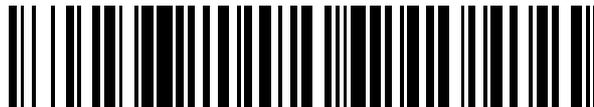


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 593**

51 Int. Cl.:

C21B 13/00 (2006.01)

C21B 13/14 (2006.01)

C21C 5/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2011 E 11724544 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2576845**

54 Título: **Procedimiento y planta para producir metal en estado de fusión**

30 Prioridad:

04.06.2010 DE 102010022773

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

13.01.2015

73 Titular/es:

**OUTOTEC (FINLAND) OY (100.0%)
Rauhalanpuisto 9
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**NEPPER, JEAN-PAUL y
STEFAN, TOBIAS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 526 593 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y planta para producir metal en estado de fusión

La presente invención se refiere a la producción de metal en estado de fusión, en la que un mineral reducido se utiliza como producto intermedio.

5 La recuperación de metal en estado de fusión a partir de materiales brutos finos que contienen óxido de hierro, p. ej., minerales de hierro, se efectúa principalmente mediante aglomeración (sinterización, peletización) seguida de reducción por fusión (p. ej. en un alto horno). La aglomeración puede ser evitada mediante pre-reducción de los materiales brutos finos en mineral reducido o mediante la subsiguiente fusión de este mineral reducido en metal en estado de fusión. Por ejemplo, la solicitante ha desarrollado el denominado proceso "Circofer", en el que mineral de
10 hierro en estado sólido se reduce directamente junto con carbón, p. ej. a 850-950°C y a una presión de, p. ej., 4 bar, para obtener esponja de hierro (véanse los documentos US 5433767, US 2697050, WO 2005/116275 A, WO 2005/116273 A). El producto de la reducción directa se separa habitualmente mediante separación magnética en una fracción no magnética de subproductos, en particular del carbón, y en una fracción magnética que contiene
15 hierro. La fracción magnética con contenido en hierro, es decir, el mineral reducido, en calidad de producto intermedio se procesa después adicionalmente en procesos de reducción por fusión, por ejemplo mediante el denominado proceso "Ausiron" de la solicitante o en un horno de arco eléctrico sumergido para obtener metal en estado de fusión.

Antes de la separación magnética (en caliente), la mezcla reducida de mineral reducido, por una parte, y cenizas de carbón y carbono residual (residuo carbonoso) por otra, que se retira a partir de la reducción directa como un
20 producto intermedio, debe ser al menos enfriada por debajo de la temperatura de Curie del hierro de 768°C, con el fin de alcanzar una separación eficaz de los subproductos no magnéticos antes de la fusión. Hasta ahora, sólo están disponibles unos pocos conceptos para enfriar la mezcla reducida. Por ejemplo, se propone un enfriamiento indirecto por parte del agua. En este caso, sin embargo, se pierde una parte considerable de la energía térmica de la mezcla reducida a partir de la reducción directa. De acuerdo con el documento US 4.073.642, el producto intermedio se
25 enfría directamente con aire en un lecho fluido clásico. También en este caso se pierde una parte considerable de la energía térmica, dado que el aire utilizado para la refrigeración no puede ser redistribuido al proceso "Circofer". Muchas otras publicaciones no proponen concepto de refrigeración alguno.

En la reducción directa de mineral de hierro mediante el proceso "Circofer", un gas fluidizante reductor con una alta temperatura es suministrado al lecho fluido para la reducción directa. Cuando se utilizan atmósferas en gran medida
30 carburizantes (atmósferas con un alto contenido en CO) en un intervalo de temperaturas entre 450°C y 800°C, existe el riesgo de una corrosión a alta temperatura de los materiales de la planta por el denominado "espolvoreo con metal". El aspecto de este tipo de deterioro no es uniforme y abarca desde un ataque general a un ataque selectivo. El producto de la corrosión consiste esencialmente en grafito y en partículas de metal finas. El "espolvoreo con
35 metal" puede conducir a un fallo rápido de los materiales de la planta. Para evitar una corrosión a alta temperatura de este tipo deben utilizarse costosos aceros altamente aleados con elevados contenidos de níquel, cromo, aluminio y/o silicio para todos los componentes que estén en contacto con el gas fluidizante caliente tal como, en particular, el calentador de gas.

Las desventajas de la tecnología arriba descrita consisten, por lo tanto, en considerables pérdidas de energía debidas a la refrigeración de los productos intermedios con contenido en hierro y a los elevados costes para los
40 materiales del calentador de gas a utilizar.

Sumario de la invención

Es el objeto de la presente invención superar las desventajas de la técnica anterior y proporcionar un procedimiento y una planta para la producción de metal en estado de fusión, optimizada en energía.

45 De acuerdo con la invención, este objeto se resuelve mediante un procedimiento y una planta con las características de las reivindicaciones 1 y 12 independientes, respectivamente. Aspectos preferidos de la invención pueden tomarse de las reivindicaciones subordinadas.

En el procedimiento de la invención para producir metal en estado de fusión, en el que mineral de hierro granular se reduce parcialmente con un agente reductor en un reactor de lecho fluido a una temperatura de al menos 850°C y, en particular, la parte magnética de la mezcla reducida se funde en metal en estado de fusión en una unidad de
50 reducción por fusión, la mezcla reducida se enfría hasta 700°C a 800°C, preferiblemente hasta 740°C a 760°C en un aparato intercambiador de calor antes de ser suministrada a la unidad de reducción por fusión, en el que un gas del

proceso precalentado, que es un gas reductor, precalentado hasta 360°C-500°C, se utiliza como medio de refrigeración.

5 Sorprendentemente, se pudo encontrar de acuerdo con la presente invención que la demanda de energía para la recuperación de metal en estado de fusión puede reducirse sensiblemente cuando, después de una refrigeración meramente ligera en el aparato intercambiador de calor, la mezcla reducida procedente de la pre-reducción es suministrada a un separador magnético caliente en el que fracciones no magnéticas son separadas antes de la fusión. El mineral reducido obtenido en el separador magnético caliente sigue teniendo una temperatura lo suficientemente elevada de 650°C a 750°C, de modo que el gasto energético para la subsiguiente reducción por fusión se puede reducir de manera sensible.

10 Dado que, además, se utiliza preferiblemente un lecho fluido circulante para la pre-reducción, se puede conseguir una reducción uniforme del material utilizado bajo un gasto energético mínimo debido a la elevada masa y transferencia de calor en el lecho fluido.

15 Para conseguir un proceso particularmente eficiente, se propone hacer circular el gas del proceso. De acuerdo con una realización preferida, el gas del proceso es, por lo tanto, un gas de recirculación que contiene preferiblemente monóxido de carbono (CO) e hidrógeno elemental (H₂) que ha sido retirado del reactor de reducción, desprovisto de polvo, enfriado y ampliamente liberado de los productos de la reducción vapor de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂).

Preferiblemente, el gas del proceso se precalienta hasta 300°C a 500°C, preferiblemente hasta 350°C a 450°C, y en particular hasta 390°C a 410°C.

20 Al precalentar moderadamente el gas del proceso hasta temperaturas que se encuentran por debajo del intervalo de temperaturas crítico para la corrosión a alta temperatura, se puede evitar la carburización de los materiales de la planta ("espolvoreo con metal") incluso sin utilizar costosos aceros altamente aleados para el calentador del gas del proceso.

25 De acuerdo con la invención, el gas del proceso se calienta por parte de la mezcla reducida en el aparato intercambiador de calor hasta 700°C a 800°C, preferiblemente hasta 740°C a 760°C.

30 De acuerdo con un desarrollo del proceso, la mezcla reducida se separa del gas del proceso calentado subsiguiente al aparato intercambiador de calor, el gas del proceso calentado se suministra al reactor de lecho fluido en calidad de gas fluidizante a través de un conducto de reciclaje y, después de disminuir la presión en exceso de la fase de reducción, los sólidos se suministran a través de un sistema de descarga desarrollado por la solicitante (véase el documento WO 02/081074 A1) al separador magnético caliente (realización preferida en la Fig. 3), directamente a la unidad de reducción por fusión (caso especial 1 en la Fig. 3) o a una unidad de compactación (caso especial 2 en el Fig. 3).

35 Este desarrollo de la invención implica la ventaja de que, por una parte, la mezcla reducida es enfriada por parte del gas del proceso precalentado hasta una temperatura por debajo de la temperatura de Curie del hierro, de modo que se vuelve posible una separación magnética caliente eficiente y, por otra parte, la energía térmica absorbida por el gas del proceso precalentado se proporciona de nuevo a las reacciones de reducción en el reactor de lecho fluido. Por consiguiente, no se pierde energía térmica alguna mediante el proceso de acuerdo con la invención, y la energía térmica generada y presente en el sistema se utiliza de manera más eficiente.

40 Además, se encontró ventajoso suministrar la mezcla reducida en el aparato intercambiador de calor a la altura requerida para el suministro al sistema de descarga, en donde la altura del sistema de descarga se determina también mediante los subsiguientes aparatos tales como separador magnético caliente, unidad de compactación y/o unidad de fusión. Al utilizar la dinámica del aparato intercambiador de calor para suministrar la mezcla reducida, se puede omitir una etapa del proceso separada para transportar los sólidos con contenido en hierro a la altura requerida.

45 De una manera sencilla, el proceso proporciona también el ajuste de la temperatura de flujo en el separador magnético caliente a un valor por debajo de la temperatura de Curie, ajustando la temperatura del gas del proceso en el calentador de gas en correspondencia con la temperatura de la mezcla reducida que abandona el reactor de lecho fluido. Por lo tanto, se pueden omitir etapas del proceso más costosas.

50 De acuerdo con una realización preferida de la invención, la presión de la planta, que existe en el reactor de lecho fluido y en el aparato intercambiador de calor, se reduce por completo en un sistema de descarga previsto a continuación del aparato intercambiador de calor a través de un conducto ascendente y un recipiente receptor.

5 Cuando la reducción por fusión no tolera material fino en la alimentación, p. ej., debido a pérdidas excesivas de polvo, o cuando se desea un desacoplamiento de las etapas del proceso por motivos de seguridad o geográficos, la mezcla reducida puede ser suministrada a una unidad de compactación en caliente o de conglomeración en caliente a continuación del sistema de descarga (caso especial 2 en la Fig. 3), o el mineral reducido en estado de fusión puede ser suministrado a una unidad de compactación en caliente o de conglomeración en caliente a continuación de la separación magnética en caliente (caso especial 3 en la Fig. 3), de acuerdo con la invención.

10 Una planta para producir metal en estado de fusión de acuerdo con la invención, que es adecuada en particular para realizar el procedimiento arriba descrito, incluye aparatos de carga de mineral de hierro y agente reductor, un reactor de lecho fluido para la reducción parcial del mineral de hierro, posiblemente un separador magnético caliente, posiblemente una unidad de compactación y un horno de reducción por fusión. La planta se caracteriza por que entre el reactor de lecho fluido y la unidad de fusión o el separador magnético caliente o la unidad de compactación está previsto un aparato intercambiador de calor al que se suministra la mezcla reducida procedente del reactor de lecho fluido, por que el aparato intercambiador de calor está conectado a través de un conducto para el gas del proceso precalentado y por que el aparato intercambiador de calor está conectado con el separador magnético caliente, la unidad de compactación o directamente con la unidad de reducción por fusión a través de un sistema de descarga.

15 En la planta de acuerdo con la invención se ha encontrado, sorprendentemente, que al proporcionar el aparato intercambiador de calor se pueden omitir etapas de refrigeración adicionales y, por lo tanto, una configuración de la planta más compleja. Tal como se describe arriba, la mezcla reducida producida en la planta puede ser enfriada, no obstante, hasta por debajo de la temperatura de Curie necesaria para el separador magnético caliente sin provocar una pérdida significativa de la energía térmica.

20 De acuerdo con una realización particularmente preferida, el aparato intercambiador de calor es un enfriador ultrarrápido que incluye preferiblemente un lecho fluido anular. Enfriador ultrarrápido en el sentido de la presente invención ha de entenderse que es un aparato en el que se introduce, por una parte, un medio caliente a enfriar y en el que, por otra parte, fluye un medio de refrigeración, cuya velocidad ajustada contribuye a una mezcladura intensa de los dos medios entre sí. Con el enfriador ultrarrápido en el sentido de la presente invención, la mezcla reducida puede ser, por consiguiente, entremezclada de manera muy rápida y eficiente con el gas del proceso utilizado como refrigerante. La alta velocidad en el enfriador ultrarrápido contribuye, además, al hecho de que la mezcla reducida sea suministrada a la altura de la salida.

25 De acuerdo con un desarrollo de la invención, se propone que subsiguiente al aparato intercambiador de calor esté previsto un ciclón para separar la mezcla reducida a partir del gas del proceso precalentado, que el conducto de reciclaje para el gas del proceso precalentado conduzca desde el ciclón al reactor de lecho fluido y que el conducto de los sólidos conduzca desde el ciclón al sistema de descarga delante del separador magnético caliente, la unidad de compactación o la unidad de fusión.

30 Después de mezclar intensamente entre sí la mezcla reducida y el gas del proceso precalentado en el aparato intercambiador de calor, la mezcla reducida enfriada se separa del gas transportador en el ciclón y se suministra al sistema de descarga. En lugar del ciclón también se pueden utilizar, naturalmente, otros medios de separación adecuados. El gas del proceso calentado, separado en el ciclón, es suministrado al reactor de lecho fluido a través del conducto de reciclaje, preferiblemente a través de una boquilla central, de modo que su energía térmica está disponible para la reducción.

35 De acuerdo con una realización particular de la presente invención, el sistema de descarga consiste en una tolva compensadora bajo presión de la planta, que incluye un tubo de bajada que conduce al recipiente de expedición. Desde allí, la mezcla reducida es suministrada de manera ascendente mediante un gas de soporte inerte a través de un tubo ascendente y a continuación de una tobera de rebose es suministrada a la tobera de distribución a través de un conducto inclinado. Con este sistema de descarga es posible un transporte continuo de la mezcla reducida caliente, de grano fino, mientras que al mismo tiempo disminuye por completo la presión de la planta en exceso a lo largo del tubo ascendente.

40 Desarrollos, ventajas y posibles aplicaciones adicionales también pueden tomarse de las siguientes descripciones de realizaciones de la invención y del dibujo. Todas las características descritas y/o ilustradas forman la materia objeto de la invención per se o en cualquier combinación, también independientemente de su inclusión en las reivindicaciones o de su retro-referencia.

Breve descripción de los dibujos

- La Fig. 1 muestra un diagrama de proceso de un procedimiento y de una planta de acuerdo con una realización preferida de la presente invención,
- la Fig. 2 muestra un diagrama de proceso de un procedimiento y de una planta de acuerdo con una realización preferida de la presente invención,
- 5 la Fig. 3 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo del procedimiento de la invención con diversos procesos.

Descripción de las Realizaciones Preferidas

En la planta para producir metal en estado de fusión tal como se muestra en la Fig. 1, mineral de hierro granular se retira continuamente de un depósito de almacenamiento 2 a través de un conducto de suministro de sólidos 1, opcionalmente mezclado con un medio adicional en un tanque mezclador 3 y es cargado en un intercambiador de calor 4 en suspensión de una primera etapa de precalentamiento, en que el material es suspendido y precalentado preferiblemente por parte del gas residual retirado de una segunda etapa de precalentamiento. Subsiguientemente, el mineral de hierro granular es suministrado por la corriente de gas a un ciclón 5 en el que los sólidos se separan del gas. Los sólidos separados son suministrados a través de un conducto de sólidos 6 a un segundo intercambiador de calor 7 en suspensión, p. ej. de tipo Venturi, en donde son calentados adicionalmente hasta una temperatura de aproximadamente 800°C y son separados de nuevo de la corriente gaseosa en un ciclón 8 situado aguas abajo.

El mineral, así precalentado, es suministrado a través de un conducto de sólidos 6' a un reactor 9, por ejemplo un generador de calor. Desde el depósito de almacenamiento 10, un agente reductor, p. ej., en forma de carbón con un tamaño de grano de, p. ej., menos de 5 mm, así como oxígeno es suministrado adicionalmente a un generador de calor 9 a través de un conducto de sólidos 6". Opcionalmente, aguas abajo del depósito de almacenamiento 10 puede proporcionarse un aparato (tritadora) 10a para machacar y secar el carbón.

El conducto 1 de suministro de sólidos, los tanques de almacenamiento 2, 10, el tanque mezclador 3, el aparato 10a y los conductos de sólidos 6', 6" forman los dispositivos de carga.

Además, un gas del proceso, en particular un gas de recirculación que consiste en CO/H₂, es suministrado al generador de calor 9 a través de un conducto de gas 11 en calidad de gas fluidizante con una temperatura de 300°C a 500°C, de preferencia de aproximadamente 400°C, que fluidiza los sólidos en el generador de calor 9 formando un lecho fluido.

La mezcla sólidos-gas calentada es suministrada continuamente desde el generador de calor 9 a través de un pasaje de conexión 12 a un reactor 13 para la reducción parcial, en que los sólidos son fluidizados por el gas fluidizante suministrado a través del conducto de gas 11, formando un lecho fluido circulante, y el mineral de hierro granular es reducido por parte del agente reductor, en particular por parte del monóxido de carbono, hasta un grado de metalización, basado en su contenido en hierro, de al menos 50%, de preferencia aproximadamente 70%.

En calidad de agente reductor para la reducción parcial del mineral de hierro, se pueden utilizar, en principio, todas las sustancias conocidas por la persona experta para este fin, en donde se encontraron adecuadas, en particular, carbón, semi-coque/residuo carbonoso, hidrógeno molecular, mezclas gaseosas con contenido en hidrógeno molecular, monóxido de carbono y mezclas gaseosas que contienen monóxido de carbono, por ejemplo gas reformado. En calidad de agente reductor preferiblemente se utiliza una mezcla gaseosa que contiene CO/H₂, preferiblemente una mezcla gaseosa de 60 a 80% en vol. de CO y 20 a 40% en vol. de H₂ en combinación con el residuo carbonoso.

Subsiguiente al generador de calor 9, la suspensión es suministrada por la corriente gaseosa a un ciclón 14 aguas abajo del reactor de lecho fluido 13, ciclón en el que los sólidos son separados del gas. Después de ello, los sólidos separados se redistribuyen a través del conducto de reciclaje 15 al generador de calor 9, mientras que el gas residual con contenido en CO, H₂, CO₂ y H₂O, que tiene una temperatura de al menos 850°C, es suministrado a través del conducto de gas 16 primero al intercambiador de calor en suspensión 7 de la segunda etapa de precalentamiento, y desde allí, a través del ciclón 8 y del conducto de gas 16', al intercambiador de calor en suspensión 4 de la primera etapa de precalentamiento, en la que se enfría hasta aproximadamente 500°C. A través del conducto de gas 16", el gas residual separado en el ciclón 5 aguas abajo del intercambiador de calor en suspensión 4, se hace pasar primero a través de una caldera de calor residual 17a, en la que el gas residual es enfriado hasta aproximadamente 200°C al generar vapor de agua (aproximadamente 4 bar) antes de ser liberado de polvo y de agua en un aparato que consiste en el ciclón 17b (Multiclone) y un depurador de tipo Venturi 17c y se enfría adicionalmente hasta aproximadamente 30°C. Subsiguientemente, el dióxido de carbono se retira del gas residual en un absorbedor de CO₂ 18, y la mezcla gaseosa, así limpiada, se calienta hasta aproximadamente 400°C

en un calentador de gas 19 antes de ser introducida como un gas fluidizante a través del conducto 11 en el generador de calor 9, el reactor de lecho fluido 13 y un intercambiador de calor 21 diseñado como enfriador ultrarrápido (véase el documento WO 2004/056462 A1).

5 El medio de refrigeración se introduce en la parte inferior del reactor cilíndrico del enfriador ultrarrápido 21. Parte del medio de refrigeración se carga al enfriador ultrarrápido a través de una boquilla central, el resto sirve para fluidizar el lecho fluido anular en la parte inferior del reactor. Las velocidades del gas se ajustan preferiblemente de manera que en la boquilla central prealezcan Números de Froude de Partículas entre 1 y 100, que en el lecho fluido anular prealezcan Números de Froude de Partículas entre 0,02 y 2 y que en el espacio del reactor por encima de la boquilla central y el lecho fluido anular prealezcan Números de Froude de Partículas entre 0,3 y 30. El Número de Froude de Partículas se define como:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f) * d_p * g}{\rho_f}}}$$

con

u = velocidad efectiva del flujo del gas en m/s

ρ_s = densidad de las partículas sólidas en kg/m³

15 ρ_f = densidad efectiva del gas fluidizante en kg/m³

d_p = diámetro medio en m de las partículas de las existencias en el reactor presentes durante la operación del reactor (o de las partículas formadas)

g = constante de gravedad en m/s².

20 El medio a enfriar se carga en la parte inferior del enfriador ultrarrápido 21, preferiblemente un poco por encima del lecho fluido anular. En el lecho fluido anular, el medio de grano fino a enfriar se fluidiza por encima del punto de disgregación. Tan pronto como el medio a enfriar fluye por encima del borde la boquilla central, es atrapado por el medio de refrigeración que penetra allí, es mezclado con el mismo y es suministrado a la parte superior.

25 A partir del reactor de lecho fluido 13 se retira continuamente una mezcla de mineral reducido y residuo carbonoso con una temperatura de aproximadamente 950°C a través de un conducto de sólidos 20, preferiblemente neumático, y es suministrada a la región inferior del enfriador ultrarrápido 21. En el enfriador ultrarrápido 21, la mezcla de sólidos se combina con el gas de redistribución precalentado hasta aproximadamente 400°C y se suministra a la parte superior con una velocidad elevada, en donde el gas de redistribución enfría la mezcla de sólidos hasta aproximadamente 750°C y es calentado en sí mismo por la mezcla de sólidos hasta aproximadamente 750°C.

30 En la región superior del enfriador ultrarrápido 21, la suspensión de mezcla de sólidos y gas de redistribución se suministra a través de un conducto de descarga 22 a un ciclón 23 que separa la mezcla de sólidos del gas de recirculación. A través de un conducto de reciclaje 24, el gas de recirculación separado con una temperatura de aproximadamente 750°C es suministrado a la boquilla central del reactor de lecho fluido 13 ejecutado como un reactor fluido anular en donde su energía térmica está disponible para la reducción del mineral de hierro granular.

35 La mezcla de sólidos separada con una temperatura de aproximadamente 750°C es suministrada al sistema de descarga a través de un conducto de sólidos 25. Este sistema consiste esencialmente en la tolva compensadora 26 que está conectada a través de un recipiente de expedición 27 a través de un tubo de bajada 25'. La presión de, p. ej., 4 bar que existe en la planta es reducida a través de un tubo ascendente 25'' conectado. La mezcla reducida (mineral reducido así como residuo carbonoso que consiste en cenizas de carbón y carbono residual) elevada a la parte superior es suministrada desde una tobera de rebose 28 a través de un conducto inclinado 25''' al recipiente de distribución 29 y desde allí es cargado a un separador magnético 30 (véase el documento WO 2008/142191 A1), en el que el mineral reducido es separado como una fracción magnética de una fracción de residuo carbonoso no magnético que comprende sustancialmente cenizas y carbono, por debajo de la temperatura de Curie del hierro (768°C) a 650°C hasta 750°C antes de cargar la fracción magnética a un horno de reducción por fusión 31. En la Figura 1, se muestra el horno de arco eléctrico sumergido (SAF - siglas en inglés) preferido. Sin embargo, la reducción por fusión puede tener lugar también en un alto horno o en procedimientos de fusión en baño tales como Auslron (véase la Fig. 2) o Hismelt.

En el horno de reducción por fusión 31, hecho funcionar a aproximadamente 1450-1600°C, se produce metal en estado de fusión con más de 94% en peso de hierro metálico. El gas residual procedente del horno de arco eléctrico sumergido 31 contiene más de 90% en vol. de CO y es calcinado después de desproveerlo de polvo en una cámara post-calcinación (no mostrada) o preferiblemente en el calentador de gas 19 para calentar el gas de recirculación. El gas residual procedente del horno Auslron de la Fig. 2, es calcinado casi por completo en el mismo, es enfriado en una caldera de recuperación de calor (no mostrada) y el vapor de agua generado con ello se utiliza para la absorción de CO₂ del proceso descrito y para generar electricidad.

La presente invención se ha descrito sustancialmente haciendo referencia a mineral reducido como producto intermedio para la producción de metal en estado de fusión. Sin embargo, generalmente es aplicable a procedimientos y plantas para producir productos intermedios metalizados durante la recuperación de metal en estado de fusión, en los que es ventajosa una separación de fracciones no metálicas mediante separación magnética en caliente, no sólo con el fin de ahorrar energía durante la fusión, sino, p. ej., también para separar impurezas. Así, la presente invención también se puede utilizar, por ejemplo, en la producción de escoria de titanio a partir de ilmenita tal como se describe en el documento DE 10 2004 053 676 A1 de la solicitante.

Una separación de fracciones metálicas mediante separación magnética en caliente también puede ser ventajosa cuando el mineral reducido deba ser conglomerado en caliente o compactado en caliente antes de ser procesado ulteriormente en una unidad de reducción por fusión.

La presente invención proporciona una recuperación eficiente en energía de metal en estado de fusión a partir de mineral de hierro mediante una combinación de pre-reducción de los materiales brutos (proceso "Circofer") y una subsiguiente reducción por fusión (en particular en un horno de arco eléctrico sumergido, pero también, p. ej. en el proceso "Auslron"), en donde el material pre-reducido como producto intermedio se enfría con un gas del proceso precalentado antes de la separación magnética en caliente. La energía recuperada puede ser suministrada de nuevo a la pre-reducción por parte del gas del proceso, en donde es suficiente calentar todo el gas del proceso hasta una temperatura de aproximadamente 400°C, que se encuentra por debajo de la temperatura del intervalo de temperaturas crítico para el "espolvoreo con metal". Debido a la presente invención, se pueden utilizar, por una parte, materiales de la planta menos costosos para el calentador de gas y, por otra parte, se pueden minimizar pérdidas de energía al enfriar los productos intermedios.

La presente invención proporciona también una recuperación eficiente de metal en estado de fusión en procesos de reducción por fusión que emplean carbono como soporte de energía principal para la fusión (p. ej. alto horno, Auslron o Hismelt) y en que no es conveniente una separación magnética en caliente debido a la composición del residuo carbonoso no metálico. Esto se aplica, p. ej., cuando en la reducción se utilizan, p. ej., soportes de carbono de alta calidad con un pequeño contenido en cenizas. En este caso, tal como se muestra en la Fig. 2, se utiliza el enfriador ultrarrápido 21, con el fin de calentar ampliamente el gas de recirculación desde 400°C para la reducción y llevar la mezcla reducida a la altura requerida para la reducción por fusión 31, la conglomeración en caliente o la compactación en caliente 32 o para un sistema de transporte en caliente. A su vez, la energía procedente del enfriamiento de los sólidos es suministrada a la reducción y el calentador de gas puede ser hecho funcionar de nuevo en el intervalo de temperaturas por debajo del "espolvoreo con metal". Exceptuando la omisión del separador magnético caliente y la representación de la compactación en caliente 32, también posible en la realización de la Fig. 1, el proceso corresponde a la realización tal como se muestra en la Fig. 1. Además, se muestra un horno de reducción por fusión 31 basado en la combustión de carbón de acuerdo con el proceso Auslron en lugar del horno de arco eléctrico sumergido. Además de ello, se hace referencia a la descripción anterior de la Fig. 1.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente la variante con un suministro directo de la mezcla reducida procedente del sistema de descarga a la unidad de fusión sin separación magnética en caliente, así como variantes con y sin compactación del mineral reducido retirado del sistema de descarga o de la separación magnética en caliente.

Mediante las medidas consideradas en la presente invención:

- reducción directa de temperaturas por debajo de la temperatura de fusión
- separación de subproductos antes de la fusión, y
- carga en caliente del mineral reducido en la unidad de fusión

se consiguen ahorros considerables de energía durante la reducción por fusión.

Lista de Números de Referencia

ES 2 526 593 T3

	1	conducto de suministro de sólidos
	2	depósito de almacenamiento para mineral de hierro granular
	3	tanque mezclador
	4	intercambiador de calor de la primera etapa de precalentamiento
5	5	ciclón de la primera etapa de precalentamiento
	6, 6', 6"	conducto de sólidos
	7	intercambiador de calor de la segunda etapa de precalentamiento
	8	ciclón de la segunda etapa de precalentamiento
	9	generador de calor
10	10	depósito de almacenamiento para carbón
	10a	aparato de molienda y secado
	11	conducto de gas para el gas de recirculación
	12	pasaje de conexión
	13	reactor de lecho fluido
15	14	ciclón del reactor de lecho fluido
	15	conducto de retorno de sólidos
	16, 16', 16"	conducto de gas
	17a	caldera de recuperación de calor
	17b	ciclón
20	17c	depurador
	18	absorbedor de CO ₂
	19	calentador de gas
	20	conducto de sólidos
	21	enfriador ultrarrápido (aparato intercambiador de calor)
25	22	conducto de descarga
	23	ciclón del enfriador ultrarrápido
	24	conducto de reciclaje
	25, 25', 25", 25"	conducto de sólidos
	26	tolva compensadora
30	27	recipiente de expedición

ES 2 526 593 T3

	28	tobera de rebose
	29	tobera de distribución
	30	separador magnético caliente
	31	horno de reducción por fusión
5	32	unidad de compactación en caliente

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir metal en estado de fusión, en el que mineral de hierro granular con contenido en óxido de hierro se reduce parcialmente con un agente reductor carbonáceo en un reactor de lecho fluido a una temperatura de al menos 850°C para obtener una mezcla reducida y la mezcla reducida se suministra a la unidad de reducción por fusión a través de un sistema de descarga, en que antes de ser suministrada a la unidad de reducción por fusión la mezcla reducida se enfría hasta 600°C a 800°C en un aparato intercambiador de calor, en el que se utiliza un gas del proceso precalentado como medio de refrigeración, en el que el gas del proceso es un gas reductor, caracterizado por que el gas del proceso se precalienta hasta 300°C a 500°C antes de la introducción en el aparato intercambiador de calor.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el gas del proceso es un gas de redistribución que ha sido retirado del reactor de lecho fluido.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que el gas del proceso contiene monóxido de carbono (CO) y/o hidrógeno elemental (H₂).
4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el gas del proceso se precalienta hasta 600°C a 800°C mediante la mezcla reducida en el aparato intercambiador de calor.
5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que subsiguiente al aparato intercambiador de calor, la mezcla reducida se separa del gas del proceso calentado, por que el gas del proceso calentado se suministra al reactor de lecho fluido como gas fluidizante o de reducción y por que la mezcla reducida se suministra a la unidad de reducción por fusión.
6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que después del aparato intercambiador de calor y después del sistema de descarga la mezcla reducida se suministra a un separador magnético caliente en el que se separan sustancias no magnéticas.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que en el aparato intercambiador de calor la mezcla reducida se suministra a la altura requerida para el sistema de descarga o los siguientes aparatos.
8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, caracterizado por que la temperatura de flujo del separador magnético caliente se controla a través de la temperatura del gas del proceso precalentado.
9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que en un sistema de descarga previsto subsiguiente al aparato intercambiador de calor, la presión de la planta que existe en el reactor de lecho fluido y en el aparato intercambiador de calor se reduce por completo a través de un tubo ascendente y una tolva compensadora.
10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizado por que la mezcla reducida a continuación del sistema de descarga o el mineral reducido en caliente a continuación del separador magnético caliente se suministra a una unidad de conglomeración en caliente o de compactación en caliente.
11. Una planta para producir metal en estado de fusión con dispositivos de carga para mineral de hierro y agente reductor, un reactor de lecho fluido (13) para la reducción parcial de mineral de hierro y una unidad de reducción por fusión (31) para producir metal en estado de fusión, en donde entre el reactor de lecho fluido (13) y la unidad de reducción por fusión (31) está previsto un aparato intercambiador de calor (21) al que se suministra la mezcla reducida procedente del reactor de lecho fluido (13), en donde el aparato intercambiador de calor (21) está conectado con un conducto (11) para el gas del proceso precalentado y en donde el aparato intercambiador de calor (21) está conectado con la unidad de fusión (31) a través de un sistema de descarga (25-29), caracterizada por que el aparato intercambiador de calor (21) es un enfriador ultrarrápido.
12. La planta de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizada por que el enfriador ultrarrápido incluye un lecho fluido anular.
13. La planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 ó 12, caracterizada por que subsiguiente al aparato intercambiador de calor (21) esté previsto un ciclón (23) para separar los sólidos con contenido en hierro a

partir del gas del proceso, por que un conducto de reciclaje (24) conduce desde el ciclón (23) al reactor de lecho fluido (12) y por que un conducto de sólidos (25) conduce desde el ciclón (23) al sistema de descarga (26-29).

14. La planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizada por que subsiguiente al sistema de descarga (25-29) está previsto un separador magnético (30) caliente.

- 5 15. La planta de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizada por que subsiguiente al sistema de descarga (25-29) o al separador magnético (30) caliente está prevista una unidad de conglomeración o de compactación (32) en caliente.

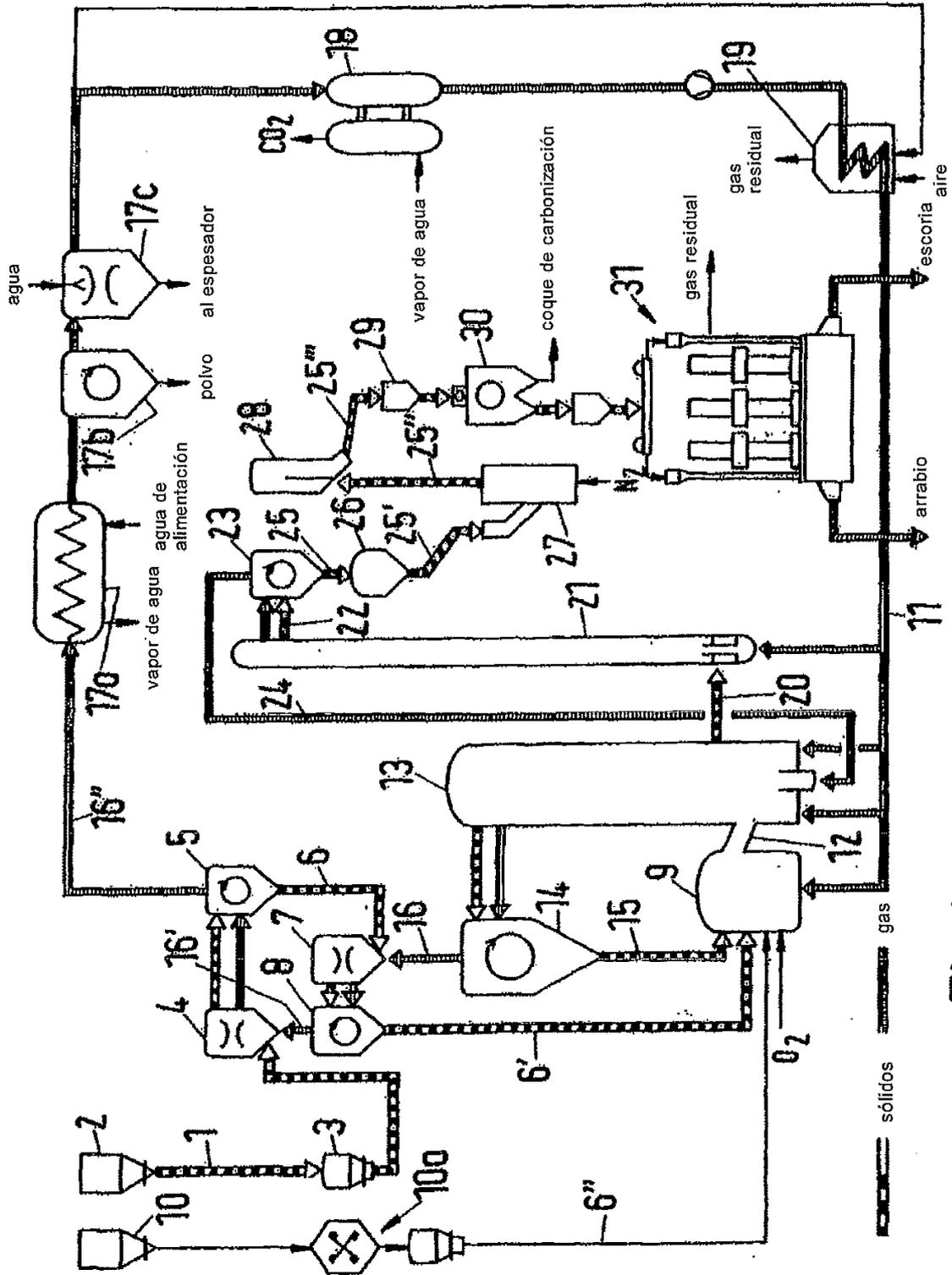


Fig.1

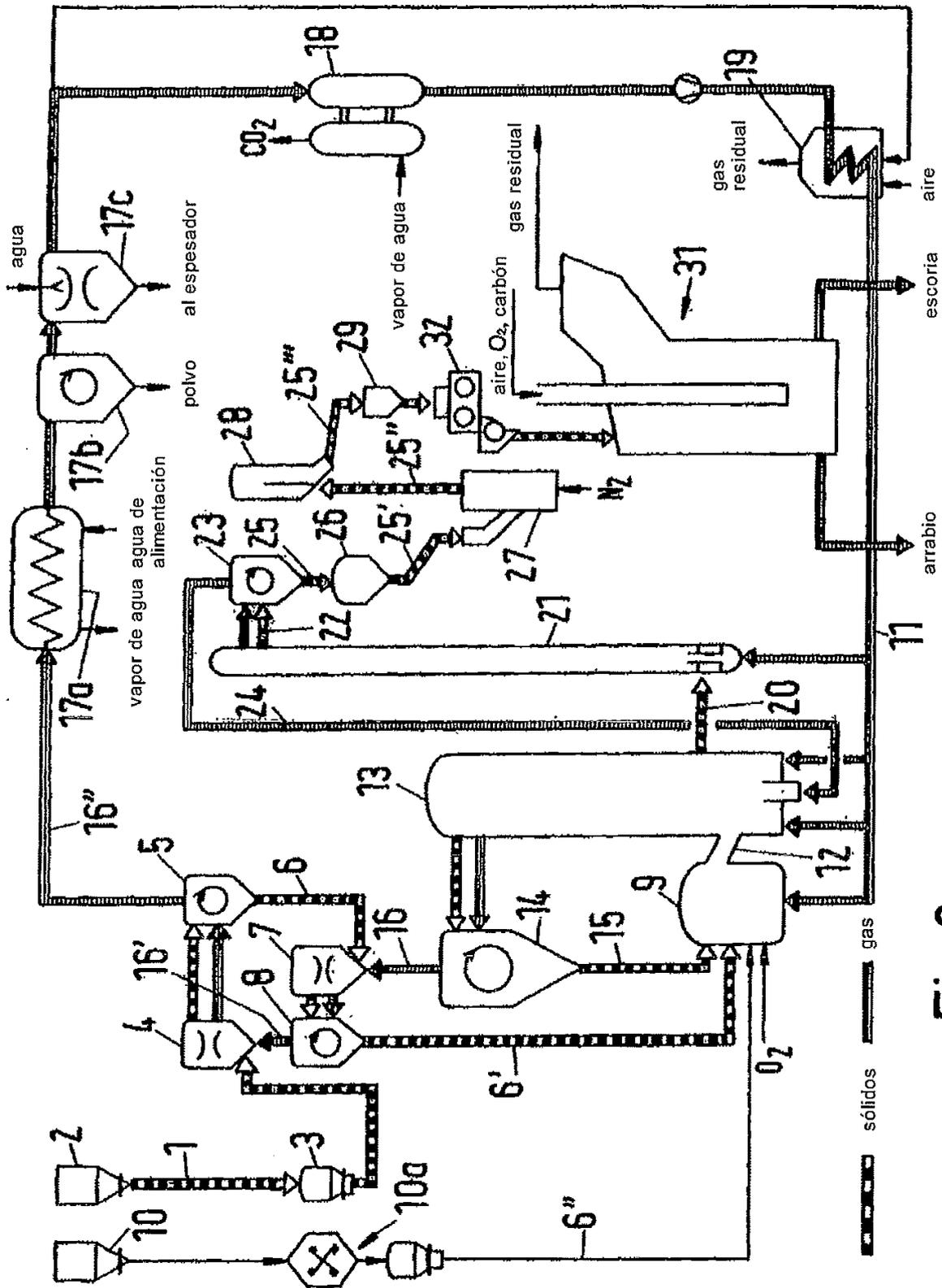


Fig.2

