

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 874 814**

51 Int. Cl.:

**C21B 13/00** (2006.01)

**C21B 11/00** (2006.01)

**F27D 3/08** (2006.01)

**C21B 13/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2012 PCT/AU2012/000293**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012 WO12126055**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2012 E 12759895 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.04.2021 EP 2689041**

54 Título: **Proceso de fundición directa para alimentación de alto contenido de azufre**

30 Prioridad:

**21.03.2011 AU 2011901040**

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

**05.11.2021**

73 Titular/es:

**TATA STEEL LIMITED (100.0%)  
Bombay House, 24 Homi Mody Street, Fort  
Mumbai 400 001, IN**

72 Inventor/es:

**DAVIS, MARK PRESTON;  
DRY, RODNEY JAMES;  
PILOTE, JACQUES y  
MEIJER, HENDRIKUS KOENRAAD ALBERTUS**

74 Agente/Representante:

**FERNÁNDEZ POU, Felipe**

**ES 2 874 814 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**

Proceso de fundición directa para alimentación de alto contenido de azufre

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un proceso basado en un baño fundido para la fundición directa de un material metalífero que involucra el uso de un ciclón de fundición.

10 En particular, aunque de ninguna manera exclusivamente, la presente invención se refiere a un proceso de fundición basado en un baño fundido para fabricar hierro que es capaz de aceptar materiales de alimentación metalíferos que contienen hierro con alto contenido de azufre directamente, sin la necesidad de pretratamiento de los materiales para eliminar el azufre antes de suministrar los materiales a un horno de fundición directa.

15 Antecedentes de la técnica

Un proceso de fundición directa que se conoce para un material metalífero, tal como los materiales de alimentación metalíferos que contienen hierro, el cual se basa principalmente en un baño fundido como medio de fundición, y generalmente se denomina como el proceso Hlsmelt, se describe en la solicitud internacional PCT/AU96/00197 (WO 20 96/31627) a nombre del solicitante.

El proceso Hlsmelt como se describió en la solicitud internacional en el contexto de la fundición directa de un material metalífero en la forma de materiales que contienen hierro, particularmente óxidos de hierro, y la producción de hierro fundido, incluye las etapas de:

- 25
- (a) formar un baño de hierro fundido y escoria en un recipiente de fundición directa de un horno de fundición;
  - (b) inyectar en el baño: (i) material metalífero, típicamente óxidos de hierro; y (ii) material carbonáceo sólido, típicamente carbón, el cual actúa como un reductor de los óxidos de hierro y una fuente de energía; y
  - (c) fundir material metalífero en hierro en el baño fundido.
- 30

El término "fundición" se entiende en la presente descripción que significa un procesamiento térmico en donde tienen lugar reacciones químicas que reducen los óxidos metálicos para producir metal fundido.

35 El proceso Hlsmelt también incluye realizar la combustión posterior de los gases de reacción, tales como CO y H<sub>2</sub> que se liberan del baño, en el espacio sobre el baño con gas que contiene oxígeno, típicamente aire, y transferir el calor que se genera por la combustión posterior al baño para contribuir a la energía térmica que se requiere para fundir los materiales metalíferos.

40 El proceso Hlsmelt también incluye formar una zona de transición sobre la superficie inactiva nominal del baño, en la cual hay una masa favorable de gotas ascendentes y posteriormente descendentes o salpicaduras o flujos de metal fundido y/o escoria que proporcionan un medio efectivo para transferir al baño la energía térmica que se genera por la combustión posterior de los gases de reacción sobre el baño.

45 En el proceso Hlsmelt, el material metalífero y el material carbonáceo sólido se inyectan en el baño fundido a través de un número de lanzas de inyección de sólidos (que se denominan "toberas" algunas veces) las cuales están inclinadas hacia la vertical para extenderse hacia abajo y hacia dentro a través de una pared lateral de un recipiente de fundición directa y en una región más baja del recipiente para suministrar al menos parte del material sólido a una capa de metal fundido en el fondo del recipiente. Para promover la combustión posterior de los gases de reacción en una parte superior del recipiente, se inyecta una ráfaga de aire caliente, la cual puede estar enriquecida con oxígeno, en una región superior del recipiente a través de una lanza de inyección de aire caliente que se extiende hacia abajo. 50 Los gases de escape resultantes de la combustión posterior de los gases de reacción en el recipiente se extraen de la región superior del recipiente a través de un conducto de gases de escape. El recipiente incluye paneles enfriados por agua en la pared lateral y el techo del recipiente, y el agua circula continuamente a través de los paneles en un circuito continuo.

55 El proceso Hlsmelt permite producir grandes cantidades de hierro fundido por fundición directa de material metalífero en un baño fundido. Para permitir estos niveles de producción, se deben suministrar al recipiente grandes cantidades tanto de material metalífero como de material carbonáceo.

60 Un proceso de fundición directa adicional que se conoce para un material metalífero que contiene hierro el cual involucra un pretratamiento integrado del material de alimentación metalífero entrante en un ciclón de fundición que se coloca arriba y que se comunica con un recipiente de fundición directa se describe en la solicitud internacional PCT/AU99/00884 (WO 00/022176) a nombre del solicitante. En el contexto de la presente invención, un ciclón de fundición que se coloca arriba y que se comunica con un recipiente de fundición directa forma un horno de fundición directa. Se pueden encontrar descripciones adicionales de esta variante en las siguientes solicitudes de patente y patentes: (i) (Países Bajos) NL9401103 (Australia) AU-B-21793/95, (ii) Países Bajos 9500264 (Australia) AU-B-

43396/96 y (iii) (Europa) EP03740456.3 (Australia) AU-B-2003281064 en el nombre de Tata Steel (antes conocido como Corus y antes de eso conocido como Hoogovens).

5 El término "ciclón de fundición" se entiende en la presente descripción que significa un recipiente que define típicamente una cámara cilíndrica y se construye para que los materiales de alimentación que se suministran a la cámara se muevan en una trayectoria alrededor de un eje central vertical de la cámara y pueda soportar altas temperaturas de operación, suficientes para fundir, al menos parcialmente, materiales de alimentación metalíferos. Las solicitudes y patentes que se mencionan en el párrafo anterior describen ejemplos de ciclones de fundición.

10 Por conveniencia, la variante de ciclón de fundición del proceso Hlsmelt se denomina en lo adelante proceso "Hlsarna". Se entiende que el proceso "Hlsarna" incorpora el proceso "Hlsmelt" en el sentido de que la fundición en baño (que involucra inyección de carbón, generación de salpicaduras, mezcla de metal-escoria, combustión posterior y transferencia de calor al baño) es esencialmente la misma en ambos procesos. En el proceso Hlsmelt, el mineral, el carbón y el fundente se inyectan todos en el baño a través de lanzas que se extienden hacia un recipiente de fundición directa. En el proceso Hlsarna, típicamente solo la alimentación carbonácea (carbón) y el fundente se inyectan en el baño a través de lanzas en el recipiente de fundición directa. En el proceso Hlsarna, el material de alimentación metalífero entrante, tal como el mineral de hierro, típicamente se inyecta y se calienta y se funde parcialmente y se reduce parcialmente en un ciclón de fundición que se coloca directamente arriba y que se comunica con el recipiente de fundición directa. El gas de escape caliente parcialmente quemado del recipiente de fundición directa entra en el fondo del ciclón de fundición y el gas que contiene oxígeno (típicamente oxígeno de grado técnico) se inyecta a través de toberas que se disponen de tal manera que generan un patrón de remolino ciclónico en un plano horizontal, es decir, alrededor de un eje central vertical de la cámara del ciclón de fundición. Esta inyección de gas que contiene oxígeno conduce a una combustión adicional del gas de escape del horno de fundición, lo que resulta en llamas muy calientes (ciclónicas). El material de alimentación metalífero entrante finamente dividido se inyecta neumáticamente en estas llamas a través de toberas, lo que resulta en un calentamiento rápido y una fundición parcial acompañada de una reducción parcial (reducción de aproximadamente 10-20 %). El material de alimentación metalífero caliente parcialmente fundido se lanza hacia fuera sobre las paredes del ciclón de fundición mediante la acción de un remolino ciclónico, y subsecuentemente cae por gravedad en el recipiente de fundición directa colocado debajo.

30 El efecto neto es una configuración de proceso a contracorriente en dos etapas para el proceso Hlsarna. El material de alimentación metalífero entrante se calienta, calcina y reduce parcialmente mediante el gas de escape caliente que sale del horno de fundición (con la adición de gas que contiene oxígeno). En un sentido general, esta disposición a contracorriente aumenta la productividad y la eficiencia energética.

35 El solicitante ha determinado que los procesos Hlsmelt e Hlsarna solo pueden tolerar azufre en el metal fundido hasta aproximadamente 0,25 % en peso. A porcentajes de azufre metálico sobre esta cantidad, la disolución de carbono del carbón en metal fundido está comprometida y la eficiencia del proceso en los hornos de fundición disminuye. El solicitante entiende que esto ocurre porque el azufre compite con el carbono en un contexto de disolución - más azufre hace más difícil que el carbono del material carbonáceo que se inyecta (típicamente carbón) se disuelva en el metal fundido. Como consecuencia, es necesario limitar el contenido de azufre de los materiales de alimentación y reciclar los materiales para los procesos Hlsmelt y Hlsarna de manera que el azufre en el metal fundido permanezca por debajo de aproximadamente 0,25 % en peso.

45 Para la mayoría de los tipos de mineral de hierro disponibles comercialmente, usualmente el azufre no es un problema importante. Por ejemplo, en el mineral de hierro brasileño el azufre es típicamente menor que 0,01 % en peso, mientras que en los minerales de Pilbara de Australia es típicamente de 0,02-0,03 % en peso. Usualmente, el contenido de azufre del carbón metalúrgico es alrededor de 0,6-0,8 % en peso, y con este tipo de combinación de mineral-carbón, la entrada total de azufre es usualmente dominada por el carbón.

50 En ciertas partes del mundo (por ejemplo, China) es posible encontrar materiales metalíferos con contenidos de azufre sustancialmente más altos (por ejemplo, de 0,3-1,0 % en peso). Generalmente, se considera imposible operar un proceso de fundición directa Hlsmelt con este tipo de material de alimentación metalífero, ya que el azufre en el metal fundido excedería el 0.25 % en peso en un margen significativo. Para usar este tipo de material de alimentación metalífero en un proceso Hlsmelt, es necesario pretratar el material externamente (por ejemplo, en un horno rotatorio o un lecho fluidizado con una atmósfera relativamente oxidante, que alcanza temperaturas de alrededor de 800-1100 °C) para quemar el azufre. Bajo tales condiciones externas de pretratamiento, el azufre unido a sólidos se convierte en SO<sub>2</sub> el cual se libera a los gases de escape. Los sólidos restantes tienen entonces un nivel de azufre reducido.

60 Si bien el pretratamiento externo no integrado que se describe en el párrafo anterior es factible en un sentido técnico, puede resultar poco atractivo en términos comerciales debido a los requisitos adicionales de capital y costos operativos.

65 El documento WO 00/22176 A1 describe un proceso y un aparato para producir metales a partir de un material de alimentación metalífero. El documento WO 98/42878 A1 describe un proceso para la producción directa de hierro fundido a partir de mineral de hierro fino y carbón fino en un aparato adecuado para llevar a cabo dicho proceso.

La descripción anterior no debe tomarse como una admisión del conocimiento general común en Australia o en otros lugares.

Resumen de la descripción

5 La presente invención se basa en la constatación de que una forma modificada del proceso Hlsarna puede lograr el nivel necesario de eliminación de azufre del material de alimentación metalífero entrante sin la necesidad de una etapa de pretratamiento de azufre separada (externa).

10 El solicitante ha descubierto que se puede lograr una eliminación significativa de azufre del material de alimentación metalífero entrante en un ciclón de fundición de un horno de fundición Hlsarna si el potencial de oxígeno se ajusta adecuadamente.

15 El solicitante también ha descubierto que otros parámetros tales como la temperatura y distribución del tamaño del material de alimentación metalífero pueden tener un impacto en la eliminación de azufre del material de alimentación metalífero en un ciclón de fundición.

20 La eliminación de azufre se favorece a alto potencial de oxígeno. Esta selección de las condiciones operativas para un horno de fundición Hlsarna permite usar material de alimentación metalífero con alto contenido de azufre (sin pretratamiento para la eliminación del azufre) y, al mismo tiempo, mantener el contenido de azufre metálico del baño por debajo de 0,25 % en peso.

25 El potencial de oxígeno se puede controlar mediante el ajuste del balance general de la alimentación de mineral y carbón al horno de fundición, junto con las cantidades relativas de oxígeno que se inyectan en el horno de fundición y el ciclón de fundición. Al mantener el grado de combustión posterior en el gas de escape que sale del ciclón de fundición en el intervalo de 75-100 %, es posible lograr una eliminación suficiente de azufre en el ciclón de fundición (típicamente de 50-80 %).

30 El término "grado de combustión posterior" se entiende en la presente descripción que significa:

$$100 \times \frac{[\%CO_2 + \%H_2O]}{[\%CO + \%CO_2 + \%H_2 + \%H_2O]}$$

35 La eliminación de azufre también se favorece a alta temperatura. El significado del término "alta temperatura" es una función del material de alimentación metalífero. Por ejemplo, en el caso de materiales de alimentación metalíferos en la forma de materiales de alimentación que contienen hierro, el término "alta temperatura" se entiende en la presente descripción que significa temperaturas de al menos 1100 °C y típicamente temperaturas al menos de 1200 °C.

40 La eliminación de azufre también se favorece mediante la selección de la distribución del tamaño del material de alimentación metalífero entrante de manera que el área superficial expuesta de las partículas sea lo suficientemente alta para permitir una eliminación suficiente de azufre, es decir, quema del azufre.

La presente invención es como se define en las reivindicaciones adjuntas.

45 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un proceso para la fundición directa de un material de alimentación metalífero que contiene al menos 0,2 % en peso de azufre y para la producción de metal con un contenido de azufre por debajo de 0,25 %, el proceso comprende (a) reducir al menos parcialmente y fundir al menos parcialmente el material de alimentación metalífero en un ciclón de fundición (2) y (b) fundir completamente el material al menos parcialmente reducido/fundido en un baño fundido de un recipiente de fundición directa (4), y el proceso se caracteriza por mantener un potencial de oxígeno en el ciclón de fundición (2) para que un gas de escape del ciclón de fundición (2) tenga un grado de combustión posterior de 75-100 %, en donde dicho potencial de oxígeno se mantiene al inyectar oxígeno en el ciclón de fundición y el recipiente de fundición directa (4), en donde se mantiene una temperatura de al menos 1100 °C en el ciclón de fundición (2); en donde el tamaño de partícula del material de alimentación metalífero no es más de 6 mm; y en donde de 50-80 % de azufre se libera en el gas de escape en el ciclón de fundición (2).

55 El material de alimentación metalífero puede ser cualquier material que contenga óxidos metálicos.

60 El material de alimentación metalífero puede ser minerales, minerales parcialmente reducidos y flujos de desechos que contienen metal.

El material de alimentación metalífero puede ser un material de alimentación que contenga hierro, tal como un mineral de hierro.

65 El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,25 % en peso.

El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,3 % en peso.

El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,5 % en peso.

El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser menor que 1 % en peso.

5 El proceso puede comprender mantener una alta temperatura en el ciclón de fundición.

En una situación en la cual el material de alimentación metalífero es un material de alimentación que contiene hierro, el proceso puede comprender mantener una alta temperatura de al menos 1100 °C, típicamente al menos 1200 °C en el ciclón de fundición.

10 El proceso puede comprender mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición mediante el ajuste del equilibrio general del material de alimentación metalífero al ciclón de fundición y el material de alimentación carbonáceo al horno de fundición junto con las cantidades relativas de gas inyectado que contiene oxígeno en el horno de fundición y el ciclón de fundición.

15 El proceso puede comprender mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición que sea suficiente para que el gas de escape del ciclón de fundición tenga un grado de combustión posterior de al menos 80 %.

20 El proceso puede comprender mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición que sea suficiente para que el gas de escape del ciclón de fundición tenga un grado de combustión posterior de al menos 85 %.

El proceso puede comprender mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición que sea suficiente para que el gas de escape del ciclón de fundición tenga un grado de combustión posterior de al menos 90 %.

25 El proceso puede comprender seleccionar el tamaño de partícula del material de alimentación metalífero que se va a suministrar al ciclón de fundición para que no sea más de 6 mm.

El proceso puede comprender seleccionar el tamaño de partícula del material de alimentación metalífero que se va a suministrar al ciclón de fundición para que no sea más de 3 mm.

30 El material de alimentación metalífero que se suministra al ciclón de fundición es preferentemente menor que 1 mm.

35 El proceso puede caracterizarse por mantener las condiciones en el ciclón de fundición para que al menos una parte sustancial del azufre se libere como SO<sub>2</sub> en el gas de escape.

De acuerdo con la presente invención, también se proporciona un producto metálico que tiene un contenido de azufre menor que 0,2 % en peso que se produce a partir de un material de alimentación metalífero que tiene un contenido de azufre de al menos 0,2 % en peso.

40 De acuerdo con la presente invención, también se proporciona un producto de hierro que tiene un contenido de azufre menor que 0,2 % en peso que se produce a partir de un material de alimentación metalífero que tiene un contenido de azufre de al menos 0,2 % en peso.

45 El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,25 % en peso.

El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,3 % en peso.

El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser al menos 0,5 % en peso.

50 El contenido de azufre en el material de alimentación metalífero puede ser menor que 1 % en peso.

Breve descripción de las figuras

55 Ahora se describirá una modalidad específica, a manera de ejemplo solamente, con referencia a la figura adjunta la cual es un diagrama de flujo de una modalidad de un proceso de fundición directa para mineral de hierro de acuerdo con la presente invención.

Descripción de las modalidades

60 Por medio de un primer ejemplo de cómo se reporta el azufre en un proceso HIs melt, el trabajo de modelado realizado por el solicitante indica que si un proceso HIs melt se alimenta con un material de alimentación metalífero en la forma de mineral de hierro que contiene 0,2 % en peso de azufre y reciclaje de polvo cero al horno de fundición, el nivel resultante de azufre en el metal fundido será de 0,17 % en peso. En este trabajo de modelado, si el 90 % del polvo/lodo del proceso se recicla al horno de fundición, el azufre en el metal fundido aumentará a 0,23 % en peso.

65

Por medio de un segundo ejemplo de cómo se reporta el azufre en un proceso Hlsmelt, el trabajo de modelado realizado por el solicitante indica que si un proceso Hlsmelt se alimenta con un material de alimentación metalífero en la forma de mineral de hierro que contiene 0,7 % en peso de azufre y reciclaje de polvo cero al horno de fundición, el nivel resultante de azufre en el metal fundido será de 0,37 % en peso. En este trabajo de modelado, si el 90 % del polvo/lodo del proceso se recicla al horno de fundición, el azufre en el metal fundido aumentará a 0,44 % en peso.

Los ejemplos primero y segundo y la experiencia operativa del solicitante muestran que aproximadamente 0,2 % en peso de azufre en una alimentación de mineral al proceso Hlsmelt representa un límite superior para el proceso Hlsmelt. Con el mineral que contiene más de 0,2 % en peso de azufre, se hace necesario pretratar el mineral como se describió anteriormente para reducir el contenido de azufre a aproximadamente 0,2 % en peso.

Por medio de un tercer ejemplo, el trabajo de modelado realizado por el solicitante con el proceso Hlsmelt indica que si un proceso Hlsarna modificado de acuerdo con la presente invención se alimenta con un material de alimentación metalífero en la forma de mineral de hierro que contiene 0,7 % en peso de azufre y reciclaje de polvo cero al horno de fundición, y las condiciones tales como la temperatura de operación, el tamaño de partícula y el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición se ajustan como se describió anteriormente y logran un 70 % de quema de azufre en el mineral de hierro suministrado al ciclón de fundición, el nivel resultante de azufre en el metal fundido será de 0,16 % en peso. En este trabajo de modelado, si el 90 % del polvo/lodo del proceso se recicla al horno de fundición, el azufre en el metal fundido disminuirá a 0,14 % en peso (esto es una consecuencia de la quema adicional de azufre del polvo que se produce en el sistema de recuperación de calor residual).

El tercer ejemplo, tomado junto con el primer y segundo ejemplos, muestra que el proceso Hlsarna modificado de acuerdo con la presente invención es capaz de tratar material de alimentación metalífero con alto contenido de azufre directamente y sin la necesidad de un pretratamiento de quema de azufre externo al horno de fundición Hlsarna.

También es notable que el proceso Hlsarna modificado de acuerdo con la presente invención suministra la mayor parte del azufre liberado como SO<sub>2</sub> en el gas de escape, donde se puede depurar con un agente tal como lechada de piedra caliza para producir yeso. El proceso de ciclón de fundición, totalmente soplado con oxígeno, logra esto mediante el uso de un volumen total de gases de escape significativamente menor (en comparación con el proceso Hlsmelt). Esto minimiza aún más el costo en términos del equipo de depurado requerido, lo que lleva a un control de emisiones de azufre rentable y ambientalmente limpio.

Los parámetros operativos para el proceso Hlsarna modificado de acuerdo con la presente invención para usar material de alimentación metalífero con alto contenido (de 0,2-1,0 % en peso) de azufre incluyen los siguientes:

1. Seleccionar las condiciones operativas del proceso para operar a un alto potencial de oxígeno en el ciclón de fundición de manera que el gas de escape que sale del ciclón de fundición tenga un grado de combustión posterior de al menos 75 % y típicamente en un intervalo de 80-100 %. Alcanzar el grado de combustión posterior objetivo involucra la selección de condiciones de un conjunto interconectado de parámetros que incluyen (pero no se limitan a) materiales carbonáceos (tales como carbón) y materiales de alimentación metalíferos (tales como mineral de hierro), velocidades de alimentación, velocidades de alimentación de oxígeno al horno de fundición y al ciclón de fundición y pérdidas de calor del horno de fundición.
2. Operar a una alta temperatura en el ciclón de fundición.
3. Seleccionar la distribución de tamaño del material de alimentación metalífero entrante de manera que el área superficial expuesta de las partículas sea lo suficientemente alta para permitir una eliminación suficiente de azufre, es decir, quemarlo. La operación normal del ciclón de fundición requiere la alimentación neumática de sólidos, y esto requiere un tamaño superior de la distribución de tamaño de partícula no mayor a aproximadamente 6 mm. En cualquier caso, pueden usarse tamaños de molido más fino. Sin embargo, para la quema del azufre puede ser apropiado imponer un tamaño superior más bajo del que de cualquier otra manera hubiera sido el caso (en dependencia de la naturaleza específica de las partículas y la cinética de la quema del azufre).

Se describe una modalidad de un proceso de fundición directa de mineral de hierro de acuerdo con la presente invención con referencia al diagrama de flujo mostrado en la Figura adjunta.

El proceso mostrado en la Figura se basa en el uso de un horno de fundición directa que es una combinación de un ciclón de fundición (2) y un recipiente de fundición directa basada en un baño fundido (4) colocado directamente debajo del ciclón de fundición (2), con comunicación directa entre las dos cámaras del horno de fundición.

Las patentes y solicitudes de patente mencionadas anteriormente proporcionan detalles de la estructura y las condiciones operativas básicas para el ciclón de fundición (2) y el recipiente de fundición directa basada en un baño fundido (4), incluido el suministro de materiales de alimentación, incluido el material de alimentación metalífero y el material carbonáceo, y el gas que contiene oxígeno.

Con referencia a la Figura, una mezcla (1) de mineral a base de magnetita con alto contenido de azufre con un contenido de azufre de 0,7 % en peso y un tamaño superior de 6 mm y piedra caliza se alimenta, a través de un

- secador de mineral, en el ciclón de fundición (2) del horno de fundición mediante el uso de gas de transporte neumático (1a). La piedra caliza representa aproximadamente de 8-10 % en peso del flujo combinado de mineral y piedra caliza. El carbón (3) se alimenta, a través de un secador separado, al recipiente de fundición directa (4) del horno de fundición. El carbón se inyecta profundamente en un baño fundido de metal y escoria mediante el uso de gas de transporte (2a).
- 5 El oxígeno (7) se inyecta en el recipiente de fundición directa (4) para la combustión posterior de gases, típicamente CO y H<sub>2</sub>, que se generan en y se liberan del baño fundido y proporcionan el calor necesario para el proceso de fundición. Se inyecta oxígeno (8) en el ciclón de fundición (2) para precalentar, fundir parcialmente y desulfurar parcialmente el mineral.
- 10 Los productos del horno de fundición son metal caliente (5), es decir, fundido y escoria fundida (6).
- Las condiciones del proceso, como se describió más adelante, se controlan para que el contenido de azufre del metal fundido (5) en el recipiente de fundición directa (4) sea de 0,14-0,16 %.
- 15 Las condiciones operativas, que incluyen pero no se limitan a, las velocidades de alimentación de carbón y mineral, las velocidades de alimentación de oxígeno al recipiente de fundición directa (4) y al ciclón de fundición (2) y las pérdidas de calor del horno de fundición, se seleccionan para que los gases de escape que salen del ciclón de fundición (2) a través de un conducto de salida de gases de escape (9) tengan un grado de combustión posterior de al menos 80 % y típicamente alrededor de 90 %.
- 20 Con un grado de combustión posterior de aproximadamente 90 %, aproximadamente el 70 % del azufre originalmente presente en el mineral se libera en los gases de escape (principalmente en la forma de SO<sub>2</sub>) en el ciclón de fundición. Este nivel de quema de azufre en el mineral en el ciclón de fundición (2) reduce la cantidad de azufre en el mineral parcialmente reducido y parcialmente fundido que se produce en el ciclón de fundición (2) y luego se mueve hacia
- 25 abajo al recipiente de fundición directa (4). El resultado final es que el contenido de azufre del metal fundido (5) que se produce en el recipiente de fundición directa (4) es de 0,14-0,16 %. Como resultará evidente a partir de la descripción anterior, este contenido de azufre está dentro de un intervalo operativo aceptable.
- 30 El gas de escape del ciclón de fundición (2) pasa a través de un conducto de gas de escape (9) a un incinerador de gas de escape (10), donde se inyecta oxígeno adicional (11) para quemar el CO/H<sub>2</sub> residual y proporcionar un grado de oxígeno libre (típicamente de 1-2 %) en el gas de escape completamente quemado. Alguna eliminación adicional de azufre del polvo (liberado como SO<sub>2</sub> en el gas) se logra al mismo tiempo.
- 35 El gas cargado de azufre completamente quemado luego pasa a través de una sección de recuperación de calor residual (12) donde se enfría el gas y se genera vapor. Luego, el gas de escape pasa a través de un depurador húmedo (13) donde se logra el enfriamiento y la eliminación de polvo. El lodo resultante que se descarga del fondo del depurador (13) está disponible para su reciclaje al horno de fundición a través del flujo de alimentación del mineral (1).
- 40 El gas de escape frío cargado de azufre que sale del depurador (13) se alimenta a una unidad de desulfuración de gas de escape (14, 15). En esta unidad se rocía una lechada de piedra caliza en el gas y la mayoría del azufre (aproximadamente 98 %) se convierte en hidrato de CaSO<sub>4</sub> (yeso) el cual puede recuperarse como un derivado.
- 45 Luego, los gases de escape limpios se ventilan a través de una chimenea (16). Este gas consiste principalmente en CO<sub>2</sub> y, si es apropiado, se puede comprimir y geosequestrar (con la eliminación adecuada de las especies de gas residual no condensables).
- Se pueden hacer muchas modificaciones a la modalidad del proceso de la presente invención que se describió anteriormente sin apartarse del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas.
- 50 A manera de ejemplo, la presente invención no se limita al material de alimentación específico que se describe en relación con la modalidad.
- 55 En las reivindicaciones que siguen y en la descripción anterior, excepto donde el contexto lo requiera de cualquier otra manera debido al lenguaje expreso o la implicación necesaria, la palabra "comprender" y variaciones tales como "comprende" o "que comprende" se usan en un sentido inclusivo, es decir, para especificar la presencia de las características declaradas, pero no excluye la presencia o adición de características adicionales en varias modalidades del proceso como se describe en la presente descripción.

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso para la fundición directa de un material de alimentación metalífero que contiene al menos 0,2 % en peso de azufre y para la producción de metal con un contenido de azufre por debajo de 0,25 %, el proceso comprende (a) reducir al menos parcialmente y fundir al menos parcialmente el material de alimentación metalífero en un ciclón de fundición (2) y (b) fundir completamente el material al menos parcialmente reducido/fundido en un baño fundido de un recipiente de fundición directa (4), y el proceso se caracteriza por mantener un potencial de oxígeno en el ciclón de fundición (2) para que un gas de escape del ciclón de fundición (2) tenga un grado de combustión posterior de 75-100 %, en donde dicho potencial de oxígeno se mantiene al inyectar oxígeno en el ciclón de fundición y el recipiente de fundición directa (4), en donde se mantiene una temperatura de al menos 1100 °C en el ciclón de fundición (2); en donde el tamaño de partícula del material de alimentación metalífero no es más de 6 mm; y en donde de 50-80 % de azufre se libera en el gas de escape en el ciclón de fundición (2).
2. El proceso que se define en la reivindicación 1, en donde el contenido de azufre en el material de alimentación metalífero es al menos 0,25 % en peso.
3. El proceso que se define en la reivindicación 1, en donde el contenido de azufre en el material de alimentación metalífero es al menos 0,3 % en peso.
4. El proceso que se define en la reivindicación 1, en donde el contenido de azufre en el material de alimentación metalífero es al menos 0,5 % en peso.
5. El proceso que se define en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición (2) para que el gas de escape del ciclón de fundición (2) tenga un grado de combustión posterior de al menos 80 %.
6. El proceso que se define en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende mantener el potencial de oxígeno en el ciclón de fundición (2) para que el gas de escape del ciclón de fundición (2) tenga un grado de combustión posterior de 90 %; en donde 70 % del azufre se libera en el gas de escape en el ciclón de fundición (2).
7. El proceso que se define en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de alimentación metalífero es menor que 1 mm.
8. El proceso que se define en la reivindicación 1, en donde el material de alimentación metalífero comprende de 8-10 % en peso de piedra caliza.

