

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 461**

51 Int. Cl.:

C21B 13/00 (2006.01)

F27B 3/22 (2006.01)

F27D 17/00 (2015.01)

F27D 3/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2019 PCT/EP2019/058002**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2019 WO19185865**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2019 E 19713063 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2025 EP 3775298**

54 Título: **Proceso de fundición directa con combustión completa**

30 Prioridad:

30.03.2018 EP 18165334

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.04.2025

73 Titular/es:

TATA STEEL NEDERLAND TECHNOLOGY B.V.
(100.00%)

Wenckebachstraat 1
1951 JZ Velsen-Noord, NL

72 Inventor/es:

MEIJER, HENDRIKUS KOENRAAD ALBERTUS

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 3 013 461 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 con combustión completa

Campo técnico

La presente invención se refiere a un proceso y a un aparato para fundir un material metalífero.

5 En particular, aunque de ninguna manera de manera exclusiva, la presente invención se refiere a un proceso de fundición y a un aparato para fundir un material que contiene hierro, tal como un mineral de hierro, y producir hierro.

Antecedentes

Un proceso conocido para fundir un material metalífero se denominará en adelante proceso "Hlsarna".

10 El término "fundición" se entiende en el presente documento como un procesamiento térmico en donde tienen lugar reacciones químicas que reducen los óxidos metálicos para producir metal fundido.

El proceso Hlsarna está asociado particularmente con la producción de hierro fundido a partir de mineral de hierro u otro material que contenga hierro.

15 El proceso se lleva a cabo en un aparato de fundición que incluye (a) un recipiente de fundición que incluye lanzas de inyección de sólidos y lanzas de inyección de gas que contiene oxígeno y está adaptado para contener un baño de metal fundido y escoria y (b) un ciclón de fundición para pretratar un material de alimentación metalífero que define una cámara ciclónica e incluye toberas para inyectar materiales de alimentación sólidos y gas que contiene oxígeno en la cámara ciclónica y está ubicado encima y se comunica directamente con el recipiente de fundición. El proceso y el aparato de Hlsarna se describen en la solicitud internacional PCT/AU99/00884 (Documento WO 00/022176) a nombre del solicitante.

20 El término "ciclón de fundición" se entiende en el presente documento como un recipiente que típicamente define una cámara cilíndrica vertical e incluye toberas para inyectar materiales de alimentación sólidos y gas que contiene oxígeno en la cámara y está construido de manera que los materiales de alimentación suministrados a la cámara se mueven en una trayectoria alrededor de un eje central vertical de la cámara y pueden soportar altas temperaturas de funcionamiento suficientes para fundir al menos parcialmente los materiales de alimentación metalíferos.

El recipiente de fundición incluye secciones revestidas de material refractario en una chimenea inferior y paneles enfriados por agua en una pared lateral y un techo del recipiente, y el agua circula continuamente a través de los paneles en un circuito continuo.

30 El recipiente de fundición también incluye un antecrisol conectado a la cámara de fundición a través de una conexión de antecrisol que permite la salida continua de producto metálico del recipiente. Un antecrisol funciona como un sello sifón lleno de metal fundido, "derramando" naturalmente el exceso de metal fundido del recipiente de fundición a medida que se produce. Esto permite conocer el nivel de metal fundido en la cámara de fundición del recipiente de fundición y controlarlo dentro de una pequeña tolerancia -esto es esencial para la seguridad de la planta.

35 En una forma del proceso Hlsarna, el material de alimentación carbonoso (normalmente carbón) y, opcionalmente, fundente (normalmente piedra caliza calcinada) se inyectan en un baño fundido en el recipiente de fundición. El material carbonoso se proporciona como fuente de reductor y como fuente de energía. El material de alimentación metalífero, tal como el mineral de hierro, opcionalmente mezclado con fundente, se inyecta y se calienta, se funde parcialmente y se reduce parcialmente en el ciclón de fundición. Este material metalífero fundido, parcialmente reducido, fluye hacia abajo desde el ciclón de fundición hacia el baño de fundición en el recipiente de fundición y se funde hasta convertirse en metal fundido en el baño.

40 Gases de reacción calientes (normalmente CO, CO₂, H₂, y H₂O) producidos en el baño de fundición se queman parcialmente con gas que contiene oxígeno (normalmente oxígeno de calidad técnica) en una parte superior del recipiente de fundición. El calor generado por la postcombustión se transfiere a gotas fundidas en la sección superior que vuelven a caer en el baño fundido para mantener la temperatura del baño.

45 Los gases de reacción calientes y parcialmente quemados fluyen hacia arriba desde el recipiente de fundición y entran en el fondo del ciclón de fundición. El gas que contiene oxígeno (normalmente oxígeno de calidad técnica) se inyecta en el ciclón de fundición a través de toberas que están dispuestas 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 provoca una mayor combustión de los gases del recipiente de fundición, lo que produce llamas muy calientes (ciclónicas). El material de alimentación metalífero entrante finamente dividido se inyecta neumáticamente en estas llamas a través de toberas en el ciclón de fundición, lo que da como resultado un calentamiento rápido y una fusión parcial acompañada de una

- reducción parcial (aproximadamente una reducción del 10-20 %). La reducción se debe tanto a la descomposición térmica de la hematita como a la acción reductora del CO/H₂ en los gases de reacción del recipiente de fundición. El material de alimentación metalífero parcialmente fundido y caliente se arroja hacia afuera sobre las paredes del ciclón de fundición mediante una acción de remolino ciclónico y, como se describió anteriormente, fluye hacia abajo dentro del recipiente de fundición que se encuentra debajo para su fundición en ese recipiente.
- 5 El gas de proceso, normalmente denominado "gas de escape", resultante de la posterior combustión de los gases de reacción en el ciclón de fundición, se extrae de una región superior del ciclón de fundición a través de un conducto de gases de escape.
- 10 El efecto neto de la forma descrita anteriormente del proceso Hlsarna es un proceso de contracorriente de dos pasos. El material de alimentación metalífero se calienta y se reduce parcialmente mediante los gases de reacción que salen del recipiente de fundición (con adición de gas que contiene oxígeno) y fluye hacia abajo dentro del recipiente de fundición y se funde hasta obtener hierro fundido en el recipiente de fundición. En un sentido general, esta disposición de contracorriente acoplada estrechamente aumenta la productividad y la
- 15 eficiencia energética en relación con (i) un proceso de fundición de baño de un solo paso o (ii) uno en donde el mineral de hierro mineral metalífero se precalienta externamente y/o se prerreduce levemente.
- El gas de escape caliente (normalmente entre 1200-1800 °C cuando se procesa material de alimentación metalífero que contiene hierro) que sale del ciclón de fundición normalmente contiene cantidades residuales de CO/H₂ más polvo de proceso. Este polvo generalmente está compuesto de mineral de hierro (como
- 20 componente mayoritario) junto con cantidades más pequeñas de polvo de carbón (carbón) y escoria.
- El solicitante ha considerado varias opciones para procesar los gases de escape que salen del ciclón de fundición.
- En una opción considerada por el solicitante, los gases de escape calientes del ciclón pasan a través de un conducto de conexión (denominado "campana") hasta una cámara de postcombustión, es decir, una forma de
- 25 incinerador. La campana generalmente está construida con una pared de membrana de acero con un medio de enfriamiento (agua o vapor) dentro de los tubos de la pared. El gas del ciclón de fundición se enfría (hasta cierto punto) en esta campana, dependiendo de la geometría/tamaño de la planta y las tasas de gas/polvo.
- La campana generalmente comprende una sección de flujo ascendente vertical seguida de una curva superior y luego una sección de flujo descendente vertical. La función clave del proceso de la sección de flujo
- 30 ascendente vertical es enfriar el gas de escape de manera que los materiales fundidos se solidifiquen sustancialmente. De esta manera, los materiales fundidos quedan contenidos en el lado de flujo ascendente de la campana (aguas arriba de la curva superior). Las acumulaciones de pared que se acumulan en la sección de flujo ascendente se fragmentan y retroceden periódicamente (normalmente en una escala de tiempo de 1-3 horas), manteniendo así un tipo de pseudoequilibrio.
- 35 La sección de la campana en el lado de aguas abajo de la curva superior aún experimenta acumulación de acreción, pero la naturaleza de las acreciones es significativamente diferente en el sentido de que las acumulaciones masivas y densas de materiales fundidos en solidificación están en gran medida ausentes. Con una acumulación más lenta y acumulaciones generalmente más débiles/menos densas, es posible operar el
- 40 lado de flujo descendente de la campana durante períodos prolongados. Normalmente, el gas que sale por la parte superior de la campana y pasa a la cámara de postcombustión estará en un rango de temperatura de 600-1200 °C.
- Los gases de escape del ciclón son generalmente demasiado pobres para quemarse si primero se enfrían y se limpian: la proporción de CO + H₂ normalmente será inferior al 20 % (sobre la base del volumen de gas) y, como gas combustible, requeriría grandes cantidades de combustible de apoyo para mantener una llama de
- 45 combustión. Esto generalmente se considera poco atractivo por razones de coste. Para evitar esto es necesario quemar completamente el CO/H₂ residual en el gas de escape mientras todavía está suficientemente caliente (600-1200 °C).
- La combustión de gases calientes en el incinerador implica la inyección directa de un gas que contiene oxígeno (normalmente aire u oxígeno de grado técnico) para quemar completamente los materiales combustibles
- 50 residuales. Este paso de combustión normalmente se llevará a cabo de tal manera que un porcentaje mínimo requerido de oxígeno esté presente en el gas de humos final (por ejemplo, 1-3 % de oxígeno por volumen). Este paso final de combustión generalmente tendrá el efecto de elevar la temperatura del gas quemado en relación con la del gas de escape que sale del conducto de conexión. Posteriormente se recuperará el calor de los gases de humos calientes en una disposición de caldera aguas abajo (generadora de vapor).
- 55 Otra opción considerada por el solicitante es un método para llevar a cabo este paso de postcombustión de manera segura, teniendo particularmente en cuenta las condiciones de arranque cuando pueden estar presentes grandes cargas de carbón sin quemar y son posibles explosiones de polvo de carbón. Generalmente,

esto implica el uso de un sistema de quemador de gas independiente para mantener la temperatura de la zona de combustión (en la cámara de postcombustión) a un mínimo de aproximadamente 700 °C.

5 Otra opción considerada por el solicitante es una variación del proceso descrito anteriormente que implica la operación con una sección de flujo ascendente de campana acortada junto con una inyección anular de gas frío que representa aproximadamente 50-150 % del flujo de gas de proceso principal (caliente). Este gas normalmente se inyecta en la parte inferior o cerca de ella de la sección de flujo ascendente vertical de la campana para formar una capa de gas frío adyacente a las paredes, minimizando así la formación de acreción en las paredes. El gas frío inyectado puede ser gas de proceso reciclado, aire o algún otro gas adecuado.

10 La descripción anterior no debe tomarse como una admisión de un conocimiento general común en Australia o en cualquier otro lugar.

15 Los documentos WO2013/082658A1 y WO2015/089563 A1 son documentos conocidos de la técnica anterior que divulgan respectivamente un método para iniciar un proceso basado en un baño fundido para fundir material de alimentación metalífero en un aparato de fundición, que implica suministrar gas que contiene oxígeno frío y material carbonoso frío y alimentar material metalífero y que divulga un aparato de fundición que incluye (a) un recipiente de fundición, (4) que está adaptado para contener un baño de metal fundido y escoria y (b) un ciclón (2) de fundición para pretratar un material de alimentación metalífero colocado encima y en comunicación directa con el recipiente de fundición. El aparato también incluye un conducto (9) de gas de escape que se extiende desde la fundición, un ciclón para descargar un gas de escape del ciclón de fundición. El conducto de escape de gas tiene una sección (18) de entrada que se extiende hacia arriba desde el ciclón de fundición y está formada para provocar que el escape de gas experimente un cambio sustancial de dirección a medida que fluye a través de la sección de entrada del conducto de escape de gas.

Resumen de la divulgación

25 La presente invención se basa en la constatación de que enfriar los gases de escape del ciclón de fundición que contienen CO producidos en el proceso Hlsarna a medida que pasan a través de una campana de escape de gases en su camino hacia una cámara de incineración con temperatura controlada es innecesario e incluso, en ocasiones, contraproducente. Más particularmente, la presente invención se basa en la realización de que al agregar esencialmente todo el oxígeno requerido para la combustión final en los tramos superiores de un ciclón (o cualquier posición entre una salida de ciclón y una región de entrada de una sección principal de flujo ascendente de la campana, la combustión puede ocurrir mientras el gas todavía está caliente (del ciclón) y la ignición está inherentemente garantizada (por ejemplo, mediante brasas incandescentes y calientes en el gas). El solicitante se ha dado cuenta de que una ventaja de este sistema es que no se requiere una cámara de incineración aguas abajo ni un sistema de quemador asociado, lo que simplifica el proceso y hace que sea más fácil y seguro operar el proceso Hlsarna.

35 De acuerdo con la presente invención se proporciona un proceso para fundir un material de alimentación metalífero de acuerdo con la reivindicación 1.

El proceso puede incluir la operación del proceso de modo que la pérdida total de calor de todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición esté en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico producido en el proceso.

40 El paso (iii) puede incluir la combustión de materiales combustibles en los productos de reacción en el espacio del recipiente que está por encima del baño fundido hasta un grado de postcombustión de al menos 30 %, típicamente al menos 40 %, típicamente menos de 60 % y típicamente en un rango de 30-60 %.

En el contexto de la invención, el grado de postcombustión se calcula como $PC = 100 \times \frac{(CO_2+H_2O)}{(CO+CO_2+H_2+H_2O)}$ base molar.

45 El paso (vi) incluye suministrar gas que contiene oxígeno a la sección de alta temperatura del conducto de gases de escape y quemar los materiales combustibles restantes en el gas de escape en una sección aguas abajo del conducto de gases de escape (en la dirección del movimiento del gas de escape a través del conducto) de modo que haya combustión de los materiales combustibles en el gas de escape mientras el gas de escape esté a al menos 1500 °C, típicamente al menos 1600 °C, y más típicamente al menos 1700 °C cuando el material de alimentación metalífero es un material de alimentación que contiene hierro.

50 El paso (vi) incluye suministrar gas que contiene oxígeno a una sección de entrada del conducto de gases de escape que se extiende hacia arriba, típicamente verticalmente, desde un techo del ciclón de fundición. La sección de entrada forma parte de la sección de alta temperatura del conducto de gases de escape. La sección de entrada puede ser una extensión vertical del ciclón de fundición. La cantidad de oxígeno se puede calcular de manera que el gas de humos aguas abajo final que sale del conducto de gases de escape contenga entre 0.5-8 % (en volumen), normalmente 3-7 %, de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón del gas de escape.

En una situación en donde el conducto de gases de escape incluye una sección de entrada que se extiende desde el ciclón de fundición, una campana con (a) una sección de flujo ascendente, (b) una curva y (c) una sección de flujo descendente, el paso (vi) puede incluir el suministro de gas que contiene oxígeno en la sección de entrada y un gas de reciclaje frío en la parte inferior de la sección de flujo ascendente. Por "gas de reciclaje frío" se entiende en el presente documento el gas residual que se ha procesado como se ha descrito anteriormente y enfriado a temperatura ambiente. También puede incluir gas que se ha extraído de la corriente de humos después de la caldera, se ha despolvado en una cámara de filtros y se ha comprimido para reciclarlo -en este caso, la temperatura del gas de reciclaje normalmente estará en el rango de 200-400 °C. La tasa de volumen del gas de reciclaje frío puede ser 50-150 % de la tasa de volumen de gas de escape en el conducto de gas de escape. La cantidad de oxígeno inyectado en la sección de entrada se puede calcular de manera que el gas de humos aguas abajo final que sale del conducto de gases de escape contenga 0.5-9 % (volumen), normalmente 3-8 %, de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón.

En una situación en donde el conducto de gases de escape incluye la sección de entrada que se extiende desde el ciclón de fundición, una campana con (a) una sección de flujo ascendente, (b) una curva y (c) una sección de flujo descendente, el paso (vi) puede incluir el suministro de gas que contiene oxígeno en la sección de entrada y aire frío en la parte inferior de la sección de flujo ascendente. El volumen del aire frío puede ser 50-150 % del caudal de gases de escape en el conducto. La cantidad total de oxígeno inyectado en la sección de entrada y la cantidad de oxígeno en el aire frío se pueden calcular de manera que un gas de humos aguas abajo final de la campana de gases de escape contenga 0.5-16 % (volumen), normalmente 3 -15 %, de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón.

El proceso puede incluir la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas de la sección de alta temperatura del conducto de gases de escape mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales de la sección.

El proceso puede incluir la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas del ciclón de fundición mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales del ciclón de fundición.

El proceso puede incluir la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas del recipiente de fundición mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales del recipiente de fundición (excluyendo una chimenea revestida de refractario del recipiente de fundición).

Una realización de la invención incluye (a) un gas de proceso con un grado de postcombustión en un rango de 30-60 % y sólidos arrastrados que salen del recipiente de fundición y pasan al ciclón de fundición, (b) gas que contiene oxígeno que se agrega al ciclón de fundición para quemar aún más el gas de proceso y los sólidos combustibles, con el gas de proceso que sale del ciclón de fundición como un gas de escape, (c) suficiente gas que contiene oxígeno total que se agrega al gas de escape en una sección de alta temperatura del conducto de gas de escape típicamente antes de la sección de flujo ascendente vertical de la campana de gas de escape, para la combustión completa de materiales combustibles en el gas de escape y el mantenimiento de una concentración final de oxígeno en el gas de escape en el rango de 0.5-8 %, y (d) pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para el aparato de fundición y el ciclón de fundición en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

Otra realización de la invención incluye (a) un gas de proceso que tiene un grado de postcombustión en un rango de 30-60 % y sólidos arrastrados que salen del recipiente de fundición y pasan al ciclón de fundición, (b) gas que contiene oxígeno que se agrega al ciclón de fundición para quemar aún más el gas de proceso y los sólidos combustibles, con el gas de proceso que sale del ciclón de fundición como un gas de escape en el conducto de gas de escape, (c) un gas de reciclaje frío que se agrega al conducto de gas de escape, típicamente en o cerca del fondo de la sección de flujo ascendente vertical de la campana, en una cantidad correspondiente al 50-150 % (en volumen en condiciones normales, 0 °C y 1 atmósfera absoluta) del flujo de gas de escape caliente en ese punto, (d) suficiente gas que contiene oxígeno total que se agrega en la sección de alta temperatura del conducto de gas de escape, típicamente antes (o cerca del fondo de) la sección de flujo ascendente vertical de la campana de gas de escape, para la combustión completa de materiales combustibles en el gas de escape y el mantenimiento de una concentración de oxígeno en los gases de escape en un rango 0.5-9 %, y (e) pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento de la fundición y el ciclón de fundición en un rango 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

Otra realización, aunque no la única, de la invención incluye (a) un gas de proceso que tiene un grado de postcombustión en un rango 30-60 % y sólidos arrastrados que salen del recipiente de fundición y pasan al ciclón de fundición, (b) gas que contiene oxígeno que se agrega al ciclón de fundición para quemar aún más el gas de proceso y los sólidos combustibles, con el gas de proceso que sale del ciclón de fundición como un gas de escape en el conducto de gas de escape (c) aire frío que se agrega al conducto de gas de escape, típicamente en o cerca del fondo de la sección de flujo ascendente vertical de la campana en una cantidad

5 correspondiente al 50-150 % (en volumen en condiciones normales, 0 °C y 1 atmósfera absoluta) del flujo principal de gas de proceso caliente en ese punto (d) suficiente gas total que contiene oxígeno que se agrega en la sección de alta temperatura del conducto de gas de escape, típicamente antes (o cerca del fondo de) la sección principal de flujo ascendente vertical de la campana de gas de escape, (incluyendo el aire frío) para la combustión completa de materiales combustibles en los gases de escape y el mantenimiento de una concentración final de oxígeno en los gases de humos en un rango 0.5-16 %, y (e) la pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para la fundición y el ciclón de fundición está en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

10 El material de alimentación metalífero puede ser cualquier material adecuado. A modo de ejemplo, el material de alimentación metalífero puede ser un material de alimentación que contenga hierro. La invención no se limita a los materiales que contienen hierro.

15 De acuerdo con una realización que no forma parte de la presente invención, se proporciona un proceso para fundir un material de alimentación metalífero, tal como un material de alimentación que contiene hierro, para formar un metal fundido en un aparato de fundición, incluyendo el aparato (i) un recipiente de fundición que está adaptado para contener un baño de metal fundido y escoria y (ii) un ciclón de fundición que está colocado encima y se comunica con el recipiente de fundición, y (iii) un conducto de gas de escape para transferir gas de proceso desde el ciclón de fundición fuera del ciclón de fundición e incluyendo el proceso los pasos de:

20 (i) reducir parcialmente y fundir un material de alimentación metalífero en el ciclón de fundición y permitir que el material de alimentación metalífero parcialmente reducido y fundido fluya hacia abajo dentro del recipiente,

(ii) suministrar un gas que contiene oxígeno y un material carbonoso al recipiente y fundir el material de alimentación metalífero parcialmente reducido fundido en un baño de metal fundido y escoria en el recipiente y formar metal fundido que finalmente se descarga del recipiente y productos de reacción (incluyendo sólidos y gases) que se proyectan hacia arriba desde el baño fundido,

25 (iii) quemar al menos parcialmente los materiales combustibles en los productos de reacción en un espacio del recipiente que esté por encima del baño fundido,

(iv) suministrar gas que contenga oxígeno al ciclón de fundición y quemar aún más los materiales combustibles en los productos de reacción en el ciclón de fundición,

(v) descargar un gas de escape del ciclón de fundición en el conducto de gas de escape, incluyendo el gas de escape los productos de reacción, y

30 (vi) operar el proceso de manera que haya combustión de los materiales combustibles restantes en el gas de escape en el conducto de gas de escape mientras el gas de escape está caliente y la pérdida total de calor hacia todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición esté en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico producido en el proceso.

35 La presente invención también proporciona un aparato para fundir un material de alimentación metalífero de acuerdo con la reivindicación 16.

El conducto de gases de escape puede incluir una sección de entrada que se extiende hacia arriba, generalmente verticalmente, desde un techo del ciclón de fundición.

La sección de entrada puede ser una extensión vertical del ciclón de fundición.

40 El conducto de gases de escape puede incluir una campana con (a) una sección de flujo ascendente, (b) una curva y (c) una sección de flujo descendente.

El conducto de gases de escape puede incluir una sección enroscada para evitar que las acumulaciones de la campana caigan directamente en el ciclón de fundición y en el recipiente de fundición.

El conducto de escape de gases puede incluir secciones refrigeradas por agua u otras refrigeradas adecuadas en la sección de alta temperatura aguas arriba del conducto de escape de gases.

45 El aparato de la invención descrito anteriormente no requiere un incinerador o un dispositivo adecuado para quemar completamente los materiales combustibles en el gas de escape. La combustión completa se consigue en el conducto de gases de escape.

Breve descripción de los dibujos

50 La presente invención se describe con más detalle a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una realización de un aparato de fundición de Hlsarna de acuerdo con la presente invención; y

La Figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra otra realización, aunque no la única, de un aparato de fundición de Hlsarna de acuerdo con la presente invención.

5 Descripción de realizaciones

Una realización del proceso y aparato de Hlsarna de acuerdo con la invención se describe con referencia a la Figura 1.

10 El proceso y el aparato mostrados en la Figura 1 se basan en un ciclón (2) de fundición y un recipiente (5) de fundición basado en baño fundido ubicado directamente debajo del ciclón (2) de fundición, con comunicación directa entre las cámaras del ciclón 2 de fundición y el recipiente (5) de fundición.

15 El proceso Hlsarna es un proceso a contracorriente de dos pasos. El material de alimentación metalífero, tal como por ejemplo finos de mineral de hierro secos, se calienta y se reduce parcialmente en el ciclón (2) de fundición mediante los gases de reacción que salen del recipiente (4) de fundición y fluye hacia abajo hasta el recipiente (5) de fundición y se funde hasta obtener hierro fundido. El hierro (6) fundido se descarga del recipiente (5) de fundición a través de un antecrisol. La escoria (7) fundida producida en el proceso se descarga del recipiente (5) de fundición a través de un orificio de extracción de escoria. El gas de escape se descarga hacia arriba desde el ciclón (2) de fundición a través de un conducto de gas de escape. El gas de escape se procesa según sea necesario.

20 De acuerdo con la invención, los materiales combustibles en el gas de escape que se descarga desde el ciclón (2) de fundición se queman en el conducto de gas de escape mientras el gas de escape está caliente, típicamente al menos 1700 °C cuando el material de alimentación metalífero es un material de alimentación que contiene hierro.

25 Con referencia adicional a la Figura 1, los finos (1) de mineral de hierro secos se inyectan en un ciclón (2) de fundición donde el mineral se reduce y se funde al menos parcialmente. El calor para este paso de fusión/reducción se genera quemando el oxígeno (3) inyectado con el gas (4) de escape del recipiente de fundición caliente del recipiente (5) de fundición. El mineral parcialmente fundido resultante fluye hacia abajo hasta el recipiente (5) de fundición, donde se funde para producir metal (6) fundido y escoria (7). El carbón (8) se inyecta en el baño mediante lanzas enfriadas por agua. Se inyecta oxígeno (9) en una región superior del recipiente (5) de fundición, donde se realiza la postcombustión del gas derivado del baño y se queman sólidos combustibles para generar calor para el paso de fundición del baño. El gas (4) de escape de fundición es el producto de este paso de postcombustión/combustión y el grado de postcombustión resultante, calculado como $PC = 100 \times (CO_2 + H_2O) / (CO + CO_2 + H_2 + H_2O)$ en base molar está en un rango 30-60 % (dependiendo del tipo de carbón). Con carbones más volátiles (por ejemplo, 35 % de volátiles), el PC estará en el extremo inferior de este rango y con carbones menos volátiles (por ejemplo, 10 % de volátiles) estará más cerca del extremo superior. Este gas (4) de escape de fundición puede transportar consigo cantidades significativas de carbón, dependiendo nuevamente del tipo de carbón.

40 El oxígeno (3) que se inyecta en el ciclón (2) de fundición quema una porción de los materiales combustibles restantes en el gas (4) de escape de fundición. Normalmente, el gas de escape que fluye hacia arriba desde el ciclón (2) de fundición hacia el conducto de gas de escape situado encima del ciclón (2) de fundición tiene un grado de postcombustión del 85-90 % (por volumen) y puede contener sólidos combustibles.

45 El conducto de gases de escape incluye una sección (16) de entrada que se extiende hacia arriba (en esta realización verticalmente hacia arriba) desde el ciclón (2) de fundición, una sección (11) enroscada y una campana. La sección (16) de entrada y la sección (11) enroscada forman una sección de alta temperatura del conducto de gases de escape. La campana incluye una pata (19) de flujo ascendente, una curva (20) y una pata (21) de flujo descendente.

50 Como se ve en la Figura 2, la sección (16) de entrada es en gran medida una extensión vertical del ciclón (2) de fundición cilíndrico con un diámetro que es solo ligeramente menor que el del ciclón (2) de fundición. En algunos aspectos, la sección (16) de entrada puede describirse como una transición entre (a) la sección funcional del ciclón (2) de fundición en donde hay inyección de material metalífero y oxígeno en el ciclón y (b) el conducto de gases de escape.

55 Se inyecta gas (10) que contiene oxígeno, normalmente oxígeno de grado técnico, en la sección (16) de entrada del conducto de gases de escape. Se puede apreciar fácilmente que en esta ubicación los gases de escape estarán calientes y la combustión de materiales combustibles (sólidos y gases) en los gases de escape se producirá sin necesidad de fuentes de ignición externas. La cantidad de oxígeno en (10) se calcula de tal manera que el gas de humos aguas abajo final del proceso, por ejemplo, en la ubicación identificada por la flecha 14 en la pata 21 de flujo descendente de la campana, contendrá 0.5-8 % (en volumen) de oxígeno libre

cuando se complete la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón en el gas de escape.

5 El gas de escape ciclónico caliente con gas que contiene oxígeno pasa desde la sección (16) de entrada a la sección (11) enroscada. El propósito de la sección (11) enroscada es evitar que las acumulaciones que inevitablemente se forman en las secciones aguas abajo del conducto de gases de escape, tal como la pata (19) de flujo ascendente, caigan directamente en el ciclón (2) de fundición y el recipiente (5) de fundición y provoquen daños. La sección (11) enroscada es descrita por el solicitante en Solicitud provisional australiana 2013904992 presentada el 20 de diciembre de 2013. La divulgación contenida en la especificación provisional se incorpora en el presente documento como referencia cruzada. Más particularmente, la sección (11) enroscada está formada para provocar que el gas de escape experimente un cambio sustancial de dirección a medida que fluye a través de la sección (16) de entrada. El cambio sustancial de dirección en la sección (16) de entrada aleja rápidamente el gas de escape de la extensión ascendente (en estas realizaciones, vertical) del recipiente (5) de fundición y del ciclón (2) de fundición, de modo que cualquier acumulación que se forme en el conducto de gas de escape (que es más probable que se forme aguas abajo de la sección (16) de entrada en la dirección del movimiento del gas de escape) y, por lo tanto, no pueda caer directamente en el baño fundido en el recipiente (5) de fundición.

20 El gas de escape ciclónico caliente con gas que contiene oxígeno pasa desde la sección (11) enroscada a la sección (19) de flujo ascendente vertical de la campana de escape. En este punto, la combustión final puede no estar aún completa y la quema de materiales combustibles puede continuar durante un tramo significativo hacia la parte superior de la campana.

25 Cuando el gas de escape (en esta etapa descrito apropiadamente como gas de humos) pasa hacia abajo en el lado de salida, es decir, en la sección (21) de flujo descendente de la campana de gas de escape, la combustión está esencialmente completa y el gas se enfría progresivamente de modo que no hay materiales fundidos (a granel) presentes (normalmente por debajo de aproximadamente 1100-1200 °C). Aunque no se muestra en la Figura 1, el gas de humos se transfiere desde la sección (21) de flujo descendente para su posterior procesamiento según sea necesario.

30 Las superficies internas de las paredes laterales del recipiente (5) de fundición por encima de la chimenea revestida de refractaria del recipiente, las paredes del ciclón (2) de fundición, las paredes de las secciones de alta temperatura del conducto de gases de escape, es decir, la sección (16) de entrada, y las paredes de la sección (11) enroscada, están todas enfriadas con agua o con vapor o enfriadas de otra manera y tienen capas de escoria congelada protectoras y autocurativas que se forman a través del contacto y luego la "congelación" de sólidos calientes y material fundido arrastrado en el gas de escape. Se necesita una extracción de calor continua para mantener estas capas de congelación. La cantidad de calor eliminado (por tonelada de metal producido en operación normal) a través del recipiente (5) de fundición y el ciclón (2) de fundición generalmente está en un rango 1-3 GJ/t cuando el proceso funciona normalmente. Con tasas de producción bajas (por ejemplo, durante el arranque), la extracción de calor puede superar fácilmente los 3 GJ/t, pero a medida que la producción sube al rango normal, se estabiliza en el rango indicado. Se observa que el enfriamiento adecuado y la formación y mantenimiento de capas de "congelación" en las superficies internas de las secciones de alta temperatura del conducto de gases de escape son importantes para mantener la integridad estructural de esta sección del conducto de gases de escape.

Una ventaja de la realización mostrada en la Figura 1 es que no se requiere una cámara de incineración aguas abajo ni un sistema de quemador asociado, lo que simplifica el proceso y hace que sea más fácil y seguro operar el proceso Hlsarna. Otra ventaja de la realización de la Figura 1 es que no se requiere enfriar y luego recalentar el gas de escape para quemar materiales combustibles en el gas de escape.

45 En resumen, la realización mostrada en la Figura 1 incluye (a) un gas de proceso con un grado de postcombustión en un rango de 30-60 % y sólidos arrastrados que salen del recipiente de fundición y pasan al ciclón de fundición, (b) agregar gas que contiene oxígeno para postcombustión adicional del gas de proceso y los sólidos combustibles en el ciclón de fundición y (c) agregar suficiente gas que contiene oxígeno total al gas de escape en la sección de entrada de alta temperatura del conducto de gas de escape para la combustión completa de materiales combustibles en el gas de escape y el mantenimiento de una concentración final de oxígeno en el gas de escape en el rango 0.5-8 %, y (d) la pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición está en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

55 Otra realización del proceso y aparato de Hlsarna de acuerdo con la invención se describe con referencia a la Figura 2. El ciclón de fundición, el recipiente de fundición y el conducto de gases de escape son las mismas unidades que en la realización mostrada en la Figura 1 y se utilizan los mismos números de referencia para describir las mismas características estructurales.

Los finos (1) de mineral de hierro secos se inyectan en un ciclón (2) de fundición donde el mineral se reduce y se funde al menos parcialmente. El calor para este paso de fusión/reducción se genera quemando el oxígeno

(3) inyectado con el gas (4) de escape de recipiente de fundición caliente . El mineral parcialmente fundido resultante fluye hacia abajo hasta el recipiente (5) de fundición, donde se funde para producir metal (6) y escoria (7). El carbón (8) se inyecta en el baño mediante lanzas enfriadas por agua. Se inyecta oxígeno (9) en la región superior del recipiente de fundición, donde el gas derivado del baño se postcombusta para generar calor para el paso de fundición del baño. El gas (4) de escape de fundición es el producto de este paso de postcombustión y el grado de postcombustión resultante está en el rango de 30-60 % (dependiendo del tipo de carbón). Con carbones más volátiles (por ejemplo, 35 % de volátiles), el PC estará en el extremo inferior de este rango y con carbones menos volátiles (por ejemplo, 10 % de volátiles) estará más cerca del extremo superior. Este gas de fundición puede arrastrar consigo cantidades significativas de carbón, dependiendo también del tipo de carbón.

5 Se inyecta gas (10) adicional que contiene oxígeno, normalmente oxígeno de grado técnico, en la sección (16) de entrada del conducto de gas de escape, antes de que entre en la sección (11) enroscada del conducto.

En esta realización, se agrega gas (13) de reciclaje frío en la parte inferior de la sección (19) de flujo ascendente vertical de la campana a una tasa de volumen del 50-150 % del flujo (12) de gas de proceso principal (caliente). La cantidad de oxígeno (10) se calcula de manera que el gas de humos aguas abajo final resultante del proceso (14) contenga 0.5-9 % (en volumen) de oxígeno libre cuando se complete la combustión final, incluida la combustión de prácticamente todo el carbón.

15 Cuando el gas de escape (gas de humos) pasa hacia abajo por el lado de salida de la campana (14) de escape, la combustión está esencialmente completa y el gas se enfría progresivamente de manera que no hay materiales fundidos (a granel) presentes (normalmente por debajo de aproximadamente 1100-1200 °C).

20 Las superficies internas de las paredes laterales del recipiente (5) de fundición por encima de la chimenea revestida de refractario, las paredes del ciclón (2) de fundición y las paredes de la sección (11) enroscada están todas enfriadas con agua o con vapor o enfriadas de otra manera y tienen capas protectoras de escoria congelada autocurativas. Se necesita una extracción de calor continua para mantener estas capas de congelación y la cantidad de calor eliminada (por tonelada de metal producida en una operación normal) generalmente está en un rango de 1-3 GJ/t cuando el proceso funciona normalmente. Con tasas de producción bajas (por ejemplo, durante el arranque), la extracción de calor puede superar fácilmente los 3 GJ/t, pero a medida que la producción sube al rango normal, se estabiliza en el rango indicado.

La realización mostrada en la Figura 2 tiene las mismas ventajas que la realización de la Figura 1.

30 En resumen, la realización mostrada en la Figura 2 incluye (a) un gas de proceso que tiene un grado de postcombustión en un rango de 30-60 % y sólidos arrastrados que salen del recipiente de fundición y pasan al ciclón de fundición, (b) gas que contiene oxígeno que se agrega al ciclón de fundición para postcombustión adicional del gas de proceso y los sólidos combustibles, y (c) un gas de reciclaje frío que se agrega al conducto de gas de escape en o cerca del fondo de la sección de flujo ascendente vertical de la campana en una cantidad correspondiente al 50-150 % (en volumen en condiciones normales, 0 °C y 1 atmósfera absoluta) del flujo de gas de escape caliente en ese punto, (c) suficiente gas que contiene oxígeno total que se agrega en la sección de entrada de alta temperatura del conducto de gas de escape para la combustión completa de materiales combustibles en el gas de escape y el mantenimiento de una concentración final de oxígeno en el gas de escape en el rango 0.5-9 %, y (d) pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición está en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

40 Otra realización, aunque no la única, del proceso y aparato de Hlsarna de acuerdo con la invención es la misma que la descrita con referencia a la Figura 2, con la excepción de que el gas (13) de reciclaje frío se reemplaza con aire (13) frío en la parte inferior de la sección de flujo ascendente vertical de la campana (19) a una tasa de volumen del 50-150 % de la del flujo (12) de gas de proceso principal (caliente). La cantidad de oxígeno (10) y el oxígeno en el aire (13) frío se calcula de tal manera que el gas de humos aguas abajo final del proceso (14) contendrá 0.5-16 % (en volumen) de oxígeno libre cuando se complete la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón.

La realización tiene las mismas ventajas que las realizaciones de las Figuras 1 y 2.

50 En resumen, la realización incluye (a) (a) un gas de proceso que tiene un grado de postcombustión en un rango 30-60 % que sale del recipiente de fundición y pasa al ciclón de fundición, (b) agregar gas que contiene oxígeno al ciclón de fundición para postcombustión adicional del gas de proceso y (c) aire frío que se agrega al conducto de gas de escape, en o cerca del fondo de la sección de flujo ascendente vertical de la campana en una cantidad correspondiente al 50-150 % (en volumen en condiciones normales, 0 °C y 1 atmósfera absoluta) del flujo principal de gas de proceso caliente en ese punto (c) suficiente gas que contiene oxígeno total que se agrega en la sección de entrada de alta temperatura del conducto de gas de escape para una combustión completa y el mantenimiento de una concentración final de oxígeno en el gas de humos en el rango 0.5-16 %, y (d) la pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición está en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico.

Se pueden realizar muchas modificaciones a las realizaciones del proceso y del aparato de la presente invención descritas anteriormente sin alejarse del espíritu y alcance de la invención.

5 A modo de ejemplo, aunque las realizaciones incluyen representaciones particulares de la forma y el tamaño del recipiente (5) de fundición, el ciclón (2) de fundición y el conducto de gases de escape, incluyendo el equipo asociado, tal como las lanzas, la presente invención no se limita a estas disposiciones y se extiende a cualquier construcción adecuada.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para fundir un material de alimentación metalífero para formar un metal (6) fundido en un aparato de fundición, incluyendo el aparato (i) un recipiente (5) de fundición que está adaptado para contener un baño de metal (6) fundido y escoria (7) y (ii) un ciclón (2) de fundición que está colocado encima y se comunica con el recipiente (5) de fundición, y (iii) un conducto de gas de escape para transferir gas de proceso desde el ciclón de fundición fuera del ciclón de fundición y con el proceso incluyendo los pasos de:
- (i) reducir y fundir parcialmente un material de alimentación metalífero en el ciclón (2) de fundición y permitir que el material de alimentación metalífero parcialmente reducido y fundido fluya hacia abajo dentro del recipiente,
- (ii) suministrar un gas que contiene oxígeno y un material carbonoso al recipiente y fundir el material de alimentación metalífero parcialmente reducido fundido en un baño de metal (6) fundido y escoria (7) en el recipiente y formar metal (6) fundido que finalmente se descarga del recipiente y productos de reacción que incluyen sólidos y gases que se proyectan hacia arriba desde el baño fundido,
- (iii) quemar al menos parcialmente los materiales combustibles en los productos de reacción en un espacio del recipiente que esté por encima del baño fundido,
- (iv) suministrar gas que contenga oxígeno al ciclón (2) de fundición y quemar aún más los materiales combustibles en los productos de reacción en el ciclón (2) de fundición,
- (v) descargar un gas de escape del ciclón (2) de fundición, incluyendo el gas de escape los productos de reacción, y
- (vi) suministrar gas (10) que contiene oxígeno a una sección de alta temperatura del conducto de gases de escape y quemar los materiales combustibles restantes en el gas de escape en la sección aguas abajo del conducto de gases de escape en la dirección del movimiento del gas de escape a través del conducto, de modo que se queman los materiales combustibles en el gas de escape mientras el gas de escape está a al menos 1500 °C cuando el material de alimentación metalífero es un material de alimentación que contiene hierro para garantizar una ignición segura y evitar así la necesidad de cualquier tipo de dispositivo de incineración gestionado por quemador aguas abajo.
2. El proceso definido en la reivindicación 1 incluye operar el proceso de manera que pérdida total de calor a todos los elementos enfriados por agua u otros elementos de enfriamiento para el recipiente de fundición y el ciclón de fundición está en un rango de 1-3 GJ por tonelada de producto metálico producido en el proceso para mantener las capas de escoria congelada protectoras y autocurativas en las superficies internas de las secciones de alta temperatura del conducto de gases de escape para mantener la integridad estructural de esta sección del conducto de gases de escape.
3. El proceso definido en la reivindicación 1 o 2, en donde el paso (iii) incluye la combustión de materiales combustibles en los productos de reacción en el espacio del recipiente que está por encima del baño fundido hasta un grado de postcombustión del 30-60 %.
4. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso (vi) incluye suministrar gas que contiene oxígeno a la sección de alta temperatura del conducto de gases de escape y quemar los materiales combustibles restantes en el gas de escape en la sección aguas abajo del conducto de gases de escape de modo que haya combustión de los materiales combustibles en el gas de escape mientras el gas de escape esté a al menos 1600 °C, y más típicamente a al menos 1700 °C, cuando el material de alimentación metalífero es un material de alimentación que contiene hierro.
5. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el paso (vi) incluye suministrar gas (10) que contiene oxígeno a una sección (16) de entrada del conducto de gas de escape que se extiende hacia arriba, típicamente verticalmente, desde un techo del ciclón (2) de fundición.
6. El proceso definido en la reivindicación 5, en donde la cantidad de oxígeno se calcula de tal manera que un gas de humos aguas abajo final del conducto de gases de escape contiene 0.5-8 % en volumen de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de sustancialmente todo el carbón en el gas de escape.
7. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en donde, en una situación en donde el conducto de gases de escape incluye: una sección (16) de entrada que se extiende hacia arriba, típicamente verticalmente, desde un techo del ciclón (2) de fundición, una campana con (a) una sección (19) de flujo ascendente, (b) una curva (20), y (c) una sección (21) de flujo descendente; el paso (vi) incluye suministrar gas que contiene oxígeno a la sección (16) de entrada y un gas (13) de reciclaje frío en la parte inferior de la sección (19) de flujo ascendente.

8. El proceso definido en la reivindicación 7 en donde la tasa de volumen de gas (13) de reciclaje frío es 50-150 % del caudal de gas de escape en el conducto de gas de escape.
- 5 9. El proceso definido en la reivindicación 7 u 8, en donde la cantidad de oxígeno inyectado en la sección (16) de entrada se calcula de tal manera que un gas de humos aguas abajo final del conducto de gases de escape contiene 0.5-9 % en volumen de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón.
- 10 10. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en donde, en una situación en donde el conducto de gases de escape incluye: una sección (16) de entrada que se extiende hacia arriba, típicamente verticalmente, desde un techo del ciclón (2) de fundición, una campana con (a) una sección (19) de flujo ascendente, (b) una curva (20), y (c) una sección (21) de flujo descendente; el paso (vi) incluye suministrar gas que contiene oxígeno a la sección (16) de entrada y aire (13) frío en la parte inferior de la sección (19) de flujo ascendente.
- 15 11. El proceso definido en la reivindicación 9 en donde la tasa de volumen de aire (13) frío es 50-150 % del caudal de gas de escape en el conducto.
- 15 12. El proceso definido en la reivindicación 10 u 11, en donde la cantidad de oxígeno inyectado en la sección (16) de entrada y la cantidad de oxígeno en el aire (13) frío se calcula de tal manera que un gas de humos aguas abajo final de la campana de gases de escape contiene 0.5-16 % en volumen de oxígeno libre cuando se completa la combustión final, incluyendo la combustión de prácticamente todo el carbón.
- 20 13. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores incluye la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas de la sección de alta temperatura del conducto de gases de escape mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales de la sección.
- 25 14. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores incluye la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas del ciclón (2) de fundición mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o por vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales del ciclón (2) de fundición.
- 30 15. El proceso definido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores incluye la formación de capas de escoria congelada en las superficies internas del recipiente (5) de fundición mediante extracción de calor continua utilizando elementos enfriados por agua o vapor u otros elementos adecuados en las paredes laterales del recipiente (5) de fundición excluyendo la chimenea revestida de refractario.
- 35 16. Un aparato para fundir un material de alimentación metalífero para formar un metal (6) fundido que incluye (i) un recipiente (5) de fundición que está adaptado para contener un baño de metal (6) fundido y escoria (7) y (ii) un ciclón (2) de fundición que está colocado encima y se comunica con el recipiente (5) de fundición, (iii) un conducto de gas de escape para transferir el gas de escape desde el ciclón (2) de fundición lejos del ciclón (2) de fundición, y (iv) un medio para suministrar gas que contiene oxígeno (10) al conducto de gas de escape en una sección (16) de entrada que se extiende hacia arriba desde un techo del ciclón de fundición y que forma parte de la sección de alta temperatura del conducto de gas de escape para proporcionar, en uso, una combustión completa de los materiales combustibles restantes en el gas de escape mientras el gas de escape está caliente en el conducto de gas de escape.

40

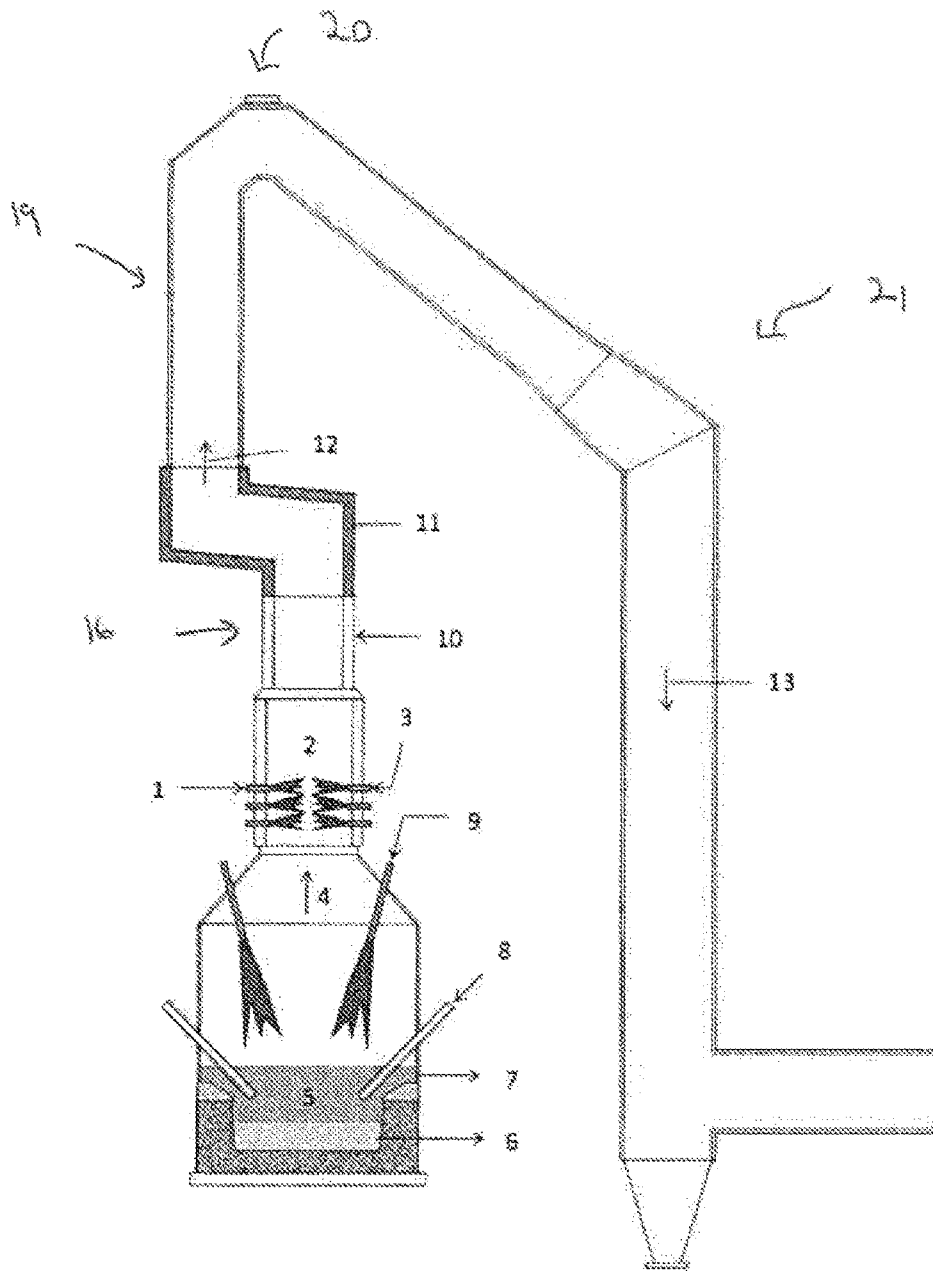


FIGURA 1

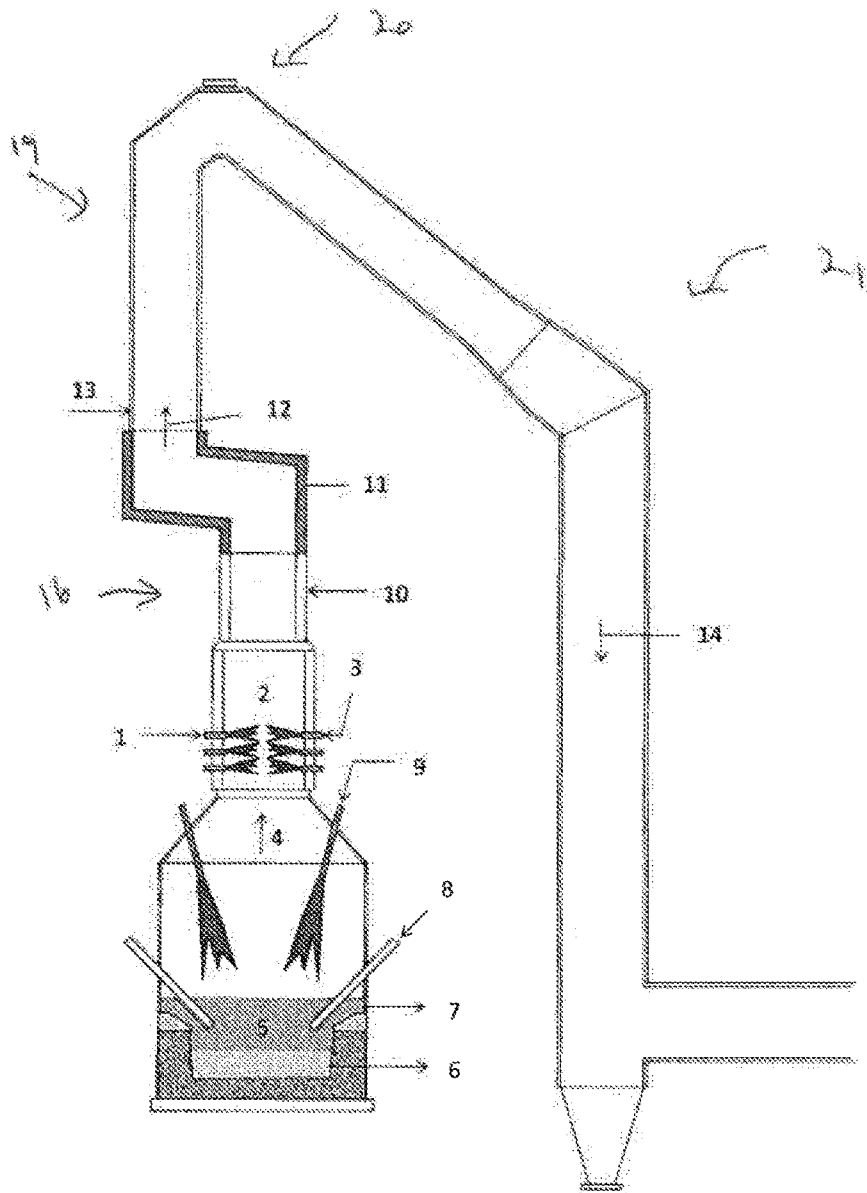


FIGURA 2