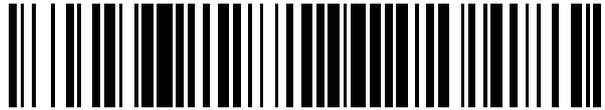


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 235**

51 Int. Cl.:

F23C 10/28 (2006.01)

F22B 31/00 (2006.01)

F23L 7/00 (2006.01)

F23N 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.04.2011 PCT/FI2011/050353**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2011 WO11131837**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2011 E 11771641 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.10.2018 EP 2561278**

54 Título: **Procedimiento de control de la combustión en una instalación de caldera de CFB**

30 Prioridad:

23.04.2010 FI 20105440

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

22.03.2019

73 Titular/es:

**SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY (100.0%)
Metsänneidonkuja 8
02130 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**HOTTA, ARTO;
KETTUNEN, ARI y
KOVACS, JENŐ**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 705 235 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de control de la combustión en una instalación de caldera de CFB.

5 **Antecedentes de la invención**Campo de la invención

10 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de la combustión en una instalación de caldera de lecho fluidificado circulante (CFB), de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación de procedimiento independiente. La invención se refiere, por tanto, a un procedimiento de control de la combustión en el horno de una instalación de caldera de lecho fluidificado circulante, comprendiendo el procedimiento, en unas primeras condiciones de carga estables, las etapas de: (a) alimentar combustible con una primera velocidad de alimentación de combustible, proporcional a la primera carga, hacia el horno; (b) alimentar una corriente de oxígeno con una primera velocidad de alimentación de oxígeno, ajustada para mantener una primera relación predeterminada de oxígeno/combustible, hacia el horno, con el fin de combustionar el combustible a la primera velocidad de alimentación de combustible, con lo cual, en el horno, se está manteniendo un inventario de residuo carbonoso (*char*) en el lecho, y en condiciones de aumento de la carga desde las primeras condiciones de carga estables, las etapas de: (a') alimentar combustible con una segunda velocidad de alimentación de combustible hacia el horno, siendo la segunda velocidad de alimentación de combustible mayor que la primera velocidad de alimentación de combustible, y (b') alimentar una corriente de alimentación de oxígeno con una segunda velocidad de alimentación de oxígeno hacia el horno.

Descripción de la técnica relacionada

25 La carga de la caldera, es decir, la cantidad de vapor generado en la caldera, depende de la cantidad de energía liberada a partir de las reacciones de combustión del combustible con oxígeno. Las velocidades de alimentación de combustible y gas que contiene oxígeno, el denominado gas oxidante, las cuales están, en general, íntimamente relacionadas entre sí, dependen de la carga de la caldera. Cuando la caldera se hace funcionar a carga plena, las velocidades de alimentación del combustible y del gas oxidante son altas, mientras que, con cargas menores, son reducidas. Cuando se combustiona combustible carbonoso sólido en una caldera de lecho fluidificado circulante, la velocidad de alimentación de oxígeno es, en general, ligeramente mayor que lo requerido teóricamente para una combustión completa del combustible. La cantidad de carbono sin quemar en las cenizas descargadas desde el horno de una caldera de CFB así como las emisiones totales de monóxido de carbono y NO_x en general se minimizan cuando la velocidad de alimentación de oxidante es tal que el gas de escape descargado desde el horno contiene aproximadamente un 3% de oxígeno, el denominado oxígeno residual.

40 En general, una instalación de caldera debería poder seguir la demanda de carga, es decir, generar vapor, o energía, en una cantidad correspondiente a la demanda en cada momento. Uno de los rasgos caracterizadores importantes de una caldera es su capacidad de cambio de carga, es decir, la velocidad posible más alta con la que se puede cambiar la carga de la caldera cuando cambia la demanda de vapor. Una velocidad de cambio de carga elevada es necesaria, por ejemplo, en una caldera industrial, cuando el estado del proceso se hace variar rápidamente de manera que cambia la demanda de vapor. Las calderas generadoras de energía requieren un cambio rápido de carga en caso de que la caldera sea una instalación de control de carga, la cual puede tener que cambiar su carga varias veces durante un día, o, especialmente, cuando la caldera es una instalación que controla la frecuencia de la red eléctrica. Normalmente, la carga requerida de una caldera se puede conocer de antemano, pero, en algunos casos, la carga se debe cambiar rápidamente, incluso sin previo aviso.

50 El combustible alimentado al horno de una caldera de CFB no se quema instantáneamente, sino que, por el contrario, la combustión completa del combustible tiene lugar en un cierto periodo de tiempo, típicamente de varios minutos. La intensidad de la combustión se determina por la reactividad del combustible, que depende de la composición química y las propiedades físicas del mismo. Cuando la velocidad de alimentación de combustible se cambia a un valor constante en un instante de tiempo, el horno se estabiliza durante un cierto periodo de tiempo hasta un estado de equilibrio, en el que, en el horno, se combustiona tanto combustible como el que se alimenta a su interior. Durante el equilibrio, el lecho fluidificado en el horno comprende un inventario de residuo carbonoso de lecho, es decir, un inventario de material de combustible sin quemar, siendo, en general, proporcional el tamaño del inventario a la velocidad de alimentación del combustible y del oxidante, y siendo inversamente proporcional a la reactividad del combustible.

60 Si las velocidades de alimentación del combustible y el oxidante se incrementan repentinamente a unos valores nuevos que se corresponden con unas nuevas condiciones de carga estables, la concentración de oxígeno residual en el gas de escape puede aumentar temporalmente, debido a que el combustible añadido no se quema inmediatamente. Por lo tanto, la masa del inventario de residuo carbonoso en el lecho se incrementa lentamente hasta un nuevo valor de equilibrio. De manera correspondiente, la velocidad de energía de liberación desde el combustible alcanza su nuevo valor final únicamente cuando el inventario de residuo carbonoso en el lecho ha

alcanzado su nuevo tamaño de equilibrio. En estas condiciones, la capacidad de una caldera de CFB de seguir la carga se ralentiza por el elevado inventario de residuo carbonoso en el lecho.

5 La velocidad de cambio de carga máxima se puede mejorar, en cierta medida, por medio de un planteamiento de alimentación optimizada de combustible, según se sugiere en la patente US nº 4.800.846 o cambiando la eficiencia de transferencia térmica del lecho con la ayuda de un depósito de cenizas volantes, según se sugiere en la patente US nº 5.363.812. No obstante, estos procedimientos no son muy eficientes y/o pueden tener un efecto negativo sobre las emisiones liberadas a la atmósfera. La publicación de patente US 2009/0056603, que cubre las características especificadas en el preámbulo de la reivindicación 1, muestra que el inventario en el lecho de combustible puede cambiar de una forma impredecible cuando se controlan las velocidades de alimentación de combustible y de aire a una caldera de CFB, y sugiere un procedimiento complejo de control del inventario en el lecho de combustible con el fin de permitir un control de energía térmica de la caldera mediante el suministro de aire primario a esta última.

15 **Sumario de la invención**

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento mejorado de control de combustión en una instalación de caldera de CFB.

20 En particular, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento de control eficiente de carga de una instalación de caldera de CFB.

25 Para lograr estos y otros objetivos de la presente invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la parte caracterizadora de la reivindicación de procedimiento independiente. Así, la invención se refiere a un procedimiento en el que, en las condiciones del aumento de la carga, la relación de oxígeno/combustible es mayor que la primera relación de oxígeno/combustible, para combustionar el combustible con la segunda velocidad de alimentación de combustible y reducir el inventario de residuo carbonoso en el lecho combustionando residuo carbonoso del inventario de residuo carbonoso en el lecho.

30 La idea principal de la invención es que, con el fin de obtener un aumento rápido de la carga de la caldera, la cantidad de oxígeno alimentado hacia el horno se cambia temporalmente de manera que sea mayor que lo necesario para combustionar el combustible que se está alimentando al mismo tiempo hacia el horno. El aumento de la cantidad de oxígeno alimentado hacia el horno se realiza, preferentemente, incrementando el contenido de oxígeno de la corriente de gas oxidante durante el aumento de carga. Debido al incremento de la cantidad de oxígeno en la corriente oxidante, aumenta la velocidad de combustión del inventario de residuo carbonoso en el lecho y se genera más energía térmica. Puesto que el aumento de la energía térmica se basa en la combustión de residuo carbonoso que no ha combustionado y que ya está presente en el horno, el mismo se puede iniciar de manera muy rápida. Por lo tanto, la velocidad total de combustión que tiene lugar en el horno se incrementa rápidamente, y puede generarse más vapor. Así, un inventario grande en el lecho se usa en la presente como ventaja para conseguir que la carga cambie más rápido.

45 Según una forma de realización preferida de la presente invención, la caldera de lecho fluidificado circulante es una caldera de oxicomustión, en donde el oxidante es una mezcla de una corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro (O_2) y gas de escape reciclado. De este modo, tal como es sabido comúnmente, el gas de escape que se descarga desde el horno consiste principalmente en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), y resulta relativamente sencillo capturar CO_2 del gas de escape en una unidad de captura de carbono (CCU) y evitar su liberación a la atmósfera. La corriente de oxígeno sustancialmente puro, que comprende de manera habitual por lo menos aproximadamente un 95% de oxígeno, y que se alimentará hacia el horno, se produce habitualmente en una unidad de separación de aire (ASU). Una parte del gas de escape descargado desde el horno se recicla ventajosamente llevándolo de vuelta al horno con el fin de actuar como gas fluidificante y mantener la temperatura de combustión en un nivel adecuado.

55 Generalmente, la velocidad de alimentación de oxígeno es, incluso en la oxicomustión, directamente proporcional a la velocidad de alimentación de combustible, y, de acuerdo con la práctica convencional, el contenido de oxígeno de gas oxidante se ajusta controlando la velocidad de recirculación del gas de escape. El contenido de oxígeno puede ser, entonces, por ejemplo, próximo al de aire, tal como desde aproximadamente un 20% a aproximadamente un 28%, lo cual se obtiene reciclando desde aproximadamente un 80 a aproximadamente un 70% del gas de escape. De acuerdo con la presente invención, y por contraposición a la práctica antes mencionada, el contenido de oxígeno del oxidante no se incrementa, en las condiciones de aumento de carga, reduciendo la velocidad de recirculación del gas de escape, sino incrementando la cantidad de oxígeno en el oxidante.

65 Cuando se aplica la presente invención, la velocidad de alimentación de combustible se puede cambiar en las condiciones de aumento de carga o bien directamente a un valor que se corresponde con una carga nueva deseada, o bien se puede cambiar de acuerdo con un procedimiento específico, tal como proporcionando inicialmente un valor que es mayor, o menor, que el valor final. En cualquier caso, el aumento de la cantidad de

oxígeno alimentado al horno se realiza para proporcionar un incremento de la relación de oxígeno/combustible en las condiciones de aumento de carga.

La velocidad del gas de escape en recirculación, que constituye habitualmente la mayor parte del gas oxidante total, no se hace variar de la misma manera que la corriente de oxígeno, sino que, preferentemente, se incrementa solo en una cantidad proporcional al cambio de carga deseado. Debido a que solamente una pequeña parte del gas total introducido en el horno, es decir, la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro, se incrementa en una cantidad que es de manera relativa claramente mayor que el cambio de carga, la dinámica del lecho y, especialmente, el cambio del inventario de residuos sólidos en el lecho se puede controlar de forma más sencilla que en el proceso descrito en la publicación de patente US 2009/0056603. El procedimiento de mejora del cambio de carga usando un aumento especial del caudal únicamente para la corriente de oxígeno, no para la corriente oxidante completa, presenta también la ventaja de que la eficiencia del soplador de gas de reciclaje no es crítica para obtener un cambio de carga rápido.

El gas oxidante se alimenta convencionalmente hacia el horno en forma de un gas primario, introducido como gas fluidificante por el fondo del horno, y en forma de gas secundario, introducido por encima, típicamente de 1 a 3 m por encima, del fondo del horno. De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, el contenido de oxígeno, es decir, la relación de la corriente de alimentación de oxígeno y la corriente de alimentación reciclada, del gas primario es, en las condiciones de aumento de la carga, mayor que el contenido de oxígeno del gas secundario. Con este procedimiento, la corriente de alimentación aumentada de oxígeno sustancialmente puro va dirigida especialmente en las condiciones de aumento de la carga hacia la parte inferior del horno, con lo cual se reduce de manera eficiente el inventario de residuos sólidos en el lecho. En algunos casos es posible mantener constante el contenido de oxígeno del gas secundario, o incluso reducirlo ligeramente, en las condiciones de aumento de la carga, y seguir obteniendo la mejora deseada del cambio de carga.

De acuerdo con la presente invención, la carga se aumenta desde las primeras condiciones de carga estables a las segundas condiciones de carga estables, siendo la segunda carga mayor que la primera carga. Tal como se ha descrito anteriormente, durante el cambio de carga, la relación de oxígeno/combustible es, de acuerdo con la presente invención, mayor que la primera relación de oxígeno/combustible. Cuando se obtiene la segunda carga requerida, es decir, la segunda potencia o velocidad de generación de vapor, la velocidad de alimentación de oxígeno se cambia suavemente de vuelta a un valor que proporciona nuevamente una relación de oxígeno/combustible sustancialmente igual a la primera relación de oxígeno/combustible. En las segundas condiciones de carga estables, las velocidades de alimentación del combustible y el oxígeno, las denominadas terceras velocidades de alimentación de combustible y oxígeno, son naturalmente mayores que las primeras velocidades de alimentación de combustible y oxígeno, usadas en las primeras condiciones de carga estables, pero el combustible se combustiona nuevamente casi a la misma velocidad a la que se alimenta hacia el horno. Por lo tanto, el inventario de residuos sólidos en el lecho, cuyo tamaño se redujo durante el aumento de carga, se va formando gradualmente hasta su nuevo tamaño de equilibrio.

Además, de acuerdo con la invención, la velocidad de alimentación de oxígeno es, en las condiciones de aumento de carga, mayor que en las segundas condiciones de carga estables. Suponiendo que la carga en las segundas condiciones de carga estables es un N % mayor que la carga en las primeras condiciones de carga estables, la segunda velocidad de alimentación de oxígeno, es decir, la velocidad de alimentación de oxígeno en las condiciones de aumento de carga, es por lo menos aproximadamente una vez y media N % mayor, preferentemente por lo menos dos veces N % mayor, más preferentemente entre aproximadamente dos y aproximadamente tres veces mayor que la primera velocidad de alimentación de oxígeno. Con estas velocidades ventajosas de alimentación de oxígeno, es posible combustionar eficientemente residuos sólidos del inventario de residuos sólidos en el lecho y se obtiene un rápido aumento de la carga. Así, el calor adicional liberado durante la combustión de los residuos sólidos hace que mejore el comportamiento transitorio o dinámico de la liberación de calor total, y se reduce la constante de tiempo para llegar al nivel de carga superior.

La instalación de caldera comprende, ventajosamente, un depósito de oxígeno, preferentemente un depósito de oxígeno líquido. De manera ventajosa, la corriente de oxígeno sustancialmente puro que se produce en la unidad de separación de aire, la denominada corriente producida de oxígeno sustancialmente puro, es, en las primeras condiciones de carga estables, algo mayor que lo que se requiere para combustionar el combustible a la primera velocidad. De este modo, una parte del oxígeno producido se almacena ventajosamente en el depósito de oxígeno. De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, por lo menos una parte de la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro se obtiene, en las condiciones de aumento de carga, del depósito de oxígeno.

El uso de oxígeno obtenido de un depósito de oxígeno durante un cambio de carga rápido resulta especialmente ventajoso debido a que la demanda de oxígeno durante un cambio de carga puede ser claramente mayor que la correspondiente durante un funcionamiento estable a carga plena. Al usar un depósito de oxígeno para ayudar a proporcionar el mayor flujo de oxígeno requerido, es posible evitar los costes de inversión adicionales de una ASU sobredimensionada. Por otra parte, la ASU es, en general, un aparato complejo, y es posible que la misma

no pueda cambiar su capacidad de producción de oxígeno de forma muy rápida. En estas condiciones, no sería posible, en general, obtener un aumento muy rápido de la producción de oxígeno de una ASU.

5 Habitualmente, la necesidad de un cambio rápido de carga de una caldera está relacionado con una necesidad de cambiar rápidamente la energía neta generada en la instalación de caldera. De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, la cual es especialmente útil, por ejemplo, para una caldera usada para un control de frecuencia de red, la energía neta generada se maximiza durante un aumento rápido de carga proporcionando una gran parte, preferentemente la totalidad, de la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro desde un depósito de oxígeno. Al mismo tiempo, la producción de oxígeno sustancialmente puro en la unidad de separación de aire ventajosamente se reduce o se detiene por completo. Por lo tanto, se minimiza la energía auxiliar que se usa normalmente para producir oxígeno sustancialmente puro, y puede lograrse un cambio muy rápido de la salida de energía.

15 Ventajosamente, el tamaño del depósito de oxígeno es suficientemente grande para que, durante el aumento de carga, solamente se use una parte del oxígeno almacenado. Con un depósito de oxígeno tan grande, es posible alimentar también una parte del oxígeno necesario para combustionar el combustible que se alimenta hacia el horno después del aumento de carga, es decir, en las segundas condiciones de carga estables, desde el depósito de oxígeno. En estas condiciones, es posible tener, en las segundas condiciones de carga estables, una corriente producida de oxígeno sustancialmente puro que es inferior a lo que se requiere para combustionar el combustible que se está alimentando hacia el horno. De este modo, se minimiza la energía auxiliar necesaria para la separación de aire en las condiciones de carga elevada, y, entonces, es posible proporcionar más energía a la red.

25 Especialmente cuando la carga se cambia cíclicamente de una manera predeterminada, puede incluso resultar posible disponer, en la instalación generadora de energía, de un suministro de oxígeno que comprenda, en lugar de una ASU diseñada para proporcionar oxígeno suficiente para la combustión del combustible a carga plena, una ASU de menor capacidad y un depósito de oxígeno suficiente. Preferentemente, la ASU está diseñada para proporcionar oxígeno para una carga diaria media, o algo ligeramente mayor. Al usar una ASU de tamaño tan pequeño, se reducen naturalmente los costes de la ASU. De hecho, este procedimiento de oxicomcombustión resulta ventajoso incluso cuando no hay necesidad de cambios rápidos de carga aumentando temporalmente la relación de oxígeno/combustible.

35 Cuando se usa una ASU diseñada según se ha descrito anteriormente, la velocidad de producción de oxígeno de la ASU es, preferentemente, en las segundas condiciones de carga estables, aproximadamente tan alta como en las primeras condiciones de carga estables. Aún más preferentemente, la ASU se usa como mínimo la mayor parte del tiempo con una velocidad de producción de oxígeno constante, es decir, con su velocidad de producción de oxígeno nominal. Desacoplando el funcionamiento de la ASU con respecto al funcionamiento de la caldera, según se ha descrito anteriormente, la ASU se puede hacer funcionar en todo momento con su eficiencia óptima. De este modo, también una parte considerable del uso de la energía auxiliar de la instalación de caldera se desplaza desde unas condiciones de carga elevada a unas condiciones de carga menor. Así, puede mantenerse, en todas las condiciones de carga, una oxicomcombustión ininterrumpida, eficiente, con captura de CO₂.

45 De acuerdo con otro procedimiento ventajoso de control de combustión de una caldera de oxicomcombustión, la ASU de la instalación de caldera se usa, en condiciones de carga mayor, con una velocidad de producción de oxígeno menor que en condiciones de carga más baja. Especialmente, cuando las condiciones de carga elevada duran únicamente un periodo de tiempo relativamente corto, pero la demanda de energía es entonces muy alta, por ejemplo, cuando la caldera se usa para el control de la frecuencia de red, es útil que la velocidad de producción de oxígeno de la ASU se minimice o se detenga completamente en las condiciones de carga elevada. Entonces, todo el oxígeno necesario para la oxicomcombustión se obtiene de un depósito de oxígeno, y se minimiza la energía auxiliar usada para generar oxígeno. Así, la salida de energía de la instalación de caldera se puede maximizar instantáneamente.

55 La anterior breve descripción, así como otros objetivos, características y ventajas de la presente invención se apreciarán de manera más exhaustiva mediante referencia a la siguiente descripción detallada de las formas de realización actualmente preferidas, aunque sin embargo ilustrativas, y los ejemplos de la presente invención, considerados en combinación con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

60 La figura 1 es un diagrama esquemático de una instalación de caldera de CFB de oxicomcombustión.

La figura 2 es un diagrama esquemático de un cambio de energía generada durante un cambio de carga cuando se usan diferentes velocidades de alimentación de oxígeno.

65 La figura 3 es un diagrama esquemático de la producción y el uso de oxígeno en condiciones de carga

cíclicamente variables.

La figura 4 es un diagrama esquemático de la producción y el uso de oxígeno durante una carga de pico rápido.

5

Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra un diagrama esquemático de una instalación de caldera de CFB de oxidación 10, que comprende una caldera de CFB con un horno 12, un canal de gas de escape 14 que conduce a una unidad de captura de CO₂ (CCU) 16, un bucle de reciclaje de gas de escape 18 con un ventilador 20 conectado a medios para alimentar gas oxidante 22 al horno. Una unidad de separación de aire (ASU) 24, que separa oxígeno de una corriente de aire 26, está conectada al bucle de reciclaje de gas de escape 18 con un canal de alimentación de oxígeno 28. De este modo, con el fin de mantener el horno a una temperatura adecuada, es posible alimentar hacia el horno 12 gas oxidante consistente en una mezcla de gas de escape reciclado y oxígeno sustancialmente puro de la ASU. El combustible es alimentado por unos medios de alimentación de combustible 30 hacia el horno 12, para combustionar el combustible con el oxígeno. El vapor 32 generado en la caldera es conducido a una turbina de vapor y generador de energía 34 para proporcionar energía 36 a la red eléctrica.

10

15

20

25

30

Tal como es bien sabido, la ventaja de la oxidación es que, debido a la combustión del combustible con un oxidante que consta de oxígeno sustancialmente puro y gas de escape reciclado, el gas de escape generado consiste principalmente en CO₂ y agua, y, por lo tanto, el CO₂ se puede separar de manera relativamente sencilla con respecto al gas de escape en la CCU 16. De manera correspondiente, una de las desventajas ampliamente conocidas de la oxidación es que una parte considerable de la energía generada 36 debe usarse como energía auxiliar 38 para el funcionamiento de la CCU 16 y la ASU 24.

25

El funcionamiento de la instalación de caldera de CFB 10 es controlado por un controlador de unidades 44, el cual recibe una señal de demanda de energía 42 desde un controlador de la red eléctrica. Sobre la base de la señal de demanda de energía, el controlador de unidades 44 controla la carga de la caldera, es decir, la velocidad de combustión y generación de vapor en la caldera. Tal como es bien sabido, la carga de la caldera se puede aumentar incrementando las velocidades de alimentación del combustible y el oxidante.

35

40

La combustión completa del combustible alimentado hacia la caldera no tiene lugar instantáneamente, sino, en general, durante varios minutos, y, por lo tanto, el lecho fluidificado en el horno 12 comprende una cantidad considerable de residuos carbonosos sin quemar, el denominado inventario de residuos carbonosos en el lecho. De acuerdo con la presente invención, para obtener un aumento rápido de la carga de la caldera, el inventario de residuos carbonosos en el lecho se utiliza para generar energía adicional. Esto se lleva a cabo aumentando la velocidad de alimentación de oxígeno de manera que la relación de oxígeno/combustible es mayor que en condiciones de carga estables. Por lo tanto, se combustiona una parte del inventario de residuos sólidos en el lecho, y se libera energía térmica adicional para aumentar rápidamente la velocidad de generación de vapor.

45

50

De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, un depósito de oxígeno 60 está conectado por medio de un canal 46 a la ASU, de manera que una parte del oxígeno producido en la ASU se puede almacenar en el depósito de oxígeno. Convencionalmente, todo oxígeno necesario para la combustión es generado en continuo por la ASU 24 sobre la base de una señal de control 48 proveniente del controlador de unidades 44. No obstante, la ASU es un aparato grande y complejo, y es posible que la ASU no tenga la capacidad de aumentar su velocidad de producción de oxígeno de manera suficientemente veloz para un cambio de carga rápido. Por lo tanto, de acuerdo con un aspecto de la invención, una parte del oxígeno necesario para un aumento rápido de carga se obtiene a partir del depósito de oxígeno 60, en donde el mismo se ha almacenado cuando la demanda de oxígeno ha sido baja. El almacenamiento de oxígeno en el depósito 60 se controla de manera ventajosa en función de una señal de control 50 proveniente del controlador de unidades 44, por medio de una válvula 52 en el canal 46. De forma correspondiente, el uso de oxígeno del depósito 60 se controla ventajosamente en función de una señal de control 54 proveniente del controlador de unidades 44, por medio de una válvula 56 en el canal 58 que conduce desde el depósito de oxígeno 60 al canal de alimentación de oxígeno 28.

55

60

65

La figura 2 muestra, en su parte inferior, diagramas esquemáticos del cambio de la energía total P generada durante un cambio de carga de una instalación de oxidación de CFB cuando se varía el esquema de alimentación de oxígeno. En el proceso, la demanda de energía L cambia repentinamente en el instante de tiempo t₀ a un valor mayor. De acuerdo con la práctica convencional, inmediatamente en t₀, o lo más rápido posible, las velocidades de alimentación de combustible y oxígeno se incrementan a valores nuevos correspondientes a la nueva demanda de carga, manteniendo la relación de oxígeno/combustible en su valor original. La línea O1 en la parte superior de la figura 2 muestra esquemáticamente un cambio convencional de la velocidad de alimentación de oxígeno, y la línea P1 en la parte inferior de la figura 2 muestra de forma correspondiente cómo se eleva lentamente la energía de salida a su nuevo valor de equilibrio, de acuerdo con la nueva demanda de energía. La lentitud del aumento de energía de salida es debida, por lo menos parcialmente, al incremento de la masa del inventario de residuos carbonosos en el lecho hasta su nuevo valor de equilibrio.

Esto significa que, durante un periodo después del cambio de carga, una parte de la velocidad de alimentación de combustible aumentada no hace que aumente la velocidad de liberación de energía térmica, sino que se añade al inventario de residuos carbonosos en el lecho.

5 De acuerdo con la presente invención, la velocidad de alimentación de oxígeno se incrementa, durante el aumento de la carga, a un valor que es superior a su valor convencional. Dichas velocidades de alimentación de oxígeno se muestran con las líneas O2 y O3, en la parte superior de la figura 2. De acuerdo con la presente invención, el cambio relativo de la velocidad de alimentación de oxígeno es mayor que el correspondiente de la velocidad de alimentación de combustible. Por lo tanto, la relación de oxígeno/combustible se incrementa, durante el cambio de carga, a un valor que es superior a su valor original, o convencional. Preferentemente, la velocidad de alimentación de oxígeno se incrementa a un valor excepcionalmente alto en el instante de tiempo t_0 , y se mantiene en ese valor aproximadamente hasta que la energía generada total de la instalación de caldera se corresponde con la demanda de energía. Después de esto, la velocidad de alimentación de oxígeno vuelve lentamente de nuevo a un valor que proporciona sustancialmente la relación original de oxígeno/combustible. También es posible que, en algunos casos, la recuperación de la velocidad de alimentación de oxígeno se inicie antes de que la energía generada total haya alcanzado la demanda de energía. En la figura 2, se muestra que la recuperación de la velocidad de alimentación de oxígeno tiene lugar aproximadamente con la misma rapidez con la que se tarda en incrementar la energía generada total a su valor requerido, pero, en realidad, el tiempo para recuperar la velocidad de alimentación de oxígeno puede ser claramente mayor que el tiempo para incrementar la energía.

25 Cuando la velocidad de alimentación de oxígeno se incrementa desde su valor convencional a un valor superior, tal como se muestra con la línea O2 en la parte superior de la figura 2, la salida de energía se eleva de manera bastante rápida, tal como se muestra con la línea P2 en la parte inferior de la figura 2, y el nivel requerido se alcanza mucho más rápido que cuando se usa una relación constante de oxígeno/combustible. Cuando la velocidad de alimentación de oxígeno se eleva a un valor todavía mayor, tal como se muestra con O3 en la parte superior de la figura 2, la energía de salida se eleva aún más rápidamente, tal como se muestra con la línea P3 en la parte inferior de la figura 2. No obstante, tal como se muestra con la línea P3, la velocidad de alimentación de oxígeno O3 es tan alta que la energía de salida alcanza su valor de equilibrio únicamente después de un sobrepulso. Por lo tanto, en este caso el nivel de energía requerido se alcanza solamente de manera aproximada igual de rápido que cuando se usa la velocidad de alimentación de oxígeno menor acorde a la línea O2.

35 En un ejemplo calculado, la energía total de una caldera de CFB de oxicomustión se cambió de 642 MW a 668 MW, es decir, en un 4%, usando diferentes velocidades de alimentación de oxígeno durante el cambio de carga. Cuando la relación de oxígeno/combustible se incrementó durante el cambio de carga en un 5,2%, el tiempo para llegar a los 4/5 del cambio de carga se redujo a menos de la mitad de su valor original, es decir, el valor obtenido cuando el cambio de carga se realiza manteniendo la relación de oxígeno/combustible. Cuando la relación de oxígeno/combustible se incrementó en un 9,9%, el tiempo para alcanzar los 4/5 del cambio de carga se redujo a menos de un cuarto de valor original. De acuerdo con este último cálculo, la elevación rápida de la energía provocó un ligero sobrepulso, y, por tanto, el valor final se obtuvo de manera aproximada solamente igual de rápido que en el cálculo con el incremento del 5,3% de la relación de oxígeno/combustible.

45 La figura 3 muestra esquemáticamente un procedimiento ventajoso para generar y consumir oxígeno en una instalación de caldera de CFB de oxicomustión en condiciones de carga cíclicamente variables. Tal como se muestra con una línea de trazos en la figura 3, se genera oxígeno en una ASU a una velocidad constante. La ASU está diseñada ventajosamente de manera que se genera de forma eficiente oxígeno a una velocidad que se corresponde con la demanda media de oxígeno de la caldera. El consumo de oxígeno, mostrado en la figura 3 con una línea continua, está, en condiciones de carga elevada, por ejemplo, entre los instantes de tiempo t_0 y t_1 , a un nivel mayor que la velocidad de producción de oxígeno, pero, en condiciones de carga baja, menor que la velocidad de producción de oxígeno.

55 La figura 4 muestra esquemáticamente un procedimiento ventajoso para generar y consumir oxígeno en una instalación de caldera de CFB de oxicomustión durante un pico de carga rápido entre los instantes de tiempo t_0 y t_1 . Durante el pico de energía, el consumo de oxígeno, mostrado con una línea continua en la figura 4, se incrementa. No obstante, tal como se muestra con una línea de trazos en la figura 4, en las condiciones de carga estables se genera oxígeno a una velocidad que es ligeramente mayor que lo necesario, pero, durante el pico de carga, entre los instantes de tiempo t_0 y t_1 , la generación de oxígeno se reduce rápidamente. Con este procedimiento, la energía auxiliar de la instalación se minimiza durante la carga de pico, y puede proporcionarse más energía a la red eléctrica. El consumo de oxígeno en el inicio de la energía de pico se puede incrementar momentáneamente, tal como se muestra, por ejemplo, en la figura 3. No obstante, especialmente si la velocidad de cambio de carga no es crítica, el consumo de oxígeno puede situarse inmediatamente en su nivel final, tal como se muestra en la figura 4. Normalmente, un esquema de consumo de oxígeno tan sencillo también se puede usar en el caso mostrado en la figura 3.

65 Aunque la invención se ha descrito en la presente memoria por medio de ejemplos en relación con lo que se

consideran, actualmente, como las formas de realización más preferidas, debe entenderse que la invención no se limita a las formas de realización divulgadas, sino que está destinada a abarcar varias combinaciones o modificaciones de sus características y otras diversas aplicaciones incluidas dentro del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de la combustión en el horno de una instalación de caldera de lecho fluidificado circulante, comprendiendo el procedimiento, en unas primeras condiciones de carga estables, las etapas de:

5

(a) alimentar combustible con una primera velocidad de alimentación de combustible, proporcional a la primera carga, hacia el horno;

10

(b) alimentar una corriente de alimentación de oxígeno con una primera velocidad de alimentación de oxígeno, ajustada para mantener una primera relación predeterminada de oxígeno/combustible, hacia el horno, con el fin de combustionar el combustible a la primera velocidad de alimentación de combustible, con lo cual, en el horno, se está manteniendo un inventario de residuo carbonoso en el lecho,

15

y en condiciones de aumento de la carga desde las primeras condiciones de carga estables hasta unas segundas condiciones de carga estables, siendo la carga en las segundas condiciones de carga estables un N % mayor que la carga en las primeras condiciones de carga estables, las etapas de:

20

(a') alimentar combustible con una segunda velocidad de alimentación de combustible hacia el horno, siendo la segunda velocidad de alimentación de combustible mayor que la primera velocidad de alimentación de combustible, y

25

y en las segundas condiciones estables, las etapas de:

30

(a'') alimentar combustible con una tercera velocidad de alimentación de combustible, proporcional a la segunda carga, hacia el horno;

35

(c') alimentar una corriente de alimentación de oxígeno con una tercera velocidad de alimentación de oxígeno, ajustada para mantener sustancialmente la primera relación de oxígeno/combustible, hacia el horno, con el fin de combustionar el combustible a la tercera velocidad de alimentación de combustible, siendo la segunda velocidad de alimentación de oxígeno mayor que la tercera velocidad de alimentación de oxígeno,

40

caracterizado por que, en las condiciones de aumento de la carga, la relación de oxígeno/combustible es mayor que la primera relación de oxígeno/combustible y la segunda velocidad de alimentación de oxígeno es por lo menos aproximadamente una vez y media N % mayor que la primera velocidad de alimentación de oxígeno, con el fin de combustionar el combustible a la segunda velocidad de alimentación de combustible y reducir el inventario de residuos carbonosos en el lecho combustionando residuos carbonosos del inventario de residuos carbonosos en el lecho.

45

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el procedimiento comprende una etapa de alimentar una corriente reciclada de gas de escape hacia el horno.

50

3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que la relación de la corriente de alimentación de oxígeno con respecto a la corriente reciclada es mayor en las condiciones de aumento de la carga que en las primeras condiciones de carga estables.

55

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que una mezcla de la corriente de alimentación de oxígeno y la corriente de alimentación reciclada se alimenta hacia el horno como gas primario y como gas secundario, y, en las condiciones de aumento de la carga, la relación de la corriente de alimentación de oxígeno con respecto a la corriente reciclada del gas primario es mayor que la relación de la corriente de alimentación de oxígeno con respecto a la corriente reciclada del gas secundario.

60

5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la instalación de caldera comprende un suministro de oxígeno para producir una corriente de oxígeno sustancialmente puro, y, en las primeras condiciones de carga estables, la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro es mayor que la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro, y una parte de la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro se almacena en un depósito de oxígeno.

65

6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que por lo menos una parte de la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro se obtiene, en las condiciones de aumento de carga, a partir del depósito de oxígeno.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que la corriente producida de oxígeno

sustancialmente puro es, en las condiciones de aumento de carga, inferior a la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro en las primeras condiciones de carga estables.

- 5 8. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que la instalación de caldera comprende un suministro de oxígeno para producir una corriente de oxígeno sustancialmente puro, y, en las segundas condiciones de carga estables, la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro es inferior a la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro, y por lo menos una parte de la corriente de alimentación de oxígeno sustancialmente puro se obtiene de un depósito de oxígeno.
- 10 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro es, en las segundas condiciones de carga estables, tan alta como la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro en las primeras condiciones de carga estables.
- 15 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro es, en las segundas condiciones de carga estables, inferior a la corriente producida de oxígeno sustancialmente puro en las primeras condiciones de carga estables.

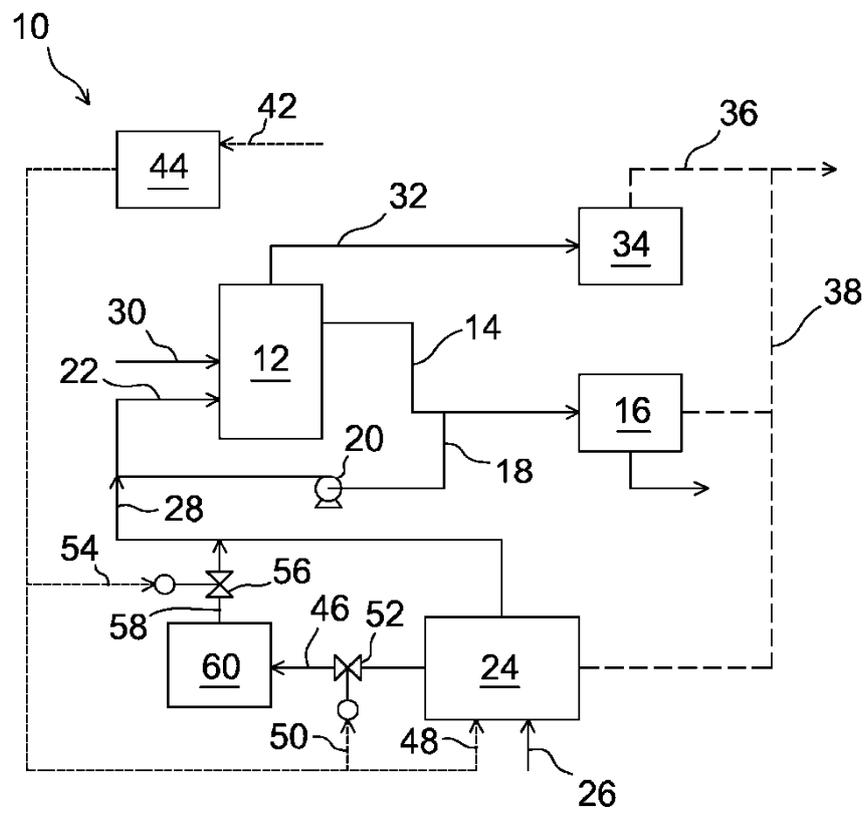


Fig. 1

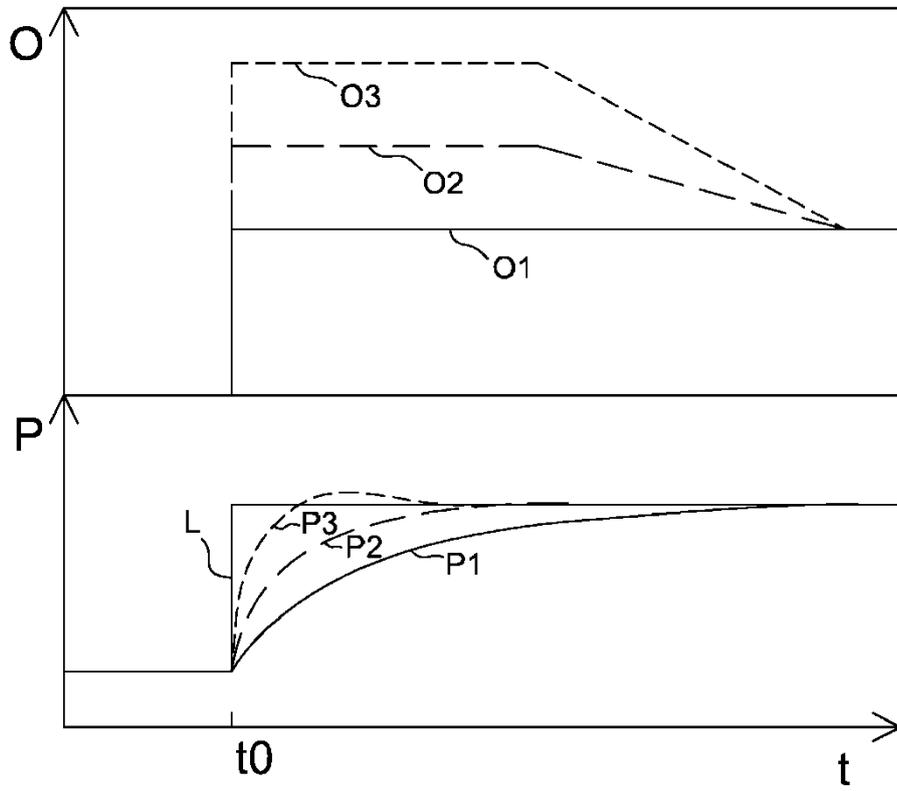


Fig. 2

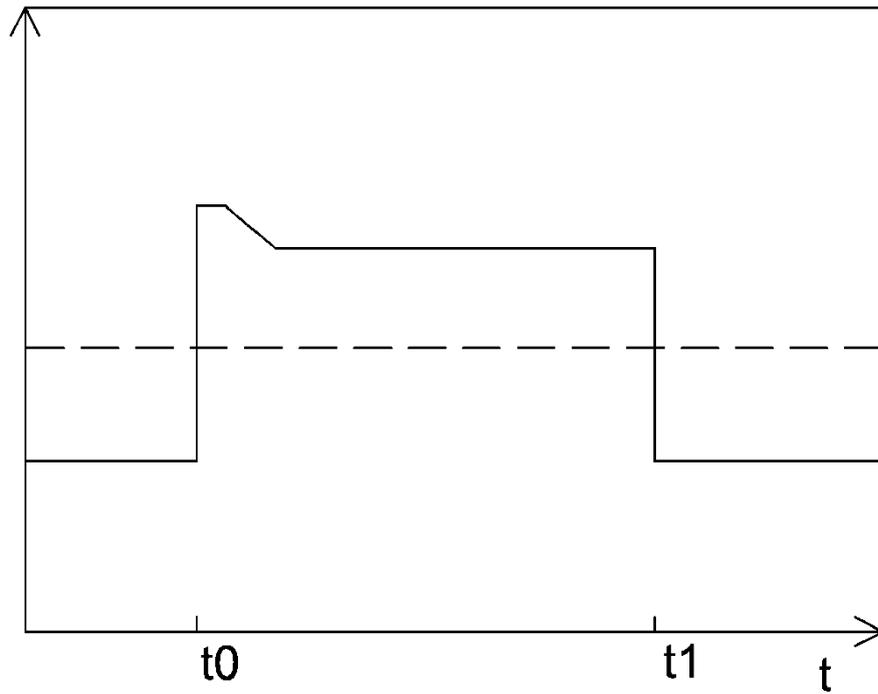


Fig. 3

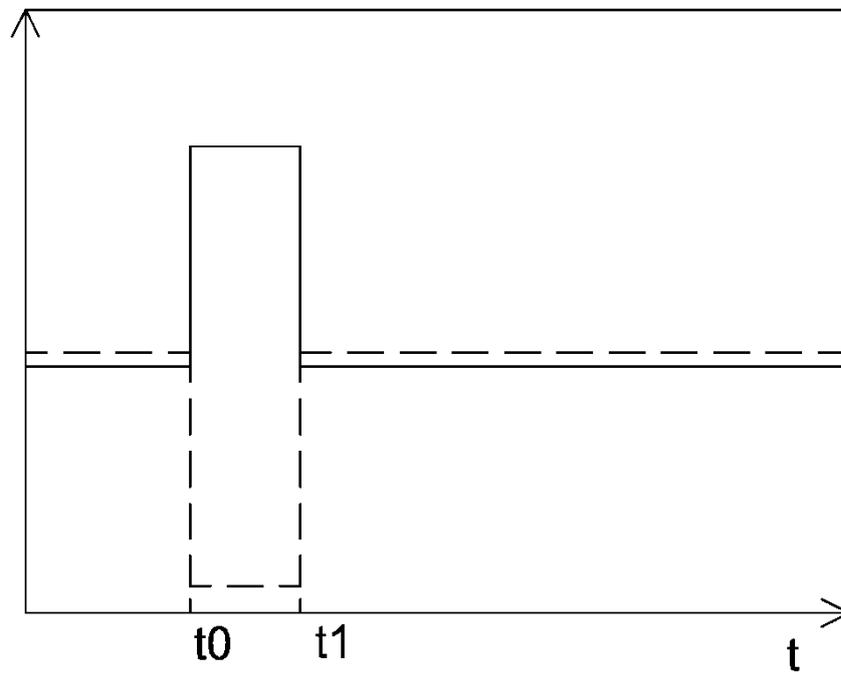


Fig. 4