa calefactora
- 20 102b entrada
- 102c salida
- 106h flujo entrante de portador de calor
- 106i flujo enfriado de portador de calor
- 109 alimentación de vapor
- 25 118 medio calefactor intermedio
- 119 zona de enfriamiento
- 119a anillo de distribución
- 122 flujo de material (aire)

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la generación de un producto gaseoso rico en hidrógeno con alto poder calorífico a partir de un material de partida en forma de sustancias o mezclas de sustancias orgánicas, en el que el material de partida se descompone en una zona de pirólisis (2) mediante pirólisis en un residuo sólido conteniendo carbono y gas de pirólisis como fase volátil y los gases de pirólisis se mezclan con vapor de agua como reactivo y se calientan posteriormente en una zona de reacción (3) de tal manera que se produce un producto gaseoso con alto poder calorífico, con lo que el calor necesario para la pirólisis y el calentamiento posterior proviene al menos en su mayor parte de la combustión de los residuos sólidos conteniendo carbono de la pirólisis y se alimenta al sistema mediante un producto a granel como portador de calor, transportado en el circuito, que se calienta en una zona de calentamiento (13) con los gases calientes de la combustión de los residuos sólidos conteniendo carbono, a continuación se pone en contacto en la zona de reacción (3) con la mezcla de gas de pirólisis y vapor de agua, entonces aporta al menos una parte de su calor medible en la zona de pirólisis (2) y a continuación se devuelve por medio de un transportador de cargas a granel (6) al principio del circuito portador de calor, caracterizado porque en el circuito portador de calor antes de la zona de calentamiento (13), en la que el circuito portador de calor se calienta a una temperatura de 1050 °C a 1100 °C, se prevé una zona de precalentamiento (4), en la que el producto a granel se precalienta con el producto gaseoso caliente procedente de la zona de reacción (3) y además recibe la mayor parte de su calor, y porque la transferencia de calor del circuito portador de calor al material de partida en la etapa de pirólisis (2) se lleva a cabo indirectamente y sin contacto directo con el producto a granel a través de un medio calefactor gaseoso intermedio (17), que se calienta en una zona de enfriamiento (19) del circuito del portador de calor y a continuación emite una parte del calor absorbido en la zona de pirólisis (2) a través de la camisa calefactora de un aparato de pirólisis al material de partida a pirolizar, con lo que el circuito del portador de calor en la zona de enfriamiento (19) antes de la entrada en el transportador de cargas a granel (6) se enfría a una temperatura entre la temperatura ambiente y 200° C.
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la pirólisis del material de partida se realiza en un intervalo de temperatura de 500 °C a 700 °C, en este contexto preferentemente en un intervalo de temperatura de 550 °C a 650 °C
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque la mezcla de gas de pirólisis y vapor de agua se calienta en la zona de reacción (3) de 750 °C a 1000 °C, preferentemente de 900 °C a 1000 °C.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque la reacción se lleva a cabo en la zona de reacción (3) en presencia de un catalizador.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque un catalizador que acelera la reacción se añade al portador de calor transportado en el circuito y se transporta con este en el circuito.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-5 caracterizado porque el portador de calor transportado en el circuito consiste en sustancias refractarias como arena, guijarros, gravilla, silicato de aluminio, corindón, grauvaca, cuarcita o cordierita.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-5, caracterizado porque el portador de calor transportado en el circuito consiste en cuerpos moldeados cerámicos.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-7, caracterizado porque el transporte del portador de calor se lleva a cabo en el circuito del portador de calor hasta la zona del transportador de cargas a granel (6) solamente mediante gravedad.
9. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la zona de enfriamiento (119) del circuito del portador de calor y la camisa calefactora (102a) del aparato de pirólisis (102) se combinan en una carcasa en una única unidad.
- 45 10. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el calor residual remanente en el medio calefactor gaseoso intermedio (18) detrás de la zona de pirólisis (2) se utiliza para la generación del vapor de agua necesario para el proceso.
- 50 11. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el gas de escape (12) que abandona la zona de calentamiento (13) se usa para el calentamiento del aire de combustión (16) para la combustión del residuo sólido conteniendo carbono de la pirólisis.

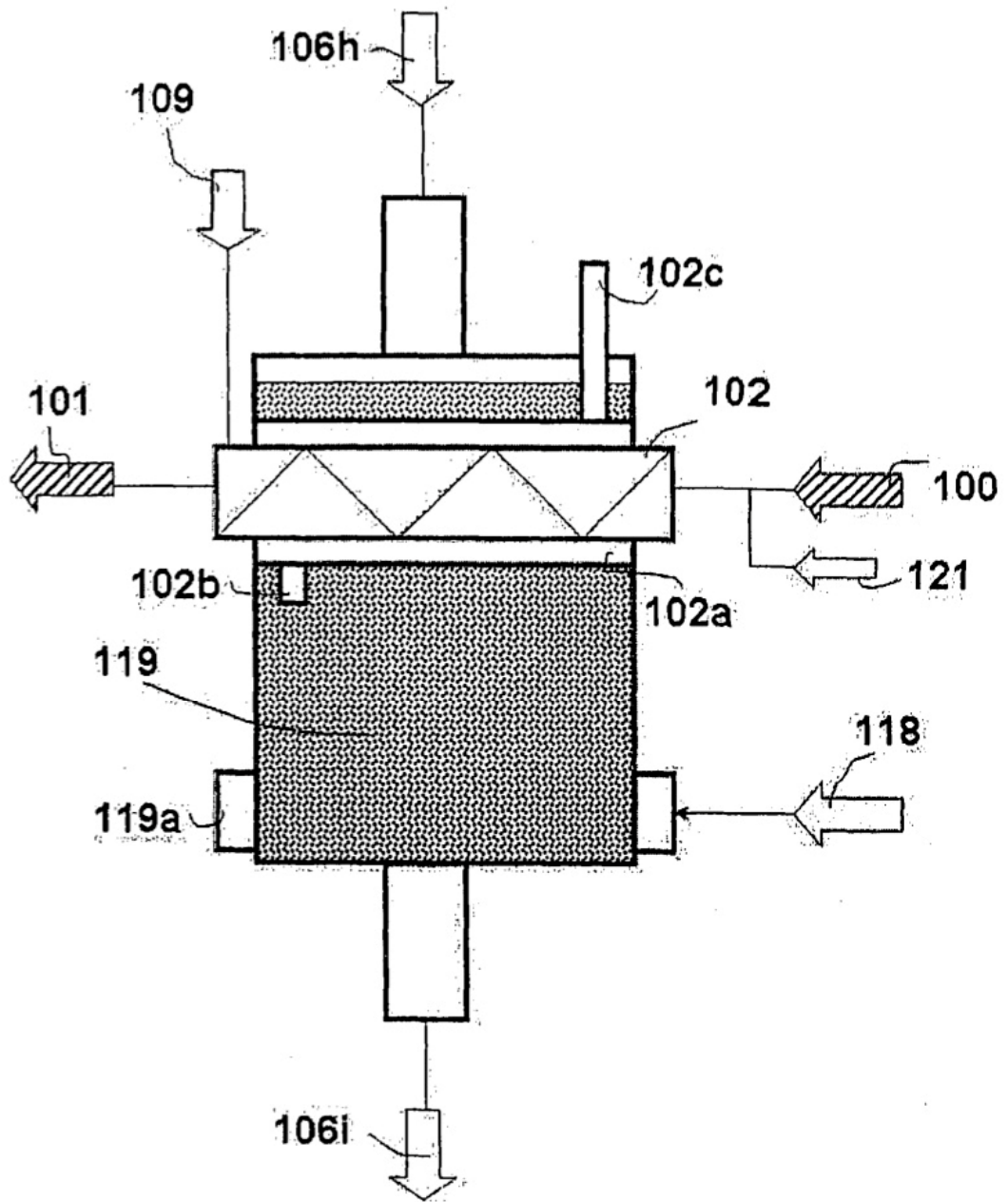


Fig. 2