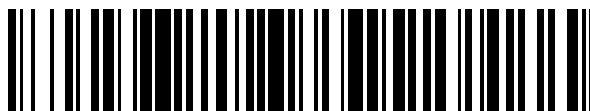


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 340**

51 Int. Cl.:

C21C 5/38 (2006.01)
C21C 5/40 (2006.01)
F27B 3/22 (2006.01)
F27D 17/00 (2006.01)
F27D 21/00 (2006.01)
B01D 53/62 (2006.01)
C21B 5/06 (2006.01)
C21C 5/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.05.2009 PCT/JP2009/059111**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2009 WO09139488**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2009 E 09746694 (0)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2278031**

54 Título: **Método para el reformado de gas de escape de horno metalúrgico, método para enfriar el gas de escape y aparatos para ambos métodos**

30 Prioridad:

16.05.2008 JP 2008129040
05.09.2008 JP 2008227845
27.02.2009 JP 2009045413
05.03.2009 JP 2009052394
31.03.2009 JP 2009084494

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.11.2018

73 Titular/es:

JFE STEEL CORPORATION (100.0%)
2-3, Uchisaiwaicho 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-0011, JP

72 Inventor/es:

TAKAGI, KATSUHIKO;
SAIMA, HITOSHI;
MOGI, YASUHIRO y
MIYOSHI, YASUO

74 Agente/Representante:

MARTÍN BADAJOZ, Irene

ES 2 690 340 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

Método para el reformado de gas de escape de horno metalúrgico, método para enfriar el gas de escape y aparatos para ambos métodos

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método de reformado y a un método de enfriamiento de un gas de escape generado a partir de un horno metalúrgico, y a sus aparatos. En particular, la invención se refiere a un método de reformado y a un método de enfriamiento de un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono generado a partir de un horno metalúrgico tal como un convertidor de oxígeno o un horno de reducción por fusión, y a sus aparatos.

10

Descripción de la técnica relacionada

15

En los últimos años, la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono está convirtiéndose en un asunto importante para proteger el medio ambiente mundial e impedir el calentamiento global. En particular, en las acerías, la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono es el asunto más importante referente a la supervivencia de una empresa. Para la reducción de emisiones, se han realizado diversas propuestas de manera convencional. Sin embargo, aún no se ha completado una tecnología de reducción de gas de dióxido de carbono a escala completa.

20

En general, se generan gases de escape a alta temperatura que contienen una gran cantidad de gas de dióxido de carbono a partir de un convertidor de oxígeno, un horno de reducción por fusión y similares en acerías. Esos gases de escape contienen monóxido de carbono e hidrógeno además de gas de dióxido de carbono y, por tanto, se utilizan como fuente de energía que hace funcionar diversas instalaciones en acerías. Además, desde el punto de vista de la utilización de calor sensible de tal gas de escape a alta temperatura, el gas de escape a alta temperatura se suministra generalmente a una caldera para generar vapor de agua a baja presión, recuperando de ese modo calor residual. Sin embargo, el vapor de agua a baja presión como fuente de energía en acerías no es valioso, y se desea más bien hacer que el gas de escape a alta temperatura pueda utilizarse químicamente.

25

30

Mientras tanto, se sabe que diversos hidrocarburos tales como metano, y compuestos que contienen oxígeno tales como metanol y dimetil éter reaccionan con gas de dióxido de carbono o vapor de agua y se someten a reformado para dar monóxido de carbono e hidrógeno. Como técnica de recuperación de calor residual que utiliza esta reacción, la publicación de patente japonesa sin examinar JP-A 2000-212615 divulga un método para intentar realizar "enriquecimiento calórico", en el que se suministran un gas y/o un líquido que contiene hidrocarburos a un gas residual a alta temperatura que contiene dióxido de carbono y/o vapor de agua, generado a partir de instalaciones de refinado tales como un convertidor de oxígeno para provocar una reacción de reformado, y aumentan la concentración tanto de monóxido de carbono como de hidrógeno en el gas de escape, aumentando de ese modo el calor latente del gas de escape.

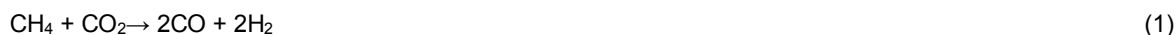
35

40

En el método divulgado en el documento JP-A 2000-212615, cuando se sopla gas natural en un gas de escape de convertidor de oxígeno para llevar a cabo una reacción de reformado de la siguiente fórmula (1), disminuye la temperatura en una posición en la que se considera que la reacción se ha completado, hasta aproximadamente 375 °C. Sin embargo, según los estudios realizados por los presentes inventores, se reveló que cuando la temperatura a la que se completa la reacción de reformado es menor de 800 °C, existe el problema de que la formación de carbono es notable, provocando el depósito de carbono y polvo en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno. Además de esto, la disminución de la temperatura a la que se completa la reacción de reformado provoca una disminución de la eficiencia de la reacción de reformado, dando como resultado una disminución de la conversión de dióxido de carbono.

45

50



El documento JP-A 5-117668 (1993) divulga un método para intentar aumentar el calor de un gas de escape, en el que se suministra carbón a una posición en la que la temperatura de un gas descargado de un convertidor de oxígeno es de 600°C o mayor, y el gas de escape y el carbón se ponen en contacto a contracorriente para que lleven a cabo una reacción de reformado de la siguiente fórmula (2), generando de ese modo monóxido de carbono.

55



El método divulgado en el documento JP-A 5-117668 (1993) es excelente porque se lleva a cabo una reacción de reformado usando carbón económico, pero tiene el problema de que materiales no combustibles (SiO₂, Al₂O₃ y similares) contenidos en el carbón se depositan en un conducto, o caen en un convertidor de oxígeno, provocando el aumento de la cantidad de escoria.

60

El documento JP-A 2-11715 (1990) divulga un método para aumentar las cantidades de monóxido de carbono e hidrógeno en un gas de escape, en el que se añaden metano y vapor de agua a una posición en la que la

65

temperatura de un gas de escape generado a partir de un convertidor de oxígeno es de 1.300 °C o mayor, llevando a cabo de ese modo una reacción de reformado con vapor de agua de la siguiente fórmula (3), y un aparato del mismo.



El método divulgado en el documento JP-A 2-11715 (1990) tiene el problema de que la reacción producida mediante la adición de vapor de agua sólo genera CO y H₂, no se produce una reacción de reformado que implica dióxido de carbono, y por tanto, el método no contribuye a la reducción de CO₂.

Tal como se describió anteriormente, las tecnologías convencionales para intentar un enriquecimiento calórico, en el que se aumenta el valor de calor latente de un gas de escape (se almacena el calor de la reacción endotérmica de fórmula (1) en forma de calor de combustión de un producto de reacción) utilizando el calor sensible de un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono generado a partir de hornos metalúrgicos tales como un convertidor de oxígeno y un horno de reducción por fusión, tenían los problemas de que se provocan el depósito de carbono y una disminución de la eficiencia de reacción del gas de dióxido de carbono, se provoca el depósito de materiales no combustibles tales como SiO₂, Al₂O₃ y similares, y dado que el gas de dióxido de carbono no contribuye a una reacción, no hay ningún efecto en el enriquecimiento calórico de un gas de escape y la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono.

De manera convencional, el método representativo para enfriar gas de escape a alta temperatura generado a partir de hornos metalúrgicos tales como un convertidor de oxígeno y un horno de reducción por fusión es un método mecánico en el que se enfría un gas de escape usando una camisa de enfriamiento con agua (tubería de enfriamiento con agua) situada en un conducto (conducto) de un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, y se recupera calor de escape usando un intercambiador de calor (véase la publicación de patente japonesa examinada JP-B 57-10930 y la publicación de patente japonesa sin examinar JP-A 62-074018 (1987)).

Sin embargo, en el caso de la técnica convencional descrita anteriormente, un conducto, por ejemplo, una parte de radiación (conducto) en el caso de un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, debe tener una estructura de camisa de enfriamiento con agua. Debido a esto, hubo los problemas de que debe construirse un equipo de enfriamiento que tiene una estructura complicada y a gran escala, y demás debe instalarse una caldera de calor de escape. Además, un gas de escape objetivo (gas que ha de enfriarse) es un gas de escape de generación en horno metalúrgico que tiene alta temperatura de 800 °C o mayor, y cuando se intenta enfriar el gas de escape con el equipo de enfriamiento anterior, es indispensable usar materiales que resistan la alta temperatura.

Un método de enfriamiento con un método de pulverización de agua se considera otro método de enfriamiento. Sin embargo, debe instalarse un aparato de enfriamiento a gran escala para la pulverización y el contacto entre agua y un gas. Además, un gas después de enfriarse contiene vapor de agua, y esto es una desventaja en el caso en el que se intente utilizar como gas combustible el gas después del tratamiento.

El documento JP S54-87612 divulga un método de reformado de un gas de escape generado a partir de un convertidor de oxígeno, que comprende añadir un gas hidrocarbónico tal como GNL a un gas de escape que contiene CO₂ y CO, descargado de un convertidor de oxígeno, en el que el gas de escape y el gas hidrocarbónico se llevan a reacción a una alta temperatura del gas.

Sumario de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método de reformado de gas de escape a alta temperatura, que puede lograr la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono junto con el enriquecimiento calórico de un gas de escape mediante la inducción de una reacción de reformado eficiente de dióxido de carbono, sin depósito de carbono y materiales no combustibles, y un aparato para el método.

Para lograr el objeto, la presente invención proporciona un método de reformado de un gas de escape descargado de un horno metalúrgico, que comprende añadir un agente reductor a un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono a alta temperatura, descargado de un horno metalúrgico, hacer reaccionar el gas de dióxido de carbono y el agente reductor, y someter a reformado el gas de escape, en el que el agente reductor se añade cuando la concentración de oxígeno en el gas de escape es del 1 % en vol. o menos, y la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de escape es de 800 °C o más.

El agente reductor se selecciona de compuestos del tipo de recurso fósil y compuestos del tipo de recurso no fósil. En el caso de los compuestos del tipo de recurso fósil, el agente reductor es al menos uno seleccionado del grupo que consiste en gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter y dietil éter. En el caso de los compuestos del tipo de recurso no fósil, el agente reductor es al menos uno seleccionado del grupo que consiste en bioetanol, biodiésel y una mezcla de bioetanol y biodiésel. El horno metalúrgico es un convertidor de oxígeno y el agente reductor se sopla tal como se define en la reivindicación 1.

El gas de escape a alta temperatura descargado del horno metalúrgico tiene una temperatura de preferiblemente desde 800 hasta 1.800 °C, y más preferiblemente desde 1.000 hasta 1.800 °C.

5 El gas de escape a alta temperatura descargado del horno metalúrgico tiene una concentración de CO₂ de preferiblemente desde el 3 hasta el 30 % en vol.

El agente reductor se añade preferiblemente cuando la concentración de oxígeno en el gas de escape es del 0,5 % en vol. o menos.

10 La reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de escape es preferiblemente desde 800 hasta 1.100 °C, y más preferiblemente desde 850 hasta 1.050 °C.

15 La reacción de reformado se lleva a cabo preferiblemente a la temperatura de gas de escape de 800 °C o más durante un tiempo de residencia de desde 0,01 hasta 50 segundos, y se lleva a cabo más preferiblemente a la temperatura de gas de escape de 800 °C o mayor durante un tiempo de residencia de desde 0,1 hasta 20 segundos.

20 El agente reductor se añade de manera deseable desde una tubería lateral de una lanza de soplado superior del convertidor de oxígeno. Alternativamente, el agente reductor se añade preferiblemente entre un dispositivo de faldón y un colector de polvo primario en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno. El método se define adicionalmente en las reivindicaciones dependientes.

25 La presente invención proporciona además un aparato de reformado de un gas de escape en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno en el que se añade un agente reductor a un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono a alta temperatura, descargado de un horno metalúrgico, y el gas de dióxido de carbono y el agente reductor se hacen reaccionar, sometiendo a reformado de ese modo el gas de escape, comprendiendo el aparato un dispositivo de medición de concentración que mide la concentración de oxígeno en el gas de escape, en el sistema de recuperación de gas; un dispositivo de cambio de paso de flujo que realiza el cambio de paso de flujo de líneas de tubería de gas de escape mediante la salida del dispositivo de medición de concentración; un dispositivo de medición de temperatura que mide la temperatura del enriquecimiento calórico del gas de escape mediante una reacción de reformado; un dispositivo de control de caudal que controla la cantidad de adición del agente reductor, que se hace funcionar mediante la salida del dispositivo de medición de temperatura y la salida del dispositivo de medición de concentración; y un dispositivo de soplado de agente reductor.

35 El dispositivo de medición de concentración es preferiblemente tal como sigue.

(A) Un analizador de gas instalado en el lado aguas arriba de un colector de polvo primario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.

40 (B) Un analizador de gas instalado en el lado aguas abajo de un colector de polvo secundario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.

(C) Tanto el analizador (A) como el analizador (B).

45 El dispositivo de cambio de paso de flujo es preferiblemente una válvula de cambio de paso de flujo de gas que se hace funcionar según la salida de la concentración de oxígeno mediante el dispositivo de medición de concentración y selecciona un paso de flujo a un quemador o a un depósito de gas.

50 El dispositivo de medición de temperatura es preferiblemente un termómetro instalado en un lado de entrada del colector de polvo primario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.

El dispositivo de control de caudal del agente reductor preferiblemente se hace funcionar según al menos una salida del dispositivo de medición de concentración y el dispositivo de medición de temperatura.

55 El dispositivo de soplado de agente reductor se instala de manera deseable en al menos un sitio entre una lanza de soplado superior de un convertidor de oxígeno, o un dispositivo de faldón en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, y el lado aguas arriba del colector de polvo primario en una parte de radiación del sistema de recuperación de gas.

60 El aparato se define adicionalmente en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

65 La figura 1 es una vista esquemática de un aparato de reformado de un gas de escape de convertidor según la realización 1.

La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura de salida de un gas de simulación de

enriquecimiento calórico, conversiones de CO₂ y CH₄, y cantidad de C según la realización 1.

La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre la concentración de oxígeno de un gas de simulación de enriquecimiento calórico, conversiones de CO₂ y CH₄, y un poder calorífico inferior según la realización 1.

La figura 4 es una vista esquemática de un aparato de reformado de un gas de escape de convertidor de oxígeno según la realización 1.

La figura 5 es una vista esquemática de un aparato de reformado de un gas de escape de convertidor de oxígeno según la realización 2.

La figura 6 es una vista en sección transversal de una boquilla de soplado de agente reductor según la realización 2.

La figura 7 es una vista esquemática de un aparato de enfriamiento de gas de escape de convertidor de oxígeno según la realización 3.

La figura 8 es una vista esquemática de un aparato de enfriamiento de gas de escape de convertidor de oxígeno equipado con un equipo de soplado de agente reductor según la realización 3.

La figura 9 es otra vista esquemática de un aparato de enfriamiento de gas de escape de convertidor de oxígeno equipado con un equipo de soplado de agente reductor según la realización 3.

La figura 10 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura de reacción y la constante de velocidad, de un conducto de convertidor de oxígeno según la realización 3.

Realizaciones para llevar a cabo la invención

Realización 1

La realización 1 es un método de reformado de gas de escape a alta temperatura, para lograr el enriquecimiento calórico eficiente de un gas de escape y la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono mediante el avance completo de una reacción de reformado de gas de dióxido de carbono, sin depósito de carbono, materiales no combustibles y similares en un conducto. Específicamente, se añade un agente reductor a gas de escape a alta temperatura de 800 °C o mayor, y preferiblemente 1.000 °C o mayor, descargado de un horno metalúrgico. El horno metalúrgico se describe a continuación en el presente documento en el ejemplo de un "convertidor de oxígeno". El gas de escape a alta temperatura se denomina a continuación en el presente documento "gas de evacuación". La adición de un agente reductor induce una reacción de reformado entre gas de dióxido de carbono contenido en el gas de evacuación y el agente reductor tal como gas natural, tal como se muestra mediante la fórmula (1).



Se aumenta el calor del gas de evacuación controlando uno cualquiera de la cantidad de adición, el periodo de adición y la posición de adición del agente reductor de tal manera que el periodo de iniciación de la adición de un agente reductor es cuando la concentración de oxígeno en el gas de evacuación se ha convertido en el 1 % en vol. o menos y la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de evacuación es de 800 °C o mayor.

El gas de evacuación descargado de un convertidor de oxígeno contiene generalmente desde aproximadamente el 10 hasta el 20 % en vol. de CO₂ y desde aproximadamente el 50 hasta el 80 % en vol. de CO, el poder calorífico es de desde aproximadamente 1.500 hasta 2.000 kcal/Nm³, y la temperatura en una parte de garganta durante el funcionamiento es de desde aproximadamente 1.200 hasta 1.800 °C. En la realización 1, el enriquecimiento calórico del gas de evacuación y la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono se logran simultáneamente añadiendo un agente reductor tal como gas natural a gas de evacuación del convertidor de oxígeno y derivando la reacción de reformado de fórmula (1) entre el agente reductor y gas de dióxido de carbono. Es decir, dado que se usa gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico, es decir, gas de evacuación sometido a reformado, como diversas fuentes de calor en acerías (para combustión), finalmente se emite gas de dióxido de carbono. Sin embargo, puede reducirse un combustible auxiliar tal como aceite pesado usado en acerías en una cantidad correspondiente a la porción de enriquecimiento calórico, y como resultado, puede reducirse el gas de dióxido de carbono en la cantidad correspondiente.

La figura 1 es una vista de diagrama esquemático de un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno de un convertidor de oxígeno para explicar el método de reformado de gas de salida según la realización 1. Tal como se muestra en el dibujo, se descarga gas de evacuación generado a partir de un convertidor de oxígeno 1 a través de un faldón 2, una campana inferior 3, una campana superior 4, un colector de polvo primario (colector de polvo húmedo) 5, un colector de polvo secundario 13, y similares, durante lo cual se mide la concentración de oxígeno con un analizador de gas 6 proporcionado en un lado de salida (lado aguas abajo) del colector de polvo secundario 13 de manera continua, semicontinua o intermitente. Cuando la concentración de oxígeno en el gas de

evacuación es mayor del 1 % en vol., se cierra una válvula de control 7 que controla la cantidad de adición (inyección) de un agente reductor para una reacción de reformado, y al mismo tiempo, se cierra una válvula de cambio de canal de flujo de gas 8, de modo que el gas de evacuación fluye a un lado de quemador 9.

5 La figura 1 muestra una realización en la que el analizador de gas 6 se proporciona en un lado aguas abajo del colector de polvo secundario 13. Sin embargo, el analizador de gas 6 puede proporcionarse en un lado aguas arriba del colector de polvo primario 5 que es una posición adyacente a un termómetro 10, o puede proporcionarse tanto en un lado aguas arriba del colector de polvo primario 5 como en un lado aguas abajo del colector de polvo secundario 13.

10 La forma del analizador de gas 6 no está particularmente limitada, pero se prefiere un analizador que puede medir la concentración (caudal) de gas de dióxido de carbono y el caudal de gas de evacuación además de la concentración de oxígeno. El caudal de gas de dióxido de carbono puede obtenerse a partir del valor medido del analizador de gas 6 y, por consiguiente, puede determinarse la cantidad inyectada de un agente reductor para una reacción de reformado.

15 Por ejemplo, cuando la concentración de oxígeno disminuye hasta el 1 % en vol. o menos y la temperatura de gas de evacuación medida mediante el termómetro 10 proporcionado en un lado aguas arriba del colector de polvo primario es de 800 °C o mayor, se abre la válvula de cambio de canal de flujo de gas 8, de modo que el gas de evacuación fluye hasta un lado de depósito de gas (no mostrado), y al mismo tiempo, se abre una válvula de control de caudal 7, y por ejemplo, se añade un agente reductor para una reacción de reformado desde una tubería lateral de una lanza de soplado superior de oxígeno 11. Puede ser necesario que la temperatura de gas de evacuación se mida de manera continua mediante el termómetro 10 y se controle la cantidad inyectada de un agente reductor y/o la posición de adición (inyección) del mismo de tal manera que la reacción de reformado se complete a una temperatura de gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico de 800 °C o mayor.

20 El agente reductor se añade cuando la concentración de oxígeno en el gas de evacuación es del 1 % en vol. o menos. El motivo para esto es el siguiente. Cuando el oxígeno en el gas de evacuación es mayor del 1 % en vol., el gas de hidrógeno en el gas de evacuación y el átomo de hidrógeno en el agente reductor son propensos a reaccionar con oxígeno para generar vapor de agua, y avanza una reacción de reformado debido a la adición de un agente reductor mediante el vapor de agua. Como resultado, la conversión de gas de dióxido de carbono disminuye, dando como resultado una disminución del efecto de reducción de gas de dióxido de carbono. Cuando se añade un agente reductor en el momento en que la concentración de oxígeno en el gas de evacuación es mayor del 1 % en vol., hay peligro de ignición y explosión.

30 La concentración de oxígeno en el gas de evacuación se aproxima preferiblemente a cero tanto como sea posible para llevar a cabo de manera eficiente la reacción de reformado de gas de dióxido de carbono representada por la fórmula (1). Sin embargo, la incorporación de hasta aproximadamente el 1 % en vol. es un intervalo admisible. El motivo para esto es el siguiente. Se prepara un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno de un convertidor de oxígeno de tal manera que se incorpora ligeramente aire en el mismo. Por tanto, se requiere un largo tiempo para disminuir la concentración de oxígeno hasta el límite de detección o menos. Si no puede añadirse un agente reductor durante el periodo, no sólo disminuye el efecto de enriquecimiento calórico, sino la cantidad quemada por el quemador 9 simplemente aumenta, dando como resultado de manera desfavorable el aumento de la emisión de gas de dióxido de carbono. Por tanto, es la condición necesaria en la realización 1 que la concentración de oxígeno en el gas de evacuación cuando se inicia la inyección del agente reductor sea del 1 % en vol. o menos.

35 Es importante en la realización 1 que se ajusten la cantidad de adición de un agente reductor y/o la posición de adición del mismo de tal manera que la reacción de reformado se complete cuando la temperatura de un gas de escape reformado a baja temperatura, es decir, gas de evacuación en un estado de enriquecimiento calórico en forma de calor latente de combustible de un producto de reacción, es de 800 °C o mayor mediante la reacción de reformado anterior que utiliza el calor sensible del gas de escape. Por tanto, se requiere que la temperatura de gas de evacuación en el momento de completarse la reacción de reformado sea de 800 °C o mayor, y la temperatura sea más preferiblemente de 850 °C o mayor. El motivo para esto es el siguiente. Cuando la temperatura de gas de evacuación en el momento de completarse la reacción de reformado es inferior a 800 °C, no sólo se genera carbono tal como cenizas volantes que se deposita en un conducto, sino que disminuye la conversión de gas de dióxido de carbono, dando como resultado una disminución tanto del efecto de enriquecimiento calórico como del efecto de reducción de gas de dióxido de carbono.

40 Dicho de otro modo, el concepto de la realización 1 no es que se controle una reacción de reformado mediante el caudal de gas de dióxido de carbono en gas de evacuación, sino que se controle el enriquecimiento calórico de gas de evacuación seleccionando como objetivo la temperatura de gas de evacuación (≥ 800 °C) en el momento de completarse la reacción de reformado. El motivo para esto es el siguiente. Un convertidor de oxígeno es generalmente un horno discontinuo, y tiene la propiedad de que la temperatura de gas de evacuación fluctúa enormemente cuando se produce un soplado anómalo tal como un aumento del óxido de hierro en acero fundido.

45 Dicho de otro modo, el método como en la presente invención es ventajoso para evitar inductancia por fluctuación de la temperatura de gas de evacuación.

Por el motivo anterior, la cantidad de adición y la posición de adición de un agente reductor se determinan de tal manera que la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico (acumulado como energía térmica) es de 800 °C o mayor. Por ejemplo, en el caso en el que se indica un agente reductor, la cantidad de adición se cambia preferiblemente dependiendo del caudal de gas de dióxido de carbono, la clase de agente reductor, la estequiometría de la reacción de reformado de gas de dióxido de carbono, la temperatura de gas de evacuación en la posición de adición y el tiempo de residencia de gas de desde la posición de adición hasta la posición del termómetro 10.

El término “completarse la reacción de reformado” descrito anteriormente significa que una reacción entre un agente reductor añadido, tal como metano, y gas de dióxido de carbono en un gas de escape avanzó casi hasta el equilibrio en su atmósfera. Para hacer que la reacción avance hasta el equilibrio completo, teóricamente es necesario un tiempo de residencia infinito. Por tanto, no puede definirse de manera estricta el casi equilibrio. Por este motivo, se prefiere en la realización 1 se defina como “completarse la reacción de reformado” cuando la concentración de gas de hidrógeno descrita a continuación en el presente documento aumente hasta la concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape antes de someterse a reformado.

Por ejemplo, en el soplado de descarbonización, la cantidad de gas de hidrógeno en un gas de escape es originalmente de tan sólo aproximadamente el 1 % en vol., y debido a esto, la concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape después de someterse a reformado aumenta hasta aproximadamente desde 2 hasta 25 veces la concentración de gas de hidrógeno antes de someterse a reformado. Por tanto, la monitorización es fácil. Por este motivo, se prefiere en el soplado de descarbonización que se defina como “completarse la reacción de reformado” cuando el gas de hidrógeno aumente hasta dos veces o más en comparación con el gas de hidrógeno antes de someterse a reformado.

Por otra parte, en el soplado de desfosforación en el que el caudal de gas de escape es originalmente pequeño y la velocidad de recuperación de gas de escape es baja, se realiza en los últimos años la introducción de plásticos residuales o similares para aumentar el caudal de gas de escape para aumentar la tasa de recuperación. En este caso, la concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape antes de someterse a reformado alcanza desde aproximadamente el 10 hasta el 15 % en vol. debido al gas de hidrógeno formado a partir de materiales auxiliares tales como plásticos residuales. Además, en un convertidor de soplado por el fondo, se suministra GLP o similar como gas de enfriamiento para impedir el daño de una tobera, y debido a esto, se genera una gran cantidad del gas de hidrógeno incluso mediante descomposición de GLP. En el caso en el que se genera tal gran cantidad de gas de hidrógeno, la cantidad aumentada de la concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape después de someterse a reformado es simplemente de aproximadamente el 1 al 5 % en vol. en comparación con la concentración de gas de hidrógeno antes de someterse a reformado. Por tanto, se prefiere en el soplado de desfosforación y en un horno de soplado por el fondo que se defina como “completarse la reacción de reformado” cuando el gas de hidrógeno aumente del 1 % en vol. o más en comparación con el gas de hidrógeno antes de someterse a reformado.

La temperatura de gas de escape disminuye mediante el avance de la reacción de reformado. Por tanto, completarse la reacción de reformado cuando la temperatura de gas de escape después de la reacción es de 800 °C o mayor tiene significado físico. Por otra parte, el átomo de hidrógeno originado a partir del agente reductor añadido se convierte en el gas de hidrógeno mediante una reacción de reformado. En un procedimiento en el que se recupera un gas de escape como fuente de energía, el análisis de la composición del gas de escape es esencial, y la monitorización de que se complete una reacción mediante la concentración de gas de hidrógeno tiene significado químico y es importante como control de funcionamiento.

En la descripción anterior, la estequiometría de una reacción de reformado de gas de dióxido de carbono significa que (X-Z) moles de gas de dióxido de carbono reaccionan con 1 mol de un agente reductor tal como se muestra en la siguiente fórmula (4). En general, se prefiere la inyección de una cantidad equivalente de un agente reductor. Sin embargo, en el caso en el que la temperatura de gas de evacuación en la posición de adición no sea tan alta en comparación con 800 °C que es el límite inferior de temperatura en la que se completa la reacción en una posición del termómetro 10, se añade un agente reductor preferiblemente en una cantidad menor que la cantidad equivalente. Por ejemplo, en el caso en el que la concentración de gas de dióxido de carbono en un gas de evacuación de convertidor es del 15 % en vol. y se usa metano como agente reductor, (X-Z) = 1 es la cantidad equivalente. Por tanto, cuando la temperatura de gas de evacuación en la posición de inyección es de 1.600 °C o mayor, se añade metano en una cantidad igual a la cantidad de gas de dióxido de carbono. Por otra parte, cuando la temperatura de gas de evacuación en la posición de inyección es de 1.200 °C, aproximadamente 2/3 de la cantidad equivalente es una cantidad de adición apropiada. La “cantidad de adición apropiada” usada en el presente documento significa una cantidad en la que se completa un agente de reformado en una posición que muestra que la temperatura de gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico es de 800 °C o mayor.

En la reacción de reformado mostrada por la fórmula (1) o la siguiente fórmula (4), el límite inferior de la concentración de gas de dióxido de carbono no está presente teóricamente. Sin embargo, el hecho de que el efecto mediante soplado de un agente reductor, es decir, el efecto de enriquecimiento calórico, disminuye con la

disminución de la concentración de gas de dióxido de carbono es aparente. La realidad es que el efecto de enriquecimiento calórico es pequeño cuando la concentración de gas de dióxido de carbono es menor del 3 % en vol., y esto resulta poco económico. Por otra parte, la velocidad de reacción aumenta mucho localmente en las proximidades de una posición de soplado de agente reductor con un aumento de la concentración de gas de dióxido de carbono. Como resultado, la temperatura de gas de evacuación disminuye localmente de manera notable, y existe una posibilidad de que un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno se dañe por choque térmico y similares. La concentración de gas de dióxido de carbono que supera el 30 % en vol. no se prefiere desde el punto de vista del funcionamiento estable de un convertidor de oxígeno y el mantenimiento del equipo.



El tiempo de residencia de gas de desde la posición de adición de un agente reductor hasta la posición del termómetro 10 es un intervalo de preferiblemente desde 0,01 hasta 50 segundos, y más preferiblemente desde 0,1 hasta 20 segundos. El motivo por el que el tiempo de residencia de gas es de 0,01 segundos o más es obtener un tiempo de reacción suficiente para que se complete una reacción de reformado. No se producen las fugas de un agente reductor, lo que resulta económico. El motivo por el que el tiempo de residencia de gas es de 50 segundos o menos es que 50 segundos o menos son el límite superior que seguramente hace que se complete una reacción y no se requiere producir un conducto largo, y puede suprimirse equipo para gas de evacuación de manera económica.

Por ejemplo, para añadir metano en una cantidad equivalente de gas de dióxido de carbono en el caso en el que la concentración de gas de dióxido de carbono en un gas de evacuación de convertidor es del 15 % en vol., se usa metano como agente reductor y la temperatura de gas de evacuación en la posición de adición es de 1.600 °C o mayor, cuando el tiempo de residencia es de desde 0,5 hasta 5 segundos, puede completarse la reacción de reformado, y la temperatura de gas en el momento de completarse la reacción es de 800 °C o mayor.

La posición de adición de un agente reductor se determina preferiblemente considerando el tiempo de residencia de gas y la temperatura de gas de evacuación en la posición de adición. Por ejemplo, en el caso en el que el tiempo de residencia de gas es desde 0,01 hasta 50 segundos, y preferiblemente desde 0,1 hasta 20 segundos, tal como se describió anteriormente, la posición de adición de un agente reductor es preferiblemente una posición en la que la temperatura de gas de evacuación es tan alta como sea posible. La figura 1 es un ejemplo de inyección de un agente reductor desde una tubería lateral de una lanza de soplado superior de oxígeno. Por tanto, el motivo por el que se indica una lanza 11 como la posición de adición en la realización 1 es que la lanza 11 es un equipo indispensable para el funcionamiento de un convertidor de soplado por arriba, y resulta práctico usar esto para la adición de un agente reductor. Sin embargo, la posición de adición no se limita sólo a la parte de tubería lateral de una lanza en la realización 1. Por ejemplo, se instala una boquilla en el faldón 2, o una parte superior de la campana superior 4 y la campana inferior 3, y puede añadirse un agente reductor a través de la boquilla.

Particularmente, en el caso en el que la cantidad de gas de dióxido de carbono en un gas de evacuación de convertidor es relativamente pequeña, el tiempo de reacción puede ser corto. Por tanto, puede añadirse un agente reductor en una posición más superior que la campana inferior 3 o la campana superior 4, por ejemplo, en un extremo inferior de una primera parte de radiación. La posición de adición no está limitada a una posición, y pueden ser múltiples posiciones. Por ejemplo, puede añadirse un agente reductor en dos posiciones de una tubería lateral de la lanza 11 y una parte superior de la campana inferior 3.

Al menos un compuesto del tipo de recurso fósil de materiales seleccionados de gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter y dietil éter se usa preferiblemente como agente reductor que puede usarse en la realización 1. De estos, se prefieren gas natural, gas licuado de petróleo, nafta ligera, refinado y dietil éter porque esos tienen buena reactividad con gas de dióxido de carbono y están fácilmente disponibles de manera económica y en una gran cantidad.

El agente reductor puede usar compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil junto con los compuestos del tipo de recurso fósil o en lugar de esos. El uso de los compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil se prefiere particularmente porque se lleva a cabo una reacción de reformado mediante un agente reductor neutro de carbono, además de una porción en la que el gas de evacuación se somete a enriquecimiento calórico mediante una reacción de reformado de gas de dióxido de carbono, y esto puede contribuir enormemente a la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono. Los ejemplos del compuesto orgánico del tipo de recurso no fósil incluyen bioetanol, biodiésel y una mezcla de los mismos.

En el caso de usar un agente reductor que es gas a temperatura ambiente, tal como gas natural o gas licuado de petróleo, se usa una boquilla adecuada para el soplado de gas, y no están particularmente limitados la forma de la boquilla ni el número de boquillas. En el caso de un agente reductor que es líquido a temperatura ambiente, tal como refinado, bioetanol o biodiésel, el agente reductor puede pulverizarse en un estado de neblina e inyectarse, o puede gasificarse e inyectarse en forma de gas. En el caso de suministro en un estado de neblina, su diámetro de gotita es tal que el contacto con gas de dióxido de carbono es eficiente, y es preferiblemente de desde 0,01 hasta 1.000 µm, y más preferiblemente desde 0,1 hasta 100 µm.

En el caso de usar un gas licuado tal como dimetil éter, o gas licuado de compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil como agente reductor, el agente reductor puede gasificarse previamente e inyectarse como gas, o puede suministrarse mediante el suministro del agente reductor en forma de un líquido y la gasificación del agente reductor cerca de una boquilla o en una boquilla. En este caso, el caso de gasificación del agente reductor cerca de la boquilla o en la boquilla es que la boquilla se enfría mediante calor de evaporación, y por tanto se prefiere en la protección de la boquilla.

La presente invención proporciona además un método de producción de un gas sometido a reformado, que comprende añadir un agente reductor a un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono a alta temperatura, descargado de un horno metalúrgico, haciendo reaccionar de ese modo el gas de dióxido de carbono y el agente reductor, en el que el agente reductor se añade cuando la concentración de oxígeno en el gas de escape es del 1 % en vol. o menos, y la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de escape es de 800 °C o mayor.

Tal como se usa en el presente documento el término “gas sometido a reformado” como producto significa un gas generado al completarse la reacción de reformado entre gas de dióxido de carbono en el gas de escape y el agente reductor. El término “completarse la reacción de reformado” es el mismo que se definió anteriormente. Por tanto, en el soplado de descarbonización, un gas en el que el gas de hidrógeno ha aumentado dos veces o más la cantidad antes de someterse a reformado se denomina “gas sometido a reformado” que es un producto de la presente invención. En el soplado de desfosforación o convertidor de soplado por el fondo, un gas en el que el gas de hidrógeno ha aumentado el 1 % en vol. o más la cantidad antes de someterse a reformado se denomina “gas sometido a reformado” que es un producto de la presente invención.

El “gas sometido a reformado” disminuye la concentración de gas de dióxido de carbono y aumenta las concentraciones de hidrógeno y monóxido de carbono, mediante una reacción de reformado. Por tanto, el calor de combustión de un gas aumenta desde aproximadamente el 5 hasta el 30 % en comparación con un gas de escape no sometido a reformado. Sin embargo, el calor de combustión no es un valor medido, y generalmente indica un valor calculado a partir de la composición de un gas. Por tanto, el “gas sometido a reformado” se define preferiblemente mediante el cambio de la concentración de gas de hidrógeno tal como se describió anteriormente.

El agente reductor es preferiblemente al menos un compuesto del tipo de recurso fósil seleccionado del grupo que consiste en gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter y dietil éter.

El agente reductor es preferiblemente al menos un compuesto del tipo de recurso no fósil seleccionado del grupo que consiste en bioetanol, biodiésel y una mezcla de bioetanol y biodiésel.

En la puesta en práctica del método de reformado de gas de evacuación descrito anteriormente, la realización 1 propone como aparato de reformado que acelera una reacción de reformado entre gas de dióxido de carbono contenido en gas de evacuación y un agente reductor, un aparato de reformado de un gas de escape generado por horno metalúrgico que comprende un dispositivo de medición de concentración que mide la concentración de oxígeno en el gas de escape, en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno; un dispositivo de cambio de paso de flujo que realiza el cambio de paso de flujo de líneas de tubería de gas de escape según la concentración de oxígeno en un gas de evacuación sometido a reformado basándose en la salida del dispositivo de medición de concentración, es decir, según si la concentración de oxígeno es o no mayor del o menor del 1 % en vol.; un dispositivo de medición de temperatura que mide la temperatura del enriquecimiento calórico del gas de evacuación sometido a reformado mediante una reacción de reformado; un dispositivo de control de caudal que controla la cantidad de adición (inyección) del agente reductor, que se hace funcionar mediante la salida del dispositivo de medición de temperatura y la salida del dispositivo de medición de concentración; y un dispositivo de soplado de agente reductor para añadir el agente reductor controlado por el funcionamiento del dispositivo de control de caudal al gas de evacuación desde una posición predeterminada, por ejemplo, una boquilla instalada en una parte de tubería lateral de la lanza de soplado superior o un faldón.

En la realización 1, el analizador de gas 6 instalado en un lado aguas arriba del colector de polvo primario 5 o el colector de polvo secundario 13, por ejemplo, el interior de un paso de tubería aguas abajo de un segundo captador de polvo, o ambos se usa como dispositivo de medición de concentración, un aparato en el que se controla la válvula de cambio de canal de flujo de gas 8 para que se abra o se cierre mediante la salida del valor de la concentración de oxígeno del analizador de gas 6 se instala en la parte ramificada de un paso de flujo hasta el quemador 9 y un paso de flujo hasta un depósito de gas (no mostrado) de tal manera que puede seleccionarse uno cualquiera del paso de flujo hasta el quemador 9 y el paso de flujo hasta un depósito de gas, se usa como dispositivo de cambio de paso de flujo, y el dispositivo de medición de temperatura está constituido por el termómetro 10 instalada en una parte limítrofe con una parte de radiación de un conducto de escape que incide sobre el lado de entrada del colector de polvo primario 5. Un caudalímetro de gas 15 que mide el caudal de gas de evacuación se proporciona preferiblemente en el lado aguas abajo de un colector de polvo secundario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.

El sistema de control del aparato de reformado anterior se muestra mediante una línea de puntos en la figura 1. En este dibujo, solamente hay una válvula de control de caudal 7 para suministrar un agente reductor, y la válvula se controla mediante uno o ambos de la salida del analizador de gas 6 para la medición de la concentración de oxígeno y la salida del termómetro 10 para la medición de temperatura. Sin embargo, dos válvulas de control no mostradas pueden usarse y controlarse por separado a través de un aparato de cálculo 12, y la válvula de cambio de canal de flujo de gas 8 puede controlarse mediante la salida del analizador de gas 6, y al mismo tiempo, puede controlarse mediante la salida del termómetro 10 proporcionando otra válvula de control en el lado aguas abajo de la válvula de cambio.

Ejemplo 1

Este ejemplo es un ejemplo en el que se llevó a cabo una prueba de adición de gas natural a gas de evacuación procedente de una campana superior 4 usando un convertidor de soplado por arriba de 300 t. El gas de evacuación cuando no se sopla gas natural tenía un caudal de 79.000 Nm³/h, y una composición de gas de CO: el 50 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 34 % en vol. Esto significa que se descargó CO₂ en una cantidad de 11.850 Nm³/h.

Esto corresponde a 122.000 t/año en cuanto a peso de gas de dióxido de carbono al año. El gas natural añadido fue de 11.850 Nm³/h igual al caudal de CO₂. El contenido de CH₄ en el gas natural fue del 92 % en vol. Por tanto, la razón molar entre CO₂ y CH₄ puede aproximarse a casi 1:1. La temperatura de gas de evacuación cerca de la garganta de convertidor fue de aproximadamente 1.700 °C.

Un caudalímetro 15 de gas de evacuación y el analizador de gas 6 se instalaron en un lado aguas abajo del colector de polvo secundario 13 (captador de polvo), y el termómetro 10 se instaló en un lado aguas arriba del colector de polvo primario (colector de polvo húmedo), de modo que la cantidad de gas natural añadido pudiera controlarse mediante la concentración de oxígeno de gas de evacuación y la temperatura de gas de evacuación sometido a reformado. Se produjeron fugas de oxígeno justo después del inicio del soplado. Por tanto, se inició entonces la adición de gas natural cuando la concentración de oxígeno se convirtió en el 1 % en vol. o menos, y se monitorizaron la temperatura, el caudal y la composición del gas de evacuación sometido a reformado. Como resultado, el gas de evacuación tenía una temperatura de 980 °C y un caudal de 114.400 Nm³/h, y la composición fue CO: el 55 % en vol., CO₂: el 0,1 % en vol., H₂: el 21 % en vol., N₂: el 23,5 % en vol., CH₄: el 0,1 % en vol. y O₂: menos del 0,1 % en vol. Considerando el equilibrio, se completó la reacción de reformado en una posición de medición de temperatura. No se observaron la formación ni el depósito de polvo tal como carbono en un conducto, y pudo someterse a reformado gas de evacuación sin ningún problema. La cantidad de gas de hidrógeno aumentó 21 veces mediante la reacción de reformado, y se completó la reacción de reformado a 980 °C. El tiempo de residencia de gas de desde la posición de adición de gas natural hasta la posición de medición de temperatura fue de aproximadamente 4,5 segundos.

El calor de combustión del gas de evacuación antes de someterse a reformado fue de 1.537 kcal/Nm³ y el calor de combustión del mismo después de someterse a reformado fue de 2.220 kcal/Nm³, que se sometió a enriquecimiento calórico del 44 % en volumen estándar de gas de evacuación. El caudal de gas de evacuación fue de 1,45 veces. Por tanto, se observó que la cantidad de enriquecimiento calórico es muy grande. Sin embargo, la cantidad de enriquecimiento calórico incluye la cantidad de calor de gas natural añadido como agente reductor. Por tanto, la tasa verdadera de enriquecimiento calórico excluyendo la cantidad de calor fue del 29 %. La reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono que contribuye a la reducción en un combustible auxiliar correspondiente a esta porción de enriquecimiento calórico se calcula como una cantidad correspondiente a 105.000 t/año.

Ejemplo comparativo 1

Se llevó a cabo la prueba de adición de un agente reductor de la misma manera que en el ejemplo 1, excepto en que se cambió la posición de adición de gas natural a una posición en la que la temperatura de gas de evacuación es de 1.300 °C, que es un lado aguas abajo que en el ejemplo 1. El gas de evacuación después de someterse a reformado tenía una temperatura de 770 °C, y una composición de CO: el 47 % en vol., CO₂: el 4 % en vol., H₂: el 20 % en vol., N₂: el 23,5 % en vol., CH₄: el 0,3 % en vol. y O₂: menos del 0,1 % en vol. Por tanto, se produjo una fuga del 4 % en vol. de CO₂. Además, se formó carbono en una cantidad de aproximadamente el 4 % en peso, y se depositó en un conducto. La cantidad de gas de hidrógeno aumentó 20 veces mediante la reacción de reformado, y se completó la reacción de reformado a 770 °C. El tiempo de residencia de gas de desde la posición de adición de gas natural hasta la posición de medición de temperatura fue de aproximadamente 3,5 segundos.

Ejemplo 2

Este ejemplo es un ejemplo en el que se llevó a cabo una prueba usando un horno de prueba de simulación que comprende un tubo de alúmina que tiene un diámetro interior de 12 mm y una longitud de 5 m. El horno de prueba de simulación fue uno en el que se instaló una entrada de gas en una brida aguas arriba del tubo de aluminio y se instalaron unas tuberías de introducción de gas metano que tenían un diámetro exterior de 3 mm y una tubería de

protección de termopar en la brida aguas arriba. La adición de gas metano fue en una posición de 1,5 m desde la brida aguas arriba, el control de medición de la temperatura de gas fue en una posición de 1 m desde la brida aguas arriba, y se hicieron pasar la tubería de introducción de metano y la tubería de protección de termopar a través de la brida. Se instalaron un orificio de inserción de termopar y un equipo de enfriamiento de gas mediante enfriamiento con agua en la brida aguas abajo, y se instalaron un caudalímetro de gas de integración y un analizador de gas en el lado aguas abajo del equipo de enfriamiento de gas. Se cubrió todo el tubo de alúmina con un horno eléctrico. Se aplicó corriente solamente a un calentador de 1 metro del lado aguas arriba, y se produjo esta parte como zona de precalentamiento de un gas de simulación de convertidor de oxígeno. No se aplicó corriente a un calentador aguas abajo más bajo que el calentador aguas arriba, y se produjo la parte como zona de reacción adiabática. Se vertió metano en una posición de aproximadamente 0,5 m de lado aguas abajo de la zona de precalentamiento tal como se describió anteriormente. Por tanto, la longitud de la verdadera zona de reacción adiabática es de 3,5 m.

Se preparó un gas mixto de CO: el 50 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 34 % como gas de simulación de convertidor de oxígeno. Se estableció el caudal de gas de simulación en 1 litro/min, se estableció el caudal de gas metano en 150 ml/min que es equivalente al caudal de CO₂, y se llevó a cabo una prueba de reacción de reformado cambiando la temperatura de la zona de precalentamiento a 1.800 °C, 1.500 °C, 1.300 °C, 1.100 °C y 900 °C. Como resultado de que se mide la temperatura de salida de una zona de reacción adiabática mediante un termopar instalado en la brida aguas abajo en este ejemplo, las temperaturas de salida fueron de 1.060 °C, 840 °C, 775 °C, 735 °C y 705 °C en cada prueba de las temperaturas de zona de precalentamiento de 1.800 °C, 1.500 °C, 1.300 °C, 1.100 °C y 900 °C, respectivamente. Las concentraciones de gas de hidrógeno en la salida fueron del 21 % en vol., el 20 % en vol., el 19 % en vol., el 18 % en vol. y el 17 % en vol., respectivamente. El tiempo de residencia de gas en la zona adiabática fue de desde 2 hasta 6 segundos.

Se calcularon la conversión y el balance de materiales a partir del caudal de un gas de salida y los resultados del análisis de gas. Se llevó a cabo la formación de carbono observando visualmente el interior de las tuberías después de la prueba. Dado que es una prueba a pequeña escala, fue difícil cuantificar la formación de carbono. Por tanto, se consideró que la diferencia entre el valor medido del balance de materiales (%) de átomo de C y el 100 (%) como la cantidad de formación de carbono. En la figura 2, se mostró la temperatura de salida (indicada como temperatura de gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico en la figura 2) en el eje horizontal, se mostraron las conversiones de CO₂ y CH₄ en el eje vertical izquierdo, y se mostró la cantidad de formación de carbono en el eje vertical derecho. Tal como se muestra en la figura 2, no se observó visualmente formación de carbono en la prueba en que la temperatura de un gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico es de 1.060 °C (el caso en el que la temperatura de zona de precalentamiento es de 1.800 °C). Sin embargo, la formación de carbono fue notable en la prueba en que la temperatura del gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico es inferior a 800 °C (el caso en el que la temperatura de zona de precalentamiento es de desde 1.300 °C hasta 900 °C).

Resulta evidente a partir de la figura 2 que mediante el control de tal manera que la reacción de reformado se completa en una posición en que la temperatura de gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico mediante una reacción de reformado es de 800 °C o mayor, pueden lograrse una alta conversión de gas de dióxido de carbono y un alto efecto de enriquecimiento calórico, y adicionalmente, puede suprimirse la formación de carbono que es la causa de atasco de un conducto.

Ejemplo 3

Se llevó a cabo una prueba de reacción de reformado de la misma manera que en el ejemplo 2, excepto en que se usan gases que tienen una composición de gas de simulación de convertidor mostrada en la tabla 1 y la zona de precalentamiento de un gas de simulación está a 1.600 °C. La temperatura del gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico era de 800 °C o mayor en todos los casos. En la figura 3, se mostró la concentración de oxígeno en un gas de simulación en el eje horizontal, se mostraron las conversiones de CO₂ y CH₄ en el eje vertical izquierdo, y el poder calorífico inferior obtenido a partir de una composición de gas se mostró en el eje vertical derecho. Tal como resulta evidente a partir de la figura 3 y la tabla 1, en las pruebas n.^{os} 3-4 a 3-6 en las que la concentración de oxígeno en un gas de simulación es mayor del 1 %, la conversión de CH₄ es alta, pero la conversión de CO₂ y el poder calorífico bajo disminuyeron enormemente. Esto indica que como resultado de la formación de H₂O por oxígeno en un gas de simulación, avanza la reacción de reformado con H₂O de CH₄. Por motivos de referencia, la concentración de gas de hidrógeno en una salida se muestra en la tabla 1.

TABLA 1

(% en vol.)

N.º de prueba	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6
CO	50	50	50	50	50	50
CO ₂	15	15	15	15	15	15
H ₂	1	1	1	1	1	1
N ₂	34	33,5	33	32,5	32	29
O ₂	0	0,5	1	1,5	2	5

H ₂ de salida	21	21	21	21	20,5	18
--------------------------	----	----	----	----	------	----

Tal como resulta evidente a partir de la figura 3, se aclaró que pueden lograrse una alta conversión de gas de dióxido de carbono y un alto efecto de enriquecimiento calórico mediante el control de tal manera que la iniciación de la adición de un agente reductor es cuando la concentración de oxígeno en gas de evacuación se vuelve del 1 % en vol.

Ejemplo 4

Este ejemplo es un ejemplo en el que se llevó a cabo una prueba usando como agente reductor bioetanol gasificado mediante calentamiento con un calentador, y usando el horno de prueba de simulación que comprende el mismo tubo de alúmina que en el ejemplo 1. Este horno de prueba de simulación fue uno en que se instaló una entrada de gas en una brida aguas arriba del tubo de alúmina y se instalaron unas tuberías de introducción de gas de bioetanol que tenían un diámetro exterior de 3 mm y una tubería de protección de termopar en la brida aguas arriba. La tubería de introducción de gas de bioetanol y la tubería de protección de termopar pasan a través de las bridas de tal manera que la adición de gas de bioetanol es una posición de 1,5 m desde la brida aguas arriba y el control de medición de la temperatura de gas es una posición de 1 m desde la brida aguas arriba. Se instalan una abertura de inserción de termopar y un equipo de enfriamiento de gas mediante enfriamiento con agua en la brida aguas abajo, y se instalan un caudalímetro de gas de integración y un analizador de gas en un lado aguas abajo del equipo de enfriamiento de gas. Se cubre todo el tubo de alúmina con un horno eléctrico. Sin embargo, se aplicó corriente solamente a un calentador de 1 m del lado aguas arriba, y se usó esta parte como zona de precalentamiento de un gas de simulación de convertidor. No se aplicó corriente a un calentador aguas abajo más bajo que el calentador aguas arriba, y se usó esta parte como zona de reacción adiabática. Se inyecta el gas de bioetanol en una posición de aproximadamente 0,5 m del lado aguas abajo de la zona de precalentamiento tal como se describió anteriormente. Por tanto, la longitud de la verdadera zona de reacción adiabática es de 3,5 m.

Se preparó un gas mixto de CO: el 50 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 34 % como gas de simulación de convertidor. Se estableció el caudal de gas de simulación en 1 litro/min, se estableció el caudal de gas de bioetanol en 150 ml/min que es equivalente al caudal de CO₂, y se estableció la temperatura de zona de precalentamiento en 1.500 °C. En este caso, la temperatura de salida de la zona de reacción adiabática mediante el termopar instalado en la brida aguas abajo fue de 820 °C. Además, la concentración de gas de hidrógeno en la salida fue del 20 % en vol. El tiempo de residencia de gas en la zona adiabática fue de 3 segundos. Como resultado del cálculo de la conversión y el balance de materiales a partir del caudal de un gas de salida y un resultado de análisis de gas, la conversión de bioetanol fue del 99 %, la conversión de CO₂ fue del 89 %, y la tasa de formación de carbono fue del 1,5 %. Se llevó a cabo la formación de carbono observando visualmente el interior de las tuberías después de la prueba. Se usó la diferencia entre un valor medido de balance de materiales (%) de átomo de C y el 100 (%) como cantidad de formación de carbono. Esta reacción puede representarse mediante la fórmula (5), y como resultado, 2/3 de CO formado deriva de recursos no fósiles. Por tanto, aunque se queme como combustible un gas de síntesis generado, la emisión de gas de dióxido de carbono es simplemente 1/3, y resulta evidente que se tiene un gran efecto de reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono.



Ejemplo 5

Se llevó a cabo la prueba de adición de un agente reductor de la misma manera que en el ejemplo 1, excepto en que se proporciona una abertura de soplado 16 del agente reductor en un extremo inferior de una primera parte de radiación en la parte superior de una campana superior 4, y la cantidad de adición de gas natural es de 3.360 Nm³/h. La temperatura de gas de evacuación en la posición de adición fue de aproximadamente 1.300 °C que es equivalente a la del ejemplo comparativo 1, pero este ejemplo difiere del ejemplo comparativo 1 en que la cantidad de adición de gas natural es pequeña. El gas de evacuación después de someterse a reformado tenía una temperatura de 940 °C, un caudal de 77.280 Nm³/h, y una composición de CO: el 63 % en vol., CO₂: el 7 % en vol., H₂: el 8 % en vol., N₂: el 21 % en vol., CH₄: menos del 0,1 % en vol. y O₂: menos del 0,1 % en vol. La cantidad de gas de hidrógeno aumentó 8 veces mediante la reacción de reformado, y se completó la reacción de reformado a 940 °C en la posición de medición de temperatura. Difiriendo del ejemplo comparativo 1, no se observaron la formación y depósito de polvo tal como carbono sobre el conducto, y pudo someterse a reformado gas de evacuación sin ningún problema. El tiempo de residencia de gas desde la posición de adición de gas natural hasta la posición de medición de temperatura fue de aproximadamente 4 segundos.

Realización 2

Un aparato de reformado de un gas de escape de horno metalúrgico según la realización 2 es un aparato en el que se añaden un agente reductor y similares a gas de escape a alta temperatura de 800 °C o mayor, y preferiblemente 1.000 °C o mayor, descargado de un horno metalúrgico tal como un convertidor de oxígeno o un horno de reducción por fusión para derivar una reacción de reformado entre gas de dióxido de carbono contenido en el gas de escape y el agente reductor, sometiendo a reformado de ese modo el gas de escape, y se caracteriza porque una boquilla de

soplado de agente reductor que tiene una estructura de doble tubería concéntrica que comprende una tubería exterior para soplar nitrógeno diluido y una tubería interior para soplar un agente reductor, encajada mediante inserción en la tubería exterior, se instala en un conducto de gas de escape del horno metalúrgico.

- 5 La constitución de la realización 2 se describe a continuación con referencia a un ejemplo que usa un convertidor de oxígeno como horno metalúrgico.

10 El gas de escape a alta temperatura descargado de un convertidor de oxígeno contiene generalmente desde aproximadamente el 10 hasta el 20 % en vol. de CO₂ y desde aproximadamente el 50 hasta el 80 % en vol. de CO, el poder calorífico es de desde aproximadamente 1.500 hasta 2.000 kcal/Nm³, y la temperatura en una porción de garganta durante el funcionamiento del convertidor de oxígeno es de desde aproximadamente 1.200 hasta 1.800 °C. El aparato de la realización 2 logra simultáneamente y de manera segura el enriquecimiento calórico de gas de evacuación y la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono añadiendo un agente reductor tal como gas natural al gas de evacuación de convertidor para derivar una reacción de reformado entre el agente reductor y gas
15 de dióxido de carbono de la siguiente fórmula (1).



20 Es decir, dado que se usa gas de evacuación sometido a enriquecimiento calórico y sometido a reformado como diversas fuentes de calor en acerías (para combustión), finalmente se emite gas de dióxido de carbono. Sin embargo, puede reducirse un combustible auxiliar tal como aceite pesado usado en acerías en una cantidad correspondiente a la porción de enriquecimiento calórico, y como resultado, la cantidad de gas de dióxido de carbono generada puede reducirse en la cantidad correspondiente. La figura 5 es una vista de diagrama esquemático de un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno de un convertidor de oxígeno para
25 explicar un aparato de reformado de un gas de escape de horno metalúrgico según la realización 2. Tal como se muestra en la figura 5, se descarga el gas de evacuación generado a partir de un convertidor de oxígeno 1 a través de un faldón 2, una campana inferior 3, una campana superior 4, una primera parte de radiación 25, un colector de polvo primario 5 (colector de polvo húmedo), un colector de polvo secundario 13, y similares.

- 30 La figura 6 es un ejemplo de una boquilla de soplado de agente reductor N preferida usada en la realización 2.

El aparato de reformado según la realización 2 es preferiblemente tal que la boquilla de soplado de agente reductor N que tiene una estructura de doble tubería concéntrica, que comprende la tubería exterior 8 para soplar nitrógeno diluido y la tubería interior 9 para soplar un agente reductor tal como gas natural se instala preferiblemente en un
35 conducto de gas de escape de un convertidor de oxígeno, es decir, cualquier posición de la campana inferior 4, la campana superior 4 y la parte de radiación 25, en uno o múltiples sitios en la dirección circunferencial del conducto. Por ejemplo, las cuatro boquillas en total se instalan desde dos sitios dado que dos boquillas forman un par.

40 La boquilla de soplado de agente reductor N puede expulsar un agente reductor descrito a continuación en el presente documento desde un paso central 29a formado por la tubería interior, y puede expulsar nitrógeno diluido tal como nitrógeno diluido para la parada de emergencia desde un paso similar a un anillo 28a formado por un espacio entre la tubería exterior 28 y la tubería interior 29.

45 Se llevan a cabo la expulsión del nitrógeno diluido y la expulsión del agente reductor tal como gas natural en un estado independiente, respectivamente. El primero es, por ejemplo, el caso en el momento de inyección de nitrógeno diluido para la parada de emergencia que funciona cuando existe peligro de explosión debido a una elevación de temperatura de un gas de escape de convertidor. Por otra parte, el último es el caso de expulsar un agente reductor suministrado para intentar realizar reformado y enriquecimiento calórico de un gas de escape. Naturalmente, estos pueden expulsarse simultáneamente, y este caso tiene una función para controlar la
50 concentración de gas de soplado de agente reductor.

60 Generalmente, en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno que tiene tal conducto de gas de escape de convertidor, se proporciona una boquilla de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia 32 en una parte inferior de la primera parte de radiación 25, cerca del extremo superior de la campana superior 4, en el ejemplo mostrado. En la presente invención, preferiblemente se utiliza la boquilla de soplado de nitrógeno diluido 32 existente, se usa esta boquilla como la tubería exterior 28, y la tubería interior de soplado de agente reductor 29 encaja mediante inserción en una porción central en el interior de la tubería exterior 28, constituyendo de ese modo la boquilla de soplado de agente reductor N que tiene una estructura de doble tubería concéntrica. En este caso, dado que se utiliza la boquilla de soplado de nitrógeno diluido 12 existente tal cual, puede reducirse enormemente el
65 coste de construcción.

El motivo para utilizar la boquilla de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia 32 es que dado que generalmente se emplea nitrógeno diluido para la parada de emergencia para soplar una gran cantidad de nitrógeno en un conducto de gas de escape de convertidor que comprende desde el faldón 2 hasta la parte de radiación 25 con el propósito de impedir una explosión por el gas de escape a alta temperatura en una emergencia temporal durante el funcionamiento de un convertidor de oxígeno. La boquilla de soplado de nitrógeno diluido comprende

generalmente desde aproximadamente 2 hasta 8 boquillas que tienen un gran diámetro interior de desde aproximadamente 200 hasta 300 mm situadas en una pared periférica de polvo, y se usa generalmente solamente en un momento de emergencia. La presente invención es la realización en la que en tal boquilla de soplado de nitrógeno diluido que tiene un gran diámetro, es decir, la tubería exterior 28, la tubería de soplado de agente reductor 9 que tiene un diámetro más pequeño que la boquilla se inserta en el interior de la misma en una porción central en una dirección axial, constituyendo de ese modo una estructura de doble tubería.

La boquilla de nitrógeno diluido 32 descrita anteriormente es la boquilla existente. Por tanto, no es necesario preparar una boquilla añadiendo una función de flujo de agente reductor a un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno y la lanza 11 y diseñar nuevamente una boquilla, y simplemente se monta la tubería interior de soplado de agente reductor 29 en el interior de la tubería exterior 28 como boquilla de soplado de nitrógeno diluido, lo que es ventajoso en una fácil instalación y economía.

El equipo de conducto de gas de escape de convertidor es generalmente uno distinto de la boquilla de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia 12 descrita anteriormente, se instalan en múltiples sitios bridas para instalar elementos de andamiaje cuando se entra en el conducto con el propósito de inspección, además se instalan pozos de registro como orificio de inspección. El ejemplo anterior de la presente invención propuso usar la tubería de soplado de nitrógeno de la boquilla de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia 32 existente como la tubería exterior de la boquilla de soplado de agente reductor. Sin embargo, es posible instalar la boquilla de soplado de agente reductor N que tiene una estructura de doble tubería concéntrica de la realización 2 en los pozos de registro y elementos de andamiaje existentes.

Una pluralidad de boquillas de soplado de agente reductor N se instalan generalmente en la dirección circunferencial del conducto de gas de escape. Sin embargo, sólo puede utilizarse una parte de la boquilla de soplado de nitrógeno diluido 32 existente y la boquilla N puede instalarse en la misma, y la boquilla N puede instalarse en todas las boquillas 12. La instalación de la boquilla de soplado de agente reductor N es igual incluso en el caso de utilizar la brida y los pozos de registro descritos anteriormente.

El soplado de un agente reductor en un conducto de gas de escape de convertidor en un estado de llenarse con gas de escape a alta temperatura se lleva a cabo preferiblemente desde la boquilla de soplado de agente reductor N instalada en una parte inferior de la primera parte de radiación 25 en la que un gas de escape tiene una alta temperatura de 800 °C o mayor. Este ejemplo se muestra en la figura 5. La temperatura de gas de escape en la parte inferior de la primera parte de radiación 5 en el conducto de gas de escape de convertidor es generalmente de desde aproximadamente 1.100 hasta 1.400 °C, y esta es una temperatura suficiente para el avance de una reacción de reformado. Por otra parte, se consume por completo el oxígeno mediante una reacción de combustión con monóxido de carbono en esta posición, y no se eleva rápidamente una llama hasta esta posición. Por tanto, puede someterse a reformado un gas de escape y someterse a enriquecimiento calórico de manera segura y eficiente, y en algunos casos, puede llevarse a cabo un control de concentración mediante nitrógeno diluido.

El agente reductor tal como gas natural soplado en gas de escape a alta temperatura de un convertidor de oxígeno desde la boquilla de soplado de agente reductor N reacciona con gas de dióxido de carbono en el gas de escape para inducir la reacción de fórmula (1), absorbiendo de ese modo calor sensible del gas de escape. Por tanto, la temperatura de gas de escape disminuye con el avance de la reacción. Con el avance de la reacción, aumentan el caudal de gas de escape, la concentración de monóxido de carbono y la concentración de hidrógeno, y por otra parte, disminuye la concentración de gas de dióxido de carbono. En la figura 5, se monitoriza la reacción con el termómetro 10, el analizador de gas 6, un caudalímetro de gas (no mostrado), y similares. La válvula de control de caudal 7 del agente reductor y la presión de suministro de agente reductor (no mostrada) pueden controlarse usando esos valores medidos. El primer colector de polvo 5 es un colector de polvo húmedo. Por tanto, se enfría bruscamente un gas de escape en el colector de polvo, y un área hasta justo antes del primer colector de polvo 5 es un espacio que puede utilizarse en la reacción.

El agente reductor que puede usarse en la presente invención es preferiblemente al menos un material seleccionado de gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter, dietil éter, compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil tales como bioetanol y biodiésel y una mezcla de los mismos. De esos, se prefieren gas natural, gas licuado de petróleo, nafta ligera, refinado y dimetil éter porque esos tienen buena reactividad con gas de dióxido de carbono, y están fácilmente disponibles en una gran cantidad. En el caso de usar un agente reductor que es un gas a temperatura ambiente, tal como gas natural y gas licuado de petróleo, se usa una boquilla adecuada para el soplado de gas, y no están particularmente limitados la forma de la boquilla ni el número de boquillas. En el caso de un agente reductor que es un líquido a temperatura ambiente, tal como refinado, el agente reductor puede inyectarse pulverizando el agente reductor en un estado de neblina, y puede gasificarse e inyectarse en forma de gas. En el caso de suministro en un estado de neblina, su diámetro de gotita es un diámetro tal que el contacto con gas de dióxido de carbono es eficiente, y es preferiblemente de desde 0,01 hasta 1.000 μm , y más preferiblemente desde 0,1 hasta 100 μm . En el caso de usar un gas licuado tal como dimetil éter como agente reductor, el agente reductor puede gasificarse previamente e inyectarse como gas, y puede suministrarse mediante el suministro en forma de un líquido y la gasificación del agente reductor cerca de una boquilla o en una boquilla. En este caso, en el caso de la gasificación cerca de una boquilla o en una boquilla, la boquilla se enfría mediante calor

de evaporación, y esto se prefiere en cuanto a la protección de la boquilla.

El agente reductor puede usar compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil junto con los compuestos del tipo de recurso fósil o en lugar de los mismos. Cuando los compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil se seleccionan como agente reductor, se lleva a cabo una reacción de reformado mediante un agente reductor neutro de carbono, además de la porción en la que el gas de evacuación se somete a enriquecimiento calórico mediante una reacción de reformado de gas de dióxido de carbono, y esto se prefiere en cuanto a la capacidad de contribuir enormemente a la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono. Los ejemplos del compuesto orgánico del tipo de recurso no fósil incluyen bioetanol, biodiésel y una mezcla de los mismos. El bioetanol y biodiésel son generalmente un líquido a temperatura ambiente. Por tanto, preferiblemente se inyectan los mismos mediante pulverización en un estado de neblina, o se gasifican y luego se inyectan como gas. En el caso de gas licuado del compuesto orgánico del tipo de recurso no fósil, el gas licuado se usa preferiblemente de la misma manera que en dimetil éter tal como se describió anteriormente.

15 Ejemplo 1

Este ejemplo es un ejemplo que llevó a cabo una prueba de adición de gas natural como agente reductor a un gas de escape de convertidor de oxígeno (gas de evacuación) desde la boquilla de soplado de agente reductor N instalada utilizando la boquilla de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia 32 proporcionada en una parte inferior de la parte de radiación 25 mostrada en la figura 5, usando un convertidor de soplado por arriba de 300 t 1. Las boquillas de soplado de agente reductor N del aparato de reformado usado en este ejemplo se instalan con una anchura equivalente sobre los cuatro sitios en total casi a la misma altura de una dirección axial de un conducto de gas de escape de convertidor (parte de radiación), y el diámetro interior de su tubería exterior 28 es de 200 mm. Todas las boquillas de soplado de agente reductor N instaladas en cuatro sitios están equipadas con una tubería interior de soplado de agente reductor 29 que tiene un diámetro interior de 35 mm tal como se muestra en la figura 6, y válvula de control de presión y válvula de control de caudal generales, no mostradas en el dibujo, encajan en el interior de las tuberías aguas arriba de la tubería interior de soplado de agente reductor 29.

Antes del soplado de gas natural como agente reductor, se confirmó si había o no algún problema en el flujo del gas nitrógeno de parada de emergencia. El gas nitrógeno podía soplarse a 27.000 Nm³/h como caudal preestablecido, y se aclaró que no había ningún problema con la seguridad en el funcionamiento de un convertidor de oxígeno. El caudal de gas de evacuación cuando no se soplaba gas natural era de 67.000 Nm³/h, y la composición de gas era CO: el 60 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 24 % en vol. Esto indica que se emitió CO₂ en una cantidad de 10.050 Nm³/h. La cantidad del gas natural añadido fue de 3.600 Nm³/h en las cuatro boquillas de soplado de agente reductor N en total. Dado que el contenido de CH₄ del gas natural fue del 92 % en vol., la razón molar entre CO₂ y CH₄ puede aproximarse a 3:1. Aunque no se midió realmente la temperatura de gas de evacuación cerca de la boquilla de soplado de agente reductor N, se estima que es de aproximadamente 1.300 °C según análisis numérico.

En las condiciones prácticas, se ajustó la presión de suministro de gas natural a 200 kPa en presión manométrica, y se ajustó el caudal desde cada boquilla de soplado de agente reductor N para que fuese de 900 Nm³/h. Se produjeron fugas de oxígeno justo después del inicio del soplado. Por tanto, se inició la adición de gas natural cuando la concentración de oxígeno se convirtió en el 1 % en vol. o menos, y se monitorizaron la temperatura, el caudal y la composición del gas de evacuación sometido a reformado. Como resultado, el gas de evacuación tenía una temperatura de 910 °C, un caudal de 78.000 Nm³/h, y una composición de CO: el 64 % en vol., CO₂: el 6 % en vol., H₂: el 8 % en vol., N₂: el 22 % en vol., y CH₄ y O₂: menos del límite analítico. Toda la cantidad de gas natural soplado reaccionó con gas de dióxido de carbono, y no hubo peligro de combustión y explosión. Se observó además que no se observaron la formación ni el depósito de polvo de gas de escape tal como carbono en un conducto (conducto), y se sometió a reformado el gas de escape de manera eficiente. El calor de combustión del gas de evacuación antes de someterse a reformado fue de 1.840 kcal/Nm³, pero el calor de combustión después de someterse a reformado fue de 2.140 kcal/Nm³. Por tanto, el enriquecimiento calórico fue del 16 % en volumen estándar de gas de evacuación. Se calcula que el caudal de gas de dióxido de carbono en gas de evacuación después de someterse a reformado es de 4.680 Nm³/h, y la conversión de gas de dióxido de carbono es del 53 %. Por tanto, se confirmó que fue eficaz emplear el aparato según la presente invención.

La realización 2 tiene los siguientes efectos.

(1) Un aparato para el reformado de un gas de escape de horno metalúrgico puede ser un equipo económico que tiene una estructura sencilla. Adicionalmente, puede realizarse de manera segura el reformado y el enriquecimiento calórico de un gas de escape, y eventualmente, puede lograrse la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono con alta eficiencia.

(2) Dado que se utiliza una tubería de soplado de nitrógeno diluido de parada de emergencia proporcionada originalmente en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno de horno metalúrgico, no se requiere instalar un aparato completamente nuevo para el conducto de gas de escape, y puede reducirse el coste de instalación de un aparato.

(3) Debido a una estructura que utiliza calor sensible de gas de escape a alta temperatura descargado de un horno metalúrgico tal cual, en la derivación de una reacción de reformado de gas de dióxido de carbono mediante la adición de un agente reductor, no se genera la formación y depósito de carbono y materiales no combustibles, y puede aumentarse la cantidad de calor de gas de escape. Adicionalmente, pueden lograrse simultáneamente la expansión de utilización de gas de escape y la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono.

(4) Dado que se usa una boquilla que tiene una estructura de doble tubería concéntrica que comprende una tubería exterior para soplar nitrógeno diluido y una tubería interior para soplar un agente reductor, puede ajustarse la temperatura de un agente reductor, y adicionalmente, es beneficioso impedir de manera eficaz una rápida combustión y el peligro de explosión debido a la eyección de nitrógeno diluido.

(5) Debido a un aparato de doble tubería concéntrica que usa gas natural o similar producido de manera económica y en una gran cantidad como agente reductor para una reacción de reformado, es económico. En particular, en el caso de usar compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil tales como bioetanol y biodiésel como agente reductor, puede pasar a contribuir enormemente a la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono.

Realización 3

En acerías, se genera una gran cantidad de gas de escape a alta temperatura de 1.000 °C o mayor que contiene gas de dióxido de carbono a partir de un convertidor de oxígeno, un horno de reducción por fusión y similares. Esos gases de escape contienen componentes combustibles tales como monóxido de carbono aparte de gas de dióxido de carbono, y se utilizan por tanto como fuente de energía para hacer funcionar diversos equipos en acerías.

A propósito, se sabe que diversos hidrocarburos tales como metano y compuestos que contienen oxígeno tales como metanol y dimetil éter reaccionan con gas de dióxido de carbono y se someten a reformado para dar monóxido de carbono e hidrógeno. En este caso, diversos hidrocarburos tales como metano actúan como agente reductor para gas de dióxido de carbono. Esta reacción es una reacción endotérmica, y cuando metano y gas de dióxido de carbono inducen la reacción de reformado, se absorbe una cantidad de calor de $\Delta H_{298K}=247$ kJ. Específicamente, cuando el gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono entra en contacto con un agente reductor tal como metano para inducir la reacción de reformado mostrada mediante la fórmula (1), desciende la temperatura del gas de escape espontáneamente.



El monóxido de carbono e hidrógeno formados en la reacción mostrada mediante la fórmula (1) son un gas combustible. En el caso de considerar el gas como fuente de energía, el gas de escape aumenta su contenido calórico mediante la reacción de fórmula (1). Dicho de otro modo, se somete a reformado gas de escape a alta temperatura para dar un gas combustible que contiene componentes combustibles tales como monóxido de carbono e hidrógeno, y puede utilizarse como fuente de energía un material obtenido enfriando el gas. Por tanto, el producto de reacción de reformado se convierte en un gas combustible útil.

Se sabe que la reacción de reformado mostrada mediante la fórmula (1) es propensa a avanzar con el aumento de la temperatura, y es una reacción en la que la conversión de equilibrio de gas de dióxido de carbono a 900 °C es de aproximadamente el 95 %, y la conversión de equilibrio alcanza casi el 100 % a aproximadamente 1.000 °C o mayor.

Por otra parte, cuando un agente reductor tal como metano se añade a un gas de escape de generación de horno metalúrgico que comprende gas combustible a alta temperatura de 800 °C o mayor y preferiblemente 1.000 °C o mayor que contiene gas de dióxido de carbono y que contiene además un componente combustible tal como monóxido de carbono e hidrógeno, por ejemplo, un gas de convertidor, y el agente reductor y gas de dióxido de carbono en el gas de escape inducen la reacción endotérmica anterior, el gas de escape a alta temperatura se enfría rápidamente por sí mismo mediante la reacción endotérmica, sin depender de un equipo de enfriamiento.

Sin embargo, según los estudios realizados por los presentes inventores, se ha aclarado que cuando la temperatura para completarse la reacción endotérmica de reformado anterior es inferior a 800 °C, se produce el problema de que la formación de carbono sólido es notable, dando como resultado que se provoca el depósito de un producto sólido en el equipo. Por este motivo, la reacción endotérmica se completa de manera deseable cuando la temperatura de gas después de la reacción es de 800 °C o mayor. En el caso de pretender enfriar hasta una baja temperatura inferior a 800 °C, puede lograrse la intención usando de manera concurrente un método de enfriamiento general tal como un intercambiador de calor.

El término "completarse la reacción endotérmica de reformado" usado en el presente documento significa que la reacción entre un agente reductor añadido tal como metano y gas de dióxido de carbono en un gas de escape avanza hasta casi el equilibrio en su atmósfera. Teóricamente, es necesario un tiempo de residencia infinito para que avance por completo hasta el equilibrio, y no puede definirse de manera estricta el casi equilibrio. La presente invención considera "completarse la reacción endotérmica de reformado" cuando aumenta la concentración de gas

de hidrógeno con relación a la concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape antes de someterse a reformado. La temperatura de gas de escape disminuye mediante una reacción de reformado. Por tanto, completarse la reacción de reformado cuando la temperatura de gas después de la reacción es de 800 °C o mayor tiene significado físico.

Por otra parte, el átomo de hidrógeno derivado de un agente reductor añadido se convierte en el gas de hidrógeno mediante una reacción de reformado. El análisis de una composición de gas de escape es esencial en un procedimiento de recuperación de un gas de escape como fuente de energía. La monitorización de que se complete una reacción mediante la concentración de gas de hidrógeno tiene significado químico y es importante como control del funcionamiento.

En el soplado de descarbonización, dado que el gas de hidrógeno en un gas de escape es originalmente de tan sólo aproximadamente el 1 % en vol., el gas de hidrógeno en un gas después de someterse a reformado aumenta desde aproximadamente 2 hasta 25 veces en comparación con la cantidad antes de someterse a reformado, y debido a esto, la monitorización es fácil. Por tanto, en el soplado de descarbonización, "completarse la reacción endotérmica de reformado" es preferiblemente cuando el gas de hidrógeno aumenta 2 veces o más que antes de someterse a reformado.

Por otra parte, en el soplado de desfosforación en el que el caudal de gas de escape es originalmente pequeño y la tasa de recuperación de gas de escape es baja, se lleva a cabo recientemente la introducción de plásticos residuales para aumentar la cantidad de gas de escape, aumentando de ese modo la tasa de recuperación. La concentración de gas de hidrógeno en un gas de escape antes de someterse a reformado alcanza desde aproximadamente el 10 hasta el 15 % en vol. debido al gas de hidrógeno generado a partir de materiales auxiliares tales como plásticos residuales. Además, dado que se suministra GLP o similar como gas de enfriamiento para impedir el daño por fuego de toberas en un convertidor de soplado por el fondo, se genera una gran cantidad de gas de hidrógeno incluso por descomposición de GLP. En un caso tal que se genera una gran cantidad de gas de hidrógeno, la concentración de hidrógeno en un gas de escape después de someterse a reformado aumenta simplemente de desde el 1 hasta el 5 % en comparación con la concentración antes de someterse a reformado. Por tanto, en el soplado de desfosforación y un convertidor de soplado por el fondo, "completarse la reacción endotérmica de reformado" es preferiblemente cuando el gas de hidrógeno aumenta el 1 % o más de la concentración antes de someterse a reformado. Por consiguiente, como precisión analítica de un analizador de gas, se prefiere una precisión del 0,5 % o menos, y se prefiere particularmente una precisión del 0,1 % o menos. Tal analizador de gas puede ejemplificar un cromatógrafo de gases y analizador de medición continua de la conductividad térmica.

La característica en el método de enfriamiento de la realización 3 es que, por ejemplo, en el caso de un gas de escape de convertidor, el gas contiene polvo que comprende un polvo fino de óxido de hierro (partícula fina de 0,5 μm o menos y que supera los 100 μm , y humos de 100 μm o menos) denominado polvo de convertidor, como componente principal. El polvo fino de óxido de hierro (una mezcla que contiene al menos uno de FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 u oxihidróxido de hierro) funciona como catalizador de reformado que induce una reacción endotérmica (reacción de oxidación de metano) de la fórmula (1) anterior a temperatura inferior. Debido a la presencia del polvo fino de óxido de hierro, la reacción endotérmica de fórmula (1) avanza aunque el gas de escape esté a menos de 1.000 °C y 800 °C o mayor, y se logra el enfriamiento eficaz del gas de escape. Esto hace posible en la presente invención que el propio gas de escape a alta temperatura puede enfriarse químicamente de manera eficaz mediante la reacción endotérmica de fórmula (1), no mediante un método mecánico, sin depender de un aparato de enfriamiento tal como una camisa de enfriamiento con agua. Dado que el polvo de convertidor entra en contacto con gas reductor a alta temperatura descargado de un convertidor de oxígeno, se reduce una parte del mismo con el avance de la reacción endotérmica de fórmula (1), y se forma óxido de hierro. Sin embargo, no hay diferencia en la función como catalizador de reformado.

Se describe una realización de la realización 3 a continuación basándose en el ejemplo de aplicación a gas de escape a alta temperatura descargado de un convertidor de oxígeno.

El gas de escape a alta temperatura descargado de un convertidor de oxígeno generalmente contiene desde aproximadamente el 10 hasta el 20 % en vol. de CO_2 y desde aproximadamente el 50 hasta el 80 % en vol. de CO , el poder calorífico es de desde aproximadamente 1.500 hasta 2.000 kcal/ Nm^3 , y la temperatura en una parte de garganta durante el funcionamiento es de desde aproximadamente 1.200 hasta 1.800 °C. En la realización 3, se añade una cantidad necesaria de un agente reductor tal como metano o gas natural al gas de escape de convertidor en un sitio cualquiera o dos o más sitios de una porción de lanza de soplado superior o una parte de radiación desde un conducto, es decir, una campana inferior, a un lado de entrada de primer colector de polvo para derivar una reacción endotérmica entre el agente reductor y gas de dióxido de carbono tal como se muestra en la fórmula (1) anterior, enfriando de ese modo el propio gas de escape descargado del convertidor de oxígeno.

La cantidad de adición del agente reductor para derivar la reacción endotérmica se determina dependiendo de la razón molar entre CO_2 y CH_4 según la cantidad de gas de escape de generación de convertidor (m^3/h). Por ejemplo, cuando la razón molar entre CO_2 y CH_4 es de 1:1, cuando la concentración de CO_2 en el gas es del 15 % en vol. en

la cantidad de gas de escape de generación de convertidor de 79.000 m³/h, la cantidad de adición de metano como agente reductor es de aproximadamente 11.850 m³/h.

5 La adición de un agente reductor puede disminuir el gas de escape de aproximadamente 1.600 °C a aproximadamente 1.000 °C en el lado de entrada del colector de polvo primario en, por ejemplo, la campana inferior sin proporcionar una estructura de camisa de enfriamiento con agua en la parte de radiación. La parte de radiación se forma de manera que tiene una estructura de enfriamiento con agua, y puede usarse de manera concurrente un método de enfriamiento forzado mecánicamente.

10 La figura 7 es una vista en línea esquemática de un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno de un convertidor de oxígeno para explicar un método de enfriamiento de un gas de escape de generación de horno metalúrgico según la realización 3. Tal como se muestra en el dibujo, un gas generado a partir de un convertidor de oxígeno 1 se hace pasar a través de un faldón 2, una campana inferior 3 y una parte de radiación (conducto) que contiene una campana superior 4, y se descarga en un colector de polvo primario 5.

15 En la realización 3, la posición de adición de un agente reductor para derivar la reacción endotérmica es tal que puede proporcionarse una boquilla de agente reductor en cualquier posición de la lanza 11, la campana inferior 3, la campana superior 4 y la parte de radiación posterior, tal como se describió anteriormente.

20 El agente reductor que puede usarse en la realización 2 es preferiblemente al menos uno seleccionado de compuestos de recurso fósil tales como gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter y dietil éter. Sobre todo, se prefieren gas natural, gas licuado de petróleo, nafta ligera, refinado y dietil éter porque esos tienen buena reactividad con gas de dióxido de carbono y están fácilmente disponibles de manera económica y en una gran cantidad. En el caso de un agente reductor que es un gas a temperatura ambiente, tal como gas natural y gas licuado de petróleo, se usa una boquilla adecuada para el soplado de gas, y no están particularmente limitados la forma de la boquilla ni el número de boquillas. En el caso de un agente reductor que es un líquido a temperatura ambiente, tal como refinado, el agente reductor puede inyectarse pulverizando el agente reductor en un estado de neblina, y puede gasificarse e inyectarse en forma de gas. En el caso de suministro en un estado de neblina, su diámetro de gotita es tal que el contacto con gas de dióxido de carbono es eficiente, y es preferiblemente de desde 0,01 hasta 1.000 μm, y más preferiblemente desde 0,1 hasta 100 μm. En el caso de usar un gas licuado tal como dimetil éter como agente reductor, el agente reductor puede gasificarse previamente e inyectarse como gas, y puede suministrarse mediante el suministro en forma de un líquido y la gasificación del agente reductor cerca de una boquilla o en una boquilla. En este caso, en el caso de gasificación cerca de una boquilla o en una boquilla, la boquilla se enfría mediante calor de evaporación, y esto se prefiere en cuanto a la protección de la boquilla.

35 El agente reductor puede usar compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil junto con los compuestos del tipo de recurso fósil o en lugar de los mismos. Se prefiere particularmente el uso de los compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil porque se lleva a cabo una reacción endotérmica de reformado mediante un agente reductor neutro de carbono, además de una porción en la que se enfría gas de evacuación y se somete a enriquecimiento calórico mediante la reacción endotérmica de reformado, y esto puede contribuir enormemente a la reducción de emisiones de gas de dióxido de carbono. Los ejemplos del compuesto orgánico del tipo de recurso no fósil incluyen bioetanol, biodiésel y una mezcla de los mismos. El bioetanol y biodiésel son un líquido a temperatura ambiente, y se usan de la misma manera que el refinado descrito anteriormente. Se usan gases licuados de los compuestos orgánicos del tipo de recurso no fósil de la misma manera que el dimetil éter descrito anteriormente.

Ejemplo 1

50 Este ejemplo es un ejemplo en el que se llevó a cabo una prueba usando un horno de prueba de simulación que comprende un tubo de alúmina que tiene un diámetro interior de 12 mm y una longitud de 5 m. Este horno de prueba es uno en que se instala una entrada de gas en una brida aguas arriba del tubo de aluminio y se instalan unas tuberías de introducción de gas metano que tienen un diámetro exterior de 3 mm y una tubería de protección de termopar en la brida aguas arriba, la adición de gas metano es en una posición de 1,5 m desde la brida aguas arriba, el control de medición de la temperatura de gas es en una posición de 1 m desde la brida aguas arriba, y se hacen pasar la tubería de introducción de metano y la tubería de protección de termopar a través de la brida. Se instalan un orificio de inserción de termopar y un equipo de enfriamiento de gas mediante enfriamiento con agua en una brida aguas abajo, y se instalan un caudalímetro de gas de integración y un analizador de gas en el lado aguas abajo del equipo de enfriamiento de gas. Se cubre todo el tubo de alúmina con un horno eléctrico. Se aplicó corriente solamente a un calentador de 1 metro del lado aguas arriba, y se produjo esta parte como zona de precalentamiento de un gas de simulación de convertidor. No se aplicó corriente a un calentador aguas abajo más bajo del calentador aguas arriba, y se produjo la parte como zona de reacción adiabática.

65 Se inyecta metano en una posición aguas abajo de aproximadamente 0,5 m desde la zona de precalentamiento tal como se describió anteriormente. Por tanto, la longitud de la verdadera zona de reacción adiabática es de 3,5 m.

Se preparó un gas mixto de CO: el 50 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 34 % en vol. como

gas de simulación de convertidor. Se estableció el caudal de gas de simulación en 1 litro/min, se estableció el caudal de gas metano en 150 ml/min que es equivalente al caudal de CO₂, y se llevó a cabo una prueba de reacción de reformado cambiando la temperatura de la zona de precalentamiento a 1.800 °C, 1.500 °C y 1.300 °C. Como resultado de que se mide la temperatura de salida de una zona de reacción adiabática mediante un termopar instalado en la brida aguas abajo en este ejemplo, las temperaturas de salida disminuyeron hasta 1.060 °C, 840 °C y 775 °C en cada prueba de las temperaturas de zona de precalentamiento de 1.800 °C, 1.500 °C y 1.300 °C, respectivamente. Las concentraciones de gas de hidrógeno en la salida fueron del 21 % en vol., el 20 % en vol. y el 19 % en vol., respectivamente. El tiempo de residencia de gas en la zona adiabática fue de desde 2 hasta 6 segundos.

No se observó visualmente formación de carbono en la prueba en que la temperatura de gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico es de 1.060 °C (el caso en el que la temperatura de zona de precalentamiento es de 1.800 °C) y la prueba en que la temperatura de un gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico es de 840 °C (el caso en el que la temperatura de zona de precalentamiento es de 1.500 °C). Sin embargo, la formación de carbono fue notable en la prueba en que la temperatura de gas de simulación sometido a enriquecimiento calórico es inferior a 800 °C (el caso en el que la temperatura de zona de precalentamiento es de 1.300 °C).

Ejemplo 2

Este ejemplo es un ejemplo en el que se llevó a cabo una prueba en que se usa un convertidor de soplado por arriba de 300 t y un orificio de soplado de agente reductor 16 para añadir gas natural a un gas de escape de convertidor (gas de evacuación) que contiene un polvo de convertidor (polvo fino de óxido de hierro) desde el extremo inferior de la campana superior 4 se proporciona para enfriar una parte de radiación que es un paso de escape (conducto), tal como se muestra en la figura 8. En el funcionamiento general, el convertidor es tal que la campana inferior 3 y la campana superior 4, que son pasos de escape, tienen una estructura de tubería de enfriamiento, y se enfría gas de evacuación mediante enfriamiento con agua. Se llevó a cabo la prueba deteniendo el enfriamiento con agua. El gas de evacuación cuando no se sopla gas natural en el mismo tiene un caudal de 79.000 Nm³/h, y una composición de gas de CO: el 50 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 34 % en vol. El gas natural añadido fue de 11.850 Nm³/h que es equivalente al caudal de CO₂. Dado que el contenido de CH₄ del gas natural fue del 92 % en vol., la razón molar de CO₂ y CH₄ puede aproximarse a 1:1. La temperatura de gas de evacuación cerca de la garganta de convertidor era de aproximadamente 1.700 °C.

Se instalaron un caudalímetro de gas de evacuación y el analizador de gas 6 en el lado aguas abajo de un colector de polvo secundario (captador de polvo), y se instaló el termómetro 10 en el lado aguas arriba del colector de polvo primario (colector de polvo húmedo). Después de eso, se inició la adición de gas natural, y se monitorizaron la temperatura, el caudal y la composición del gas de evacuación sometido a reformado. Como resultado, el gas de evacuación tenía una temperatura de 980 °C, un caudal de 114.400 Nm³/h, y una composición de CO: el 55 % en vol., CO₂: el 0,1 % en vol., H₂: el 21 % en vol., N₂: el 23,5 % en vol., CH₄: el 0,1 % en vol. y O₂: menos del 0,1 % en vol. Mediante la instalación del orificio de soplado de gas natural, el gas de evacuación pudo enfriarse en un paso de escape sin ningún problema. Mediante la reacción, el gas de hidrógeno aumentó 21 veces, y se completó la reacción endotérmica de reformado a 980 °C.

Ejemplo 3

Se llevó a cabo una prueba de la misma manera que en el ejemplo 2, excepto en que se instaló un orificio de soplado en el extremo inferior de una primera parte de radiación en la parte superior de la campana superior 4 tal como se muestra en la figura 9. La temperatura de gas de evacuación en el orificio de soplado fue de aproximadamente 1.300 °C.

De manera similar al ejemplo 1, se inició la adición de gas natural, y se monitorizaron la temperatura, el caudal y la composición del gas de evacuación sometido a reformado. Como resultado, el gas de evacuación tenía una temperatura de 940 °C, un caudal de 77.280 Nm³/h, y una composición de CO: el 63 % en vol., CO₂: el 7 % en vol., H₂: el 8 % en vol., N₂: el 21 % en vol., CH₄: menos del 0,1 % en vol. y O₂: menos del 0,1 % en vol. El gas de evacuación pudo enfriarse en un paso de escape sin ningún problema. Mediante la reacción, el gas de hidrógeno aumentó 8 veces, y se completó la reacción endotérmica de reformado a 940 °C.

Ejemplo 4

Preparación de partícula de polvo

Se sopló agua a un gas de escape descargado de un convertidor de soplado por arriba de 300 t a lo largo de dos fases de un colector de polvo primario 5 y un segundo colector de polvo 13, y se recogió polvo de colector. Se separó el polvo de partícula gruesa que superaba los 100 µm de aguas residuales que contenían el polvo de convertidor recogido usando un separador de partícula gruesa. Se añadió un agente coagulante a las aguas residuales restantes, se precipitaron por agregación las partículas finas y se concentraron. Después de eso, se deshidrató el concentrado mediante filtro prensa para obtener un polvo pulverizado fino.

Se secaron a 105 °C el polvo de partícula fina y el polvo de partícula gruesa así obtenidos durante la noche y se trituraron hasta 0,5 mm o menos usando una mano y mortero, respectivamente. Se secaron a 105 °C de nuevo esas partículas durante 2 horas, y luego se aplicaron a una prueba de evaluación de actividad.

5

Prueba de evaluación de actividad y resultado

Esta prueba es un ejemplo llevado a cabo usando un horno de prueba de simulación de cuarzo que tenía un diámetro interior de 7 cm y una longitud de 200 cm. Se usó un gas mixto de CO: el 60 % en vol., CO₂: el 15 % en vol., H₂: el 1 % en vol. y N₂: el 24 % en vol. como gas de simulación de convertidor. Se fijó el caudal de gas de simulación a un caudal de 850 ml/min, y se fijó gas metano a un caudal de 127,5 ml/min que es equivalente al caudal de CO₂. Se introdujo el gas de simulación en un horno de prueba que tenía 19 ml de polvo cargados en el mismo. Se llevó a cabo precalentamiento mediante un horno eléctrico, cambiando de ese modo la temperatura de gas de simulación en el momento de la reacción de reformado a 700 °C, 800 °C, 900 °C y 1.000 °C. Se analizó la composición de gas en las salidas respectivas, y se calculó una constante de velocidad aparente K' a partir de la composición de gas obtenida, y el tiempo de contacto entre gas y polvo.

10

15

En la figura 10, se muestran los resultados de evaluación que incluyen una prueba en blanco en la que no se añade polvo. Se confirmó a partir de este resultado que el polvo funciona como catalizador y tiene una excelente actividad de reacción de reformado.

20

REIVINDICACIONES

1. Método para el reformado de un gas de escape generado a partir de un horno metalúrgico, que comprende:
- 5 añadir un agente reductor a un gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono a alta temperatura, descargado de un horno metalúrgico, para hacer reaccionar el gas de dióxido de carbono y el agente reductor y para someter a reformado el gas de escape,
- 10 en el que
- el agente reductor se añade cuando la concentración de oxígeno en el gas de escape es del 1 % en vol. o menos, y
- 15 la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de escape es de 800 °C o más,
- en el que
- 20 el agente reductor es al menos un compuesto del tipo de recurso fósil seleccionado del grupo que consiste en gas natural, gas licuado de petróleo, metano, etano, nafta ligera, refinado, metanol, etanol, dimetil éter y dietil éter, o al menos un compuesto del tipo de recurso no fósil seleccionado del grupo que consiste en bioetanol, biodiésel y una mezcla de bioetanol y biodiésel; y
- 25 el horno metalúrgico es un convertidor de oxígeno y el agente reductor se sopla desde una boquilla de soplado de agente reductor que tiene una estructura de doble tubería concéntrica que comprende una tubería exterior para soplar nitrógeno diluido y una tubería interior para soplar un agente reductor, instalándose la boquilla de soplado de agente reductor, encajada mediante inserción en la tubería exterior, en una pared de conducto del sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno del convertidor de oxígeno.
- 30 2. Método según la reivindicación 1, en el que
- el gas de escape a alta temperatura descargado del horno metalúrgico tiene una temperatura de desde 800 hasta 1.800 °C, preferiblemente desde 1.000 hasta 1.800 °C.
- 35 3. Método según la reivindicación 1, en el que
- el gas de escape a alta temperatura descargado del horno metalúrgico tiene una concentración de CO₂ de desde el 3 hasta el 30 % en vol.
- 40 4. Método según la reivindicación 1, en el que el agente reductor se añade cuando la concentración de oxígeno en el gas de escape es del 0,5 % en vol. o menos.
5. Método según la reivindicación 1, en el que
- 45 la reacción de reformado se completa cuando la temperatura de gas de escape es de desde 800 hasta 1.100 °C, preferiblemente desde 850 hasta 1.050 °C.
6. Método según la reivindicación 1, en el que
- 50 la reacción de reformado se lleva a cabo a la temperatura de gas de escape de 800 °C o más durante un tiempo de residencia de desde 0,01 hasta 50 segundos, preferiblemente desde 0,1 hasta 20 segundos.
7. Método según la reivindicación 1, en el que
- 55 el agente reductor se añade desde una tubería lateral de una lanza de soplado superior del convertidor de oxígeno.
8. Método según la reivindicación 1, en el que
- 60 el agente reductor se añade entre un dispositivo de faldón y un colector de polvo primario en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno del convertidor de oxígeno.
9. Método según la reivindicación 1 que es para producir un gas sometido a reformado.
- 65 10. Aparato para el reformado de un gas de escape generado a partir de un horno metalúrgico en el que se añade un agente reductor al gas de escape que contiene gas de dióxido de carbono a alta temperatura,

ES 2 690 340 T3

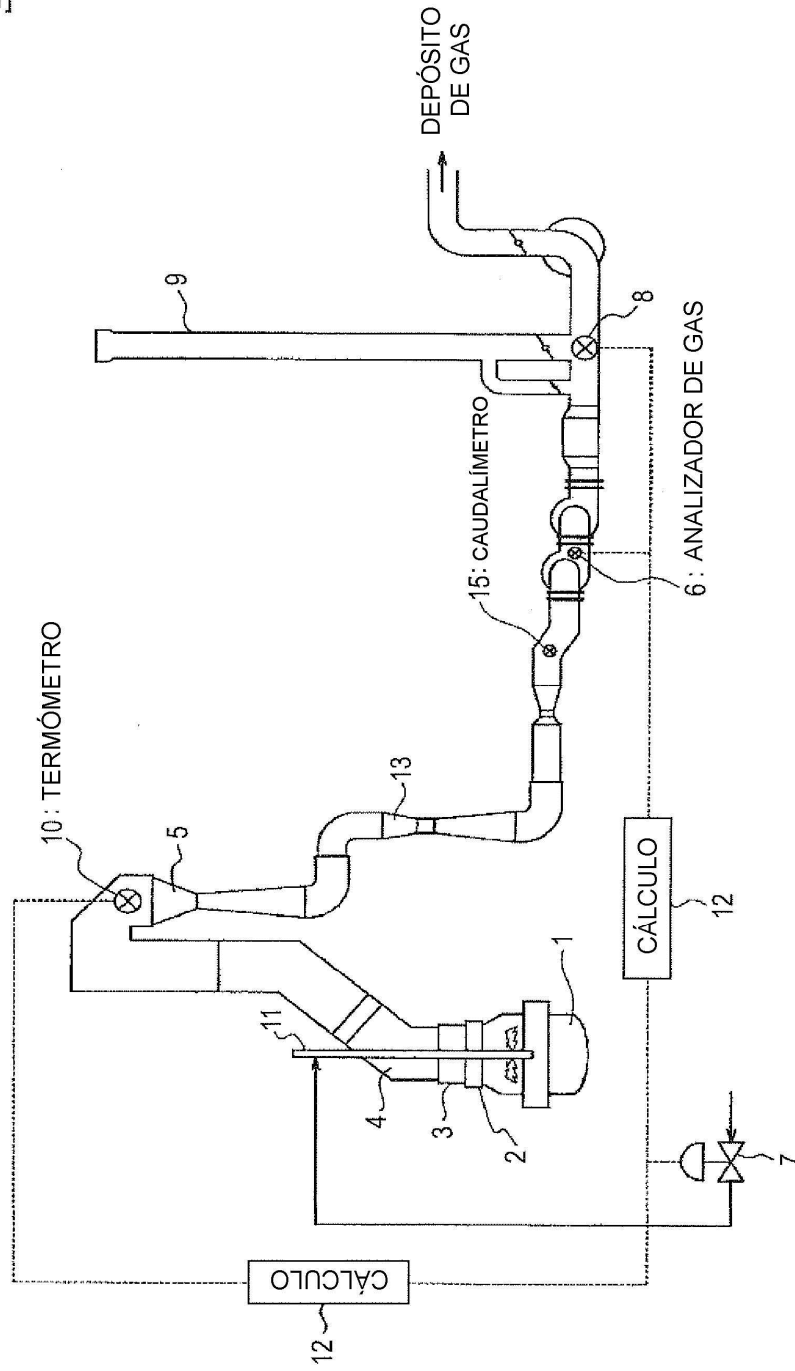
descargado de un horno metalúrgico, y el gas de dióxido de carbono y el agente reductor se hacen reaccionar, sometiendo a reformado de ese modo el gas de escape, comprendiendo el aparato:

- 5 un dispositivo de medición de concentración para medir la concentración de oxígeno en el gas de escape, en un sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno;
- 10 un dispositivo de cambio de paso de flujo para realizar el cambio de paso de flujo de líneas de tubería de gas de escape mediante la salida del dispositivo de medición de concentración;
- 15 un dispositivo de medición de temperatura para medir la temperatura del gas de escape sometido a enriquecimiento calórico mediante una reacción de reformado;
- un dispositivo de control de caudal para controlar la cantidad de adición del agente reductor, que se hace funcionar mediante la salida del dispositivo de medición de temperatura y la salida del dispositivo de medición de concentración; y
- un dispositivo de soplado de agente reductor.
- 20 11. Aparato según la reivindicación 10, en el que
- el dispositivo de medición de concentración es un analizador de gas instalado en el lado aguas arriba de un colector de polvo primario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, o
- 25 un analizador de gas instalado en el lado aguas abajo de un colector de polvo secundario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.
- 30 12. Aparato según la reivindicación 10, en el que
- el dispositivo de cambio de paso de flujo es una válvula de cambio de paso de flujo de gas, que se hace funcionar según la salida de la concentración de oxígeno mediante el dispositivo de medición de concentración y selecciona un paso de flujo a un quemador o a un depósito de gas.
- 35 13. Aparato según la reivindicación 10, en el que
- el dispositivo de medición de temperatura es un termómetro instalado en un lado de entrada del colector de polvo primario en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.
- 40 14. Aparato según la reivindicación 10, en el que
- el dispositivo de control de caudal del agente reductor se hace funcionar según al menos una salida del dispositivo de medición de concentración y el dispositivo de medición de temperatura.
- 45 15. Aparato según la reivindicación 10, en el que
- el dispositivo de soplado de agente reductor se instala en al menos un sitio entre una lanza de soplado superior de un convertidor de oxígeno, o un dispositivo de faldón en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, y el lado aguas arriba del colector de polvo primario en una parte de radiación del sistema de recuperación de gas.
- 50 16. Aparato según la reivindicación 10, en el que una boquilla de soplado de agente reductor que tiene una estructura de doble tubería concéntrica que comprende una tubería exterior para soplar nitrógeno diluido y una tubería interior para soplar un agente reductor, encajada mediante inserción en la tubería exterior, se instala en una pared de conducto del sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno del horno metalúrgico.
- 55 17. Aparato según la reivindicación 16, en el que
- el horno metalúrgico es un convertidor de oxígeno.
- 60 18. Aparato según la reivindicación 16, en el que
- la pared de conducto comprende una campana inferior, una campana superior y una parte de radiación del sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.
- 65 19. Aparato según la reivindicación 16, en el que

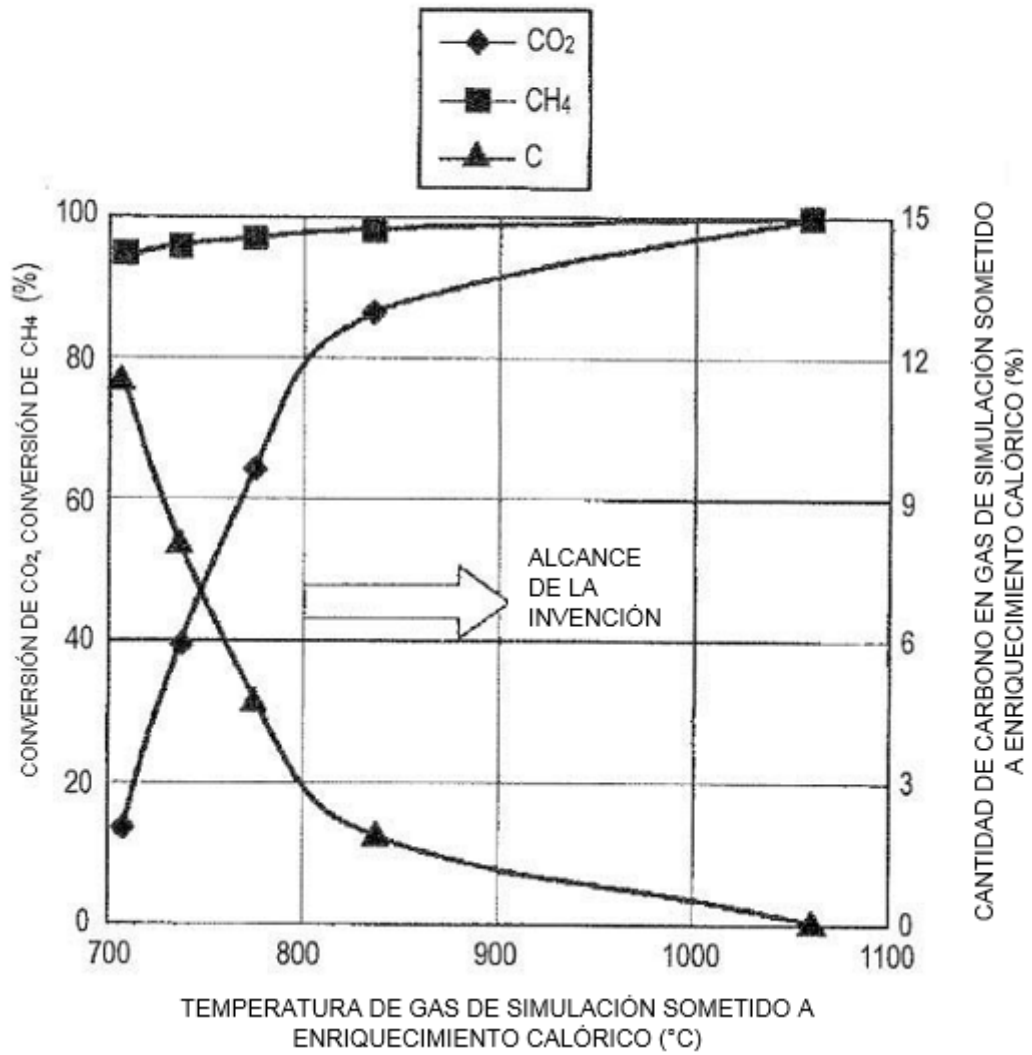
al menos una boquilla de soplado de agente reductor se instala en la dirección circunferencial en una parte inferior de la parte de radiación del sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.

- 5 20. Aparato según la reivindicación 16, en el que
la boquilla de soplado de agente reductor es tal que el agente reductor se expulsa desde un paso central formado por la tubería interior, y el nitrógeno diluido se expulsa desde un paso circular formado entre la tubería interior y la tubería exterior.
- 10 21. Aparato según la reivindicación 16, en el que
la tubería exterior es una tubería de soplado de nitrógeno diluido para la parada de emergencia diluyendo un gas de escape generado a partir de un horno metalúrgico, encajada en la pared de conducto.
- 15 22. Aparato según la reivindicación 16, en el que
el nitrógeno diluido expulsado del paso circular de la tubería exterior es nitrógeno diluido para la parada de emergencia diluyendo un gas de escape generado a partir de un horno metalúrgico.
- 20 23. Método según la reivindicación 1, en el que el gas de escape contiene monóxido de carbono a alta temperatura; y
el método comprende además una etapa de enfriar el propio gas de escape mediante la reacción endotérmica.
- 25 24. Método según la reivindicación 23, en el que
el gas de escape es un gas de escape de convertidor de oxígeno que contiene un polvo de convertidor, descargado del convertidor de oxígeno.
- 30 25. Método según la reivindicación 24, en el que
la reacción endotérmica está catalizada por un polvo fino de óxido de hierro en el polvo de convertidor.
- 35 26. Aparato según la reivindicación 10, que comprende una boquilla de soplado de agente reductor para inducir una reacción endotérmica con gas de dióxido de carbono en gas de escape a alta temperatura que contiene gas de dióxido de carbono y monóxido de carbono, instalada en uno o múltiples sitios de la parte de conducto en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno.
- 40 27. Aparato según la reivindicación 26, en el que
la parte de conducto está entre una lanza de soplado superior de un convertidor de oxígeno, o una campana inferior en el sistema de recuperación de gas de convertidor de oxígeno, y un lado de entrada de un colector de polvo primario del sistema de recuperación de gas.
- 45 28. Aparato según la reivindicación 26, en el que
el gas de escape es un gas de escape de convertidor de oxígeno que contiene un polvo de convertidor, descargado del convertidor de oxígeno.
- 50

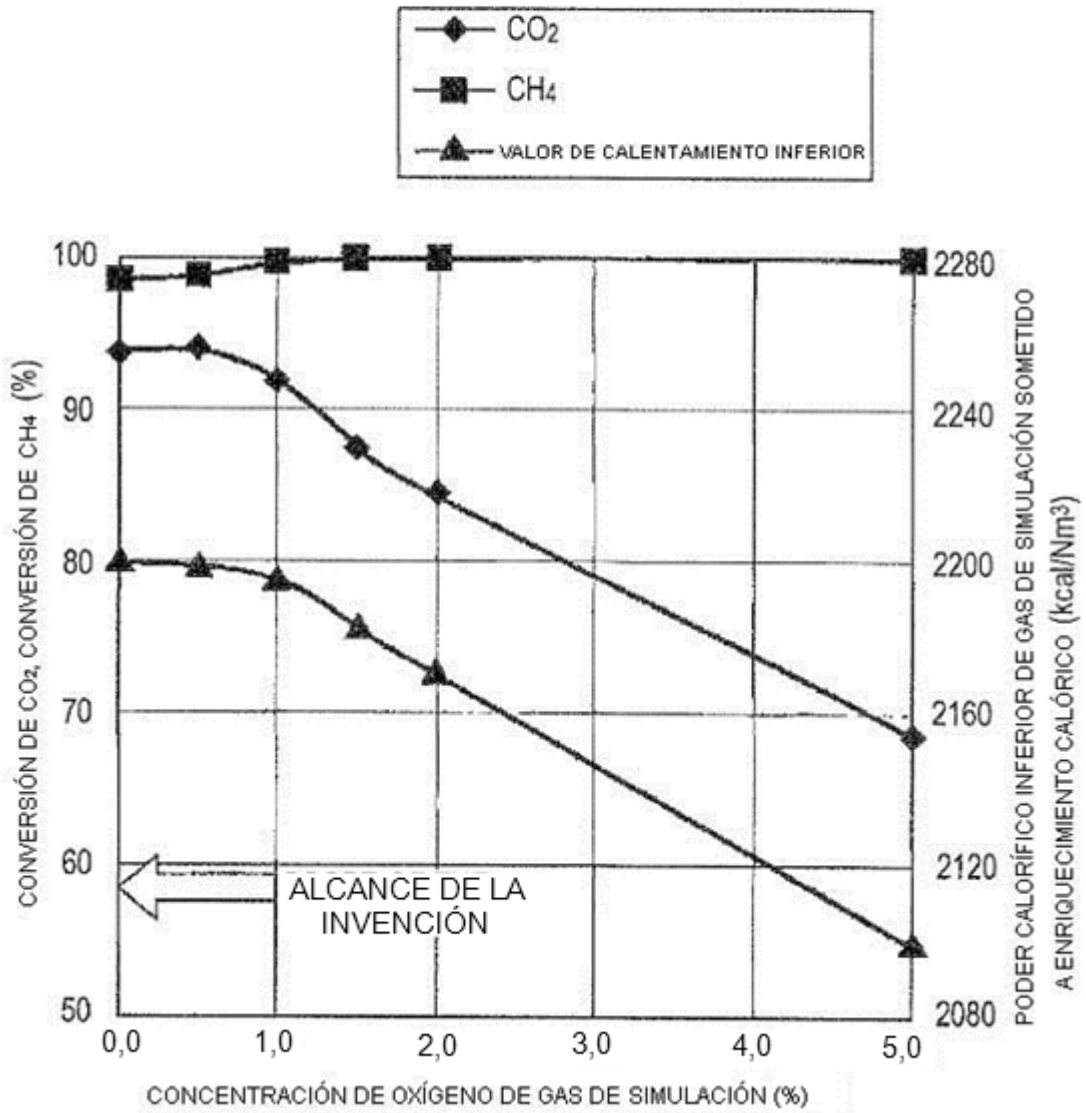
[FIG.1]



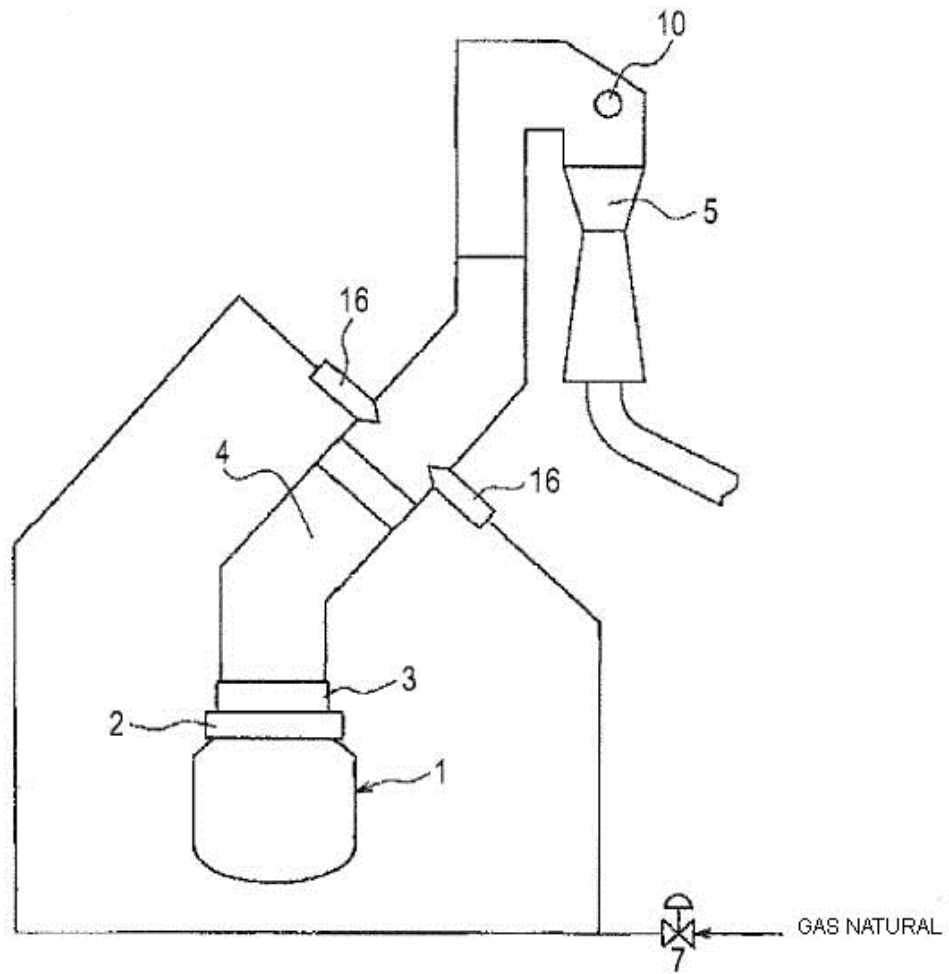
[FIG.2]



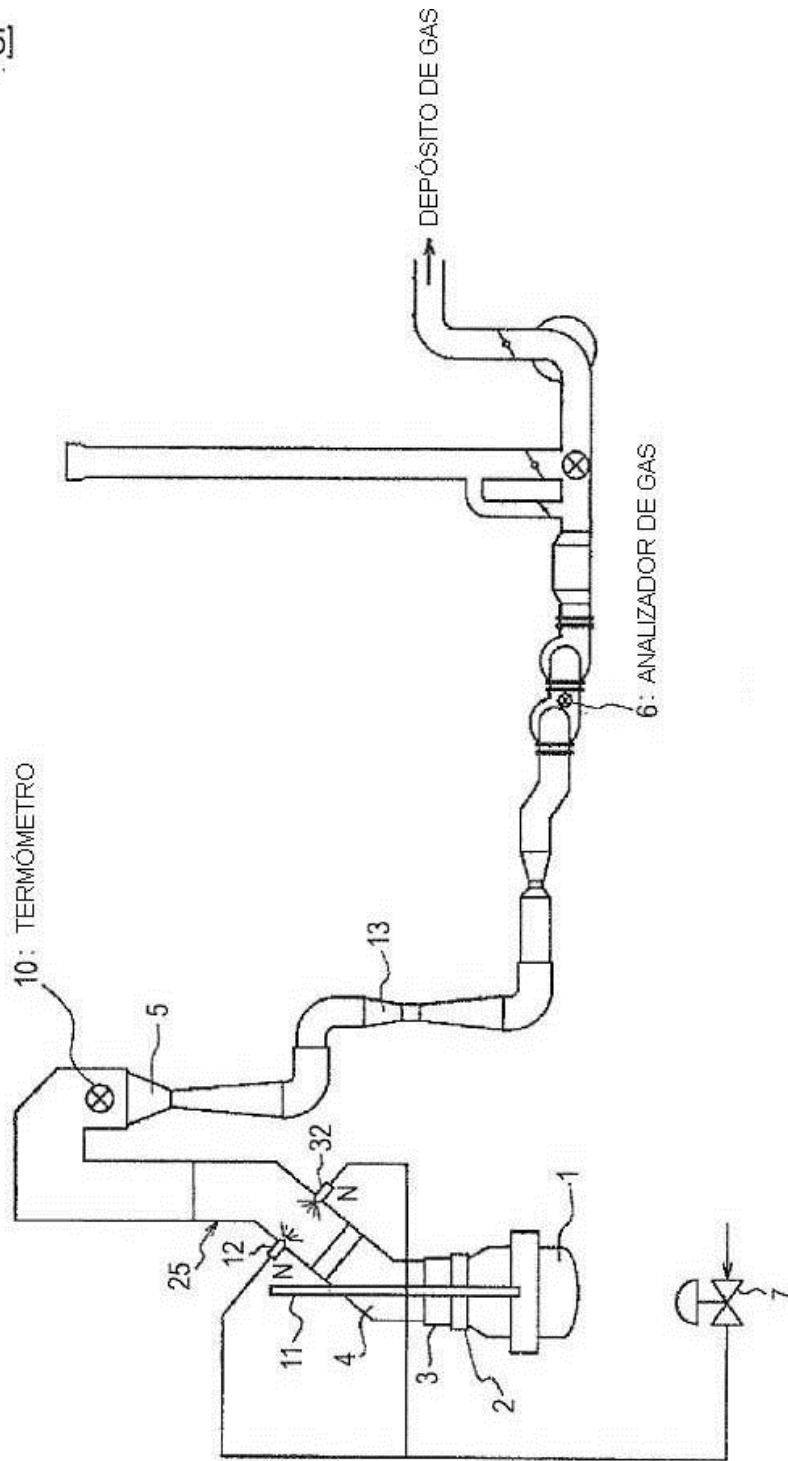
[FIG.3]



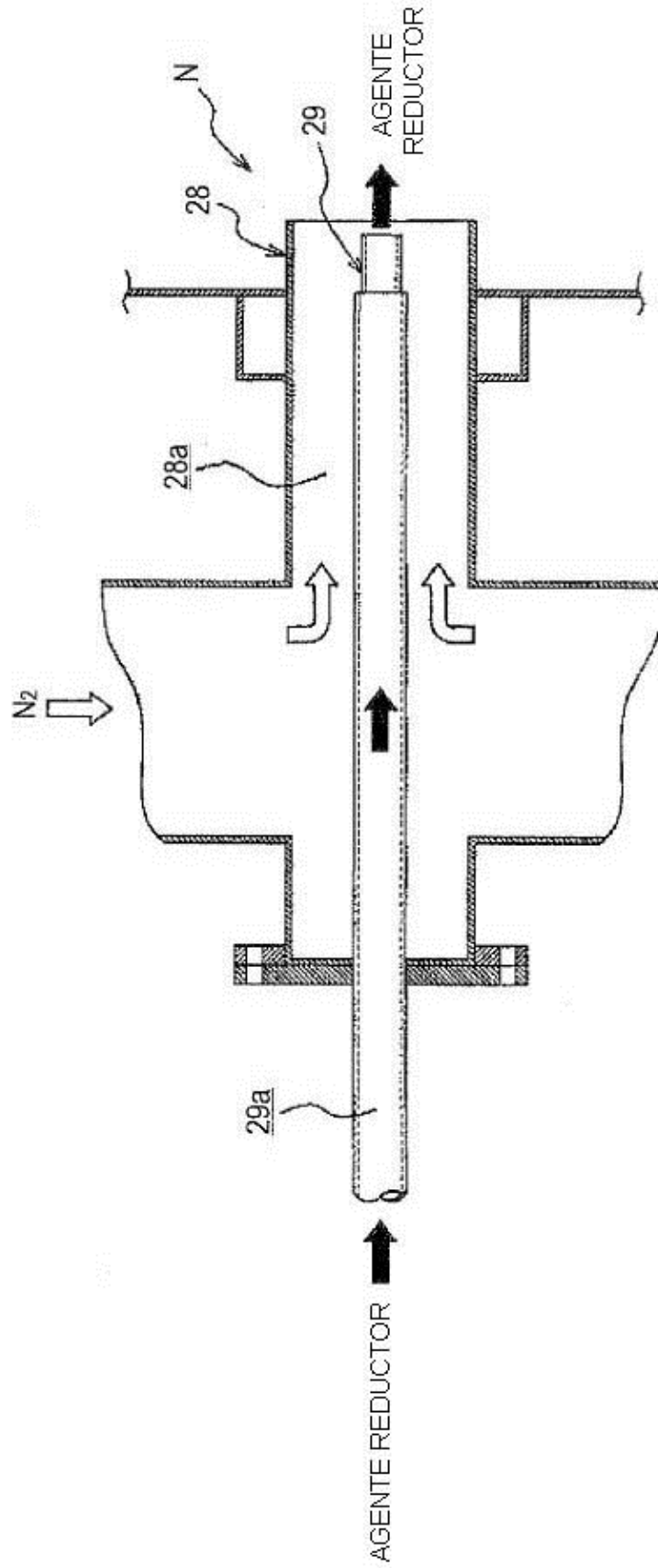
[FIG.4]



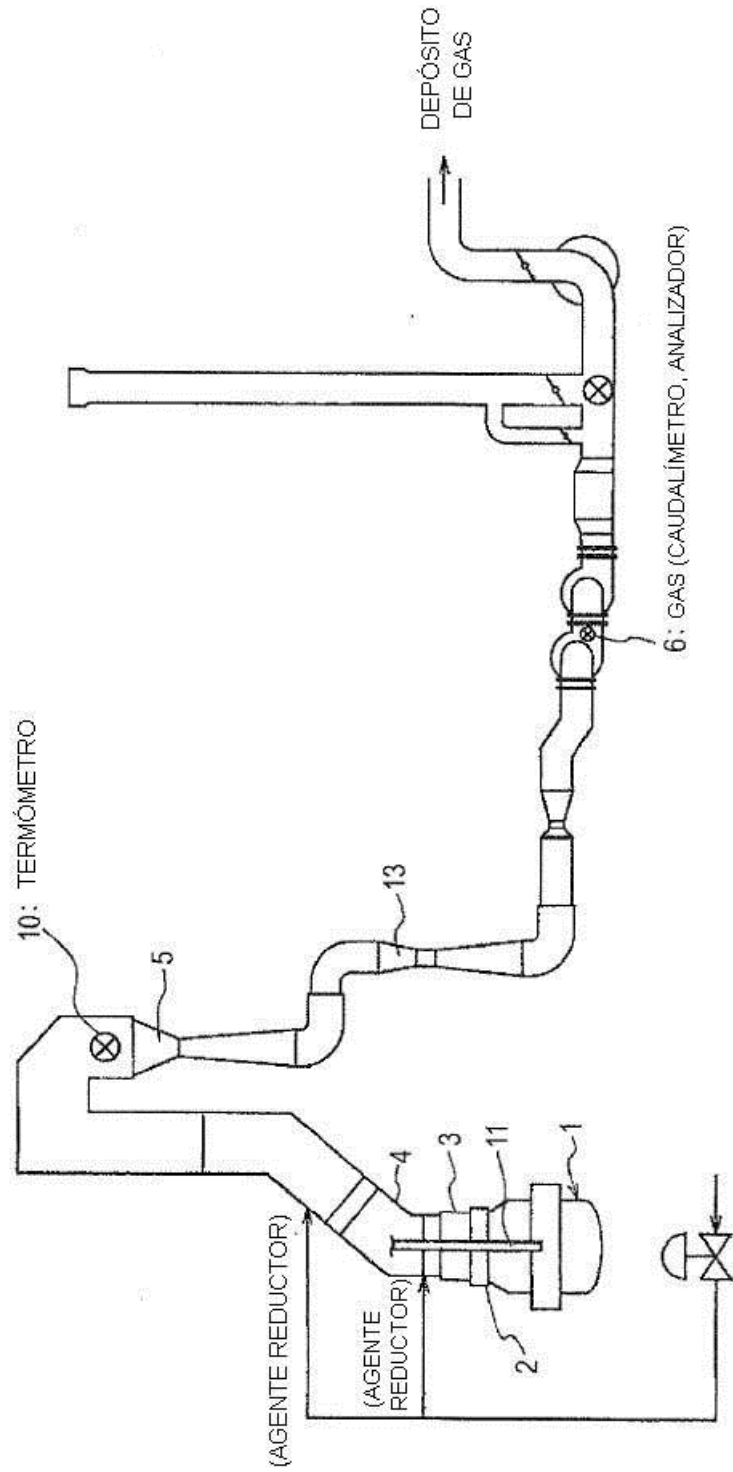
[FIG.5]



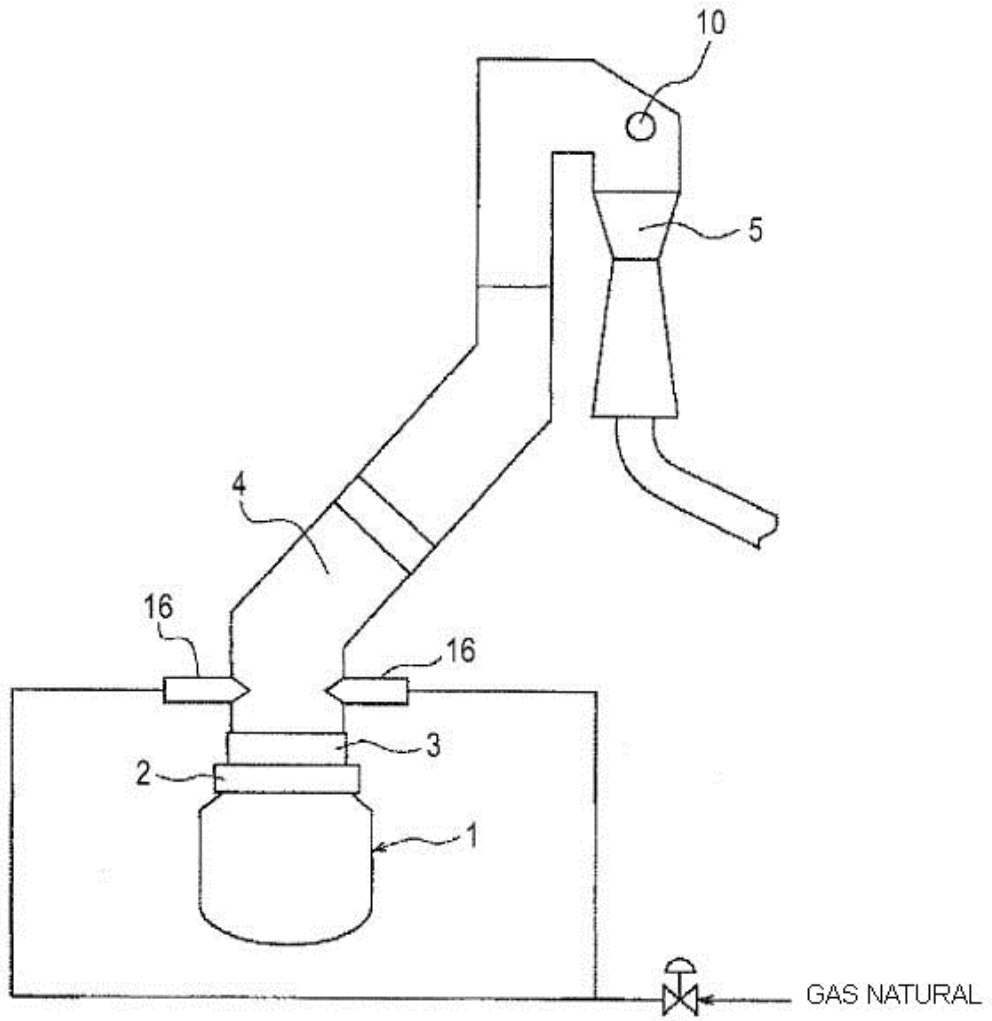
[FIG.6]



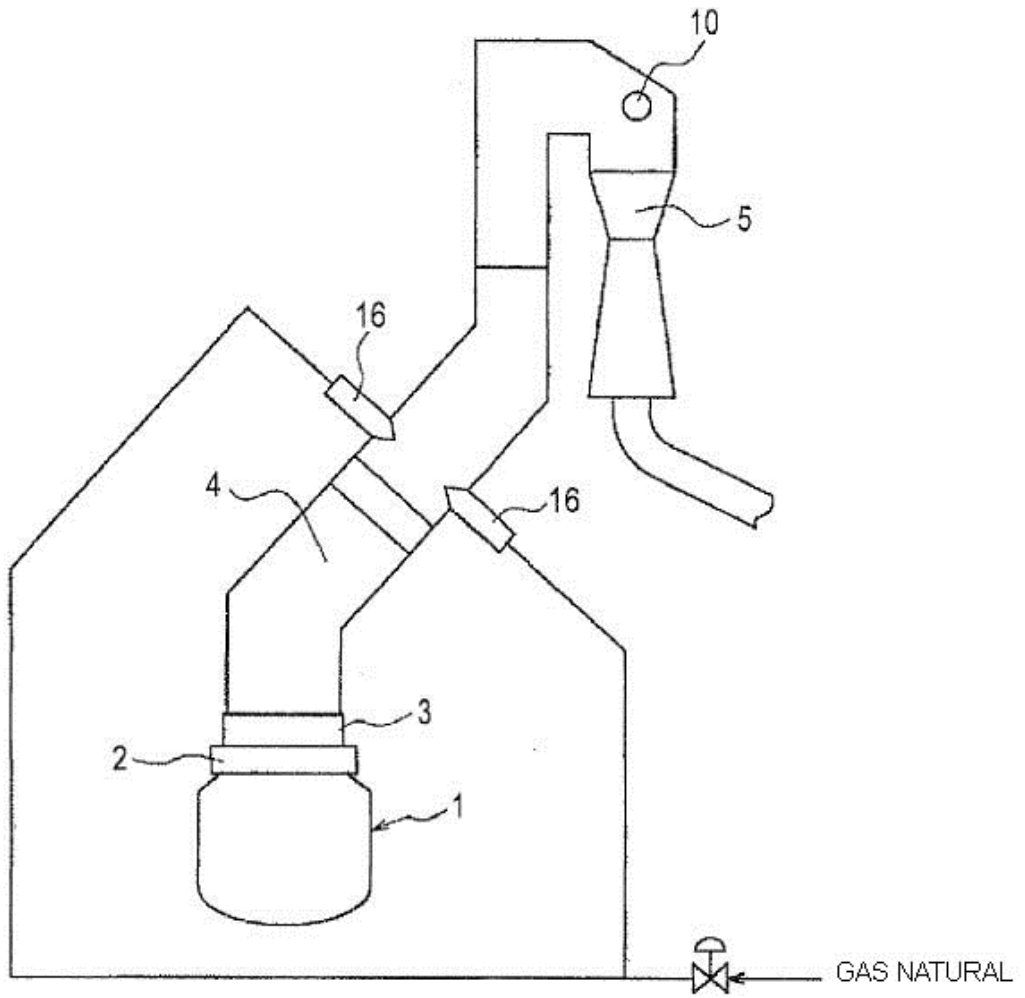
[FIG.7]



[FIG.8]



[FIG.9]



[FIG.10]

