

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 774**

51 Int. Cl.:

C21B 13/14 (2006.01)

C21C 5/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2021** **PCT/EP2021/079977**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.05.2022** **WO22090390**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2021** **E 21799055 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024** **EP 4237587**

54 Título: **Producción de acero a partir de masa de hierro fundido**

30 Prioridad:

30.10.2020 EP 20204857

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

04.12.2024

73 Titular/es:

PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA GMBH
(100.0%)
Turmstraße 44
4031 Linz, AT

72 Inventor/es:

WURM, JOHANN;
MILLNER, ROBERT y
REIN, NORBERT

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 991 774 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

Producción de acero a partir de masa de hierro fundido

5 Campo de la técnica

La invención se refiere a un procedimiento para la producción de acero con producción de una masa de hierro fundido a partir de hierro esponja obtenido por reducción directa con gas reductor.

10 Estado de la técnica

La mayor parte de la producción actual de acero tiene lugar en la ruta del alto horno con acerías posteriores basadas en el procedimiento de soplado de oxígeno (LD/BOF). Este procedimiento permite procesar una amplia gama de minerales de hierro, ya que los componentes de la ganga pueden eliminarse en forma de escoria con escasas pérdidas de hierro en el alto horno, y producir acero bruto de alta calidad y de aplicación universal en la acería posterior.

Una proporción menor de la producción de acero se basa en la reducción directa utilizando gas reductor para formar hierro esponja, también conocido como hierro reducido directamente (DRI), con la subsiguiente producción de acero utilizando un horno de arco eléctrico (EAF). En comparación con la vía del alto horno, hay que utilizar materias primas de mayor calidad y con menor contenido de ganga para limitar las cantidades de escoria o las pérdidas de hierro y los costes de energía y materias primas que se producen en un horno de arco eléctrico convencional. Un horno de arco eléctrico convencional requiere también un alto grado de metalización del hierro esponja. Por motivos relacionados con el procedimiento, la calidad alcanzable del acero bruto también es inferior, y es necesario realizar un costoso postratamiento del acero bruto obtenido en el horno de arco eléctrico para conseguir calidades de acero comparables.

Para reducir las emisiones industriales de CO₂, es deseable una reducción de la cuota de la ruta del alto horno en la producción mundial de acero, ya que se basa en el uso de carbón o coque. Un aumento de la cuota de reducción directa en la producción mundial de acero suele ser una opción para compensar este hecho, ya que la producción también puede llevarse a cabo utilizando rutas con menores emisiones de CO₂, por ejemplo con gas natural o gas reductor a base de hidrógeno. Sin embargo, las desventajas asociadas a esta ruta en comparación con la ruta del alto horno limitan el potencial de desplazamiento de la producción de acero hacia la reducción directa. Los documentos de patente US 6 149 709 A, US 5 259 865 A, US 4 728 360 A y US 5 417 740 A también divulgan un procedimiento para producir acero a partir de hierro fundido.

Síntesis de la invención

40 Objeto técnico

Es tarea de la invención presentar métodos y aparatos con los que se puedan evitar las desventajas mencionadas o al menos reducir su alcance.

45 Solución técnica

Esta tarea se resuelve mediante un procedimiento para la producción de acero, tal como se describe en la reivindicación 1 adjunta.

El procedimiento comprende la reducción directa, que tiene lugar por medio de un gas reductor que consiste en al menos el 20 % en volumen de hidrógeno. Esto permite que la producción de acero se lleve a cabo con menos contaminación por CO₂ que si se utiliza la ruta del alto horno para reducir el material de partida que contiene óxido de hierro, o la reducción directa se lleva a cabo con un menor contenido de hidrógeno. La reducción directa tiene lugar sin la adición de carbono sólido o sustancias que contengan carbono sólido como agentes reductores.

La reducción directa tiene lugar en un reactor de reducción directa, que puede diseñarse como reactor de lecho fijo o reactor de lecho fluidizado, por ejemplo.

Cuanto mayor sea el contenido de hidrógeno en el gas reductor de la reducción directa, menor será el contenido de carbono en el hierro esponja.

Esto influye en el intervalo de temperatura del proceso de fusión durante el tratamiento. Esto también influye en la cantidad de emisiones que contienen carbono que se producen durante la producción de acero según el procedimiento, y puede influir en el contenido de carbono del acero producido.

El tratamiento del procedimiento según la invención es un proceso de baño, no de lecho fijo. Se utiliza para generar un producto similar a un arrabio líquido de alto horno sobre la base de hierro esponja procedente de un procedimiento de reducción directa. Este producto líquido debe tener un contenido de carbono comprendido entre el 1 y el 5 % en masa, incluidos los dos valores límite de este intervalo. El % en masa denota la fracción de masa.

Para ello, se suministra energía al hierro esponja y se añaden aditivos, lo que conduce a la formación de una masa fundida basada en el hierro y a la formación de una escoria basada en la ganga del mineral subyacente contenido en el hierro esponja. Los agregados son, por ejemplo, piedra caliza y/o dolomita, pudiendo ser ambas sin calcar o - preferentemente- calcinadas, cuarzo. La escoria tiene una alcalinidad B2 inferior a 1,3, preferentemente inferior a 1,25, con particular preferencia, inferior a 1,2. Una escoria de este tipo es similar a la escoria de un alto horno y puede utilizarse en consecuencia, por ejemplo, en la industria cementera. Cuanto más baja es la alcalinidad, menos escoria se produce, lo que también hace que el funcionamiento del procedimiento según la invención sea más favorable en términos de energía.

La alcalinidad B2 es la relación entre el óxido de calcio y el dióxido de silicio CaO/SiO_2 en porcentaje en masa.

Durante la producción del hierro fundido, el hierro esponja se somete a tratamiento.

El hierro esponja puede utilizarse como fuente de hierro en el hierro fundido en combinación con otros portadores de hierro -como chatarra o arrabio- o puede utilizarse únicamente hierro esponja como fuente de hierro en el hierro fundido.

El contenido de carbono de la masa fundida se ajusta al nivel deseado - la masa fundida de hierro resultante del procedimiento debe tener un contenido de carbono del 1 - 5 % en masa, y el ajuste se lleva a cabo en consecuencia; por ejemplo, añadiendo portadores de carbono a la masa fundida y/o añadiendo medios para reducir el contenido de carbono en la masa fundida, como oxígeno.

El tratamiento también incluye la reducción de al menos parte de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja a hierro metálico, de modo que la cantidad de hierro metálico en la masa fundida sea mayor que en el hierro esponja en el que se basa; esto tiene lugar durante y/o después del suministro de energía.

La energía se suministra esencialmente mediante electricidad. Esencialmente debe entenderse como al menos más del 50 % de la energía suministrada, preferentemente más del 65 % de la energía suministrada, con particular preferencia, más del 80 % de la energía suministrada.

Especialmente con una proporción creciente de electricidad procedente de fuentes de energía renovables, se mejora el balance de CO_2 del procedimiento o de un acero producido sobre la base del producto líquido similar al arrabio.

En la ruta del alto horno, cualquier escoria producida se separa del arrabio, por ejemplo golpeando el arrabio y la escoria y separándolos por gravedad debido a su insolubilidad mutua y diferente densidad. De acuerdo con una reivindicación, la escoria se separa durante y/o después del tratamiento. La masa fundida se obtiene como un producto líquido, similar al arrabio, con un contenido de carbono del 1 % en masa al 5 % en masa. La escoria se elimina, por ejemplo, por volteo. Mediante la separación de la escoria, que se basa en la ganga contenida en el hierro esponja y los aditivos, se elimina la ganga contenida en el material de partida que contiene óxido de hierro.

El hierro fundido producido según la invención con un contenido de carbono del 1,0 % en masa - 5 % en masa consiste predominantemente en hierro - es un producto líquido similar al arrabio; el término producto líquido similar al arrabio se utiliza en esta aplicación como sinónimo del término hierro fundido para el hierro fundido producido según la invención. El producto líquido similar al arrabio con un contenido de carbono del 1,0 % en masa - 5 % en masa es «similar» al arrabio de alto horno desde la perspectiva de un procedimiento de producción de acero - por ejemplo LD/BOF -, es decir, puede procesarse en gran medida de la misma manera que el arrabio de alto horno, es decir, siguiendo la ruta de alto horno de producción de acero con la excepción del alto horno. Cuanto mayor sea el contenido de carbono, más chatarra de enfriamiento podrá utilizarse en la posterior transformación en acero; una mayor cantidad de chatarra de enfriamiento reduce las emisiones de CO_2 por unidad de cantidad de acero producido a partir de un producto similar al arrabio líquido fabricado según la invención.

Preferentemente, el contenido de carbono del producto similar al arrabio líquido es de al menos 1,25 % en masa, especialmente preferentemente de al menos 1,5 % en masa. Preferentemente, el contenido de carbono del producto similar al arrabio líquido es de hasta el 4 % en masa, más preferentemente de hasta el 3,5 % en masa, más preferentemente de hasta el 3 % en masa.

Al llevar a cabo el procedimiento según la invención, puede ser ventajoso cargar el hierro esponja en un recipiente en el que una pequeña cantidad de hierro fundido ya está presente como un sumidero; este sumidero puede, por ejemplo, ser retenido en el recipiente cuando el recipiente se vacía después de un uso anterior del proceso según la invención, pero también puede provenir de otra fuente, por ejemplo, arrabio procedente, por ejemplo, de un alto horno.

Efectos ventajosos de la invención

La invención abre la posibilidad de producir acero industrialmente de forma eficiente y económica a partir de hierro esponja sin utilizar una planta EAF convencional. Pueden utilizarse las rutas de producción de acero conocidas para el arrabio.

Las operaciones convencionales de EAF para la producción de acero se operan en condiciones oxidantes para reducir el carbono a alta temperatura y alta alcalinidad. Es necesario un alto grado de metalización y una baja proporción de ganga en el arrabio para mantener al mínimo las pérdidas de hierro debidas a los óxidos de hierro en la escoria. Por lo tanto, es necesario utilizar soportes de hierro de alta calidad para producir el hierro esponja que se introducirá en el horno de arco eléctrico convencional: alta calidad significa que hay poca ganga en los soportes de hierro; cuanto menos ganga introduzca el hierro esponja en el horno de arco eléctrico EAF, menor será la cantidad de escoria en el EAF. Cuanto menor sea la cantidad de escoria, menos hierro se perderá en forma de óxido de hierro en la escoria. Cuanto mayor es el grado de metalización, menos óxidos de hierro contiene el hierro esponja, por lo que el riesgo de pérdida de óxidos de hierro a través de la escoria se reduce en consecuencia.

El carbono está presente en la secuencia del procedimiento según la invención; por lo tanto, al menos parte de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja pueden reducirse mediante carbono, razón por la cual el hierro esponja utilizado también puede utilizarse con una metalización más baja en comparación con el funcionamiento convencional del EAF. Debido a la reducción del óxido de hierro, las pérdidas de hierro a través del contenido de óxido de hierro en la escoria son menores en comparación con el procesamiento del hierro esponja en un EAF convencional.

La presencia de carbono en la masa fundida también reduce el intervalo de temperatura del proceso de fusión, es decir, el intervalo de temperatura en el que el producto similar al arrabio pasa del estado sólido al líquido, razón por la cual se requiere menos energía para la licuefacción. Esto significa que se requiere comparativamente menos energía para la producción de acero a partir de hierro esponjoso utilizando el procedimiento según la invención que para el funcionamiento convencional del EAF.

Para producir un producto similar al arrabio, no es necesario ajustar la alcalinidad de la escoria a un nivel tan alto como en el funcionamiento convencional del horno de arco eléctrico, ya que, a diferencia del funcionamiento convencional del horno de arco eléctrico, el procedimiento no se centra en la producción de acero. Por consiguiente, cuando se produce acero a partir de hierro esponjoso mediante el procedimiento según la invención, también se produce menos escoria que en el funcionamiento convencional con horno de arco eléctrico, o bien el hierro esponjoso puede procesarse con una mayor proporción de ganga a partir de materias primas de baja calidad con una cantidad de escoria comparable a la del funcionamiento convencional con horno de arco eléctrico. El hecho de que el proceso según la invención se lleve a cabo con una menor alcalinidad de la escoria y, por lo tanto, con una menor cantidad de aditivos, contribuye a la menor cantidad de escoria en comparación con la ruta del EAF convencional, ya que la atención se centra más en la eliminación de la ganga que en el aumento de la calidad del acero en comparación con la ruta del EAF. Una menor cantidad de escoria también significa que se necesita menos energía para calentar o fundir, ya que hay que calentar menos material. Preferentemente, el procedimiento según la invención se opera con una alcalinidad B2 inferior a 1,3, con particular preferencia, con una alcalinidad B2 inferior a 1,25, muy con particular preferencia, con una alcalinidad B2 inferior a 1,2.

Mediante el procedimiento según la invención se puede procesar una amplia gama de minerales de hierro, ya que los componentes de ganga en forma de escoria con bajas pérdidas de hierro ya se eliminan durante la producción del producto líquido similar al arrabio con un contenido de carbono del 1,0 % - 5 %. Esto significa que la escoria que ya se ha eliminado no contamina las fases de la producción de acero en las que se procesa el producto líquido similar al arrabio. Por el contrario, una planta de arrabio convencional que procesa hierro esponjoso está cargada con cantidades significativamente mayores de escoria.

Dado que el producto líquido similar al arrabio con un contenido de carbono del 1,0 % en masa - 5 % en masa puede procesarse desde la perspectiva de un procedimiento de producción de acero -por ejemplo LD/BOF- en gran medida del mismo modo que el arrabio procedente de un alto horno, puede producirse acero con las cualidades correspondientes y posibilidades de aplicación universales; de este modo pueden superarse las restricciones a este respecto debidas al uso de una ruta de EAF convencional o puede prescindirse del costoso postratamiento.

De acuerdo con una forma de realización preferida del procedimiento, la reducción directa se lleva a cabo utilizando un gas reductor compuesto por más de un 45 % de hidrógeno H₂ en volumen.

Cuanto mayor sea la proporción de hidrógeno, menor será la huella de carbono del procedimiento según la invención o de un acero producido a partir del producto líquido similar al arrabio.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la reducción directa tiene lugar en un reactor de reducción directa y el tratamiento tiene lugar en un reactor de tratamiento, en donde el reactor de reducción directa y el reactor de tratamiento están separados espacialmente entre sí. El hierro esponjoso puede transportarse del reactor de reducción directa al reactor de tratamiento mediante un dispositivo de transporte.

También es posible disponer el reactor de reducción directa y el reactor de tratamiento en un dispositivo común, es decir, no separados espacialmente entre sí y directamente adyacentes.

De acuerdo con la invención, la energía se suministra a través de un arco eléctrico.

De acuerdo con la invención, la energía se suministra mediante calentamiento por resistencia eléctrica. Esto puede implicar, por ejemplo, la realización de electrólisis.

5 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la energía se suministra a través de un plasma de hidrógeno generado mediante electricidad.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la energía se suministra en parte introduciendo oxígeno para gasificar el carbono suministrado a la masa fundida en estado sólido o líquido o el carbono disuelto en la masa fundida. En la práctica, esto se hace utilizando quemadores o lanzas, por ejemplo.

10 Preferentemente se introduce oxígeno que sea al menos técnicamente puro.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el contenido de carbono en la masa fundida se ajusta mediante portadores de carbono añadidos.

15 Estos pueden ser portadores de carbono sólido y/o portadores de carbono líquido y/o portadores de carbono gaseoso. Los portadores de carbono pueden incluir, por ejemplo, polvo de carbón, brisa de coque, polvo de grafito o gas natural. Los portadores de carbono también pueden proceder parcial o totalmente de fuentes neutras en carbono, por ejemplo de biomasa como el carbón vegetal; esto mejora la huella de carbono del procedimiento. Los portadores de carbono pueden, por ejemplo, introducirse a través de lanzas o boquillas bajo el baño.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el contenido de carbono en la masa fundida se ajusta mediante la adición de oxígeno. Si el contenido de carbono está por encima del valor deseado para el hierro fundido, el contenido de carbono puede reducirse oxidativamente añadiendo oxígeno; por ejemplo, el carbono en la masa fundida puede reaccionar para formar CO y escapar de la masa fundida en forma gaseosa.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la reducción de al menos parte de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja tiene lugar mediante portadores de carbono añadidos.

30 Estos pueden ser portadores de carbono sólido y/o portadores de carbono líquido y/o portadores de carbono gaseoso. Los portadores de carbono pueden incluir, por ejemplo, polvo de carbón, brisa de coque, polvo de grafito o gas natural. Los portadores de carbono también pueden proceder parcial o totalmente de fuentes neutras en carbono, por ejemplo de biomasa como el carbón vegetal; esto mejora la huella de carbono del proceso.

35 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la reducción de al menos una parte de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja tiene lugar mediante carbono contenido en el hierro esponja.

El carbono puede estar presente en el hierro esponja, por ejemplo, ligado y/o disuelto en forma de cementita (Fe_3C) y/o como carbono elemental.

40 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, la reducción de al menos una cantidad parcial de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja tiene lugar al menos parcialmente mediante una corriente eléctrica.

Esto puede tener lugar, por ejemplo, mediante electrólisis o mediante plasma de hidrógeno.

45 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el tratamiento consiste en reducir el intervalo de fusión mediante la adición de portadores de carbono sólido y/o portadores de carbono líquido y/o portadores de carbono gaseoso. Se trata, por ejemplo, de polvo de carbón, brisa de coque, polvo de grafito y gas natural. Los portadores de carbono también pueden proceder parcial o totalmente de fuentes neutras en carbono, por ejemplo de biomasa como el carbón vegetal; esto mejora la huella de carbono del procedimiento. La reducción debe entenderse en comparación con el punto de fusión del hierro. Preferentemente, el procedimiento según la invención se opera por debajo de una temperatura de 1550 °C, preferentemente por debajo de una temperatura de 1500 °C, con particular preferencia, por debajo de una temperatura de 1450 °C.

55 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el procedimiento LD/BOF se utiliza en la producción de acero. Preferentemente, se realiza con una aportación de chatarra de al menos un 10 % en masa, preferentemente de al menos un 15 % en masa, de particular preferencia, de al menos un 20 % en masa.

60 Otro objeto de la presente solicitud es un dispositivo de procesamiento de señales con un código de programa legible por máquina que tiene órdenes de control para llevar a cabo un procedimiento según la invención. Otro objeto de la presente solicitud es un código de programa legible por máquina para dicho dispositivo de procesamiento de señales, en donde el código de programa comprende instrucciones de control que hacen que el dispositivo de procesamiento de señales lleve a cabo un procedimiento según la invención. Otro objeto del procedimiento según la invención es un medio de almacenamiento con un código de programa legible por máquina de este tipo almacenado en el mismo.

65 Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará ahora con más detalle haciendo referencia a ejemplos de realización. El dibujo es ejemplar y pretende ilustrar la idea de la invención, pero de ninguna manera restringirla o incluso representarla de manera concluyente. Allí:

5 Fig. 1 muestra una representación esquemática de una secuencia de procedimiento según la invención.

Breve descripción de las formas de realización

Ejemplos

10 La Figura 1 muestra esquemáticamente la secuencia de procedimiento para producir un hierro fundido según la invención. El hierro esponja 10 se produce a partir de un material de partida 11 que contiene óxido de hierro mediante reducción directa en un reactor de reducción directa 12 con gas reductor 13. Al menos el 20 % en volumen del gas reductor 13 consiste en hidrógeno H₂. El hierro esponja 10 se alimenta a un reactor de tratamiento 20. En el reactor de tratamiento 20, se somete a tratamiento.

El tratamiento comprende el suministro de energía, que se muestra mediante la flecha 30. El suministro de energía procede esencialmente de la electricidad.

20 El tratamiento incluye la adición de aditivos 40.

El tratamiento produce una masa fundida 50 y una escoria 60. La escoria tiene una alcalinidad B2 inferior a 1,3.

25 El tratamiento incluye el ajuste del contenido de carbono en la masa fundida 50; por ejemplo, mediante la adición de portadores de carbono 70.

El tratamiento comprende la reducción de al menos una parte de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja 10.

30 Durante y/o después del tratamiento, se separa la escoria 60, que no se muestra por separado. La masa fundida 50 es el hierro fundido deseado con un contenido de carbono de 1 - 5 % en masa. Puede, por ejemplo, como se muestra mediante una flecha discontinua, alimentarse a un convertidor 80 para la producción de acero mediante el procedimiento LD con una lanza de soplado 90.

35 El hierro esponja 10 se obtiene a partir de material de partida que contiene óxido de hierro mediante reducción directa con gas reductor; el gas reductor puede, por ejemplo, consistir en al menos un 20 % en volumen de hidrógeno H₂.

40 La reducción directa tiene lugar en un reactor de reducción directa y el tratamiento en un reactor de tratamiento 20. El reactor de reducción directa y el reactor de tratamiento 20 pueden estar separados espacialmente entre sí, por lo que el hierro esponjoso puede transportarse del reactor de reducción directa al reactor de tratamiento mediante un dispositivo de transporte.

45 También es posible que el reactor de reducción directa y el reactor de tratamiento 20 estén dispuestos en un dispositivo común, es decir, no separados espacialmente entre sí directamente adyacentes.

Listado de signos de referencia

10 Esponja de hierro
50 11 Material de partida que contiene óxido de hierro
12 Reactor de reducción directa
13 Gas de reducción
20 Reactor de tratamiento
30 Suministro de energía
55 40 Áridos
50 Masa fundida
60 Escoria
70 Portador de carbono
80 Convertidor
60 90 Lanza de soplado

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción de acero, que comprende
 - producción de hierro esponja (10) a partir de material de partida (11) que contiene óxido de hierro mediante reducción directa con gas reductor (13), en donde el gas reductor (13) está formado por al menos un 20 % en volumen de hidrógeno H₂,
así como
 - producción de una masa de hierro fundido con un contenido de carbono del 1 - 5 % en masa, en donde al menos una cantidad parcial del hierro esponja (10) producido a partir de material de partida (11) que contiene óxido de hierro mediante reducción directa con gas reductor (13) se somete a un tratamiento, en donde el tratamiento comprende:
 - el suministro de energía y la adición de áridos para producir una masa fundida (50) y una escoria (60), en donde el suministro de energía es esencialmente eléctrico y el suministro de energía eléctrica se realiza mediante un arco eléctrico y mediante calentamiento por resistencia eléctrica,
 - y en donde la escoria (60) presenta una alcalinidad B₂, que denota la relación entre el óxido de calcio y el dióxido de silicio CaO/SiO₂ en porcentaje en masa, inferior a 1,3, preferentemente inferior a 1,25, con particular preferencia, inferior a 1,2,
 - ajuste del contenido de carbono en la masa fundida (50),
 - reducción de al menos una cantidad parcial de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja (10), y en donde la escoria (60) se separa durante y/o después del tratamiento, y
 - uso de la masa de hierro fundido para la producción de acero.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la reducción directa se efectúa mediante un gas reductor (13) constituido en más de un 45 % en volumen por hidrógeno H₂.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la reducción directa tiene lugar en un reactor de reducción directa (12), el tratamiento tiene lugar en un reactor de tratamiento (20), y el reactor de reducción directa (12) y el reactor de tratamiento (20) están espacialmente separados entre sí.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el suministro de energía tiene lugar a través de un plasma de hidrógeno generado mediante electricidad.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el suministro de energía se realiza en parte mediante la introducción de oxígeno para la gasificación de carbono suministrado a la masa fundida (50) en estado sólido o líquido o carbono disuelto en la masa fundida.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el contenido de carbono en la masa fundida (50) se ajusta mediante portadores de carbono (70) suministrados.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el contenido de carbono en la masa fundida (50) se ajusta mediante oxígeno añadido.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la reducción de al menos una cantidad parcial de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja (10) se realiza mediante portadores de carbono (70) suministrados.
9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la reducción de al menos una cantidad parcial de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja (10) se realiza mediante carbono contenido en el hierro esponja (10).
10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la reducción de al menos una cantidad parcial de los óxidos de hierro contenidos en el hierro esponja (10) se realiza al menos parcialmente mediante corriente eléctrica.
11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque durante el tratamiento se reduce el intervalo de fusión mediante portadores de carbono sólido (70) y/o portadores de carbono líquido (70) y/o portadores de carbono gaseoso (70) suministrados.
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el procedimiento LD/BOF se utiliza en la producción de acero.

Fig. 1

