

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 255**

51 Int. Cl.:

**C10J 3/46** (2006.01)

**C10J 3/48** (2006.01)

**C10J 3/18** (2006.01)

**C10J 3/50** (2006.01)

**C10J 3/72** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2012 PCT/CN2012/083562**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13097532**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2012 E 12863948 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017 EP 2799522**

54 Título: **Gasificador de biomasa de flujo arrastrado con plasma por microondas y su proceso**

30 Prioridad:

**29.12.2011 CN 201110449413**

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

**06.02.2018**

73 Titular/es:

**WUHAN KAI DI ENGINEERING TECHNOLOGY  
RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. (100.0%)  
T1 Jiangxia Avenue, Miaoshan Development  
Zone, Jiangxia District  
Wuhan, Hubei 430223, CN**

72 Inventor/es:

**CHEN, YILONG;  
ZHANG, YANFENG;  
XIA, MINGGUI y  
ZHANG, LIANG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 653 255 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**

Gasificador de biomasa de flujo arrastrado con plasma por microondas y su proceso.

Campo de la invención

5 La invención se refiere a la gasificación de biomasa y, en particular, a un gasificador de flujo arrastrado y un método de gasificación que utiliza dicho gasificador para sintetizar gas de síntesis a partir de combustible de biomasa en presencia de plasma excitado por microondas.

Antecedentes de la invención

10 Actualmente, en el campo de solicitud de energía de biomasa, la tecnología de gasificación de biomasa tiene amplia adaptabilidad a especies y un potencial de desarrollo enorme. El proceso de gasificación de biomasa generalmente incluye gasificación de lecho fijo, gasificación de lecho fluidificado y gasificación de flujo arrastrado. La gasificación del lecho fijo tiene problemas tal y como baja temperatura de gasificación, alto contenido de brea y gas de síntesis de baja calidad. La gasificación de lecho fluidificado tiene una temperatura de gasificación moderada y una alimentación y descarga moderada conveniente, para garantizar la fluidificación estable, la temperatura de la caldera se debe controlar para que sea moderada. Una temperatura de gasificación baja deriva en un alto contenido de brea en el gas de síntesis. La brea es difícil de quitar y bloquea y corroe fácilmente las válvulas, las tuberías y los equipos auxiliares. Quitar la brea es muy costoso. La gasificación de flujo arrastrado tiene una temperatura de reacción alta y uniforme, una gran eficacia de gasificación, y la brea queda completamente fraccionada. Sin embargo, la gasificación de flujo arrastrado tiene un requisito exigente en cuanto al tamaño de partícula de la materia prima. En general, el tamaño de partícula debería de ser menor a 0,1 mm. La biomasa contiene demasiada celulosa, que es muy difícil de pulverizar para tener un tamaño de partícula pequeño con el fin de cumplir con el requisito del lecho de flujo arrastrado. Cuanto más pequeño es el tamaño de partícula requerido, mayor es la abrasión del pulverizador, y mayor es el consumo de energía. Un tamaño de partícula grande provoca una tasa de conversión de carbono baja y una eficacia de gas frío baja, que limita enormemente la aplicación de lechos de flujo arrastrado convencionales en la síntesis de gas de síntesis.

25 Compendio de la invención

En vista de los problemas descritos, un objeto de la invención es proporcionar un gasificador de flujo arrastrado y un método de gasificación que utiliza dicho gasificador para sintetizar gas de síntesis de monóxido de carbono e hidrógeno a partir de combustible de biomasa en presencia de plasma excitado por microondas con características de economía, alta eficacia, y fiabilidad.

30 Para lograr el objeto anterior, se adoptan los siguientes sistemas técnicos.

Un gasificador de biomasa de flujo arrastrado basado en plasma por microondas comprende un cuerpo de caldera y un sistema de pretratamiento de combustible. El cuerpo de caldera está dispuesto de forma vertical y comprende una entrada de combustible en una parte inferior del cuerpo de caldera, una salida de gas de síntesis dispuesta en una parte superior del cuerpo de caldera, y una salida de escoria dispuesta en la parte inferior del cuerpo de caldera. La entrada de combustible se presenta en forma de boquillas. El sistema de pretratamiento de combustible está dispuesto fuera del cuerpo de caldera, y comprende un aparato pulverizador de combustible, un aparato de cribado dispuesto más abajo del aparato pulverizador, un primer recipiente de combustible para recibir combustible de tamaño de partícula cualificado, un segundo recipiente de combustible para recibir combustible de tamaño de partícula no cualificado, y una tolva de alimentación dispuesta más abajo del primer recipiente de combustible. El primer recipiente de combustible y el segundo recipiente de combustible están dispuestos uno al lado del otro más abajo del aparato de cribado; una parte inferior de la tolva de alimentación está conectada al cuerpo de caldera mediante las boquillas. Una unidad de supervisión está dispuesta cerca de la salida del gas de síntesis en la parte superior del cuerpo de caldera. Las boquillas están dispuestas de forma radial a lo largo del cuerpo de caldera y son entre 2 y 4. Una o dos capas de los generadores de plasma por microondas están dispuestas en paralelo en una zona de gasificación del cuerpo de caldera, y cada capa del generador de plasma por microondas comprende entre 2 y 4 entradas de gas activo.

Los generadores de plasma por microondas están dispuestos de forma horizontal/tangencial en el cuerpo de caldera, con el fin de prolongar el tiempo de retención de las partículas de fusión de la biomasa en el entorno de plasma.

50 Los generadores de plasma por microondas presentan una amplia separación de las puntas de electrodo, una fuerte actividad plasmática, y un amplio intervalo de volumen.

Una fuente de potencia para microondas de los generadores de plasma por microondas tiene una frecuencia básica de 2,45 GHz y una potencia de un único generador de plasma por microondas está dentro de los 200 kW.

Un método para gasificar biomasa utilizando el gasificador de flujo arrastrado comprende:

1) pulverizar y cribar un combustible de biomasa utilizando el sistema de pretratamiento de combustible para producir partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado, y transportar las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado a la tolva de alimentación para su uso;

5 2) introducir gas activo de las entradas de gas activo en el generador de plasma por microondas, excitar el gas activo para producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una actividad de plasma alta, y rociar el plasma en el gasificador;

10 3) rociar las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado en el gasificador mediante las boquillas, rociar de manera sincronizada un oxidante mediante una entrada de oxígeno/vapor hacia el gasificador, de manera que una temperatura alta y una reacción química térmica rápida entre las partículas de combustible y el oxidante en presencia de plasma de gran actividad lleve a producir gas de síntesis que comprenda monóxido de carbono e hidrógeno; y

15 4) supervisar la temperatura y componentes del gas de síntesis, regular la tasa de flujo de oxígeno, la tasa de flujo de vapor y la potencia de microondas para mantener los parámetros de proceso dentro de un intervalo preestablecido, recolectar el gas de síntesis que presente una temperatura de entre 900 y 1200°C de la salida de gas de síntesis en la parte superior del cuerpo de caldera, y descargar escorias líquidas de la salida de escoria.

20 En la etapa 1), las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado son recibidas por el primer recipiente de combustible, las partículas de combustible de tamaño de partícula no cualificado primero son recibidas por el segundo recipiente de combustible y después se devuelven al sistema de pretratamiento de combustible para pulverizarlas nuevamente hasta que cumplan el requisito de tamaño de partícula; las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado se transportan desde el primer recipiente a la tolva de alimentación; y el tamaño de partículas de las partículas de combustible es de entre 0 y 5 mm.

25 En la etapa 2), el encendido de los generadores de plasma por microondas sucede entre 2 y 3 segundos antes del encendido de las boquillas del gasificador; el gas activo comprende un oxidante auxiliar, y es introducido en los generadores de plasma por microondas mediante las entradas de gas activo para su excitación con el fin de producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una alta actividad de plasma.

30 En la etapa 3), las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado se transportan mediante un gas portador y se rocían en el gasificador mediante las boquillas; los oxidantes se rocían de forma sincronizada en el gasificador mediante la entrada de oxígeno/vapor, de manera que una reacción de oxidación-reducción parcial y un reacción de gasificación de temperatura alta entre las partículas de combustible y el oxidante lleven a producir gas de síntesis que comprenda una gran cantidad de monóxido de carbono e hidrógeno y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, y COS.

35 El gas de síntesis fluye en dirección ascendente hacia la zona de gasificación de los generadores de plasma por microondas, y se mezcla con el gas de plasma rociado de forma horizontal/tangencial para una reacción de gasificación termoquímica de alta temperatura de entre 1200 y 1800 °C, una temperatura de zona central está entre 1800 y 2000 °C, un tiempo de retención del gas de síntesis en la zona de gasificación es de entre 1 y 10 segundos, y la potencia de los generadores de plasma por microondas se controla para lograr que la reacción se lleve a cabo por completo.

40 En la etapa 4), el volumen de contenido de CO y H<sub>2</sub> en el gas de síntesis supera el 85%, el gas de síntesis no contiene breña ni compuestos fenólicos, la escoria líquida descargada de la salida de escoria se enfría para que no tenga contaminación, con lo cual se puede utilizar como un material de aislamiento térmico.

En las etapas 2) y 3), el gas activo y el gas portador son aire y/u oxígeno y/o vapor; y el vapor se origina del reciclado de calor sensible del gas de síntesis de alta temperatura.

45 En esta descripción, el generador de plasma por microondas está dispuesto en la zona de gasificación del gasificador. El gas activo en el generador de plasma por microondas es excitado por las microondas para producir plasma. El plasma excitado por microondas es rico en oxidantes y tiene las características de temperatura alta, grado de ionización alto, alta dispersidad y gran actividad. Cuando se rocía el gas activo en la zona redox del lecho de flujo arrastrado, en presencia de la temperatura alta y gran actividad de plasma, por un lado, se mejora la temperatura de reacción, lo cual acelera la reacción química, por otro lado, la temperatura alta y la gran actividad de plasma puede mejorar enormemente la reacción química entre el gas de síntesis y las partículas de biomasa de fase sólida/fase líquida, mejorando así la tasa de transferencia de calor y de masa, y acortando el tiempo de reacción química del combustible de biomasa. La conversión de combustible se mejora de manera significativa dentro del mismo tiempo de retención. En comparación con el carbón, el combustible de biomasa tiene un amplio espacio vacío, una gran actividad y un punto de fusión bajo. Por lo tanto, en presencia de alta temperatura y gran actividad de plasma, el tamaño de partícula del combustible de biomasa aplicado puede ser significativamente más alto que el que se requiere en un lecho de flujo arrastrado convencional, y el efecto de conversión es ideal.

Asimismo, el generador de plasma por microondas suministra un oxidante auxiliar para la reacción de gasificación, lo que garantiza el equilibrio y uniformidad del suministro de los reactivos, e ingresa una energía térmica determinada,

que ofrece una fuente térmica externa. La incorporación del oxidante auxiliar es una buena forma de regular el funcionamiento del gasificador.

Se resumen a continuación las ventajas según las realizaciones de la invención:

- 5 1. El combustible de biomasa tiene una gran actividad, en presencia de plasma excitado por microondas de temperatura alta, la tasa de conversión de carbono alcanza aproximadamente el 99%, la eficacia de gas frío supera el 85%, y los componentes activos de CO y H<sub>2</sub> tienen alto contenido.
2. El gas de síntesis resultante del gasificador de flujo arrastrado no contiene brea ni compuestos fenólicos, y la posterior recolección de gas de síntesis es conveniente.
- 10 3. En esta descripción, los combustibles de biomasa no necesitan ser pulverizados para tener tamaños de partícula extremadamente pequeños, es decir, el intervalo de aplicación de los tamaños de partícula del combustible de biomasa es amplio y, por lo tanto, el gasificador es de una buena eficacia económica.
4. La alimentación de material y la descarga de escoria son fáciles, y la intensidad de gasificación es alta, lo cual facilita su divulgación.

Breve descripción de los dibujos

- 15 La invención se describe en la presente memoria en referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un gasificador de biomasa de flujo arrastrado basado en plasma por microondas y un diagrama de flujo de un método de gasificación que utiliza dicho gasificador según una realización de la invención.

La Figura 2 es una vista transversal tomada según la línea A-A de la Figura 1.

- 20 En los dibujos, se utilizan los siguientes números de referencia: 1. Aparato pulverizador de combustible; 2. aparato de cribado; 3. primer recipiente de combustible para recibir combustible de tamaño de partícula cualificado; 4. Segundo recipiente de combustible para combustible de tamaño de partícula cualificado; 5. Tolva de alimentación; 6. Boquilla; 7. Generador de plasma por microondas; 8. Gasificador; 9. Salida de gas sintético; 10. Salida de escoria; 11. Entrada de gas activo; 12. Unidad de supervisión; 13. Entrada de oxígeno/vapor.

- 25 Descripción detallada de las realizaciones

Tal y como se muestra en las Figuras 1 y 2, un gasificador de biomasa 8 de flujo arrastrado basado en plasma por microondas, comprende un cuerpo de caldera cilíndrico y un sistema de pretratamiento de combustible. El cuerpo de caldera está dispuesto de forma vertical y comprende una entrada de combustible dispuesta en una parte inferior del cuerpo de caldera, una salida de gas de síntesis 9 dispuesta en una parte superior del cuerpo de caldera, y una salida de escoria 10 dispuesta en una parte inferior del cuerpo de caldera. La entrada de combustible se presenta en forma de boquillas 6. El sistema de pretratamiento de combustible está dispuesto fuera del cuerpo de caldera, y comprende un aparato pulverizador de combustible 1, un aparato de cribado 2 dispuesto más abajo del aparato pulverizador de combustible 1, un primer recipiente de combustible 3 para recibir combustible de tamaño de partícula cualificado, un segundo recipiente de combustible 4 para recibir combustible de tamaño de partícula no cualificado, y una tolva de alimentación 5 dispuesta más abajo del primer recipiente de combustible. El primer recipiente de combustible y el segundo recipiente de combustible están dispuestos uno al lado del otro más abajo del aparato de cribado. Una parte inferior de la tolva de alimentación 5 está conectada al cuerpo de caldera mediante las boquillas 6. Una o dos capas de los generadores de plasma por microondas 7 están dispuestas en paralelo en una zona de gasificación del cuerpo de caldera para ampliar la zona de reacción de plasma, y cada capa del generador de plasma por microondas comprende entre 2 y 4 entradas de gas activo 11 (son tres en la Figura 2). El cuerpo de caldera del gasificador es cilíndrico, o una combinación de cono y cilindro.

El posicionamiento de los generadores de plasma por microondas afecta enormemente la gasificación del combustible de biomasa. En este ejemplo, los generadores de plasma por microondas 7 están dispuestos en el cuerpo de caldera, tanto de forma horizontal como tangencial. Por lo tanto, el flujo de gas es completamente burbujeante con el fin de prolongar el tiempo de retención de las partículas de fusión de la biomasa en el entorno de plasma.

Se dispone una unidad de supervisión 12 cerca de la salida de gas de síntesis 9 en la parte superior del cuerpo de caldera para supervisar la temperatura y los componentes del gas de síntesis, con el fin de regular la tasa de flujo de oxígeno, la tasa de flujo de vapor, y la potencia de microondas para mantener los parámetros de proceso dentro de un intervalo preestablecido.

Las boquillas están dispuestas de forma radial a lo largo del cuerpo de caldera y son entre 2 y 4. Según sea necesario, la cantidad de boquillas se puede incrementar o disminuir.

Los generadores de plasma por microondas presentan una amplia separación de las puntas de electrodo, una fuerte actividad plasmática, y un amplio intervalo de volumen.

La fuente de potencia para microondas de los generadores de plasma por microondas tiene una frecuencia básica de 2,45 GHz y una potencia de un único generador de plasma por microondas está dentro de los 200 kW.

5 Un método para gasificar biomasa utilizando el gasificador de flujo arrastrado comprende:

1) pulverizar y cribar un combustible de biomasa utilizando el aparato pulverizador de combustible 1 y el aparato de cribado 2 para producir partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado.

10 Específicamente, el combustible de biomasa es pulverizado por el aparato pulverizador de combustible del sistema de pretratamiento de combustible para que tenga tamaños de partícula apropiados. El tamaño de partícula del combustible de biomasa es uno de los factores clave que afectan el proceso de gasificación. Cuanto más pequeño es el tamaño de partícula requerido, mayor es la abrasión del pulverizador, y mayor es el consumo de energía. Un tamaño de partícula grande provoca una tasa de conversión de carbono baja y una eficacia de gas de carbón enfriado baja. El combustible de biomasa pulverizado se transporta al aparato de cribado 2. A través del cribado, las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado son recibidas por el primer recipiente de combustible 3, y las partículas de combustible de tamaño de partícula no cualificado son recibidas primero por el segundo recipiente de combustible 4 y después se devuelven al sistema de pretratamiento de combustible para volver a pulverizarlas hasta que cumplan con el requisito de tamaño de partícula. Tomemos la cáscara de arroz como ejemplo, el tamaño de partícula de la cáscara de arroz es de entre 7 y 10 mm de longitud y de 2 mm de ancho. La cáscara de arroz apenas se tiene que pulverizar para tener un tamaño de partícula de entre 1 y 5 mm. Las ramas y pajas tienen un tamaño de partícula original grande, que puede primero pulverizarse mediante un pulverizador de disco o de tambor para tener un tamaño de partícula de entre 50 y 100 mm, y después pulverizarse mediante un molino de martillo para tener un tamaño de partícula de entre 1 y 5 mm.

25 2) Introducir gas activo de las entradas de gas activo 11 en el generador de plasma por microondas 7, excitar el gas activo para producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una actividad de plasma alta, y rociar el plasma en el gasificador 8.

30 Específicamente, el encendido de los generadores de plasma por microondas 7 se produce entre 2 y 3 segundos antes que el encendido de las boquillas 6 del gasificador. El gas activo comprende un oxidante auxiliar, y se introduce en los generadores de plasma por microondas 7 mediante las entradas de gas activo 11 para su excitación con el fin de producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una gran actividad del plasma, que además se rocía en el gasificador 8.

35 3) Rociar las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado en el gasificador 8 mediante las boquillas 6, rociar de manera sincronizada un oxidante mediante una entrada de oxígeno/vapor 13 hacia el gasificador, de manera que una temperatura alta y una reacción termoquímica rápida entre las partículas de combustible y el oxidante en presencia de plasma de gran actividad lleve a producir gas de síntesis que comprenda una gran cantidad de monóxido de carbono e hidrógeno y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, y COS.

40 Específicamente, las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado se transportan desde el primer recipiente 3 a la tolva de alimentación 5. A partir de ese momento, las partículas de combustible se transportan a las boquillas 6 del cuerpo de caldera desde la parte inferior de la tolva de alimentación con la ayuda de un agente gasificante y después entran al gasificador 8 mediante las boquillas 6. Los oxidantes se rocían de forma sincronizada en el gasificador mediante la entrada de oxígeno/vapor, de manera que una reacción de oxidación-reducción parcial y un reacción de gasificación de temperatura alta entre las partículas de combustible y el oxidante lleven a producir gas de síntesis que comprenda una gran cantidad de monóxido de carbono e hidrógeno y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, y COS.

45 El gas de síntesis fluye en dirección ascendente hacia la zona de gasificación de los generadores de plasma por microondas, y se mezcla con el gas de plasma rociado de forma horizontal/tangencial para una reacción de gasificación termoquímica de alta temperatura de entre 1200 y 1800 °C, una temperatura de zona central está entre 1800 y 2000 °C, un tiempo de retención del gas de síntesis en la zona de gasificación es de entre 1 y 10 segundos, y la potencia de los generadores de plasma por microondas se controla para lograr que la reacción se lleve a cabo por completo. El gas de síntesis finalmente se recolecta de la salida de gas de síntesis 9 dispuesta en la parte superior del gasificador. El contenido de volumen de CO y H<sub>2</sub> en el gas de síntesis supera el 85%. El gas de síntesis no contiene breña ni compuestos fenólicos. La escoria líquida descargada de la salida de escoria 9 se enfría para que no tenga contaminación, con lo cual se puede utilizar como material de aislamiento térmico. El vapor se origina del reciclaje del gas de síntesis de temperatura alta.

55 4) Supervisar la temperatura y los componentes del gas de síntesis, regular la tasa de flujo de oxígeno, la tasa de flujo de vapor y la potencia de microondas para mantener los parámetros de proceso dentro de un intervalo preestablecido, recolectar el gas de síntesis que presente una temperatura de entre 900 y 1200°C de la salida de

## ES 2 653 255 T3

gas de síntesis 9 en la parte superior del cuerpo de caldera, y descargar las escorias líquidas de la salida de escoria 10.

En la etapa 1), el tamaño de partícula de las partículas de combustible es de entre 0 y 5 mm, en particular, de aproximadamente 2 mm.

- 5 En las etapas 2) y 3), el gas activo y el gas portador son aire y/u oxígeno y/o vapor; y el vapor se origina del reciclado de calor sensible del gas de síntesis de alta temperatura.

10 Para lograr las condiciones de trabajo óptimas y cumplir con el requisito de rendimiento general de la gasificación, la clave es controlar la temperatura del lecho de flujo arrastrado, y regular la tasa de flujo de oxígeno, la tasa de flujo de vapor, y la potencia de microondas. La unidad de supervisión dispuesta cerca de la salida de gas de síntesis puede supervisar los parámetros anteriores en tiempo real, controlando así el proceso de gasificación mediante cadena y mediante la automatización completa, y manteniendo la estabilidad de funcionamiento del gasificador.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un gasificador (8) de biomasa de flujo arrastrado basado en plasma por microondas , comprendiendo el gasificador (8) un cuerpo de caldera y un sistema de pretratamiento de combustible, en donde el cuerpo de caldera está dispuesto de forma vertical y comprende una entrada de combustible (6) en una parte inferior del cuerpo de caldera, una salida de gas de síntesis (9) dispuesta en una parte superior del cuerpo de caldera, y una salida de escoria dispuesta en la parte inferior del cuerpo de caldera; en donde
- la entrada de combustible se presenta en forma de boquillas (6).
  - el sistema de pretratamiento de combustible está dispuesto fuera del cuerpo de caldera, y comprende un aparato pulverizador de combustible (1), un aparato de cribado (2) dispuesto más abajo del aparato pulverizador de combustible (1), un primer recipiente de combustible (3) para recibir combustible de tamaño de partícula cualificado, un segundo recipiente de combustible (4) para recibir combustible de tamaño de partícula no cualificado, y una tolva de alimentación (5) dispuesta más abajo del primer recipiente de combustible (3);
  - el primer recipiente de combustible (3) y el segundo recipiente de combustible (4) están dispuestos uno al lado del otro más abajo del aparato de cribado (2);
  - 10 - una parte inferior de la tolva de alimentación (5) está conectada al cuerpo de caldera mediante las boquillas (6);
  - una unidad de supervisión (12) está dispuesta cerca de la salida del gas de síntesis (9) en la parte superior del cuerpo de caldera;
  - las boquillas (6) están dispuestas de forma radial a lo largo del cuerpo de caldera y son entre 2 y 4;
- 20 caracterizado por que una o dos capas de los generadores de plasma por microondas (7) están dispuestas en paralelo en una zona de gasificación del cuerpo de caldera, y cada capa del generador de plasma por microondas (7) comprende entre 2 y 4 entradas de gas activo (11).
2. El gasificador (8) de la reivindicación 1, caracterizado por que los generadores de plasma por microondas (7) están dispuestos de forma horizontal/tangencial en el cuerpo de caldera.
- 25 3. El gasificador (8) de la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que los generadores de plasma por microondas (7) presentan una amplia separación de las puntas de electrodo, una fuerte actividad de plasma, y un amplio intervalo de volumen.
4. El gasificador (8) de la reivindicación 3, caracterizado porque una fuente de potencia para microondas de los generadores de plasma por microondas (7) tiene una frecuencia básica de 2,45 GHz y una potencia de un único generador de plasma por microondas está dentro de los 200 kW.
- 30 5. Un método para gasificar biomasa utilizando el gasificador de flujo arrastrado de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el método:
- pulverizar y cribar un combustible de biomasa utilizando el sistema de pretratamiento de combustible para producir partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado, y transportar las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado a la tolva de alimentación para su uso;
  - 35 introducir gas activo de las entradas de gas activo en el generador de plasma por microondas, excitar el gas activo para producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una actividad de plasma alta, y rociar el plasma en el gasificador;
  - rociar las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado en el gasificador mediante las boquillas, rociar de manera sincronizada un oxidante mediante una entrada de oxígeno/vapor hacia el gasificador, de manera que una temperatura alta y una reacción termoquímica rápida entre las partículas de combustible y el oxidante en presencia de plasma de gran actividad lleve a producir gas de síntesis que comprenda monóxido de carbono e hidrógeno; y
  - 40 supervisar la temperatura y los componentes del gas de síntesis, regular la tasa de flujo de oxígeno, la tasa de flujo de vapor y la potencia de microondas para mantener los parámetros de proceso dentro de un intervalo preestablecido, recolectar el gas de síntesis que presente una temperatura de entre 900 y 1200°C de la salida de gas de síntesis en la parte superior del cuerpo de caldera, y descargar escorias líquidas de la salida de escoria.
- 45 6. El método de la reivindicación 5, caracterizado porque en la etapa 1), las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado son recibidas por el primer recipiente de combustible, las partículas de combustible de tamaño de partícula no cualificado primero son recibidas por el segundo recipiente de combustible y después se devuelven al sistema de pretratamiento de combustible para pulverizarlas nuevamente hasta que cumplan el requisito de tamaño de partícula; las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado se transportan desde el primer
- 50

recipiente a la tolva de alimentación; y el tamaño de partículas de las partículas de combustible es de entre 0 mm y 5 mm.

5 7. El método de la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que en la etapa 2), el encendido de los generadores de plasma por microondas sucede entre 2 y 3 segundos antes del encendido de las boquillas del gasificador; el gas activo comprende un oxidante auxiliar, y es introducido en los generadores de plasma por microondas mediante las entradas de gas activo para su excitación con el fin de producir una temperatura alta, un grado de ionización alto, y una alta actividad de plasma.

10 8. El método de la reivindicación 7, caracterizado por que en la etapa 3), las partículas de combustible de tamaño de partícula cualificado se transportan mediante un gas portador y se rocían en el gasificador mediante las boquillas; los oxidantes se rocían de forma sincronizada en el gasificador mediante la entrada de oxígeno/vapor, de manera que una reacción de oxidación-reducción y una reacción de gasificación de temperatura alta entre las partículas de combustible y el oxidante lleve a producir gas de síntesis que comprende una gran cantidad de monóxido de carbono e hidrogeno y una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, y COS; el gas de síntesis fluye de manera ascendente hacia la zona de gasificación de los generadores de plasma por microondas, y se mezcla con el gas de plasma rociado de forma horizontal/tangencial para una reacción de gasificación termoquímica de temperatura alta a 15 entre 1200 y 1800°C, una temperatura de zona central es de entre 1800 y 2000°C, un tiempo de retención del gas de síntesis en la zona de gasificación es de entre 1 y 10 segundos, y la potencia de los generadores de plasma por microondas se controla para lograr que la reacción se lleve a cabo por completo.

20 9. El método de la reivindicación 5, 6, u 8, caracterizado por que en la etapa 4), el volumen de contenido de CO y H<sub>2</sub> en el gas de síntesis supera el 85%, el gas de síntesis no contiene brea ni compuestos fenólicos, la escoria líquida descargada de la salida de escoria se enfría para que no tenga contaminación, con lo cual se puede utilizar como un material de aislamiento térmico.

25 10. El método de la reivindicación 9, caracterizado por que en las etapas 2) y 3), el gas activo y el gas portador son aire y/u oxígeno y/o vapor; y el vapor se origina del reciclado de calor sensible del gas de síntesis de alta temperatura.

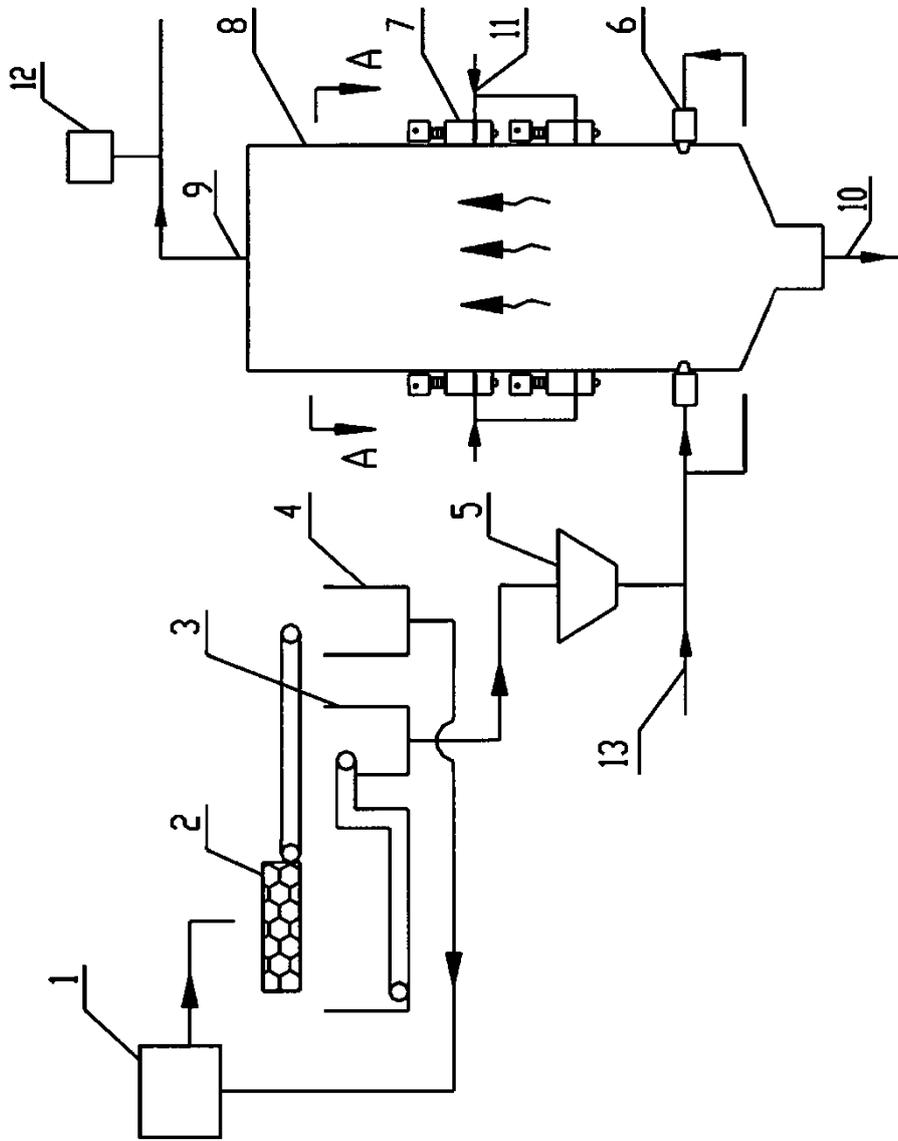
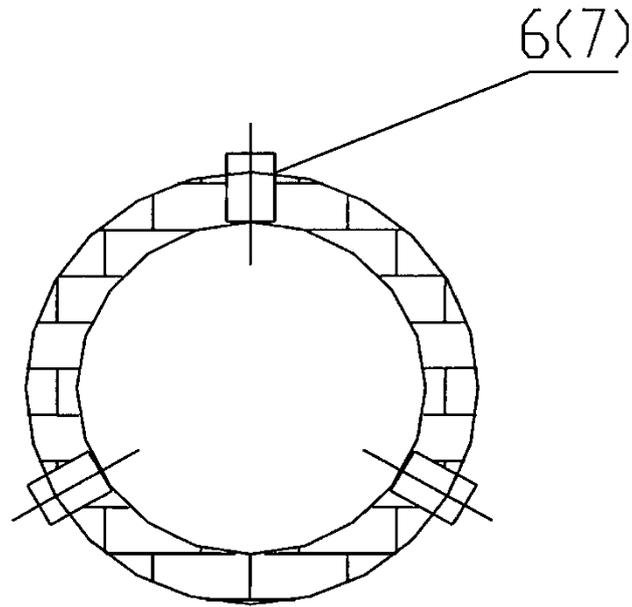


FIG. 1



**FIG. 2**