

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 865**

51 Int. Cl.:

B01D 53/86 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2011** **E 11152884 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2015** **EP 2481471**

54 Título: **Aparato y sistema para reducción de NO_x en gas de combustión húmedo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.11.2015

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

SCHNIEDER, KLAUS;
HEINZ, GERHARD y
STALLMANN, OLAF

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 551 865 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

Aparato y sistema para reducción de NO_x en gas de combustión húmedo.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método y un sistema para depurar una corriente de gas de combustión rica en CO₂ que contiene vapor de agua y NO_x previamente a retención de CO₂.

Antecedentes

En la combustión de un combustible, tal como carbón, petróleo, turba, residuos, etc., en una planta de combustión, tal como una central eléctrica, se genera un gas de proceso caliente, conteniendo dicho gas de proceso, entre otros componentes, dióxido de carbono CO₂. Con el incremento de los requerimientos medioambientales se han desarrollado diversos procedimientos para retirar dióxido de carbono del gas de proceso. Uno de dichos procesos es el denominado proceso de oxi-combustible. En un proceso de oxi-combustible se quema un combustible, tal como uno de los combustibles mencionados anteriormente, en presencia de un gas pobre en nitrógeno. El gas oxígeno, que es proporcionado por una fuente de oxígeno, es suministrado a una caldera en la que el gas oxígeno oxida el combustible. En el procedimiento de combustión del oxi-combustible se produce un gas de combustión rico en dióxido de carbono, que se puede tratar usando diversas tecnologías de captura de CO₂ para reducir la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

La captura de CO₂ con frecuencia comprende refrigeración, o compresión y refrigeración, del gas de combustión para separar CO₂ en forma líquida o sólida de componentes del gas de combustión no condensables, tales como N₂ y O₂.

Previamente a captura de CO₂, en general es necesario depurar el gas de combustión rico en dióxido de carbono. La operación de depuración del gas puede incluir en general la eliminación de polvo, compuestos de azufre, metales, óxidos de nitrógeno, etc.

Para evitar la formación de hielo en intercambiadores de calor usados en el procedimiento de captura de CO₂, el gas de combustión húmedo también debe estar seco antes de ser sometido a refrigeración. Para conseguir la sequedad deseada del gas de combustión, se puede emplear un secador de adsorción. El secador de adsorción usa un adsorbente, tal como tamices moleculares, para eliminar eficazmente el agua del gas de combustión. Un problema con muchos secadores de adsorción es que el adsorbente, tal como tamices moleculares, puede ser sensible a la degradación ácida por ácidos formados por gases ácidos y agua adsorbida por el adsorbente. Dicha degradación ácida puede reducir de manera seria la expectativa de vida eficaz del adsorbente.

La reducción catalítica selectiva (RCS) es un medio para convertir óxidos de nitrógeno, también referidos como NO_x, con la ayuda de un catalizador en nitrógeno diatómico, N₂ y agua, H₂O. Un reductor gaseoso, típicamente se añade amoníaco anhidro, amoníaco acuoso o urea, a una corriente de combustible o gas de escape y se adsorbe sobre un catalizador. La reacción de reducción de NO_x tiene lugar a medida que los gases pasan por la cámara catalítica. Antes de entrar en la cámara catalítica se inyecta el amoníaco, u otro reductor, y se mezcla con los gases. La reacción de RCS se realiza típicamente a una temperatura en el intervalo de 200°C a 500°C. La temperatura mínima eficaz depende, por ej., de los constituyentes del gas y la geometría del catalizador. Los catalizadores de RCS se fabrican de diversos materiales cerámicos usados como portador, tales como óxido de titanio, y los componentes catalíticos activos son normalmente óxidos de metales de base (tales como vanadio y tungsteno), zeolitas y/o diversos metales preciosos. Cada componente catalítico presenta ventajas y desventajas.

Un problema con la RCS es que el catalizador puede llegar a obstruirse mediante hollín de entrada, cenizas volantes y otros materiales en forma de partículas, tales como metales. Esta obstrucción puede reducir la eficacia y la expectativa de vida efectiva del catalizador de RCS.

La patente austríaca AT 385 211 B describe la reducción catalítica selectiva (RCS) de los óxidos de nitrógeno en el gas de escape de una central eléctrica de combustión. Se realiza RCS aguas abajo de una unidad de eliminación de polvo y una unidad de desulfurización y el gas de escape que sale de la unidad de desulfurización se vuelve a calentar a la temperatura requerida para RCS mediante intercambio de calor indirecto con gas de escape caliente saliendo de la unidad de combustión. Usando el gas de combustión caliente que sale de la unidad de combustión, se puede evitar un quemador adicional de gas para volver a calentar el gas de combustión. El gas de escape que sale de la unidad de RCS es liberado a la atmósfera.

La solicitud de patente internacional publicada WO 2009/126607 A2 describió un método y sistema para separar CO₂ de una corriente de gas que contiene CO₂, que comprende una etapa de adsorción por cambio de temperatura para capturar dióxido de carbono de la corriente de gas. La humedad de la corriente de gas que contiene CO₂ se elimina opcionalmente por adsorción por cambio de presión, adsorción por cambio de temperatura, separación de membrana o absorción previa a captura de CO₂.

La patente alemana DE 36 04 946 A1 describe un método y sistema para depurar gas de combustión que

comprende refrigerar el gas de combustión de una caldera haciéndolo pasar a través de un intercambiador de calor, desulfurizar el gas de combustión refrigerado haciéndolo pasar a través de un desulfurizador, calentar el gas de combustión desulfurizado haciéndolo pasar a través del intercambiador de calor, haciendo pasar el gas de combustión calentado por una RCS.

5 Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método y sistema para depurar un gas rico en dióxido de carbono generado en una caldera quemando un combustible en presencia de un gas que contiene oxígeno de acuerdo con las reivindicaciones, aliviando el método al menos uno de los problemas mencionados anteriormente.

La reducción catalítica selectiva (RCS) requiere altas temperaturas, por ejemplo en el intervalo de 190 a 500°C, para que sea eficaz. Por esta razón, la etapa de RCS, cuando está presente en sistemas de tratamiento de gas de la técnica anterior, se realiza generalmente en conexión directa, o poco después de, la etapa de combustión, donde la corriente de gas de combustión ya está presente a alta temperatura. En la práctica, esto significa que la etapa de RCS se realiza previamente a la etapa de condensación de gas de combustión (CCC) donde se enfría el gas de combustión por debajo del punto de rocío del agua y el calor liberado por la condensación resultante se recupera como calor a baja temperatura. En general, también se realiza la etapa de RCS previamente a la eliminación de polvo convencional, por ejemplo, precipitación electrostática y las etapas de eliminación de azufre realizadas en el gas de combustión directamente aguas abajo de la caldera.

En los métodos y sistemas de depuración de gas propuestos en la presente memoria, la etapa de RCS se realiza en su lugar en la corriente de gas de combustión fría aguas abajo además de la caldera e implica calentar la corriente de gas de combustión a una temperatura adecuada para la RCS.

Según las realizaciones de los métodos y sistemas de depuración de gas propuestos en la presente memoria, se realiza la etapa de RCS aguas abajo de las etapas de eliminación de polvo y de eliminación de azufre o aguas abajo de la etapa de condensación de gas de combustión, que reduce significativamente los problemas con la obstrucción del catalizador por hollín de entrada, cenizas volantes y otros materiales en forma de partículas, tales como metales, aumentando así la expectativa de vida del catalizador de RCS. También se ha encontrado que realizar la etapa de RCS aguas abajo de la CCC permite que el tamaño del reactor de RCS se reduzca significativamente puesto que sólo se trata el excedente de gas de combustión. Además, realizar la etapa de RCS aguas abajo de la etapa de eliminación de azufre y/o la CCC significa contenido en azufre significativamente reducido (por ejemplo, SO₂ y SO₃) en el gas de combustión tratado en el reactor de RCS. Como resultado, las temperaturas de operación del reactor de RCS pueden ser menores, tal como en el intervalo de 200°C a 250°C. En la reducción catalítica selectiva, se forma agua como un producto. Antes de que se pueda tratar el gas de combustión para separación de CO₂, por ejemplo, por compresión y refrigeración, puede ser necesario por lo tanto retirar al menos algo de esta agua del gas de combustión, para evitar la formación de hielo.

Según una realización, el método de depuración de gas de combustión comprende además someter la corriente de gas de combustión a eliminación de polvo previamente a calentamiento de la corriente de gas de combustión.

Según una realización, el método de depuración del gas de combustión comprende además someter la corriente de gas de combustión a eliminación de dióxido de azufre previamente a calentar la corriente de gas de combustión.

Según una realización, el método de depuración del gas de combustión comprende además someter la corriente de gas de combustión a condensación de gas de combustión previamente a calentar la corriente de gas de combustión. La condensación de gas de combustión puede reducir significativamente el caudal de gas de combustión total, reduciéndose así el tamaño requerido de las unidades de RCS y secadora aguas abajo. El gas de combustión que entra en la CCC normalmente contiene aproximadamente 40% en volumen de agua. Después de la CCC el gas de combustión contiene normalmente aproximadamente 5% en volumen de agua. Una ventaja más de la CCC es que se retira el líquido de lavado o la suspensión, por ejemplo, suspensión de cal, arrastrada en el gas de combustión de la etapa de eliminación de dióxido de azufre precedente durante la condensación, reduciéndose así los problemas de ensuciamiento y/u obstrucción del catalizador de RCS y/o las superficies del calentador de gas.

Según una realización, la temperatura a la que se calienta la corriente de gas de combustión es el intervalo de 190°C a 500°C.

De acuerdo con una realización, la temperatura a la que se calienta la corriente de gas de combustión es el intervalo de 200°C a 250°C.

Según una realización, el calentamiento de la corriente de gas de combustión comprende:

calentar previamente la corriente de gas de combustión a una primera temperatura por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión que resulta de la RCS y después

supercalentar la corriente de gas de combustión precalentada a una segunda temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C.

Según una realización, la segunda temperatura está en el intervalo de 200°C a 250 °C.

De acuerdo con una realización el secador de adsorción comprende un adsorbente seleccionado del grupo que consiste en tamices moleculares, zeolita y gel de sílice.

5 Según una realización, el sistema de tratamiento del gas de combustión comprende un filtro de eliminación de polvo dispuesto aguas arriba del calentador de gas de combustión.

Según una realización, el sistema de tratamiento de gas de combustión comprende un depurador para eliminación de dióxido de azufre aguas arriba del calentador de gas de combustión.

Según una realización, el sistema de tratamiento de gas de combustión comprende un condensador de gas de combustión dispuesto aguas arriba del calentador de gas de combustión.

10 Según una realización, el calentador de gas de combustión comprende:

un pre-calentador de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión a una primera temperatura por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión que sale del reactor de RCS y

un super-calentador de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión precalentado a una segunda temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C.

15 Según una realización, la segunda temperatura está en el intervalo de 200°C a 250°C.

Según una realización, el secador de adsorción comprende un adsorbente seleccionado del grupo que consiste en tamices moleculares, zeolita y gel de sílice.

20 Las características descritas anteriormente y otras características se ejemplifican por las siguientes figuras y descripción detallada. Los objetos y características adicionales de la presente invención serán evidentes a partir de la descripción y las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

Haciendo referencia ahora a las figuras, que son de realizaciones ejemplares, y en las que los elementos similares se enumeran de manera parecida:

La Figura 1 representa esquemáticamente una realización de un sistema de tratamiento de gas.

25 La Figura 2 representa esquemáticamente una realización de una GPU.

La Figura 3 representa esquemáticamente una realización de un sistema de RCS/secador.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

30 La Fig. 1 es una representación esquemática de un sistema 1 de caldera, como se observa desde el lado del mismo. El sistema 1 de caldera comprende, como componentes principales, una caldera 2, siendo en esta realización una caldera de oxi-combustible, un sistema de generación de energía eléctrica de turbina de vapor, indicado de manera esquemática como 4, y un sistema 3 de tratamiento de gas de combustión. El sistema 3 de tratamiento de gas de combustión comprende un sistema 6 de depuración de gas de combustión. El sistema 6 de depuración de gas de combustión comprende un dispositivo de eliminación de polvo, que puede ser, por ejemplo, un filtro de género o un precipitador 8 electrostático y un sistema de eliminación de dióxido de azufre, que puede ser un depurador 10 húmedo.

35 Un combustible, tal como carbón, petróleo o turba, está contenido en un almacenamiento 12 de combustible y se puede suministrar a la caldera 2 por una tubería 14 de suministro. Está operativa una fuente 16 de gas oxígeno para proporcionar gas oxígeno de una manera que es conocida de por sí. La fuente 16 de gas oxígeno puede ser una planta de separación de aire operativa para separar gas oxígeno de aire, una membrana de separación de oxígeno, un tanque de almacenamiento o cualquier otra fuente para proporcionar gas oxígeno al sistema 1 de la caldera. Un conducto 18 de suministro está operativo para expedir el gas oxígeno producido, comprendiendo típicamente 90-99,9% en volumen de oxígeno, O₂, a la caldera 2. Un conductor 20 está operativo para expedir gas de combustión recirculado, que contiene dióxido de carbono, a la caldera 2. Como se indica en la Fig. 1, el conducto 18 de suministro une el conducto 20 aguas arriba de la caldera 2, de manera que el gas oxígeno y el gas de combustión recirculado, que contiene dióxido de carbono, pueden llegar a estar mezclados entre sí para formar una mezcla de gases que contiene típicamente aproximadamente 20-50% en volumen de gas oxígeno, siendo el equilibrio principalmente dióxido de carbono y vapor de agua, aguas arriba de la caldera 2. Puesto que casi no entra aire en la caldera 2, no hay casi gas nitrógeno suministrado a la caldera 2. En el funcionamiento práctico, menos del 3% en volumen del volumen de gas suministrado a la caldera 2 es aire, que entra principalmente en el sistema 1 de la caldera como una fuga de aire vía, por ejemplo, la caldera 2 y el sistema 6 de depuración de gases. La caldera 2 está operativa para quemar el combustible, que se tiene que suministrar vía la tubería 14 de suministro, en

presencia del gas oxígeno, mezclado con el gas de combustión recirculado, que contiene dióxido de carbono, que se tiene que suministrar por el conducto 20. Una tubería 22 de vapor está operativa para expedir vapor, que se producirá en la caldera 2 como resultado de la combustión, al sistema 4 de generación de energía eléctrica de turbina de vapor, que está operativo para generar energía en la forma de energía eléctrica.

- 5 Un conducto 24 está operativo para expedir gas de combustión rico en dióxido de carbono generado la caldera 2 al dispositivo 8 de eliminación de polvo. Por "gas de combustión rico en dióxido de carbono" se quiere decir que el gas de combustión que sale de la caldera 2 vía el conducto 24 contendrá al menos 40% en volumen de dióxido de carbono, CO₂. Con frecuencia, más del 50% en volumen del gas de combustión que sale de la caldera 2 será dióxido de carbono. Típicamente, el gas de combustión que sale de la caldera 2 contendrá 50-80 % en volumen de dióxido de carbono. El equilibrio del "gas de combustión rico en dióxido de carbono" será aproximadamente 15-40% en volumen de vapor de agua (H₂O), 2-7 % en volumen de oxígeno (O₂), puesto que se prefiere con frecuencia un ligero exceso de oxígeno en la caldera 2 y totalmente aproximadamente 0-10% en volumen de otros gases, incluyendo principalmente nitrógeno (N₂) y argón (Ar), puesto que raras veces se puede evitar completamente algo de fuga.
- 10 El gas de combustión rico en dióxido de carbono generado en la caldera 2 puede comprender típicamente contaminantes en la forma de, por ejemplo, partículas de polvo, ácido clorhídrico, HCl, óxidos nitrosos, NO_x, óxidos de azufre, SO_x y metales pesados, incluyendo mercurio, Hg, que se deberían retirar, al menos parcialmente, del gas de combustión rico en dióxido de carbono previamente a la disposición del dióxido de carbono.
- 15 El dispositivo 8 de eliminación de polvo retira la mayoría de las partículas de polvo del gas de combustión rico en dióxido de carbono. Un conducto 26 está operativo para expedir el gas de combustión rico en dióxido de carbono del filtro 8 de género al depurador 10 húmedo del sistema 6 de depuración de gas. El depurador 10 húmedo comprende una bomba 28 de circulación que está operativa para hacer circular, en una tubería 30 de circulación de suspensión, un líquido de absorción, que comprende por ejemplo piedra caliza, del fondo del depurador 10 húmedo a una serie de boquillas 32 dispuestas en la porción superior del depurador 10 húmedo. Las boquillas 32 de suspensión están operativas para distribuir finamente el líquido de absorción en el depurador 10 húmedo para conseguir buen contacto entre el líquido de absorción y el gas de combustión que se está expidiendo al depurador 10 húmedo por el conducto 26 y que fluye sustancialmente verticalmente hacia arriba en el interior del depurador 10 húmedo para efectuar la eliminación eficaz de dióxido de azufre, SO₂, y otros gases ácidos del gas de combustión rico en dióxido de carbono.
- 20 El sistema 1 de la caldera comprende además un condensador 37 de gas de combustión donde el gas de combustión se enfría por debajo del punto de rocío del agua y el calor liberado por la condensación resultante se recupera como calor de baja temperatura. El contenido en agua del gas de combustión se puede reducir, por ejemplo, de aproximadamente 40 % en volumen en el gas de combustión alimentado al condensador del gas de combustión a aproximadamente 5 % en volumen en el gas de combustión que sale del condensador de gas de combustión. Dependiendo del pH y la temperatura en el condensador del gas de combustión, la condensación del gas de combustión también puede conducir a una reducción de óxidos de azufre, SO_x, en el gas de combustión. Los óxidos de azufre se capturan en el condensado formado y se separan del gas de combustión. Además, se elimina líquido de lavado o suspensión, por ejemplo, suspensión de cal, arrastrada en el gas de combustión de la etapa de eliminación de dióxido de azufre precedente durante la condensación, reduciéndose así los problemas de ensuciamiento y/u obstrucción del catalizador de RCS y/o las superficies del calentador de gas.
- 25 El sistema 3 de tratamiento del gas de combustión del sistema 1 de la caldera comprende además un sistema de purificación de gas en la forma de una unidad de compresión y purificación de gas (GPU) 40. Un gas de combustión rico en dióxido de carbono al menos parcialmente limpio sale del depurador 10 húmedo vía un conducto 34 que expide el gas de combustión a un punto 36 de división de gas, donde se divide el gas de combustión rico en dióxido de carbono al menos parcialmente limpio en dos flujos, es decir un primer flujo, que se vuelve a recircular por el conducto 20 a la caldera 2 y un segundo flujo, que es enviado por el condensador 37 de gas de combustión y el conducto 38 a la unidad de compresión y purificación de gas (GPU) 40 del sistema 1 de la caldera. En la GPU 40 el gas de combustión rico en dióxido de carbono limpio se depura más y se comprime para su disposición. El dióxido de carbono comprimido deja por lo tanto la GPU 40 por un conducto 43 y es transportado para disposición, que a veces se refiere como "retención de CO₂". El primer flujo, que se vuelve a recircular a la caldera 2 por el conducto 20, comprende típicamente 50 - 75% en volumen del flujo total del gas de combustión rico en dióxido de carbono parcialmente depurado que sale del depurador 10 húmedo. El segundo flujo, comprende típicamente 25 - 50% en volumen del flujo total del gas de combustión rico en dióxido de carbono parcialmente depurado que sale del depurador 10 húmedo, se envía, por lo tanto, por el condensador 37 de gas de combustión y el conducto 38, a la GPU 40, que se describirá con más detalle de ahora en adelante.
- 30 La Fig. 2 ilustra la GPU 40 con más detalle. Se apreciará que la ilustración de la Fig. 2 es esquemática y que una GPU puede comprender más dispositivos para purificación de gases, etc.
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

La GPU 40 comprende al menos un compresor que tiene al menos uno, y típicamente dos a diez fases de compresión para comprimir el gas de combustión rico en dióxido de carbono depurado. Cada fase de compresión se podía disponer como una unidad separada. Como alternativa y como se ilustra en la Fig. 2, se podían realizar diversas fases de compresión mediante un eje conductor común. La GPU 40 de la Fig. 2 comprende un compresor

41 que tiene una primera fase 42 de compresión, una segunda fase 44 de compresión y una tercera fase 46 de compresión. La primera a la tercera fase 42, 44, 46 de compresión forman juntas una unidad 48 de compresión de baja presión de la GPU 40. Las fases 42, 44, 46 de compresión están conectadas a un eje 50 conductor común que es accionado mediante un motor 52 del compresor 41.

Además, la unidad 48 de compresión de baja presión también puede comprender una unidad 56 de interrefrigeración, aguas abajo de una o más de las fases 42, 44, 46 de compresión. Por lo tanto, las unidades 56 de interrefrigeración pueden estar dispuestas aguas abajo de la primera y la segunda fase de compresión 42 y 44 de la GPU 40 de la Fig. 2. Una de tales unidades 56 de interrefrigeración opcional se ilustra aguas abajo de la segunda fase 44 de compresión. La unidad de interrefrigeración se puede configurar además para recoger y disponer de cualquier condensado líquido formado durante la compresión y/o la refrigeración.

Durante la compresión del gas de combustión puede tener lugar una reacción que convierte óxidos de azufre, SO_x , con agua líquida en sus respectivos ácidos, usando NO_2 como catalizador. Los ácidos formados se pueden separar después en una unidad 56 de interrefrigeración dispuesta aguas abajo de la primera y/o segunda fases de compresión. Así, la unidad 48 de compresión de baja presión puede contribuir a la reducción de SO_x en el gas de combustión.

La GPU 40 puede comprender al menos una unidad 54 de adsorción de mercurio que se dispone aguas abajo de una de las fases 42, 44, 46 de compresión. En la realización de la Fig. 2, la unidad 54 de adsorción de mercurio se dispone aguas abajo de la tercera fase 46 de compresión, es decir, aguas abajo de la unidad 48 de compresión de baja presión. Se apreciará que la unidad 54 de adsorción de mercurio también podría estar dispuesta aguas abajo de la primera fase 42 de compresión o aguas abajo de la segunda fase 44 de compresión. También es posible disponer más de una unidad 54 de adsorción de mercurio en la GPU, por ejemplo una unidad de adsorción de mercurio aguas abajo de la segunda fase 44 de compresión y una unidad 54 de adsorción de mercurio aguas abajo de la tercera fase 46 de compresión. La unidad 54 de adsorción de mercurio se proporciona con un envase que comprende un adsorbente de mercurio que tiene afinidad para mercurio. El adsorbente puede ser, por ejemplo, carbón activado impregnado con azufre u otro material que sea conocido como tal por su afinidad por el mercurio. Por lo tanto, a medida que el gas de combustión rico en dióxido de carbono comprimido refrigerado pasa por el envase, al menos una porción del contenido de mercurio del gas será adsorbido sobre el adsorbente de mercurio del envase.

Con referencia a la Fig. 2, el gas de combustión rico en dióxido de carbono depurado entra en la GPU 40 por el conducto 38 y se introduce en la primera fase 42 de compresión. Un conducto 58 envía, opcionalmente por una unidad de interrefrigeración no mostrada, el gas comprimido de la primera fase 42 de compresión a la segunda fase 44 de compresión. Un conducto 60 envía, opcionalmente por una unidad 56 de interrefrigeración, el gas comprimido de la segunda fase 44 de compresión a la tercera fase 46 de compresión. Un conducto 62 envía el gas comprimido de la tercera fase 46 de compresión por una unidad 54 de adsorción de mercurio, al sistema 65 de RCS/secador.

La GPU 40 comprende al menos una unidad 66 de reducción catalítica selectiva (unidad de RCS). La unidad de RCS se dispone aguas arriba de la unidad 73 de separación de CO_2 y se puede disponer aguas arriba o aguas abajo de la unidad 48 de compresión de baja presión o entre dos de las fases 42, 44, 46 de compresión de la unidad 48 de compresión de baja presión. En la realización de la Fig. 2, la unidad de RCS se dispone aguas debajo de la unidad 48 de compresión de baja presión. También se muestran dos disposiciones alternativas de la unidad de RCS en la Fig. 2, 66' aguas arriba de la unidad 48 de compresión de baja presión y 66'' entre las fases 42 y 44 de compresión de la unidad 48 de compresión de baja presión. También son posibles otras disposiciones de la unidad de RCS en la GPU 40 aguas arriba de la unidad 73 de separación de CO_2 .

La unidad 66 de RCS, descrita con detalle a continuación con referencia a la Fig. 3, comprende un reactor 67 de RCS que tiene una entrada 68 de gas de combustión, una salida 69 de gas de combustión y un lecho 71 catalítico que comprende un catalizador de RCS. El catalizador de RCS puede ser fabricado de un material cerámico, tal como óxido de titanio, usado como portador, y al menos un componente catalítico activo que es normalmente un óxido de un metal de base (tal como vanadio o tungsteno), una zeolita o un metal precioso. La unidad de RCS comprende además un dispositivo de suministro de reductor para inyectar un reductor gaseoso, típicamente amoníaco anhidro, amoníaco acuoso o urea, al gas de combustión alimentado al reactor de RCS.

La unidad de RCS comprende además un calentador de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión a una temperatura adecuada para reducción catalítica selectiva de NO_x . El calentador de gas de combustión puede comprender uno o más intercambiadores de calor configurados para calentar la corriente de gas de combustión usando un medio de calentamiento adecuado. En medio de calentamiento puede ser por ejemplo vapor. Un intercambiador de calor del calentador de gas de combustión se puede configurar para usar el gas de combustión que sale del reactor de RCS como el medio de calentamiento.

La GPU 40 comprende además un secador 70 de adsorción, descrito con detalle a continuación con referencia a la Fig. 3, operativo para retirar al menos una porción del contenido de vapor de agua del gas de combustión.

El secador 70 de adsorción se dispone aguas abajo de la unidad 66 de RCS, pero aguas arriba de la unidad 73 de separación de CO_2 . Como se muestra en la Fig. 2, el secador 70 de adsorción se puede disponer directamente

aguas abajo de la unidad 66 de RCS, de manera que el gas de combustión tratado por la unidad 66 de RCS se envía directamente al secador 70 de adsorción, opcionalmente después de refrigeración adecuada de la corriente de gas de combustión en un refrigerador 75 de gas.

5 El secador 70 de adsorción presenta una entrada 77 de gas de combustión y una salida 78 de gas de combustión y contiene un adsorbente 79 o desecante capaz de adsorber moléculas de agua de una corriente de gas. El adsorbente pueden ser tamices moleculares con un tamaño de poro adecuado para adsorción de agua, por ejemplo, tamices moleculares con un tamaño de poro en el intervalo de 3 a 5 Å.

La unidad 66 de RCS y el secador 70 de adsorción pueden estar dispuestos en un sistema 65 de RCS/secador como se muestra de manera esquemática en la Fig. 2 y como se muestra con más detalle en la Fig. 3.

10 La Fig. 3 describe un sistema 65 de RCS/secador con más detalle. El gas de combustión rico en dióxido de carbono que ha experimentado eliminación de polvo, eliminación de azufre y condensación del gas de combustión entra en la unidad 66 de RCS por el conducto 62 conectado de manera fluida. Dependiendo de la posición de las unidades de RCS y secadora con referencia a las fases de compresión de la unidad 48 de compresión de baja presión, el gas de combustión rico en dióxido de carbono puede estar a presión esencialmente atmosférica o a una presión de presión absoluta 0,2-5,5 MPa (2-55 bar) y, típicamente, a una temperatura de 20 a 70°C. La temperatura de funcionamiento preferida del reactor de RCS esta típicamente en el intervalo de 190°C a 500°C.

20 En la unidad 66 de RCS se calienta el gas de combustión mediante un calentador 63, 64 de gas de combustión a una temperatura adecuada para reducción catalítica selectiva de NO_x. El gas de combustión se calienta primero en un precalentador 63 de gas de combustión a una primera temperatura, típicamente en el intervalo de 100°C a 250 °C por intercambio de calor indirecto, en un intercambiador de calor gas-gas adecuado, saliendo la corriente de gas de combustión del reactor de RCS por la salida 69 de gas. Se calienta después más el gas de combustión precalentado en un super-calentador 64 de gas de combustión a una segunda temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C. El supercalentador 64 puede emplear calentamiento eléctrico o vapor supercalentado u otro medio de calentamiento a una temperatura adecuada para calentar la corriente de gas de combustión precalentado a una temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C.

30 Al gas de combustión alimentado a la unidad 66 de RCS se añade un reductor. El reductor puede ser típicamente amoníaco anhidro, amoníaco acuoso o urea. El reductor se puede añadir por ejemplo a la corriente de gas de combustión mediante un dispositivo 72 de suministro de reductor después de precalentamiento (como se muestra en la Fig. 3) o después de super-calentamiento. Opcionalmente, se puede añadir el reductor a la corriente de gas de combustión aguas arriba del pre-calentador 63 o directamente al reactor 67 de RCS. El reductor, por ejemplo, amoníaco, se mezcla con la corriente de gas de combustión y se adsorbe sobre el catalizador 71 de RCS en el reactor 67 de RCS. El reactor 67 de RCS convierte al menos algo de los NO_x en la corriente de gas de combustión calentado en N₂ por reducción catalítica selectiva.

35 La GPU 40 puede comprender opcionalmente un economizador de gas de combustión (no mostrado) dispuesto entre la unidad 66 de RCS y el secador 70 de adsorción y se puede configurar para recuperar calor de la corriente de gas de combustión que sale de la unidad de RCS usando, por ejemplo, agua de alimentación de la caldera.

40 La corriente de gas de combustión agotada en NO_x de la unidad 66 de RCS se envía por el conducto 49 a un secador 70 de adsorción. El secador 70 de adsorción se proporciona como un envase 79 que comprende un adsorbente de vapor de agua, también referido como un desecador, con afinidad para vapor de agua. El desecador puede, por ejemplo, ser gel de sílice, sulfato de calcio, cloruro de calcio, arcilla de montmorillonita, tamices moleculares u otro material que sea, como tal, conocido por su uso como desecador. Por lo tanto, a medida que el gas de combustión rico en dióxido de carbono comprimido refrigerado adicionalmente pasa por el envase 79, al menos una porción del contenido de vapor de agua del gas se adsorberá sobre el desecador del envase 79.

45 El gas comprimido, a partir del cual se ha retirado al menos una porción de NO_x y contenido en agua, se envía por un conducto 51 desde la unidad 65 de RCS/secadora a unidades adicionales opcionales de la GPU 40. Ejemplos de tales unidades adicionales opcionales de la GPU 40 incluyen una unidad de eliminación de gas no condensable, por ejemplo una unidad 73 de separación de CO₂ en la que el gas es refrigerado en un intercambiador de calor, con frecuencia denominado una caja fría, para producir licuefacción del dióxido de carbono de manera que se pueda separar el dióxido de carbono de los gases, tales como nitrógeno, que no son licuados a la misma temperatura que el dióxido de carbono.

50 Además, la GPU 40 puede comprender una unidad 74 de compresión de alta presión dispuesta aguas abajo, como se observa con respecto a la dirección de transporte del dióxido de carbono, de la unidad 73 de separación de CO₂ y que comprende una o más fases de compresión para comprimir el dióxido de carbono a una presión adecuada para la retención. Después de la compresión del gas en la unidad 74 de compresión de alta presión, el dióxido de carbono comprimido, que puede estar en un estado supercrítico o líquido, se envía por el conducto 43, a un sitio 76 de retención de CO₂.

El gas de combustión rico en dióxido de carbono, del que se ha retirado al menos una porción de su contenido en

vapor de agua, se envía, por el conducto 51 conectado de manera fluida, a la unidad 73 de separación de CO₂ y con posterioridad a la unidad 74 de compresión de alta presión, como se ilustra en la Fig. 2. El gas de combustión rico en dióxido de carbono enviado por el conducto 51 es adecuado para tratamiento adicional en la unidad 73 de separación de CO₂ y la unidad 74 de compresión de alta presión y para ser enviado eventualmente para retención 76 de dióxido de carbono por el conducto 43, como se ilustra en la Fig. 2. Por ejemplo, un intercambiador de calor, también denominado una caja fría, de la unidad 73 de separación de CO₂ con frecuencia se puede fabricar de aluminio. El agua residual puede producir la formación de hielo en la caja fría, dando como resultado eventualmente problemas con capacidad refrigeración reducida y obstrucción del intercambiador de calor. Proporcionando un secador 70 de adsorción aguas arriba de la unidad 73 de separación de CO₂, se evitan dichos problemas o al menos se minimizan.

El secador 70 de adsorción se puede proporcionar con un sistema de regeneración y calentamiento (no mostrado) para la regeneración intermitente de la capacidad de adsorción de vapor de agua del secador 70 de adsorción. El conducto de suministro se dispone para suministrar un gas de regeneración al sistema. El gas de regeneración es preferiblemente un gas inerte que no reacciona con el envase del secador de adsorción. Los ejemplos de gases adecuados incluyen nitrógeno u otro gas inerte que, preferiblemente, mantenga una cantidad baja de mercurio y vapor de agua. Preferiblemente, la descarga de gas inerte, que comprende normalmente nitrógeno como uno de sus constituyentes principales, separado del dióxido de carbono en la unidad 73 de separación de CO₂ se utiliza como gas de regeneración. El sistema de regeneración comprende un calentador que se adapta para calentar el gas de regeneración. Se conecta un circuito de calentamiento al calentador para hacer circular un medio de calentamiento, tal como vapor, en el calentador. Para la regeneración del material del envase del secador 70 de gas, el calentador puede calentar típicamente el gas de regeneración a una temperatura de aproximadamente 120-300°C. Durante una secuencia de regeneración, se suministra el gas de regeneración calentado al secador 70 de gas a partir del sistema de regeneración y calentamiento. El gas de regeneración calienta el material del envase y produce una desorción de vapor de agua.

Según una realización, se puede proporcionar la GPU 40 con dos secadores 70 de gas paralelos, estando uno de esos secadores 70 de gas paralelos en funcionamiento mientras el otro secador 70 de gas paralelo experimenta regeneración. Según otra realización, el gas de combustión rico en dióxido de carbono se podía emitir a la atmósfera durante la regeneración del envase del secador 70 de gas.

Se apreciará que son posibles diversas variantes de las realizaciones descritas anteriormente dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. En particular, se apreciará que las unidades de RCS y secadora pueden estar dispuestas en una serie de diferentes posiciones aguas abajo de la unidad de eliminación de polvo y el condensador de gas de combustión, mientras aún aguas arriba de la unidad de separación de CO₂, con referencia a la dirección de flujo general de la corriente de gas de combustión. En la Fig. 2, se presentan tres posibles disposiciones de las unidades de RCS y secadora de acuerdo con la presente descripción, (a) aguas abajo de la unidad de compresión de baja presión, (b) aguas arriba de la unidad de compresión de baja presión y (c) entre dos fases de compresión de la unidad de compresión de baja presión.

Anteriormente se ha descrito cómo un sistema de purificación de gas incluyendo un reactor de RCS para eliminación de NO_x y un secador 70 de adsorción para reducción del contenido de vapor de agua, puede estar integrado como parte de una GPU 40, como se ilustra en las Figs. 1-3. Se apreciará que un sistema de purificación de gas de este tipo y un método para hacerlo funcionar también se puede integrar en otros tipos de procedimientos, donde haya una necesidad de eliminación de NO_x y vapor de agua de un gas de combustión rico en dióxido de carbono. Además, el sistema de purificación de gases del tipo mencionado anteriormente también puede estar integrado en otras partes de la GPU 40 que las descritas anteriormente.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a una serie de realizaciones preferidas, se entenderá por los expertos en la materia que se pueden realizar diversos cambios y se pueden sustituir elementos de los mismos por equivalentes sin apartarse del alcance de la invención. Además, se pueden realizar muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las explicaciones de la invención sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se desea que la invención no esté limitada a las realizaciones particulares descritas como el mejor modo considerado para llevar a cabo esta invención, pero que la invención incluirá todas las realizaciones que se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por otra parte, el uso de los términos primero, segundo, etc. no indica ningún orden o importancia, sino más bien los términos primero, segundo, etc. se usan para distinguir un elemento de otro.

REIVINDICACIONES

1. Un método para depurar una corriente de gas de combustión rica en CO_2 que contiene vapor de agua y NO_x previamente a retención de CO_2 , comprendiendo dicho método:
reducir al menos algo de los NO_x en la corriente de gas de combustión calentado a N_2 por RCS;
5 retirar al menos algo del vapor de agua de la corriente de gas de combustión agotada en NO_x por adsorción en un secador de adsorción y
separar CO_2 del gas de combustión en una unidad de separación de CO_2 ;
caracterizado por
10 someter la corriente de gas de combustión a condensación de gas de combustión antes de reducción, en la que durante la condensación la corriente de gas de combustión se enfría por debajo del punto de rocío del agua y
calentar la corriente de gas de combustión a una temperatura adecuada para reducción catalítica selectiva (RCS) de NO_x ;
15 dichas etapas de calentamiento de la corriente de gas de combustión, reduciendo NO_x y retirando el agua por adsorción se realizan después de someter la corriente de gas de combustión a condensación del gas de combustión pero antes de separar CO_2 del gas de combustión.
2. Un método según la reivindicación 1, que comprende además someter la corriente de gas de combustión a eliminación de polvo previamente a calentamiento de la corriente de gas de combustión.
3. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además someter la corriente de gas de combustión a eliminación de dióxido de azufre previamente a calentar la corriente de gas de combustión.
- 20 4. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha temperatura es el intervalo de 190°C a 500°C .
5. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha temperatura está en el intervalo de 200°C a 250°C .
- 25 6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho calentamiento comprende:
precalentar la corriente de gas de combustión a una primera temperatura por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión dando como resultado la RCS y después
supercalentar la corriente de gas de combustión precalentado a una segunda temperatura en el intervalo de 190°C a 500°C .
- 30 7. Un método según la reivindicación 6, en el que dicha segunda temperatura está en el intervalo de 200°C a 250°C .
8. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho secador de adsorción comprende un adsorbente seleccionado del grupo que consiste en tamices moleculares, zeolita y gel de sílice.
- 35 9. Un sistema (3) de tratamiento de gas de combustión para depurar una corriente de gas de combustión rica en CO_2 que contiene vapor de agua y NO_x previamente a retención de CO_2 , comprendiendo dicho sistema:
un reactor de reducción catalítica selectiva (reactor de RCS) (67) configurado para recibir gas de combustión y reducir al menos algo del NO_x en la corriente de gas de combustión a N_2 por reducción catalítica selectiva;
un secador (70) de adsorción configurado para retirar al menos algo del agua de la corriente de gas de combustión agotado en NO_x por adsorción y
40 una unidad (73) de separación de CO_2 que separa CO_2 del gas de combustión; caracterizado por
un condensador (37) de gas de combustión configurado para refrigerar el gas de combustión por debajo del punto de rocío del agua y
un calentador (63, 64) de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión a una temperatura adecuada para reducción catalítica selectiva de NO_x ;
- 45 en el que dicho calentador (63, 64) de gas de combustión, reactor (67) de RCS y secador (70) de absorción se disponen aguas abajo de dicho condensador (37) de gas de combustión pero aguas arriba de dicha unidad (73) de

separación de CO₂.

10. Un sistema de tratamiento de gas de combustión de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además un filtro (8) de eliminación de polvo dispuesto aguas arriba del calentador de gas de combustión.

5 11. Un sistema de tratamiento de gas de combustión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, que comprende además un depurador (10) para eliminación de dióxido de azufre aguas arriba del calentador de gas de combustión.

12. Un sistema de tratamiento de gas de combustión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que dicho calentador de gas de combustión comprende:

10 un precalentador (63) de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión a una primera temperatura por intercambio de calor indirecto con la corriente de gas de combustión saliendo del reactor de RCS y

un supercalentador (64) de gas de combustión configurado para calentar la corriente de gas de combustión precalentada a una segunda temperatura en el intervalo de 190 °C a 500 °C.

15 13. Un sistema de tratamiento de gas de combustión de acuerdo con la reivindicación 12, en el que dicha segunda temperatura está en el intervalo de 200 °C a 250 °C.

14. Un sistema de tratamiento de gas de combustión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que dicho secador (70) de adsorción comprende un adsorbente seleccionado del grupo que consiste en tamices moleculares, zeolita y gel de sílice.

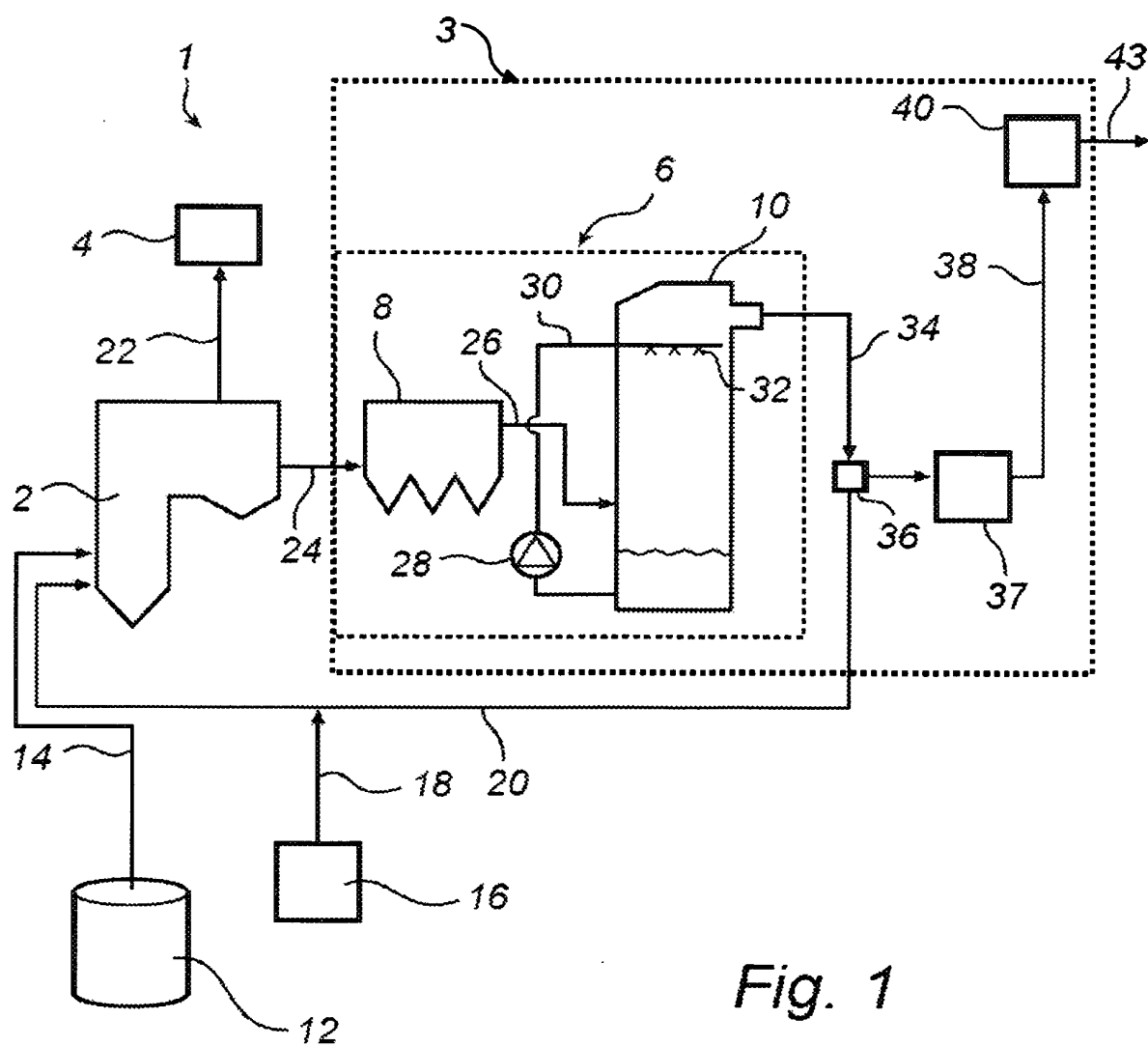


Fig. 1

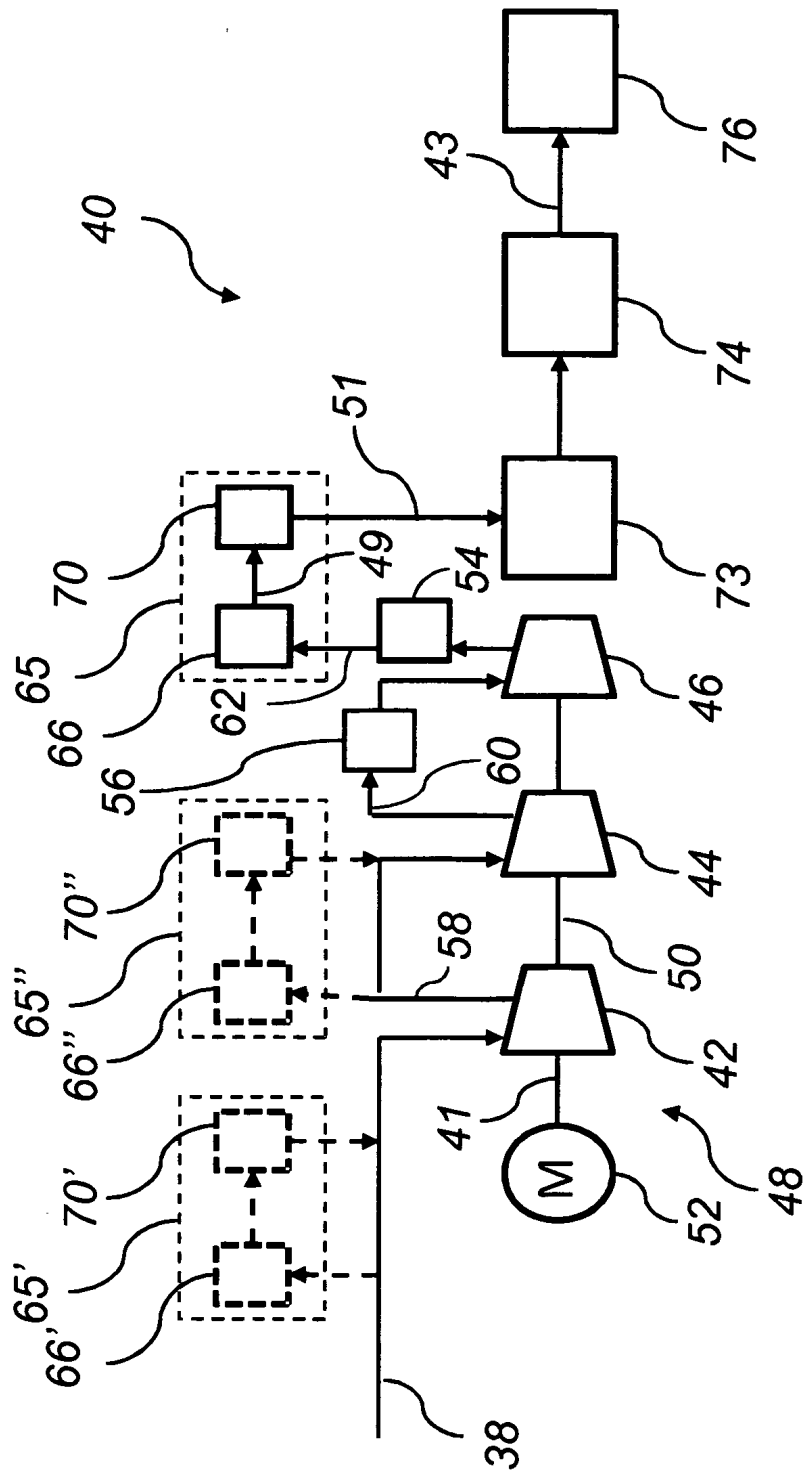


Fig. 2

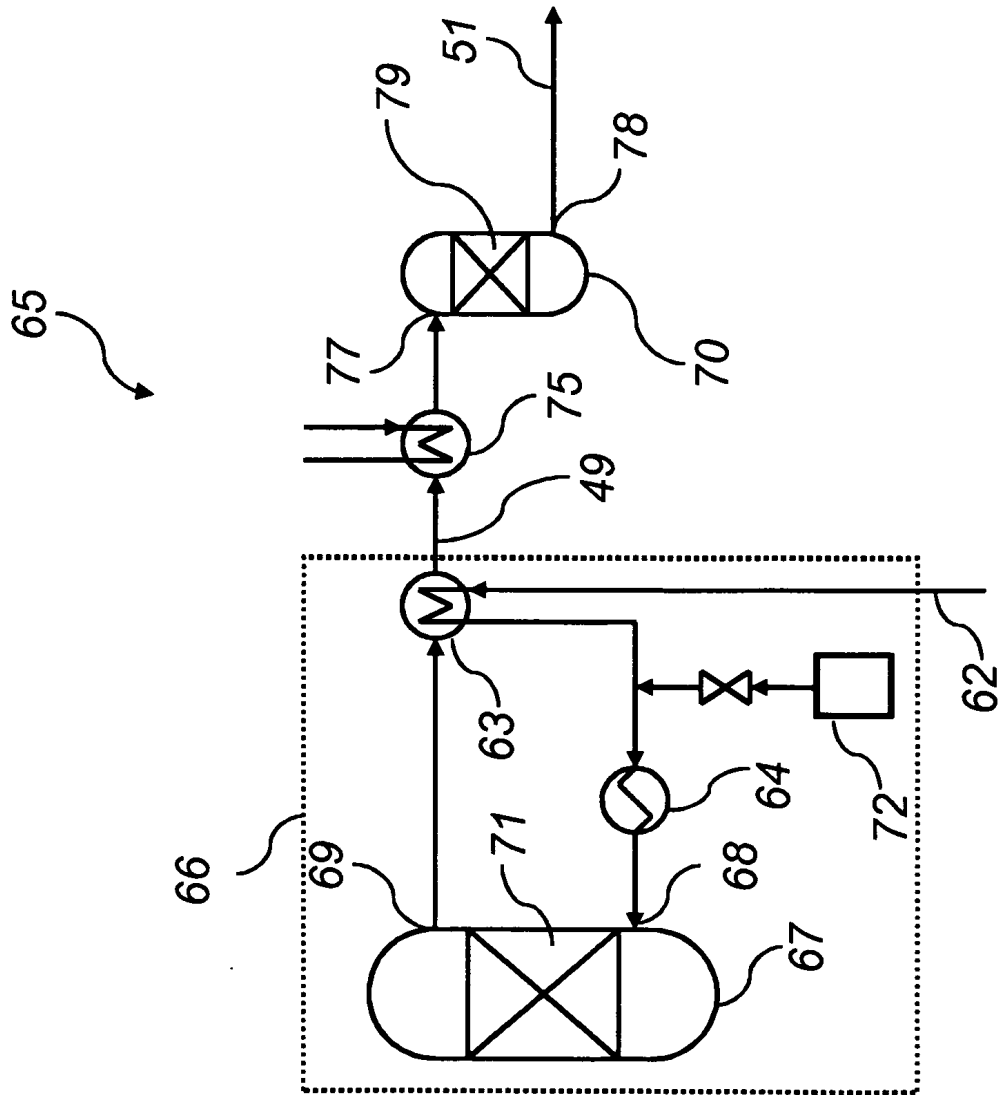


Fig. 3