

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 028 805**

51 Int. Cl.:

C21B 5/06 (2006.01)

C21B 13/12 (2006.01)

C21B 13/00 (2006.01)

C21C 5/52 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2022** **PCT/EP2022/060404**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2022** **WO22223606**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2022** **E 22723653 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2025** **EP 4326911**

54 Título: **Procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico, un horno de arco eléctrico y una acería**

30 Prioridad:

20.04.2021 LU 500065

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

20.06.2025

73 Titular/es:

**PAUL WURTH S.A. (100.00%)
32, rue d'Alsace
1122 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**KRULL, JAN y
PAPALIA, KATIA**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 3 028 805 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico, un horno de arco eléctrico y una acería

Campo técnico

5 La invención se refiere a un procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico, un horno de arco eléctrico y una acería.

Antecedentes de la invención

10 Las acerías modernas, respectivamente las instalaciones de producción de acero y metal, se ven obligadas a reducir las emisiones de dióxido de carbono. Por este motivo, las siderúrgicas sustituyen los combustibles fósiles utilizados en las instalaciones de producción por la llamada energía eléctrica "verde" o combustibles "renovables". En este contexto, el hidrógeno se utiliza como combustible y, por lo tanto, se considera un factor clave para reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, la producción, el transporte y el almacenamiento de grandes cantidades de hidrógeno representan un desafío técnico considerable y están asociados con costes elevados. Por esta razón, el estado de la técnica a menudo se enfoca en aspectos económicos de la producción de hidrógeno o en procedimientos para sustituir combustibles fósiles por hidrógeno en la producción.

15 Los principales procesos consolidados de producción de hidrógeno son el reformado con vapor (de gas natural) y la electrólisis. El reformado con vapor de gas natural se considera actualmente la fuente más común y económica de hidrógeno industrial. El gas natural (metano) se calienta hasta 700-1100 °C en presencia de vapor y un catalizador de níquel. Las moléculas de metano se rompen, de modo que se forman monóxido de carbono e hidrógeno. El gas monóxido de carbono pasa con vapor sobre óxido de hierro u otros óxidos y, debido a la llamada reacción de desplazamiento de agua y gas, se puede obtener hidrógeno adicional. El hidrógeno producido de esta manera es económicamente atractivo, pero aún requiere combustibles fósiles. A fin de evitar por completo las emisiones de CO₂ durante la producción de hidrógeno, el CO₂ debe capturarse y almacenarse. En la electrólisis, el hidrógeno se produce mediante unidades compuestas por varias celdas eléctricas, cada una de las cuales tiene un ánodo y un cátodo sumergidos en una solución electrolítica y conectados a una fuente de energía.

25 Sin embargo, ambos procedimientos, reformado con vapor y electrólisis, son bastante costosos y requieren cantidades considerables de energía, así como una infraestructura extensa y segura para el transporte y almacenamiento del hidrógeno. Si uno de estos procedimientos se utiliza en un entorno industrial, las instalaciones de producción correspondientes suelen estar completamente separadas de las zonas de alta temperatura, principalmente por motivos de seguridad. Esto tiene el considerable inconveniente de que en dichos sitios se pueden utilizar recursos valiosos, como por ejemplo espacio y energía, de forma ineficaz.

Los documentos EP O 997 693 A2, WO 2013/045654 A1 y WO 2015/064870 A1 divulgan procedimientos para producir hidrógeno a partir de diferentes fuentes para su uso en un reactor de reducción directa.

35 En la técnica anterior, existen hornos eléctricos, tales como hornos de arco eléctrico (EAF), que se utilizan para producir acero a partir de una mezcla de carga hecha típicamente de chatarra y metal caliente, en los que el EAF realiza principalmente un proceso de fusión. El documento GB 2 553 342 A describe un procedimiento de producción de acero utilizando hidrógeno inyectado en un horno de arco eléctrico para reducir el nivel de nitrógeno en la masa fundida. Si la mezcla de carga contiene óxidos de hierro, el EAF también puede realizar la reducción de estos óxidos de hierro.

40 Sin embargo, tal reducción sólo puede realizarse en una cantidad limitada, debido a limitaciones del proceso. Un EAF de este tipo usualmente requiere una mezcla de carga con un alto grado de metalización. Por esta razón, si se incluyen óxidos de hierro en la alimentación de entrada del EAF, generalmente provienen de hierro de reducción directa (DRI) con un grado de metalización superior al 88%, producido mediante un proceso previo de reducción directa basado en gas. Un EAF de este tipo se denomina "tipo calentamiento directo", ya que genera un calor altamente concentrado, liberado por el arco eléctrico formado entre los electrodos y el material fundido.

45 Para reducir y fundir óxidos metálicos se ha desarrollado otro tipo de hornos eléctricos, los denominados hornos de arco sumergido (SAF). Estos SAF son capaces de realizar un proceso completo de reducción a partir de minerales de metales como Níquel, Cromo, Cobre o Hierro. En el SAF, los electrodos se sumergen en la parte superior del material fundido, respectivamente la escoria o el baño fundido, aprovechando un principio de calentamiento basado en el efecto Joule de la corriente eléctrica desarrollada por los electrodos dentro de una escoria con alta resistencia eléctrica. Generalmente, los parámetros del proceso en el SAF son diferentes a los del EAF mencionado anteriormente. El SAF permite un proceso completo de reducción a partir de minerales de hierro u otros metales.

El proceso de reducción en el EAF y el SAF se realiza utilizando carbono, generalmente en forma de coque o antracita, como agente reductor, que puede inyectarse a través de lanzas adecuadas o cargarse desde un sistema de carga superior.

En los casos en los que se incluyen gránulos de hierro prerreducidos, hierro de reducción directa (DRI) o briquetas de hierro en caliente (HBI) en los materiales a fundir, parte del carbono requerido para el proceso de reducción ya está incluido en el DRI o gránulos de HBI. De este modo, la reacción de reducción en el EAF se lleva a cabo tanto por el carbono inyectado como por el carbono presente en el hierro directamente reducido.

- 5 El carbono no sólo actúa como agente reductor en el EAF, así como en el SAF, sino que también es necesario para mantener las condiciones adecuadas del proceso en términos de cinética de reacciones, balance energético general, coeficiente de transferencia de calor y rendimientos del proceso.

Por lo tanto, tales hornos tienen el inconveniente de que durante su operación se liberan cantidades relativamente grandes de dióxido de carbono.

10 Objeto de la invención

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico dentro de una acería, en el que las cantidades de dióxido de carbono emitido se reduzcan significativamente.

Este objetivo se logra mediante la materia objeto de las reivindicaciones independientes.

Descripción general de la invención

- 15 La presente invención propone un procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico, comprendiendo el procedimiento: capturar, de al menos una instalación de una acería, un gas metalúrgico calentado que comprende agua y monóxido de carbono. El gas metalúrgico se conduce a un reactor mediante una línea de suministro del reactor. El procedimiento además comprende transformar el monóxido de carbono y el agua comprendidos en dicho gas metalúrgico en hidrógeno y dióxido de carbono de acuerdo con una reacción de desplazamiento de agua-gas mediante
20 un tratamiento de dicho gas metalúrgico dentro de dicho reactor, y posteriormente separar dicho hidrógeno mediante un dispositivo de separación. El procedimiento además comprende proporcionar un material portador de hierro, que comprende hierro principalmente en forma de óxido de hierro, al horno de arco eléctrico; fundir al menos parcialmente el material portador de hierro para obtener un baño fundido; conducir dicho hidrógeno a través de una línea de suministro del horno al horno de arco eléctrico que está dispuesto aguas abajo de la línea de suministro del horno; e
25 inyectar dicho hidrógeno en el baño fundido en dicho horno de arco eléctrico por medio de una pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno, de modo que dicho hidrógeno actúe como un agente reductor para reducir el óxido de hierro en el baño fundido durante una operación de fundición del horno de arco eléctrico.

- El presente procedimiento se basa en el descubrimiento de que el hidrógeno se puede producir y utilizar de una manera más sostenible y respetuosa con el medio ambiente en una acería y que se puede utilizar ventajosamente
30 como agente reductor en un horno de arco eléctrico operado como una fundición eléctrica. Se ha descubierto que el hidrógeno (H_2) puede separarse de una pluralidad de gases metalúrgicos emitidos desde diferentes instalaciones *in situ*, respectivamente instalaciones, de una acería. Por ejemplo, se puede obtener/producir hidrógeno inyectando vapor en un gas rico en CO, como el gas de alto horno, aprovechando la reacción de desplazamiento de agua y gas.

- "Gases metalúrgicos" puede referirse generalmente a cualquier gas emitido desde una instalación metalúrgica, tal como, por ejemplo, un (alto) horno, estufas, baterías de coque o instalaciones similares. Los gases metalúrgicos forman la base del llamado gas de síntesis, respectivamente gas sintético, una mezcla de gases combustibles compuesta principalmente de hidrógeno, monóxido de carbono y, muy a menudo, algo de dióxido de carbono.

- En particular, el presente procedimiento pretende explotar la disponibilidad de gas de síntesis que comprende hidrógeno y/o monóxido de carbono en una acería, en la que dicho monóxido de carbono se utiliza para una separación
40 de hidrógeno mediante vapor. El gas de síntesis se puede obtener a partir de gas metalúrgico de acuerdo con las técnicas conocidas, por ejemplo, realizando una reacción de Boudouard y/o una reacción de desplazamiento de agua y gas. Alternativamente, el hidrógeno también puede producirse mediante otros procesos, como por ejemplo reformado de gas natural, reformado de biomasa, reformado con vapor. Un ejemplo de gas metalúrgico puede ser el gas de alto horno. El gas de alto horno comprende o consiste en aproximadamente 20 a 30% en volumen de CO_2 ,
45 aproximadamente 35 a 50% en volumen de N_2 y aproximadamente 20 a 30% en volumen de CO, y H_2 alrededor del 5%. Otro ejemplo de gas metalúrgico es el llamado "gas convertidor". El gas convertidor comprende o consiste en aproximadamente 60 a 70% de CO, aproximadamente 10 a 20% de CO_2 , aproximadamente 0-5% de H_2 y aproximadamente 5 a 15% de N_2 . Otro ejemplo de gas metalúrgico es el "gas de horno de coque". El gas de horno de coque comprende o consiste en aproximadamente 5 a 10% de CO, aproximadamente 50 a 55% de H_2 ,
50 aproximadamente 20% de CH_4 y/u otros hidrocarburos, aproximadamente 10% de N_2 o menos, así como pequeñas cantidades de CO_2 . Cabe señalar que esta composición, así como los porcentajes ejemplares, pueden cambiar significativamente dependiendo de las condiciones del proceso. Los gases metalúrgicos se pueden mezclar con vapor para calentarlos y/o añadir agua.

- El gas metalúrgico se puede tratar mediante procedimientos comúnmente conocidos para separar el hidrógeno de
55 otros compuestos. Por ejemplo, la reacción de desplazamiento de agua y gas (WGS) y/o los procedimientos de eliminación de dióxido de carbono se pueden usar para convertir el monóxido de carbono (CO), que forma parte de dichos gases metalúrgicos, en dióxido de carbono. Luego, el dióxido de carbono se separa fácilmente (más fácilmente

que el monóxido de carbono) de los gases metalúrgicos, de modo que dicho gas metalúrgico restante comprende una gran cantidad de hidrógeno, respectivamente una concentración particularmente alta de hidrógeno.

Se ha descubierto además que recuperar gas hidrógeno separándolo de los gases emitidos por procesos e instalaciones ya presentes permite proporcionar, mantener y operar un horno de arco eléctrico de una manera particularmente económica y respetuosa con el medio ambiente.

El presente procedimiento se basa además en el hallazgo de que dicho hidrógeno puede dirigirse a un horno de arco eléctrico (EAF), en el que dicho hidrógeno se inyecta en el baño fundido, respectivamente la escoria, operando de este modo el horno de arco eléctrico como una fundidora eléctrica. Durante tal operación del EAF, dicho hidrógeno se utiliza como agente reductor en lugar de carbono durante la producción de acero a partir de materiales portadores de hierro principalmente en forma de óxido de hierro. Como resultado, la cantidad de dióxido de carbono emitida por dicho EAF, así como por las instalaciones metalúrgicas puede reducirse significativamente. "Principalmente" en este contexto significa que más del 50% en peso, preferentemente al menos el 60% en peso, tal como al menos el 70%, al menos el 80% o incluso más del 85% en peso del material portador de hierro está en la forma de óxido de hierro.

"Horno de arco eléctrico" generalmente se refiere a un horno industrial configurado para procesos de fundición mediante uno(s) arco(s) eléctrico(s). Los arcos eléctricos dentro del horno de arco eléctrico se generan entre los electrodos o entre los electrodos y el material fundido, respectivamente el baño de metal o la escoria. El horno de arco eléctrico puede estar configurado para operar y mantener las condiciones de proceso requeridas para un proceso de reducción, utilizando hidrógeno. Las condiciones del proceso pueden caracterizarse por parámetros tales como presión, temperatura, cinética, coeficiente de transferencia de calor o parámetros similares. Un horno de arco eléctrico puede ser accionado con corriente continua o corriente alterna.

"Instalación" generalmente se refiere a cualquier dispositivo industrial o conjunto de aparatos que se construyen, instalan o establecen para cumplir un propósito particular. Por ejemplo, una instalación puede comprender o consistir en un alto horno, una batería de hornos de coque o una estufa caliente.

"Acerería", respectivamente "planta siderúrgica", generalmente se refiere a una instalación industrial en la que se fabrica hierro y acero y/o metales.

"Reactor" generalmente se refiere a un dispositivo utilizado como recipiente/cuba/receptáculo para una reacción química. Un reactor también puede comprender una pluralidad de cubas que están separadas entre sí, por ejemplo, por un filtro (semi-)permeable o un catalizador. Por ejemplo, el reactor puede estar configurado para transformar el monóxido de carbono y el agua contenidos en el gas metalúrgico en hidrógeno y dióxido de carbono.

Por "línea de suministro del horno" generalmente se refiere a un gasoducto que conduce un gas, en particular hidrógeno, a un horno, como por ejemplo un horno de arco eléctrico.

"Agente reductor" generalmente se refiere a una sustancia que reduce un compuesto químico mediante la donación de electrones. Según los hornos de arco eléctrico de la técnica anterior, la inyección de carbono permitía reducir el óxido de hierro en la escoria. Además, por ejemplo, el monóxido de carbono, que también está presente en la masa fundida, la escoria o el baño dentro del EAF, también puede actuar como agente reductor sobre el óxido de hierro. La reacción de reducción dentro del EAF puede basarse tanto en hidrógeno como en energía eléctrica. Por consiguiente, el hidrógeno puede sustituir total o al menos parcialmente al carbono como agente reductor, preferentemente hasta al menos un 25% en moles, ventajosamente hasta al menos un 50%, preferentemente hasta al menos un 60%, tal como al menos un 70%, hasta al menos un 50%, preferentemente hasta al menos un 60%, tal como hasta al menos un 70%, hasta al menos un 80% o incluso hasta casi un 100% en moles. En otras palabras, el carbono utilizado actualmente en los hornos de arco eléctrico de última generación como agente reductor puede ser sustituido parcial o totalmente por hidrógeno. Las emisiones de dióxido de carbono pueden evitarse por completo o al menos reducirse significativamente.

"Conducir" generalmente se refiere al acto de conducir, transportar, transmitir un gas, generalmente proporcionando un conducto o canal en formas de, por ejemplo, una tubería, un tubo, una línea, una tubería de distribución (de gas) o un elemento técnico similar. "Línea de suministro del reactor" generalmente se refiere a un gasoducto que suministra gas a un reactor.

"Capturar" generalmente se refiere a un proceso de separación, secuestro, almacenamiento, absorción, captación, captura y/o prevención de una emisión o liberación de un gas hacia un entorno externo, tal como, por ejemplo, la atmósfera. Por ejemplo, los gases metalúrgicos emitidos por los altos hornos pueden capturarse mediante filtros y/o aparatos de separación adecuados.

"Inyectar" generalmente se refiere a una introducción de un gas en una instalación, tal como, por ejemplo, una instalación, un EAF, o una masa fundida o una mezcla de compuestos dentro de la instalación, tales como, por ejemplo, una escoria. La inyección se puede realizar con un dispositivo de inyección. "Dispositivo de inyección" generalmente se refiere a cualquier dispositivo que se utilice o esté configurado para inyectar un gas, tal como, por ejemplo, hidrógeno u oxígeno, en una instalación o una masa fundida o una mezcla de compuestos dentro de la instalación. Por ejemplo, el dispositivo de inyección puede sumergirse en el baño fundido.

"Operar" generalmente se refiere a una acción de funcionamiento.

"Fundición" generalmente se refiere al proceso de fundir y reducir un material portador de metal, por ejemplo, un mineral metálico, tal como un material portador de hierro que comprende hierro principalmente en forma de óxido de hierro, que conduce a un cambio o reacción química dentro del estado fundido que resulta, por ejemplo, en la separación de un metal, tal como hierro metálico.

"Separación" generalmente se refiere al acto de aislar un componente gaseoso de una mezcla de gases. Por ejemplo, después de que el gas metalúrgico se haya transformado en el reactor en hidrógeno, dióxido de carbono y potencialmente otros subproductos, dicho hidrógeno puede separarse mediante dicha mezcla mediante, por ejemplo, un filtro o membranas. Además, la separación también se puede llevar a cabo mediante procesos conocidos tales como, por ejemplo, procedimientos de separación de gases basados en destilación criogénica, técnicas de adsorción por oscilación, el ciclo Hampson-Linde o procedimientos de separación similares. "Dispositivo de separación" generalmente se refiere a un aparato o un conjunto de aparatos conectados que se utilizan o están configurados para operar una etapa de separación o un procedimiento de separación.

"Transformación" generalmente se refiere a un cambio en la composición, estructura, forma o apariencia de una sustancia o una pluralidad de sustancias, como por ejemplo una mezcla de gases.

"Tratar" o "tratamiento" generalmente se refiere a someter algo a la acción de un agente, un catalizador, una energía, una influencia o proceso químico, biológico o físico. Por ejemplo, un tratamiento puede comprender guiar el gas metalúrgico dentro el reactor a un catalizador calentado.

En algunas realizaciones, el gas metalúrgico, después de la limpieza de gas relevante, tiene una temperatura en un intervalo de temperatura de 20 °C a 100 °C. Se ha descubierto que un gas metalúrgico puede precalentarse en un sistema de recuperación de calor adecuado, aprovechando parte del calor disponible de otro proceso dentro de la estructura de acero integrada y puede transformarse en una reacción posterior de una manera particularmente eficiente desde el punto de vista energético. Los gases metalúrgicos pueden estar disponibles generalmente a temperaturas de 20 °C a 100 °C, preferentemente a temperaturas inferiores a 50 °C. Los gases metalúrgicos se pueden almacenar en un depósito de gas después de la limpieza del gas, por ejemplo, limpieza de gases en un depurador. Dependiendo de su composición, cabe señalar que estos gases metalúrgicos calentados pueden someterse a procedimientos conocidos de recuperación de calor.

El tratamiento para transformar monóxido de carbono y agua en hidrógeno y dióxido de carbono comprende al menos una reacción de desplazamiento de agua-gas, en el que dicha reacción se realiza en presencia de un catalizador. La "reacción de desplazamiento de agua-gas", respectivamente reacción de desplazamiento de agua-gas o reacción de conversión de agua-gas, es un proceso para reducir/disminuir el contenido de monóxido de carbono en el gas de síntesis y producir hidrógeno. La ecuación de reacción también se conoce como equilibrio de conversión: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende, posteriormente a la separación del hidrógeno, conducir dicho hidrógeno a través de un conducto de suministro de almacenamiento a un tanque de almacenamiento de hidrógeno y descargar dicho hidrógeno desde dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno a través de la línea de suministro del horno al horno de arco eléctrico. "Conducto de suministro de almacenamiento" generalmente se refiere a una tubería utilizada o configurada para conducir dicho hidrógeno a un tanque (de almacenamiento) de hidrógeno.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende calentar dicho hidrógeno aguas arriba del horno de arco eléctrico, de modo que dicho hidrógeno tenga una temperatura en un intervalo de 25 a 700 °C cuando dicho hidrógeno se inyecta en dicho horno de arco eléctrico. Calentar dicho hidrógeno conduce a un aumento de presión y, por consiguiente, mejora la distribución del hidrógeno inyectado en el baño fundido. Cabe señalar que "calentamiento" también puede referirse a un proceso de precalentamiento del gas hidrógeno antes de inyectarlo en el EAF.

En algunas realizaciones, la pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno comprende al menos una lanza de gas supersónica para inyectar al menos una parte de dicho hidrógeno suministrado al horno de arco eléctrico en dicho horno. En otras palabras, el gas se inyecta a velocidades supersónicas.

En algunas realizaciones, dicho hidrógeno inyectado a través de la lanza de gas supersónica tiene un rendimiento en el intervalo de 10 m³/min a 500 m³/min.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende inyectar oxígeno en el horno de arco eléctrico a través de una pluralidad de dispositivos de inyección de oxígeno. El oxígeno se puede inyectar para oxidar el hierro al menos parcialmente dentro del baño, respectivamente dentro de la escoria. En otras palabras, el oxígeno oxida al menos una pequeña cantidad de hierro a wüstita (FeO) dentro del baño, aprovechando el calor liberado de la reacción exotérmica, que puede ser necesario localmente para mantener las condiciones necesarias del proceso.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende introducir cal en el horno de arco eléctrico mediante un dispositivo de introducción de cal. "Dispositivo de introducción de cal" generalmente se refiere a cualquier

dispositivo que se utiliza o configura para la introducción, respectivamente inyección, de cal en el horno de arco eléctrico o la capa de escoria dentro del horno de arco eléctrico. La cal puede, por ejemplo, comprender o consistir en una cal viva. La cal se puede utilizar como fundente para limpiar el acero en el horno de arco eléctrico (EAF). Por ejemplo, se puede utilizar cal para eliminar azufre, sílice, fósforo y sustancias similares.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende insertar/introducir un material en el horno de arco eléctrico, en el que el material comprende al menos uno de los siguientes: óxido de hierro, gránulos de mineral de hierro prerreducido, un hierro de reducción directa (DRI), briquetas de hierro en caliente (HBI), partículas finas o gránulos de mineral de hierro de grado DR, de grado alto horno o mezclas de los mismos. Por ejemplo, una pequeña cantidad de carbono que puede usarse para calentar la masa fundida puede proporcionarse mediante hierros de reducción directa en forma de gránulos fríos o briquetas calientes. Estos hierros reducidos pueden generarse mediante procesos de reducción directa basados en gas natural.

En algunas realizaciones, el procedimiento además comprende suministrar energía eléctrica al horno de arco eléctrico, en el que la energía eléctrica se usa para operar el EAF, y en el que la energía eléctrica se obtiene de una fuente de energía renovable. "Fuente de energía renovable" generalmente se refiere a una fuente que proporciona energía eléctrica basada en al menos una de las siguientes: energía solar, energía eólica, energía hidroeléctrica, energía de biomasa, energía geotérmica, energía mareomotriz y undimotriz, o mezclas de las mismas. Debido al uso de fuentes de energía renovables, el procedimiento permite una producción de "acero verde", total o parcialmente libre de CO₂, siempre que solo se carguen en el EAF como mineral de hierro y/o DRI/HBI procedente del proceso de reducción directa basado en hidrógeno como material portador de hierro.

La invención se refiere además a una acería que comprende un horno de arco eléctrico y que está adaptada para:

- capturar un gas metalúrgico calentado que comprende agua y monóxido de carbono, de al menos una instalación de la acería;
- conducir dicho gas metalúrgico a un reactor a través de una línea de suministro del reactor;
- transformar el monóxido de carbono y el agua en hidrógeno y dióxido de carbono de acuerdo con una reacción de desplazamiento de agua-gas, mediante un tratamiento de dicho gas metalúrgico dentro de dicho reactor, y posteriormente
- separar dicho hidrógeno mediante un dispositivo de separación;
- en la que la acería está adaptada a:
 - proporcionar un material portador de hierro, que comprende hierro principalmente en forma de óxido de hierro, al horno de arco eléctrico;
 - fundir al menos parcialmente el material portador de hierro para obtener un baño fundido;
 - conducir dicho hidrógeno a través de una línea de suministro del horno al horno de arco eléctrico dispuesto aguas abajo de la línea de suministro del horno; y
 - inyectar dicho hidrógeno en el baño fundido en dicho horno de arco eléctrico mediante una pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno de modo que dicho hidrógeno actúe como agente reductor para reducir el óxido de hierro en el baño fundido durante una operación de fundición del horno de arco eléctrico. Las mejoras y realizaciones antes mencionadas del procedimiento de acuerdo con la invención se aplican también a la acería.

Otros aspectos y características de la presente invención se derivan de las reivindicaciones dependientes, del dibujo adjunto y de la siguiente descripción de las realizaciones.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describen realizaciones de la invención a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una vista esquemática que ilustra el procedimiento, el horno de arco eléctrico y la acería de acuerdo con la invención.

La Figura 2 es una vista esquemática que ilustra el horno de arco eléctrico de acuerdo con la invención.

Descripción de las realizaciones

La Figura 1 ilustra una vista esquemática del procedimiento, así como del horno de arco eléctrico 10 y la acería 100 de acuerdo con la invención. La acería 100 comprende una instalación 12 que consiste en un alto horno 12 que emite gases metalúrgicos calentados que comprenden agua y monóxido de carbono. El gas del alto horno tiene una

temperatura en un intervalo de aproximadamente 200 °C a 300 °C. El gas metalúrgico puede limpiarse mediante un depurador y almacenarse en un depósito de gas (no mostrado). Como se muestra en la Figura 1, los gases metalúrgicos emitidos por el alto horno 12 son capturados y guiados por/a través de la línea de suministro del reactor 14 al reactor 16. El gas metalúrgico tiene que precalentarse para el proceso de producción de hidrógeno, por ejemplo, mezclando el gas metalúrgico con vapor (no mostrado), en el que el vapor proporciona el calor y el agua necesarios para la reacción de desplazamiento de agua y gas.

Otros dispositivos (no mostrados), tales como un sensor de temperatura, un sensor de presión, un medidor de flujo y válvulas (automáticas) pueden estar dispuestos en y/o dentro de la línea de suministro del reactor 14. Estos dispositivos adicionales pueden estar conectados a una unidad de control, como por ejemplo un ordenador (no mostrado). La unidad de control puede estar configurada para determinar parámetros de proceso relacionados con el gas metalúrgico, como por ejemplo la temperatura del gas metalúrgico, la presión del gas metalúrgico y/o la velocidad del gas metalúrgico. Dependiendo de estos parámetros del proceso, la unidad de control puede determinar mediante un software si una válvula dispuesta dentro de la línea de suministro del reactor 14 debe abrirse completamente, abrirse parcialmente o cerrarse.

El gas metalúrgico conducido a través de dicha línea de suministro del reactor 14 se introduce en el reactor 16, en el que los compuestos de monóxido de carbono y agua en el gas metalúrgico se transforman en dióxido de carbono e hidrógeno. La transformación de monóxido de carbono y agua en hidrógeno y dióxido de carbono se basa en una reacción de desplazamiento de agua-gas en presencia de un catalizador, como por ejemplo, un catalizador a base de níquel (no mostrado). Antes del tratamiento del gas metalúrgico en el reactor, se pueden llevar a cabo otras etapas antes del reactor para calentar el gas y/o separar sustancias, como por ejemplo, compuestos de azufre gaseosos, del gas metalúrgico que de otro modo dañarían el catalizador (no mostrado).

Después de que el gas ha sido tratado en el reactor, el gas se conduce al dispositivo de separación 18 en el que dicho hidrógeno se separa de los otros compuestos del gas metalúrgico. En una etapa posterior, dicho hidrógeno es conducido directamente a través de una línea de suministro del horno 20 al horno de arco eléctrico dispuesto detrás de dicha línea de suministro del horno 20, o a través de un conducto de suministro 22 a un tanque de almacenamiento de hidrógeno 24. A fin de operar la etapa de dicho hidrógeno hacia el tanque 24 y/o el horno de arco eléctrico 10, se disponen válvulas (automáticas) dentro del conducto de suministro 22 y la línea de suministro del horno 20 (no mostrada). Las válvulas comprenden actuadores que son operados por ordenador. Además, tanto la línea de suministro del horno 20 como el conducto de suministro 22 comprenden cada uno un sensor de presión, un medidor de flujo y un sensor de temperatura (no mostrado) conectados al ordenador. Dicho hidrógeno se conduce dependiendo de los requisitos del horno de arco eléctrico 10 directamente a dicho horno o al tanque de almacenamiento 24. En caso de que dicho hidrógeno se almacene en el tanque 24, dicho hidrógeno puede liberarse a una velocidad y/o volumen predeterminados en el horno de arco eléctrico. Como se puede deducir además de la Figura 1, una línea de descarga 23 para descargar dicho hidrógeno está en comunicación fluida con la línea de suministro del horno 20. La línea de descarga 23 comprende un sensor de temperatura, un medidor de flujo, un sensor de presión y una válvula (automática), en el que cada uno de estos elementos está conectado y operado por la unidad de control (no mostrada).

Además, la línea de suministro del horno 20 puede comprender una disposición de calentamiento opcional (no mostrada), en la que la disposición de calentamiento también es controlada por el ordenador. El dispositivo de calentamiento permite calentar dicho hidrógeno aguas arriba del horno de arco eléctrico, de modo que dicho hidrógeno tenga una temperatura en un intervalo de 25 °C a 700 °C cuando se inyecta en dicho horno de arco eléctrico.

Dicho hidrógeno se inyecta en el horno de arco eléctrico 10 a través de una pluralidad de dispositivos de inyección 26, como se muestra con mayor detalle en la Figura 2. Las dos líneas horizontales discontinuas dentro del horno simbolizan los límites entre una zona de escoria 34 y una zona de metal líquido 36. Durante la operación del horno de arco eléctrico, se forma una capa de escoria 34 en la superficie próxima al (a los) electrodo(s) (no mostrado(s)). Debajo de la capa de escoria 34, se genera una capa de metal líquido 36 después de que el horno de arco eléctrico 10 sea operado durante un tiempo determinado. El o los electrodos del EAF sobresalen de una sección superior, respectivamente de una tapa de horno (no mostrada), hacia la escoria. En otras palabras, los electrodos están al menos parcialmente sumergidos en la escoria.

La pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno 26 comprende también una lanza de gas supersónica 28, que sobresale de una sección superior del horno, respectivamente la cubierta del horno, hacia la zona de metal líquido 36. Durante la operación del EAF, se inyecta hidrógeno a través de la lanza de gas supersónica 28 a una velocidad que está preferentemente en el intervalo de 10 m³/min a 500 m³/min.

Además, el horno de arco eléctrico 10 también está provisto de una pluralidad de dispositivos de inyección de oxígeno 30, respectivamente lanzas, para inyectar oxígeno en el horno de arco eléctrico 10. Los dispositivos de inyección de oxígeno 30 están separados de dichos dispositivos de inyección de hidrógeno 26 y la lanza de gas supersónica 28. Cabe señalar que también los dispositivos de inyección de oxígeno 26 pueden comprender o consistir en una lanza de gas supersónica.

Como se muestra además en la Figura 2, un dispositivo de introducción de cal 32 sobresale dentro de la zona de metal líquido 32 del horno de arco eléctrico respectivamente en la interfaz entre la zona de metal líquido 32 y la zona de

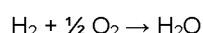
escoria 34. El dispositivo de introducción de cal 32 proporciona un chorro de cal durante la operación del horno de arco eléctrico.

5 Durante la operación del horno de arco eléctrico, se inserta material en la solera del horno. El material puede comprender al menos uno de los siguientes: chatarra de hierro, óxido de hierro, gránulos de mineral de hierro prerreducido, hierro de reducción directa (DRI), briquetas de hierro en caliente (HBI), partículas finas o gránulos de mineral de hierro de grado DR, de grado alto horno o mezclas de los mismos. El horno de arco eléctrico es accionado con energía eléctrica, en el que dicha energía eléctrica se obtiene de una fuente de energía renovable.

El hidrógeno inyectado se utiliza para reducir óxidos de hierro (por ejemplo, FeO) a hierro (Fe) y agua de acuerdo con la siguiente ecuación de reacción:



Además, el hidrógeno inyectado se utiliza además para reaccionar con oxígeno mientras se libera calor de acuerdo con la siguiente ecuación:



El oxígeno inyectado se utiliza para oxidar el hierro (Fe) de acuerdo con la siguiente ecuación:



Como se puede entender a partir de la Figura 2, la cantidad de dióxido de carbono se reduce total o al menos significativamente durante la operación del horno de arco eléctrico 10.

20 Las realizaciones analizadas son ejemplos de la invención. Los componentes descritos de cada realización respectiva representan cada una de las características individuales de la invención que deben considerarse independientemente una de otra. Por lo tanto, las características también deben considerarse componentes de la invención individualmente o en una combinación distinta de la combinación mostrada. Además, las realizaciones descritas pueden complementarse también con otras características de la invención ya descritas.

En el contexto de la presente divulgación y de las reivindicaciones, otras características y realizaciones de la invención resultarán evidentes para el experto en la técnica.

25 **Signos de referencia**

10	horno de arco eléctrico
12	instalación
14	línea de suministro del reactor
16	reactor
30	18 dispositivo de separación
	20 línea de suministro del horno
	22 conducto de suministro de almacenamiento
	23 línea de descarga
	24 tanque
35	26 dispositivo de inyección de hidrógeno
	28 lanza
	30 dispositivo de inyección de oxígeno
	32 dispositivo de introducción de cal
	34 zona de escoria
40	36 capa de metal
	100 acería

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de operación de un horno de arco eléctrico (10), comprendiendo el procedimiento:
 - capturar un gas metalúrgico calentado que comprende agua y monóxido de carbono, de al menos una instalación (12) de una acería (100);
- 5
 - conducir dicho gas metalúrgico a un reactor (16) a través de una línea de suministro del reactor (14);
 - transformar el monóxido de carbono y el agua en hidrógeno y dióxido de carbono de acuerdo con una reacción de desplazamiento de agua-gas, mediante un tratamiento de dicho gas metalúrgico dentro de dicho reactor (16), y posteriormente
 - separar dicho hidrógeno mediante un dispositivo de separación (18);
- 10 **caracterizado porque** dicho procedimiento además comprende:
 - proporcionar un material portador de hierro, que comprende hierro principalmente en forma de óxido de hierro, al horno de arco eléctrico (10);
 - fundir al menos parcialmente el material portador de hierro para obtener un baño fundido;
 - 15
 - conducir dicho hidrógeno a través de una línea de suministro del horno (20) al horno de arco eléctrico (10), que está dispuesto aguas abajo de la línea de suministro de del horno (20); e
 - inyectar dicho hidrógeno en el baño fundido en dicho horno de arco eléctrico (10) por medio de una pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno (26) de modo que dicho hidrógeno actúa como agente reductor para reducir el óxido de hierro en el baño fundido durante una operación de fundición del horno de arco eléctrico (10).
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el gas metalúrgico calentado tiene una temperatura en un intervalo de temperatura de 20 °C a 100 °C.
3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la reacción de desplazamiento de agua-gas se realiza en presencia de un catalizador.
- 25 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento además comprende conducir dicho hidrógeno a través de un conducto de suministro de almacenamiento (22) a un tanque de almacenamiento de hidrógeno (24) y descargar dicho hidrógeno de dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno (24) a través de la línea de suministro del horno (20) al horno de arco eléctrico (10).
- 30 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que porque el procedimiento además comprende calentar dicho hidrógeno aguas arriba del horno de arco eléctrico, de modo que dicho hidrógeno tiene una temperatura en un intervalo de 25 °C a 700 °C cuando dicho hidrógeno se inyecta en dicho horno de arco eléctrico.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno (26) comprende al menos una lanza de gas supersónica (28) para inyectar al menos una parte de dicho hidrógeno suministrado al horno de arco eléctrico (10) en dicho horno.
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el hidrógeno inyectado a través de la lanza de gas supersónica (28) tiene un rendimiento en el intervalo de 10 m³/min a 500 m³/min.
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento además comprende inyectar oxígeno en el horno de arco eléctrico (10) a través de una pluralidad de dispositivos de inyección de oxígeno (30).
- 40 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento además comprende introducir cal en el horno de arco eléctrico (10) mediante un dispositivo de introducción de cal (32).
10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento además comprende insertar un material en el horno de arco eléctrico, en el que el material comprende al menos uno de los siguientes: óxido de hierro, gránulos de mineral de hierro prerreducido, un hierro de reducción directa (DRI), briquetas de hierro en caliente (HBI), partículas finas o gránulos de mineral de hierro de grado alto horno, grado DR, o mezclas de los mismos.
- 45 11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento además comprende operar dicho horno de arco eléctrico con energía eléctrica obtenida de una fuente de energía renovable.
12. Acería (100) que comprende un horno de arco eléctrico (10) y que está adaptada para:

- capturar un gas metalúrgico calentado que comprende agua y monóxido de carbono, de al menos una instalación (12) de la acería (100);
- conducir dicho gas metalúrgico a un reactor (16) a través de una línea de suministro del reactor (14);
- 5 - transformar el monóxido de carbono y el agua en hidrógeno y dióxido de carbono según una reacción de desplazamiento de agua-gas, mediante un tratamiento de dicho gas metalúrgico dentro de dicho reactor (16), y posteriormente
- separar dicho hidrógeno mediante un dispositivo de separación (18);

caracterizada porque la acería (100) está adaptada a:

- 10 - proporcionar un material portador de hierro, que comprende hierro principalmente en forma de óxido de hierro, al horno de arco eléctrico (10);
- fundir al menos parcialmente el material portador de hierro para obtener un baño fundido;
- conducir dicho hidrógeno a través de una línea de suministro del horno (20) al horno de arco eléctrico (10) dispuesto aguas abajo de la línea de suministro del horno (20); e
- 15 - inyectar dicho hidrógeno en el baño fundido en dicho horno de arco eléctrico (10) mediante una pluralidad de dispositivos de inyección de hidrógeno (26) de modo que dicho hidrógeno actúa como agente reductor para reducir el óxido de hierro en el baño fundido durante una operación de fundición del horno de arco eléctrico (10).

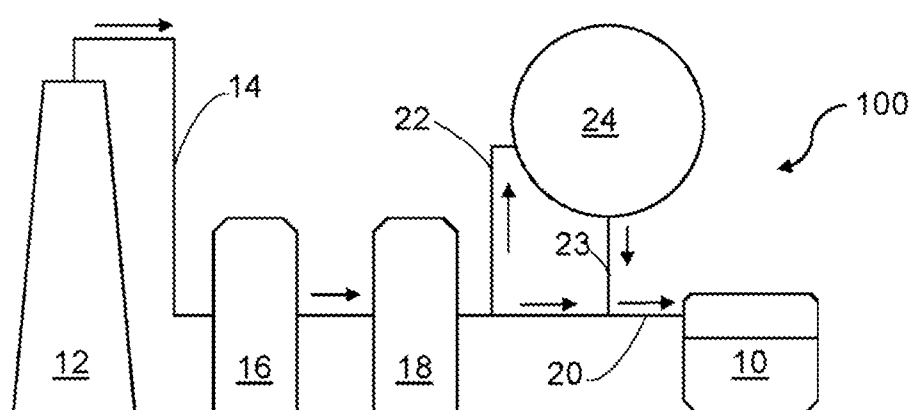


Fig. 1

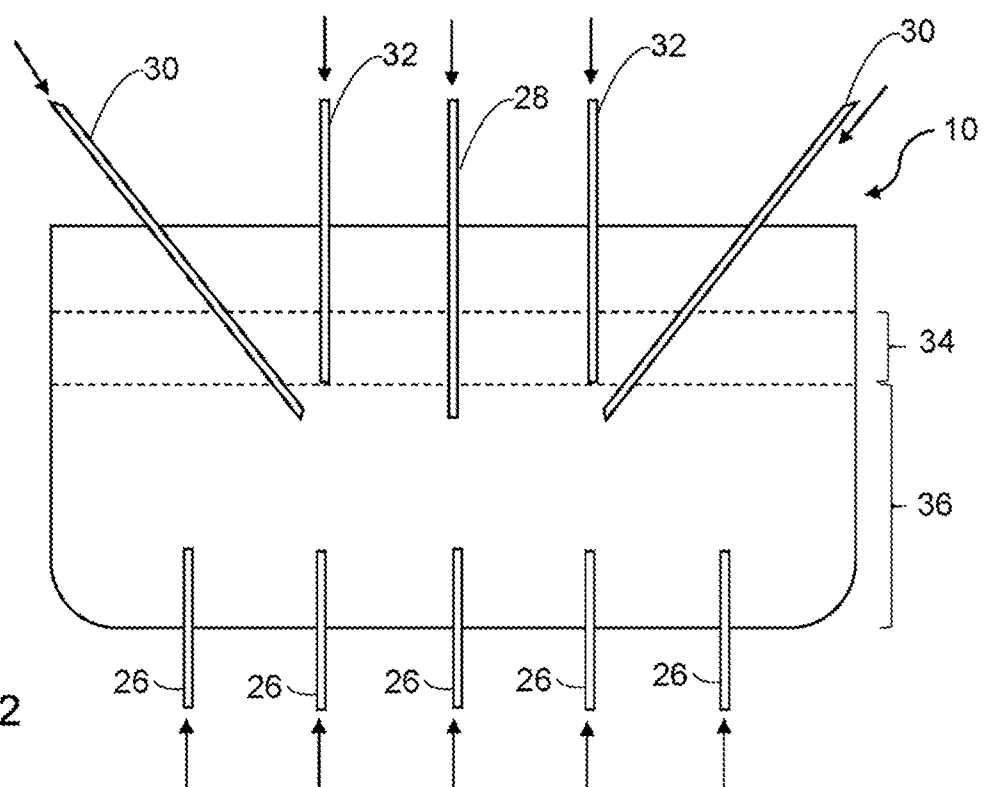


Fig. 2