

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 290**

51 Int. Cl.:

C10J 3/66 (2006.01)
C10J 3/48 (2006.01)
C10J 3/46 (2006.01)
C10J 3/20 (2006.01)
C10J 3/12 (2006.01)
C10J 3/84 (2006.01)
C10J 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2011 PCT/CN2011/076917**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2012 WO12010058**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2011 E 11809246 (9)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017 EP 2597137**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la gasificación de biomasa por pirólisis a través de dos hornos interconectados**

30 Prioridad:

20.07.2010 CN 201010234122

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.10.2017

73 Titular/es:

SUNSHINE KAIDI NEW ENERGY GROUP CO., LTD (100.0%)
Kaidi Building T1 Jiangxia Avenue East Lake Hi-Tech Development Zone
Wuhan, Hubei 430223, CN

72 Inventor/es:

TANG, HONGMING;
ZHANG, YANFENG y
CHEN, YILONG

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 638 290 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 y aparato para la gasificación de biomasa por pirólisis a través de dos hornos interconectados

CAMPO DE LA INVENCION

5 La invención se refiere a una tecnología para transformar materiales combustibles en gas sintético limpio y altamente eficaz y, más particularmente, a un procedimiento y a un sistema de pirólisis y gasificación de biomasa utilizando dos hornos interconectados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 La tecnología de gasificación de materiales combustibles ha logrado un desarrollo sorprendente a fines del siglo XX, especialmente la tecnología de gasificación del carbón combustible, que ha sido muy madura. Los investigadores han desarrollado con éxito un procedimiento para la gasificación del carbón que es ampliamente aplicable, altamente eficaz en la gasificación y no contamina. La tecnología de gasificación de la biomasa, como las ramas de los árboles, pajuelas y otros desechos agrícolas y forestales es una nueva tecnología para una utilización integral de la energía en el siglo XXI. La tecnología de gasificación de biomasa convencional incluye: gasificación en lecho fijo, gasificación en lecho fluidizado y gasificación en dos etapas, todas ellas tecnologías de gasificación directa. Los procedimientos de las tecnologías de gasificación directa se caracterizan porque el calor producido por parte de la biomasa suministra un recurso energético para la gasificación, el aire, aire oxigenado o una combinación del aire oxigenado y vapor de agua funciona como un oxidante durante la reacción de gasificación. Sin embargo, los estudios han demostrado que las tecnologías de gasificación directa de la biomasa son desventajosas en los siguientes aspectos:

20 En primer lugar, los componentes y el valor calórico de los combustibles de biomasa son inestables, la biomasa tiene un punto de fuego bajo y reacción de combustible rápida, por lo tanto, la explosión se produce fácilmente. Cuando parte de las zonas se sobrecalienta y queda calcinada, la temperatura de funcionamiento del gasificador es muy difícil de controlar.

25 En segundo lugar, cuando el aire actúa como un oxidante en el que el contenido del gas inactivo de N₂ es importante, da como resultado un contenido más alto de N₂, un contenido más bajo de gas efectivo (CO + H₂) y una proporción más baja de H₂/CO, además, el valor calórico del gas sintético es bajo e inestable, que solo se mantiene a 5000 KJ/Nm³ por debajo y apenas satisface la necesidad de la utilización industrial posterior.

30 En tercer lugar, cuando el aire oxigenado funciona como un oxidante, aunque el contenido de N₂ se reduce relativamente, se necesita un dispositivo de separación de aire adicional. Debido a una gran capacidad y alto consumo de energía del dispositivo de separación de aire, dicho procedimiento aumenta en gran medida el coste de producción.

35 En cuarto lugar, cuando el aire oxigenado y el vapor de agua actúan como oxidantes, aunque el contenido de N₂ en el gas sintético se reduce y el contenido de H₂ aumenta, el vapor de agua que actúa como medio reactivo todavía consume una gran cantidad de energía calórico, más el consumo de energía en la separación de aire, el procedimiento maximiza en gran medida el coste de producción.

40 En quinto lugar, se necesita un 15-20% de la biomasa para autoencenderse y proporcionar el recurso energético para la gasificación, pero al mismo tiempo se produce una gran cantidad de CO₂ en la combustión, en consecuencia, el contenido de gas efectivo (CO + H₂) se reduce. Además, el gas sintético de alta temperatura y el aire mezclado llevan una gran cantidad de calor sensible y, por lo tanto, la conversión de la energía calórica en energía química se minimiza en gran medida y se reduce también la eficacia del gas enfriado, que en general está al 70% por debajo y no superior al 80% en condiciones excepcionales.

45 En sexto lugar, la temperatura de funcionamiento del gasificador se controla generalmente a 800-1200°C, a dicha temperatura la gasificación de la biomasa produce una gran cantidad de alquitrán que es difícil de eliminar, y demasiado alquitrán agregado en el dispositivo y en los tubos puede causar el bloqueo de los tubos y la contaminación del dispositivo.

50 En séptimo lugar, el corte producido en la gasificación de la biomasa contiene un contenido importante de óxidos de metal alcalino que comprenden K y Na, que es en general el 20-40% del % en peso de la ceniza total. Sin embargo, a una temperatura superior a 800 °C, los óxidos de metales alcalinos se pueden gasificar y mezclar en el gas sintético, lo cual no solo afecta a la propiedad del gas sintético, sino que también se adhiere a los tubos y dispositivos junto con el alquitrán, dando como resultado de este modo una corrosión grave en los dispositivos y tubos.

En vista de los problemas anteriores, las tecnologías de gasificación directa de la biomasa son difíciles de aplicar en la producción práctica. Por lo tanto, se desea un procedimiento para gasificar la biomasa que se pueda aplicar en la producción industrial y convertirla en beneficios comerciales.

5 El documento CH 283 414 muestra un procedimiento y un aparato para la gasificación y pirólisis del carbón calentando portadores de calor de cerámica calentados previamente en un recipiente de calentamiento y utilizando el calor para llevar a cabo las reacciones de gasificación y pirólisis con vapor. El coque producido en la reacción de pirólisis se recicla junto con los portadores de calor al recipiente de calentamiento en el que se quema el coque.

10 El documento DE 199 45 771 muestra un procedimiento similar para la pirólisis y gasificación de biomasa que muestra la separación de los portadores de calor a partir de la mezcla de coque/ceniza, mediante la combustión del coque en un cámara de combustión y utilizando los gases calientes generados para calentar los materiales portadores de calor en un recipiente de calentamiento de portadores de calor.

RESUMEN DE LA INVENCION

15 A la vista de los problemas anteriormente descritos, es un objetivo de la invención proporcionar un procedimiento y un sistema para la pirólisis y gasificación de la biomasa. El procedimiento se caracteriza por un control fácil, el ahorro energético y un bajo coste. El gas sintético producido tiene gran valor calórico y es altamente eficaz, con ausencia de alquitrán o dióxidos de metales alcalinos.

20 Para conseguir el objetivo anterior, se proporciona un procedimiento de pirólisis y gasificación de biomasa. El procedimiento emplea una partícula sólida que tiene una alta capacidad térmica como un portador de energía y un vapor de agua saturado como oxidante. La pirólisis y la gasificación de la biomasa se realizan en un horno de pirólisis y un gasificador, respectivamente, y se obtiene así un gas sintético limpio. El procedimiento comprende los pasos siguientes:

25 a) disponer el gasificador en el horno de pirólisis, interconectando una cavidad interna del gasificador y una cavidad interna del horno de pirólisis; e introducir las partículas sólidas desde un extremo superior del gasificador dentro del gasificador y el horno de pirólisis en secuencia. La energía calórica de las partículas sólidas se suministra mediante un dispositivo de calentamiento externo, por ejemplo, un calentador de soplete de plasma y, en general, las partículas sólidas se calientan a una temperatura de 1400-1800 °C. En el gasificador, las partículas sólidas liberan una parte de la energía calórica para mantener la cavidad interna del gasificador a una temperatura de funcionamiento de 1200-1600 °C; cuando caen al horno de pirólisis, las partículas sólidas liberan otra parte de la energía calórica para mantener la cavidad interna del horno de pirólisis a una temperatura de funcionamiento de 500-800 °C. Por lo tanto, la autoignición de la biomasa no es necesaria en el pirólisis y en la gasificación, y la conversión de la biomasa ha mejorado muchísimo.

35 b) triturar la biomasa, alimentar la biomasa en el horno de pirólisis mientras se pulveriza el vapor de agua saturado en el horno de pirólisis, poniendo en contacto la biomasa con el vapor de agua saturado para pirolizar la biomasa en gas sintético bruto y ceniza que comprende un coque. Debido a que la temperatura de funcionamiento del horno de pirólisis está por debajo de los puntos de sublimación de los óxidos de metales alcalinos que comprenden K y Na, los óxidos de metales alcalinos existen en las cenizas que comprende el coque y el gas sintético bruto no contiene alquitrán ni alquitrán en cantidades insignificantes.

40 c) separar la ceniza que comprende el coque de las partículas sólidas, recalentar las partículas sólidas y transportar las partículas sólidas al gasificador para la circulación siguiente. Las partículas sólidas calentadas suministran energía calórica para la pirólisis y la gasificación de la biomasa, pero no participan en ninguna reacción química, de modo que la circulación de las partículas sólidas reduce el consumo energético, así como el coste de producción.

45 d) enfriar la ceniza que comprende el coque generalmente a una temperatura por debajo de 150 °C y separar el coque de la ceniza. El coque se utiliza para producir gas sintético en una etapa siguiente y la ceniza que comprende los óxidos de metales alcalinos son transportados a un almacén de cenizas para una utilización integral.

50 e) introducir el gas sintético bruto en el gasificador a través de las cavidades interiores interconectadas, transportar el coque al gasificador mientras se pulveriza el vapor de agua saturado en el gasificador, poniendo en contacto el coque y el gas sintético bruto con el vapor de agua saturado para gasificar el coque y el gas sintético bruto en gas sintético primario. Debido a que la temperatura de funcionamiento del gasificador está por encima de una temperatura para formar alquitrán, el gas sintético bruto y el coque se gasifican completamente y el gas sintético primario adquirido no comprende alquitrán.

f) enfriar, eliminar el polvo, desacidificar y desecar el gas sintético primario para transformar el gas sintético primario en gas sintético limpio. El procedimiento de enfriamiento no solo es una necesidad en todo el procedimiento de producción de gas sintético, sino que también recupera una gran cantidad de calor sensible para una utilización integral. El procedimiento de eliminación del polvo separa el polvo del gas sintético crudo y reduce la concentración de polvo del gas por debajo de 50 mg/Nm³. Ingredientes nocivos como H₂S, COS, HCL, NH₃ y HCN se eliminan del gas sintético en el procedimiento de desacidificación. Después de la desecación, el gas sintético primario se transforma en el gas sintético limpio, que se almacena para su aplicación industrial posterior.

La partícula sólida que tiene una alta capacidad térmica es una partícula de tierras raras, una partícula de cerámica o arena de cuarzo; y un diámetro de la partícula sólida es inferior a 5 mm. La partícula sólida tiene propiedades físicas y químicas estables incluso a una temperatura de 1400-1800 °C, un alto valor de entalpía, la temperatura de la partícula sólida es fácil de controlar cuando se calienta y, por lo tanto, la partícula sólida es muy adecuada para funcionar como un portador de energía. Mientras tanto, un tamaño de partícula relativamente pequeño asegura un área superficial total más grande, en comparación con el mismo número de partículas sólidas; el pequeño tamaño no solo es propicio para la transmisión de calor de las partículas sólidas a la biomasa, sino que también es útil para formar una capa de filtración que fluye en la intersección entre el horno de pirólisis y el gasificador, de manera que el polvo en el gas sintético bruto se elimina.

Un dispositivo de protección de nitrógeno está conectado a una entrada de alimentación del horno de pirólisis y una entrada de partículas del gasificador, en caso de incendio y explosión causados por una fuga del gas sintético bruto del horno de pirólisis.

Una temperatura de funcionamiento preferente del horno de pirólisis se controla a 500-650 °C, una presión de funcionamiento del horno de pirólisis se controla a 105-109 kPa. Una velocidad de entrada del vapor de agua saturado en el horno de pirólisis es 35-50 m/s; un tiempo de retención del gas sintético bruto en el horno de pirólisis es de 15-20 s, y una velocidad de salida del gas sintético bruto del horno de pirólisis es de 15-20 m/s. El horno de pirólisis funciona a una presión normal y no se necesita un dispositivo de presión especial, reduciendo así el coste de producción. La biomasa en el horno de pirólisis se deseca rápidamente, se separa de las materias volátiles y se piroliza durante el contacto con el gas sintético crudo y el vapor de agua saturado. Además, la temperatura de funcionamiento del horno de pirólisis es mucho menor que los puntos de sublimación de los óxidos de metales alcalinos, que son aproximadamente 800 °C, de manera que los óxidos de metales alcalinos se eliminan del gas sintético bruto. La velocidad de salida relativamente baja del horno de pirólisis evita que la ceniza se agregue en la salida del horno de pirólisis y los tubos de gas.

Una temperatura de funcionamiento preferente del horno de pirólisis se controla a 1200-1400 °C, una presión de funcionamiento preferente del gasificador se controla a 105-109 kPa. Una velocidad de entrada del vapor de agua saturado en el gasificador es de 35-50 m/s; un tiempo de retención del gas sintético bruto en el gasificador es de 15-20 s, y una velocidad de salida del gas sintético bruto del gasificador es de 15-20 m/s. El gasificador funciona a una presión normal y no se necesita un dispositivo de presión especial, reduciendo así el coste de producción. Una alta velocidad de entrada del vapor de agua saturado en el gasificador mejora en gran medida el contacto y la mezcla del gas sintético crudo y del coque. El intervalo de temperatura de funcionamiento del gasificador es adecuado y asegura una gasificación total del gas sintético bruto y del coque durante el contacto con el vapor de agua saturado, el gas sintético primario adquirido no contiene alquitrán; al mismo tiempo se reduce el consumo energético tanto como sea posible, y el rendimiento del gasificador se mejora en gran medida.

El gas sintético primario se enfría hasta una temperatura de 260-320 °C y, a continuación, se llevan a cabo procedimientos de limpieza. Como la temperatura de la salida de gas sintético primario desde el gasificador es todavía alta, aproximadamente 1200-1400 °C, el procedimiento de enfriamiento no solo es propicio para la posterior eliminación de polvo, desacidificación y desecación, sino que también es útil para recuperar el calor sensible en el gas sintético primario, logrando así una utilización integral del calor residual.

Un sistema de pirólisis y gasificación de biomasa de acuerdo con el procedimiento anterior, comprende: el horno de pirólisis, el gasificador; un calentador de partículas; un calentador de soplete de plasma; un soplador de escape; un primer intercambiador de calor; un depósito de almacenamiento de agua; una bomba de agua; y un segundo intercambiador de calor. El gasificador está dispuesto sobre el horno de pirólisis, y la cavidad interna del gasificador y la cavidad interior del horno de pirólisis están interconectadas verticalmente.

El depósito de almacenamiento de agua está conectado a una entrada de agua del primer intercambiador de calor y a una entrada de agua del segundo intercambiador de calor a través de la bomba de agua; tanto una salida de vapor del primer intercambiador de calor como una salida de vapor del segundo intercambiador de calor están conectadas a una boquilla de vapor del horno de pirólisis así como a una boquilla de vapor del gasificador. Una salida de aire del primer intercambiador de calor está conectada a una entrada de aire del calentador de soplete de plasma a través del soplador de escape, una salida de aire del calentador de soplete de plasma está conectada a una entrada de aire del calentador de partículas y una salida de aire del calentador de partículas está conectado a una entrada de

aire del primer intercambiador de calor.

5 Una salida de alimentación del calentador de partículas está conectada a una entrada de partículas del gasificador; una salida de gas del gasificador está conectada a una entrada de gas del segundo intercambiador de calor; una salida de gas del segundo intercambiador de calor está conectada a un colector de polvo, una torre de desacidificación y un desecador en secuencia. Una salida de cenizas del horno de pirólisis está conectada a una entrada de alimentación de un separador de partículas; una salida de cenizas del separador de partículas está conectada a una entrada de cenizas de un enfriador de cenizas; y una salida de cenizas del enfriador de cenizas está conectada a una entrada de alimentación de un separador de cenizas-coque.

10 Como el calentador de la soplete de plasma es ventajoso en calor a temperatura ultra alta, transferencia rápida del calor y de la masa, alta eficacia y una potencia de calor ajustable, puede calentar instantáneamente el aire circulado a una temperatura de 1800-2000 °C. A continuación, el aire circulado a alta temperatura se utiliza para calentar las partículas sólidas, después, las partículas sólidas a la temperatura requerida son enviadas al horno de pirólisis y al gasificador para mantener las temperaturas de funcionamiento estables. El primer intercambiador de calor y el segundo intercambiador de calor recuperan eficazmente una gran cantidad de calor sensible del aire circulado y del gas sintético primario, respectivamente. El agua en el depósito de almacenamiento de agua se precalienta y se transforma en vapor de agua saturado debido al calor sensible, por lo que se reduce el consumo energético del calentador de soplete de plasma y se consigue una utilización integral de la energía calórica.

20 Un dispositivo de protección de nitrógeno está conectado tanto a una entrada de alimentación del horno de pirólisis como a la entrada de partículas del gasificador. Cuando la biomasa se introduce en la entrada de alimentación del horno de pirólisis, el dispositivo de protección de nitrógeno suministra nitrógeno al horno de pirólisis a través de la entrada de alimentación; y cuando las partículas sólidas son introducidas en el gasificador, el dispositivo de protección de nitrógeno suministra nitrógeno al gasificador a través de la entrada de partículas, de manera que se forman capas de sellado de nitrógeno, lo cual evita que el gas sintético se filtre fuera del horno de pirólisis y del gasificador, y mantiene el aire fuera del horno de pirólisis y el gasificador, se elimina el fuego y la explosión y se garantiza la propiedad del gas sintético.

25 Las boquillas de vapor dispuestas en el horno de pirólisis y el gasificador se agrupan en 2-4 niveles de altura, respectivamente, y las boquillas de vapor de cada nivel están dispuestas uniformemente y tangencialmente a lo largo de una dirección circunferencial.

30 De este modo, el vapor de agua saturado se pulveriza en el horno de pirólisis y el gasificador de diferentes niveles, y se mantiene una temperatura uniforme y estable presentada a diferentes niveles de altura, dando como resultado un contacto total entre el vapor de agua saturado y los reactivos.

35 Una intersección de la cavidad interna del horno de pirólisis y la cavidad interna del gasificador forma un cuello de botella y, al menos una capa de una rejilla de malla está dispuesta en la intersección. El área transversal minimizada en la intersección de cuello de botella y la disposición de la pantalla de malla pueden controlar eficazmente la velocidad descendente de las partículas sólidas de alta temperatura; las partículas sólidas liberan completamente la energía calórica en el gasificador y posteriormente caen dentro del horno de pirólisis, de modo que se consiguen temperaturas de funcionamiento estables del gasificador y del horno de pirólisis. Al mismo tiempo, las partículas sólidas bloqueadas en la rejilla de malla forman una capa de filtración que fluye, lo cual es útil para eliminar el polvo en el gas sintético bruto ascendente.

40 Una salida de coque del separador de cenizas-coque está conectada a una entrada de coque del gasificador a través de un transportador de coque. Preferiblemente, una salida de partículas del separador de partículas está conectada a una entrada de alimentación del calentador de partículas a través de un transportador de partículas. Por ejemplo, se emplea un alimentador de tornillo para transportar directamente el coque al gasificador, y se utiliza un tubo de transporte neumático para transportar las partículas sólidas al calentador de partículas, de manera que se ahorra el transporte manual intermedio, lo que mejora la estabilidad y la sucesión de todo el sistema.

50 Basándose en las características inherentes del agua, las cenizas, las materias volátiles y el punto de fusión de las cenizas de la biomasa, y combinado con las características operativas del gasificador, el procedimiento de la invención emplea el vapor de agua saturado, en lugar del aire oxidante convencional o Aire oxigenado, como oxidante, y las partículas sólidas que tienen una alta capacidad térmica como un portador de energía para producir un gas sintético a partir de biomasa por pirólisis a baja temperatura y gasificación a alta temperatura. Las ventajas de la invención se resumen a continuación:

55 En primer lugar, las partículas sólidas se utilizan para calentar la biomasa indirectamente, y el vapor de agua saturado funciona como un oxidante en la pirólisis de biomasa y gasificado a diferentes temperaturas. No solo el portador de energía y el oxidante son independientes entre sí, aplicables a diferentes tipos de biomasa y convenientes en su funcionamiento; sino también lo es el aire o el aire oxigenado que ya no se necesita como

oxidante, minimizando así el consumo de energía en todo el procedimiento y el coste total de producción.

5 En segundo lugar, no se produce autoignición en la biomasa durante la pirólisis y la gasificación, resolviendo con eficacia los problemas en el procedimiento de gasificación convencional, tales como la explosión del combustible en el horno de pirólisis o el gasificador, las cokings regionales y las dificultades para controlar cada etapa. Debido a que el aire o el aire oxigenado ya no son necesarios en la reacción, el gas sintético tiene una alta proporción de H₂/CO y un alto contenido de gas efectivo (CO + H₂), que está por encima del 85%, por lo tanto, el valor calórico del gas sintético se mejora en gran medida, y el uso del gas sintético es mucho más amplio.

10 En tercer lugar, los principales dispositivos de reacción son el horno de pirólisis y el gasificador, ambos interconectados, de manera que la estructura se simplifica. La biomasa es al principio pirolizada en el gas sintético bruto y el coque a baja temperatura; el gas sintético crudo fluye hacia arriba en el gasificador, el coque es transportado al gasificador, y tanto el gas sintético bruto como el coque son gasificados a alta temperatura. Dado que los intervalos de temperatura se ajustan adecuadamente, el gas sintético bruto producido no comprende óxidos de metales alcalinos; el alquitrán y el coque se transforman en el gas sintético primario; por lo tanto, la conversión de carbono es muy alta, el gas sintético primario adquirido está ausente de impurezas sucias y corrosivas para los dispositivos y tubos, y el procedimiento de limpieza posterior se vuelve mucho más sencillo.

15 En cuarto lugar, el calentador de soplete de plasma calienta las partículas sólidas empleando un aire circulado como medio, las partículas sólidas de alta temperatura suministran toda la energía calórica necesaria para la pirólisis y la gasificación de la biomasa.

20 La energía calórica del combustible de biomasa se transforma en una energía química, y la eficacia del gas enfriado está por encima del 88%, lo cual es un 8% más alta que la convencional.

25 En quinto lugar, el calentador de soplete de plasma tiene una alta eficacia calórica y una potencia de entrada ajustable. Cuando los componentes del combustible de la biomasa cambian, la potencia del calentador de la soplete de plasma puede ser ajustada, de modo que es muy práctico controlar la temperatura del vapor de agua saturado, mantener el gasificador funcionando de manera estable y asegurar una salida estable del gas sintético primario y una propiedad estable.

El procedimiento y el sistema de la invención son aplicables a diferentes tipos de combustibles de biomasa y son especialmente aplicables en industrias de la gasificación de biomasa integrada en ciclo combinado y el combustible líquido de biomasa.

30 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1 es un diagrama de la estructura de un sistema de pirólisis y gasificación de biomasa.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

35 Un procedimiento y un sistema para la pirólisis y la gasificación de biomasa se describe concretamente en combinación con los dibujos adjuntos:

40 Como se muestra en la Fig. 1, un sistema para la pirólisis y la gasificación de biomasa, comprende: una cinta transportadora 1; una tolva 2; un alimentador de tornillo 5 para transportar la biomasa; un horno de pirólisis 6 y un gasificador 4 que funcionan como reactores principales, estando el gasificador 4 dispuesto sobre el horno de pirólisis 6 y una cavidad interna del horno de pirólisis 6 y una cavidad interna del gasificador 4 interconectados verticalmente; un calentador de partículas 10, un calentador de soplete de plasma 11, un soplador de escape 12 y un primer intercambiador de calor 13 que están conectados uno a uno para formar una circulación para calentar las partículas sólidas y un vapor de agua saturado sucesivamente; un depósito de almacenamiento de agua 16, una bomba de agua 15 y un segundo intercambiador de calor 14 para enfriar el gas sintético primario y producir el vapor de agua saturado; un colector de polvo 17, una torre de desacidificación 18 y unos desecadores 19 para una limpieza posterior del gas sintético.

Un extremo de salida de la cinta transportadora 1 está dispuesto por encima de una entrada de la tolva 2, una salida de la tolva 2 está conectada a una entrada de alimentación del alimentador de tornillo 5 y una salida de alimentación del alimentador de tornillo 3 está conectada a una entrada de alimentación del horno de pirólisis 6.

5 El gasificador 4 está dispuesto sobre el horno de pirólisis 6; la cavidad interna del gasificador 4 y la cavidad interior del horno de pirólisis 6 están interconectadas. Una intersección de la cavidad interna del horno de pirólisis 6 y la cavidad interna del gasificador 4 forma un cuello de botella. La intersección es una salida de gas del horno de pirólisis 6 así como una entrada de gas del gasificador 4. Al menos una capa de una rejilla de malla está dispuesta en la intersección para bajar y controlar la velocidad descendente de las partículas sólidas. El horno de pirólisis 6 y el gasificador 4 comprenden una carcasa que comprende una funda refrigerada con agua o una funda refrigerada con aire, y tiene un aislamiento térmico eficaz.

10 La entrada de alimentación del horno de pirólisis 6 está dispuesta sobre una parte superior; para asegurar una adición uniforme de biomasa y un campo de flujo estable dentro del horno de pirólisis 6, el número de la entrada de alimentación es de dos a cuatro. El horno de pirólisis 6 comprende una salida de cenizas dispuesta en un fondo; el número de la salida de cenizas es uno o dos. La ceniza descargada desde la salida de cenizas del horno de pirólisis 6 está en estado líquido. La salida de cenizas está conectada a una entrada de cenizas de un separador de partículas 7 para separar las partículas sólidas de la ceniza. Una salida de cenizas del separador de partículas 7 está conectada a una entrada de cenizas de un enfriador de cenizas 8 para enfriar la ceniza que comprende un coque. Una salida de cenizas del enfriador de cenizas 8 está conectada a una entrada de alimentación de un separador de cenizas-coque 9 para separar el coque de la ceniza.

20 Preferiblemente, una salida de partículas del separador 7 de partículas está conectada a una entrada de alimentación del calentador 10 de partículas a través de un transportador de partículas 24. Una salida de coque del separador de cenizas-coque 9 está conectada a una entrada de coque del gasificador 4 a través de un transportador de coque 22. En comparación con el transporte manual, el procedimiento de la invención ahorra energía y garantiza un funcionamiento estable y continuo del gasificador 4.

25 La entrada de coque del gasificador 4 está dispuesta sobre una parte superior o un extremo superior. Para garantizar una adición uniforme de coque y un campo de flujo estable dentro del gasificador 4, el número de la entrada de coque es uno o dos según la capacidad. Una salida de gas del gasificador 4 está dispuesta en la parte superior y conectada a una entrada de gas del segundo intercambiador de calor 11, una salida de gas del segundo intercambiador de calor 11 está conectada al colector de polvo 17, a la torre de desacidificación 18 y al desecador 19 en secuencia, y una salida del desecador 19 está conectada a un depósito de almacenamiento de gas 20.

30 Como mejora, se conecta un dispositivo de protección de nitrógeno 3 a la entrada de alimentación del horno de pirólisis 6 y a la entrada de partículas del gasificador 4, de manera que se forma una capa de sellado de nitrógeno para separar eficazmente el gas sintético del aire.

35 Los vapores de agua saturados pulverizados en el horno de pirólisis 6 y el gasificador 4 se transforman de un agua blanda o un agua desalada en el depósito de almacenamiento de agua 16 después del intercambio de calor con el aire circulado y el gas sintético primario en el primer intercambiador de calor 13 y el segundo intercambiador de calor 14, respectivamente. El depósito de almacenamiento de agua 16 está conectado a una entrada de agua del primer intercambiador de calor 13 y una entrada de agua del segundo intercambiador de calor 14 a través de la bomba de agua 15. Tanto una salida de vapor del primer intercambiador de calor 13 como una salida de vapor del segundo intercambiador de calor 14 están conectadas a una boquilla de vapor del horno de pirólisis 6 así como a una boquilla de vapor del gasificador 4. Como estructura mejorada, las boquillas de vapor dispuestas en el horno de pirólisis 6 y el gasificador 4 se agrupan en 2-4 niveles de altura, respectivamente, y las boquillas de vapor de cada nivel están dispuestas uniformemente y tangencialmente a lo largo de una dirección circunferencial. De este modo, se mantiene un vapor presentado uniforme y estable, y se consigue un contacto total entre el vapor de agua saturado y los reactivos.

45 Las partículas sólidas son calentadas indirectamente por el calentador de soplete de plasma 11 mediante un procedimiento intermedio de calentamiento de aire circulado. Una salida de aire del primer intercambiador de calor 13 está conectada a una entrada de aire del calentador de soplete de plasma 11 a través del soplador de escape 12, una salida de aire del calentador de soplete de plasma 11 está conectada a una entrada de aire del calentador de partículas 10 y una salida de aire del calentador de partículas 11 está conectado a una entrada de aire del primer intercambiador de calor 13. Una salida de alimentación del calentador de partículas 10 está conectada a una entrada de partículas del gasificador 4 para suministrar un recurso energético de calor estable a la biomasa.

50 El sistema también comprende el almacén de cenizas 23. La salida de cenizas del separador de cenizas-coque 9 es transportada al depósito de cenizas 23 de modo manual o mecánico.

Un procedimiento para la pirólisis y gasificación de biomasa utilizando el sistema anterior se describe concretamente de la siguiente manera:

- 5 A) Iniciar el soplador de escape 12 y el calentador de soplete de plasma 11, calentar gradualmente el aire circulado a una temperatura de 1800-2000 °C. El aire circulado intercambia calor con las partículas sólidas en el calentador de partículas 10. Después del intercambio de calor, las partículas sólidas se calientan a una temperatura de 1400-1800 °C. El aire circulado se enfría a una temperatura de 500-650 °C y es transportado al primer intercambiador de calor 13 para la utilización del calor residual. Las partículas sólidas de alta temperatura son transportadas a la entrada de partículas del gasificador 4 y caen al gasificador 4 y al horno de pirólisis 6 en secuencia, debido a la gravedad. La temperatura y la tasa de flujo de las partículas sólidas se ajustan hasta que la temperatura de funcionamiento del gasificador 4 sea de 1200-1400 °C y una temperatura de funcionamiento del horno de pirólisis 6 sea 500-650 °C.
- 10 B) La biomasa molida es transportada al horno de pirólisis 6 a través de la cinta transportadora 1, la tolva 2 y el alimentador de tornillo 5 a su vez, al mismo tiempo se introduce nitrógeno desde el dispositivo de protección de nitrógeno 3 a la entrada de alimentación del horno de pirólisis 6 así como a la entrada de partículas del gasificador 4. Cuando la biomasa es una paja gris, por ejemplo, ramas y raíces de árboles, el tamaño de partícula de la biomasa se controla por debajo de 50 mm x 50 mm y el contenido de agua de la biomasa se controla por debajo de un 40%.
- 15 Cuando la biomasa es paja amarilla, por ejemplo, tallos de grano trillado, paja, tallos de maíz, el tamaño de partícula de la biomasa puede ser relativamente grande.
- 20 C) El agua desalada sale desde depósito de almacenamiento de agua 16 hasta la entrada de agua del primer intercambiador de calor 13 y hasta la entrada de agua del segundo intercambiador de calor 14 a través de la bomba de agua 16. En el primer intercambiador de calor 13, el agua desalada extrae un calor residual del aire circulado y el aire circulado se enfría desde la temperatura de 500-650 °C hasta por debajo de 200 °C. Al mismo tiempo se producen 0,4-0,6 MPa de un vapor de agua saturado. A continuación, el aire enfriado es transportado al calentador de soplete de plasma 11 para recalentar. En el segundo intercambiador de calor 14, el agua desalada extrae un calor sensible del gas sintético primario que se enfría a una temperatura de 260-320 °C y, al mismo tiempo, se producen 0,4-0,6 MPa de un vapor de agua saturado. Los vapores de agua saturados de la salida de vapor del primer intercambiador de calor 13 y la salida de vapor del segundo intercambiador de calor 14 se introducen a las boquillas de vapor del horno de pirólisis 6 así como a las boquillas de vapor del gasificador 4.
- 25 D) El vapor de agua saturado se introduce en el horno de pirólisis 6 a una velocidad de 35-50 m/s; los parámetros de funcionamiento del horno de pirólisis 6 son: 500-650 °C de la temperatura, y 105-109 kPa de una presión; de manera que la biomasa se pone en contacto completamente con el vapor de agua saturado y se piroliza en el gas sintético bruto y la ceniza que comprende el coque. El gas sintético bruto se mantiene en el horno de pirólisis 6 durante 15-20 s y la salida del horno de pirólisis 6 es a una velocidad de 15-20 m/s.
- 30 E) La ceniza que comprende el coque está a la temperatura de 500-650 °C y se mezcla con las partículas sólidas, después de ser transportada desde la salida de cenizas del horno de pirólisis 6 al separador de partículas 7, las partículas sólidas se separan de la ceniza que comprende el coque. Las partículas sólidas retornan al calentador de partículas 10 a través del transportador de partículas 24 para la circulación siguiente. La ceniza que comprende el coque es transportada al enfriador de cenizas 8, después de una recuperación de calor, la temperatura de la ceniza que comprende la ceniza se enfría por debajo de 150 °C. El coque se separa de la ceniza mediante el separador de cenizas-coque 9 y, a continuación, es transportado al gasificador 9 a través del transportador de coque 22, mientras que la ceniza procedente del separador de cenizas-coque 9 es transportada al depósito de cenizas 23 de un modo manual o mecánico.
- 35 F) El gas sintético bruto a la temperatura de 500-650 °C cruza la rejilla de malla 21 en la intersección de cuello de botella y fluye hacia arriba en el gasificador 4, al mismo tiempo que el vapor de agua saturado es introducido en el gasificador 4 a una velocidad de 35-50 m/s; el gasificador 4 se controla a la temperatura de funcionamiento de 1200-1400 °C y a una presión de funcionamiento de 105-109 kPa, de modo que el gas sintético bruto y el coque se ponen en contacto completamente con el vapor de agua saturado para gasificar en el gas sintético primario. El gas sintético primario se mantiene en el gasificador 4 durante 15-20 s y la salida del gasificador 4 a una velocidad de 15-20 m/s.
- 45 G) El gas sintético primario a la temperatura de 1200-1400 °C es transportado desde el gasificador 4 a la entrada de gas del segundo intercambiador de calor 14 a través del tubo. Después de ser enfriado a la temperatura de 260-320 °C con el agua desalada, el gas sintético primario se emite desde la salida de gas del segundo intercambiador de calor 14 al colector de polvo 17. El polvo en el gas sintético primario se detiene en el colector de polvo 17 y una concentración de polvo del gas sintético primario a la salida del colector de polvo 17 está por debajo de 50 mg/Nm³.
- 50 H) Después de la eliminación del polvo, el gas sintético primario es transportado a la torre de desacidificación 18, en la cual se eliminan ingredientes dañinos como H₂S, COS, HCl, NH₃ y HCN.
- I) Después de la desacidificación, el gas sintético primario es transportado al desecador 19, en el cual se elimina el agua y se adquiere el gas sintético limpio. El gas sintético limpio es transportado al depósito de almacenamiento de gas 20 y se almacena para su posterior aplicación industrial.
- 55

5 Después de repetidas pruebas y detecciones de datos, los componentes principales del gas sintético limpio y las características de los mismos se muestran en la Tabla 1. Como se muestra en la Tabla 1, el gas sintético limpio producido por el procedimiento comprende el 90% de un contenido total de (CO+ H₂), una relación H₂/CO es igual o mayor que 1, un valor calórico del gas sintético es de 12,5-13,4 MJ/Nm³ y una eficacia del gas enfriado es aproximadamente del 87%. Por lo tanto, el gas sintético puede traer grandes beneficios comerciales y es especialmente aplicable en industrias de la gasificación de biomasa integrada en ciclo combinado y el combustible líquido de biomasa.

Tabla 1

Número	Componente	Unidad	Valor
1	CO	% (vol.)	30-40
2	H ₂	% (vol.)	40-50
3	N ₂ + Ar	% (vol.)	< 1,0
4	CO ₂	% (vol.)	15-20
5	CH ₂	% (vol.)	5-6
6	C _n H _m	% (vol.)	< 2
7	Valor calórico de un gas sintético (LHV)	MJ/Nm ³	12.5-13,4
8	Eficacia de un gas refrigerado	%	-87,0

10

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un procedimiento de pirólisis y gasificación de biomasa, el procedimiento empleando una partícula sólida que tiene una alta capacidad térmica como portador de energía y vapor de agua saturado como oxidante, llevando a cabo la pirólisis y gasificación de la biomasa en un horno de pirólisis y un gasificador con las cavidades internas del mismo interconectadas y, finalmente, produciendo un gas sintético limpio; el procedimiento comprendiendo las siguientes etapas:
- 10 a) disponer el gasificador en el horno de pirólisis, interconectando una cavidad interna del gasificador y una cavidad interna del horno de pirólisis; calentar las partículas sólidas, introduciendo las partículas sólidas desde un extremo superior del gasificador en el gasificador y el horno de pirólisis en secuencia; controlar una temperatura de funcionamiento de la cavidad interna del horno de pirólisis a 500-800 °C y una temperatura de funcionamiento de la cavidad interna del gasificador a 1200-1600 °C;
- 15 b) triturar la biomasa, alimentar la biomasa en el horno de pirólisis mientras se pulveriza el vapor de agua saturado en el horno de pirólisis, poniendo en contacto la biomasa con el vapor de agua saturado a 500-800 °C para pirolizar la biomasa y producir gas sintético bruto y ceniza que comprende coque;
- 20 c) separar la ceniza que comprende el coque de las partículas sólidas, calentar las partículas sólidas y transportar las partículas sólidas en el gasificador para la circulación siguiente;
- d) enfriar la ceniza y separar el coque;
- e) introducir el gas sintético bruto en el gasificador a través de las cavidades interiores interconectadas, transportar el coque en el gasificador mientras se pulveriza el vapor de agua saturado en el gasificador, poniendo en contacto el coque y el gas sintético bruto con el vapor de agua saturado a 1200-1600 °C para gasificar el coque y el gas sintético bruto y producir gas sintético primario; y
- f) enfriar, eliminar el polvo, desacidificar y desecar el gas sintético primario para producir gas sintético limpio.
- 25 2.- El procedimiento de la reivindicación 1 **caracterizado porque** la partícula sólida que tiene una alta capacidad térmica es una partícula de tierras raras, una partícula cerámica o arena de cuarzo, y un diámetro de la partícula sólida está por debajo de 5 mm.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 2 **caracterizado porque** en la etapa a) se proporciona una atmósfera de nitrógeno en las entradas de alimentación del horno de pirólisis y del gasificador.
- 30 4.- El procedimiento de las reivindicaciones 1, 2 o 3 **caracterizado porque**
- la temperatura de funcionamiento del horno de pirólisis se controla a 500-650 °C, una presión de funcionamiento del horno de pirólisis se controla a 105-109 kPa;
- 35 una velocidad de entrada del vapor de agua saturado al horno de pirólisis es de 35-50 m/s; y un tiempo de retención del gas sintético bruto en el horno de pirólisis es de 15-20 s y una velocidad de salida del gas sintético bruto desde el horno de pirólisis es de 15-20 m/s.
- 5.- El procedimiento de las reivindicaciones 1, 2 o 3 **caracterizado porque**
- la temperatura de funcionamiento del gasificador se controla a 1200-1400 °C y una presión de funcionamiento del gasificador se controla a 105-109 kPa;
- 40 una velocidad de entrada del vapor de agua saturado en el gasificador es de 35-50 m/s;
- y
- un tiempo de retención del gas sintético primario en el gasificador es de 15-20 s y una velocidad de salida del gas sintético primario del gasificador es de 15-20 m/s.
- 45 6.- El procedimiento de la reivindicación 1, 2 o 3 **caracterizado porque** el gas sintético primario se enfría hasta una temperatura de 260-320 °C y, a continuación, se separa del polvo, se desacidifica y se deseca.
- 7.- Un sistema de pirólisis y gasificación de biomasa de acuerdo con el procedimiento de la reivindicación 1, comprendiendo el sistema:
- el horno de pirólisis (6);

el gasificador (4);

un calentador de partículas (10);

un calentador de soplete de plasma (11);

un soplador de escape (12);

5 un primer intercambiador de calor (13);

un depósito de almacenamiento de agua (16);

una bomba de agua (15); y

un segundo intercambiador de calor (14);

caracterizado porque

10 el gasificador (4) está dispuesto en el horno de pirólisis (6), la cavidad interna del gasificador (4) y la cavidad interior del horno de pirólisis (6) están interconectadas;

15 el depósito de almacenamiento de agua (16) está conectado a una entrada de agua del primer intercambiador de calor (13) y a una entrada de agua del segundo intercambiador de calor (14) a través de la bomba de agua (15); tanto una salida de vapor del primer intercambiador de calor (13) como una salida de vapor del segundo intercambiador de calor (14) están conectadas a una boquilla de vapor del horno de pirólisis (6) así como a una boquilla de vapor del gasificador (4).

20 una salida de aire del primer intercambiador de calor (13) está conectada a una entrada de aire del calentador de soplete de plasma (11) a través del soplador de escape (12), una salida de aire del calentador de soplete de plasma (11) está conectada a una entrada de aire del calentador de partículas (10) y una salida de aire del calentador de partículas está conectada a una entrada de aire del primer intercambiador de calor (13);

una salida de alimentación del calentador de partículas (10) está conectada a una entrada de partículas del gasificador (4); una salida de gas del gasificador (4) está conectada a una entrada de gas del segundo intercambiador de calor (14); una salida de gas del segundo intercambiador de calor (14) está conectada a un colector de polvo (17), una torre de desacidificación (18) y un desecador (19) en secuencia;

25 una salida de cenizas del horno de pirólisis (6) está conectada a una entrada de alimentación de un separador de partículas (7); una salida de cenizas del separador de partículas (7) está conectada a una entrada de cenizas de un enfriador de cenizas (8); y una salida de cenizas del enfriador de cenizas (8) está conectada a una entrada de alimentación de un separador de cenizas-coque (9);

30 una salida de coque del separador de cenizas-coque (9) está conectada a una entrada de coque del gasificador (4) a través de un transportador de coque (22), y

una salida de partículas del separador de partículas (7) está conectada a una entrada de alimentación del calentador de partículas (10) a través de un transportador de partículas (24).

35 8.- El sistema de la reivindicación 7 **caracterizado porque** un dispositivo de protección de nitrógeno (3) está conectado tanto a una entrada de alimentación del horno de pirólisis (6) como a la entrada de partículas del gasificador (4).

9.- El sistema de la reivindicación 7 u 8 **caracterizado porque** las boquillas de vapor dispuestas en el horno de pirólisis (6) y el gasificador (4) se agrupan en 2-4 niveles de altura, respectivamente, y las boquillas de vapor de cada nivel están dispuestas uniformemente y tangencialmente a lo largo de una dirección circunferencial.

40 10.- El sistema de la reivindicación 7 u 8 **caracterizado porque** una intersección de la cavidad interna del horno de pirólisis (6) y la cavidad interna del gasificador (4) forma un cuello de botella y, al menos una capa de una rejilla de malla está dispuesta en la intersección.

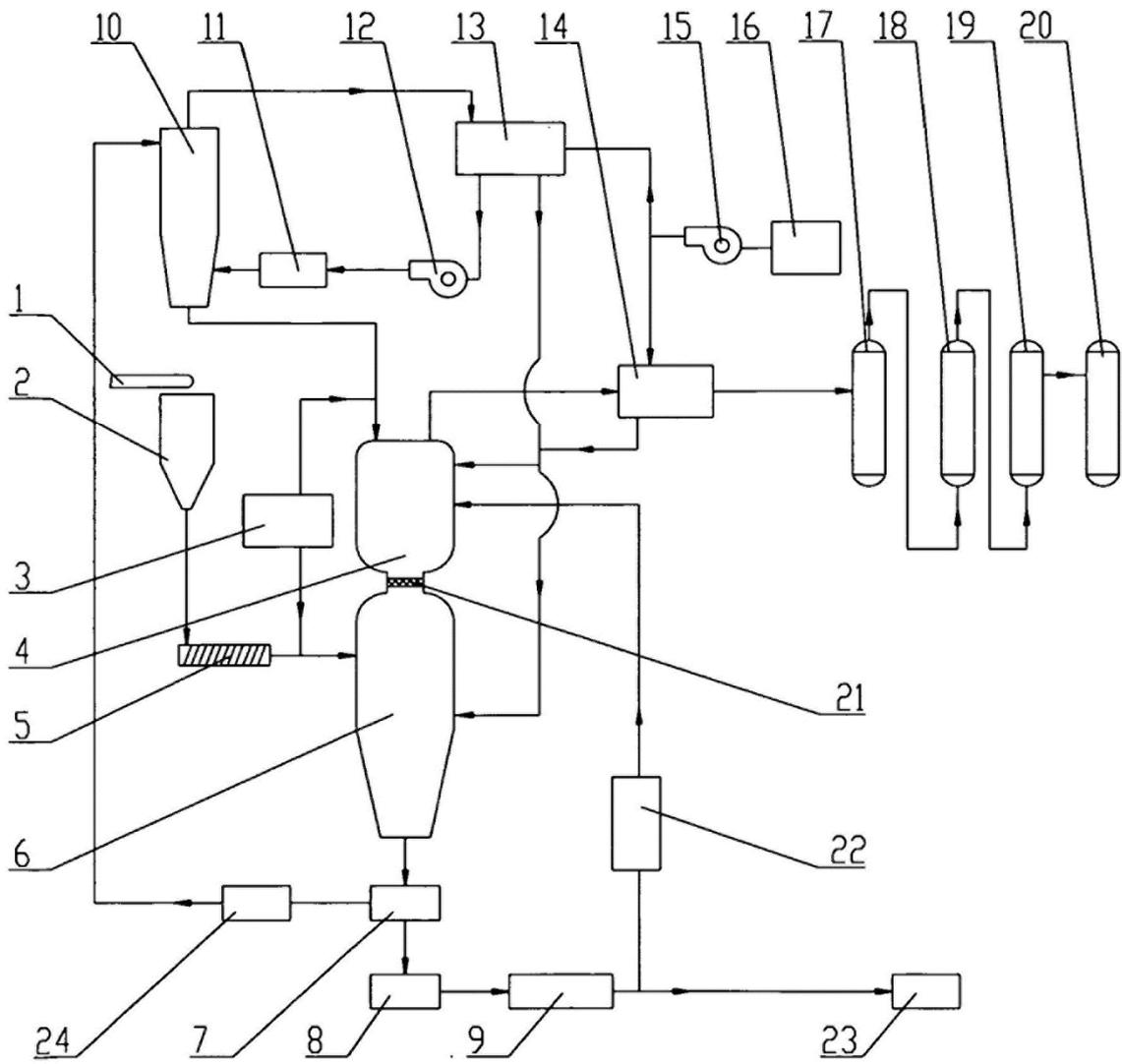


Fig.1