

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 258**

51 Int. Cl.:

C21B 13/12 (2006.01)

C21C 5/52 (2006.01)

C21B 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.12.2020** **PCT/JP2020/046303**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.07.2021** **WO21131799**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2020** **E 20907610 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024** **EP 4039831**

54 Título: **Método de producción de acero fundido**

30 Prioridad:

25.12.2019 JP 2019234093

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

26.12.2024

73 Titular/es:

KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBESTEEL, LTD.) (100.00%)
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome Chuo-ku Kobe-shi
Hyogo 651-8585, JP

72 Inventor/es:

TOKUDA, KOJI y
MIMURA, TSUYOSHI

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 993 258 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

Método de producción de acero fundido

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para la producción de acero fundido.

Técnica anterior

10 Se ha llevado a cabo un método de producción directa de hierro en el que una fuente de óxido de hierro, tal como mineral de hierro, se reduce en estado sólido con un material carbonoso o un gas reductor para obtener un hierro de reducción directa. La bibliografía no relacionada con patentes 1 divulga una técnica en la que se sopla oxígeno continuamente durante una etapa de calentamiento y fusión de un hierro de reducción directa en estado sólido en un
15 horno eléctrico (Horno de Arco Eléctrico; EAF por sus siglas en inglés) para separarlo en un acero fundido y una escoria. PTL 1 y PTL 2 se refieren además a un método alternativo para producir un acero fundido utilizando hierro de reducción directa como materia prima.

20 En los últimos años, ha disminuido la cantidad de producción del llamado mineral de hierro de alta ley con bajo contenido de impurezas como la ganga, de modo que la importancia del mineral de hierro de baja ley como materia prima para el acero ha ido en aumento.

25 Sin embargo, el hierro de reducción directa en estado sólido obtenido a partir de un mineral de hierro de baja ley como materia prima contiene una cantidad relativamente grande de ganga, de modo que cuando la ganga se funde en un horno eléctrico, se genera una gran cantidad de escoria junto con el acero fundido.

30 Dado que el contenido de hierro de la escoria generada junto con el acero fundido alcanza aproximadamente el 25 % en masa, cuanto mayor sea la cantidad de escoria, más hierro contendrá la escoria, el rendimiento del acero fundido disminuye significativamente. Por lo tanto, aunque un mineral de hierro de baja ley es más barato que uno de alta ley, la cantidad de mineral de hierro necesaria para producir una determinada cantidad de acero fundido es significativamente mayor en el mineral de hierro de baja ley que en el de alta ley. Como resultado, no hay grandes ventajas en términos de coste con respecto al uso del mineral de hierro de baja ley.

35 Es más, cuando se genera una gran cantidad de escoria, aumenta la cantidad de energía eléctrica necesaria para disolver un hierro de reducción directa en estado sólido y un material formador de escoria utilizado para ajustar la basicidad de la escoria, y aumenta la erosión de los refractarios que componen el cuerpo del horno eléctrico. Esto también causa el problema de que disminuye la productividad del acero fundido.

40 A partir de lo anterior, en la actualidad, el uso de un mineral de hierro de baja ley como materia prima para hierro de reducción directa en estado sólido es limitado.

45 La presente invención se ha realizado en vista de tal problema, y un objetivo de la misma es proporcionar un método para producir un acero fundido capaz de obtenerse con un alto rendimiento incluso cuando se utiliza un mineral de hierro de baja ley como materia prima para hierro de reducción directa en estado sólido.

Listado de citas

Bibliografía no relacionada con patentes

50 Bibliografía no relacionada con patentes 1: R. D. MORARES, Ruben Lule G., Francisco LOPEZ, Jorge CAMACHO y J. A. ROMERO, "The Slag Foaming Practice in EAF and Its Influence on the Steel-making Shop Productivity", ISIJ International, The Iron and Steel Institute of Japan, septiembre de 1995, Vol. 35, n.º 9, páginas 1054 a 1062
PTL 1: US 6 241 798 B1
PTL 2: US 2004/076539 A1

Sumario de la invención

60 Como resultado de diversos estudios, los presentes inventores han descubierto que el objetivo anterior se puede lograr mediante las siguientes invenciones.

65 Un método para producir un acero fundido de acuerdo con un aspecto de la presente invención es un método para producir un acero fundido utilizando hierro de reducción directa en estado sólido como materia prima, en donde: el hierro de reducción directa en estado sólido contiene 3,0 % en masa o más de SiO_2 y Al_2O_3 en total y 1,0 % en masa o más de carbono, una proporción de un hierro metálico con respecto a un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido es del 90 % en masa o más, y un exceso de contenido de carbono Cx especificado por la

siguiente fórmula (1) con respecto al carbono contenido en el hierro sólido el hierro de reducción directa es 0,2 % en masa o más,
incluyendo el método:

una etapa de separación de escoria en la que el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde en un horno eléctrico sin introducir oxígeno para separarse en un acero fundido y una escoria, y la escoria se descarga continuamente del horno eléctrico, y

una etapa de descarburación por soplado, en el horno eléctrico, de una cantidad total de oxígeno introducida en el horno eléctrico para que el acero fundido se descarburice después de la etapa de separación de escoria, en donde la etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria, en donde el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria y el tiempo para realizar la etapa de descarburación se determina en función del contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido.

$$Cx = [C] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

En la fórmula, Cx: exceso de contenido de carbono (% en masa), [C]: contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa), [FeO]: Contenido de FeO del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa).

El objeto, características y ventajas de la presente invención se aclararán a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de un método para producir un acero fundido de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción de realizaciones

En lo sucesivo en el presente documento, se describirá específicamente un método para producir un acero fundido de acuerdo con una realización de la presente invención, aunque la presente invención no se limita al mismo.

[Método para producir acero fundido]

Un método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización es un método para producir un acero fundido utilizando hierro de reducción directa en estado sólido como materia prima, en donde el hierro de reducción directa en estado sólido contiene 3,0 % en masa o más de SiO_2 y Al_2O_3 en total y 1,0 % en masa o más de carbono, una proporción de un hierro metálico con respecto a un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido es del 90 % en masa o más, y un exceso de contenido de carbono Cx especificado por la siguiente fórmula (1) con respecto al carbono contenido en el hierro sólido el hierro de reducción directa es 0,2 % en masa o más.

$$Cx = [C] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

En la fórmula, Cx: exceso de contenido de carbono (% en masa), [C]: contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa), [FeO]: Contenido de FeO del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa).

Además, el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización, como se muestra en el diagrama de flujo de la FIG. 1, incluye: una etapa de separación de escoria en la que el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde en un horno eléctrico sin introducir oxígeno para separarse en un acero fundido y una escoria, y la escoria se descarga continuamente del horno eléctrico, y una etapa de descarburación por soplado, en el horno eléctrico, de la cantidad total de oxígeno introducida en el horno eléctrico para que el acero fundido se descarburice tras la etapa de separación de escoria. La etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria.

De acuerdo con la constitución anterior, es posible proporcionar un método para producir un acero fundido con un alto rendimiento incluso si se utiliza un mineral de hierro de baja ley como materia prima para un hierro de reducción directa en estado sólido.

A continuación, se describirá cada requisito del método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización.

(Hierro de reducción directa en estado sólido)

En el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización, se utiliza un hierro de reducción directa en estado sólido que tiene un contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del 3,0 % en masa o más. Como hierro de reducción directa en estado sólido, por ejemplo, se pueden usar fuentes de óxido de hierro, tal como el mineral de

hierro, que se reducen en estado sólido con un material carbonoso o un gas reductor. El método para producir un hierro de reducción directa en estado sólido no está particularmente limitado. Por ejemplo, pueden aplicarse métodos de producción mediante plantas conocidas de producción de hierro de reducción directa en estado sólido, tales como los hornos de solera giratoria, hornos de reducción de tipo de solera móvil, tales como los de parrilla media, hornos verticales, tales como los hornos de cuba, y hornos rotativos, tales como los hornos rotatorios.

Cuando el contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del hierro de reducción directa en estado sólido es inferior al 3,0 % en masa, la ley de la fuente de óxido de hierro, tal como el mineral de hierro, utilizada para producir hierro de reducción directa en estado sólido es alta. Dado que este hierro de reducción directa en estado sólido produce una pequeña cantidad de escoria como subproducto, el acero fundido puede obtenerse con un alto rendimiento incluso si la separación de la escoria y la descarburación se realizan simultáneamente en un horno eléctrico. Como resultado, cuando el contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del hierro de reducción directa en estado sólido es inferior al 3,0 % en masa, no es necesario aplicar el método para producir un acero fundido según la presente realización en el que la escoria se separa antes de la descarburación. Por lo tanto, en el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización, se utiliza un hierro de reducción directa en estado sólido que tiene un contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del 3,0 % en masa o más.

El contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido se establece en 1,0 % en masa o más. Cuando el hierro de reducción directa en estado sólido se funde en un horno eléctrico, el FeO en el hierro de reducción directa en estado sólido se reduce por el carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido, generando así gas CO . Al establecer el contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido en 1,0 % en masa o más, se puede generar un volumen suficiente de gas CO y, por tanto, se puede conseguir una formación de espuma de escoria suficiente mediante el gas CO generado. Es posible un calentamiento eficiente realizando un calentamiento por arco en esta escoria espumada. Desde este punto de vista, el contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido es preferentemente del 1,5 % en masa o más.

Por otro lado, si el contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido es excesivo, la cantidad de oxígeno introducida en el horno eléctrico en la etapa de descarburación aumenta, y la cantidad de FeO eluido en la escoria aumenta a medida que aumenta la cantidad de oxígeno. Por lo tanto, el contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido es preferentemente del 3,0 % en masa o menos.

La proporción de un hierro metálico con respecto a un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido (en lo sucesivo, también denominado "tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido" o simplemente "tasa de metalización") se establece en 90 % en masa o más. Al establecer la tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido al 90 % en masa o más, se puede producir un acero fundido con un alto rendimiento mediante el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización.

Cuando la tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido es inferior al 90 % en masa, aumenta el contenido de FeO en el hierro de reducción directa en estado sólido. El contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido se puede aumentar en un proceso de carburación realizado durante la producción del hierro de reducción directa en estado sólido. Sin embargo, existe un límite superior para el contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido que es industrialmente viable. Por lo tanto, cuando el contenido de FeO en el hierro de reducción directa en estado sólido es alto, el FeO que no es reducido por el carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido permanece mucho en la etapa de separación de escoria y en la etapa de descarburación. La mayor parte del FeO no reducido se eluye en una escoria tal cual y se descarga del horno eléctrico junto con la escoria. Como se ha descrito anteriormente, cuando la tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido es inferior al 90 % en masa, es difícil producir un acero fundido con un alto rendimiento incluso si se aplica la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación según la presente realización. Por lo tanto, en el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización, la tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido se establece en 90 % en masa o más. Además, cuando el contenido de FeO en el hierro de reducción directa en estado sólido es alto, aumenta la energía necesaria para reducir el FeO en la etapa de separación de escoria. Por lo tanto, la tasa de metalización del hierro de reducción directa en estado sólido es más preferentemente del 92 % en masa o más. Cuanto mayor sea la tasa de metalización, más preferida es, por lo que no existe un límite máximo específico al respecto. Sin embargo, dado que una tasa de metalización excesivamente alta reduce en gran medida la productividad del hierro de reducción directa en estado sólido en un proceso de producción de hierro de reducción directa en estado sólido, la tasa de metalización es preferentemente del 98 % en masa o menos, más preferentemente del 97 % en masa o menos.

Del carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido, el exceso de contenido de carbono Cx especificado por la fórmula (1) anterior se establece en 0,2 % en masa o más. El exceso de contenido de carbono Cx es una cantidad de carbono restante (exceso de carbono) cuando todo el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido se reduce con el carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido. Al establecer el exceso de contenido de carbono Cx en 0,2 % en masa o más, cuando el hierro de reducción directa en estado sólido se funde en el horno eléctrico, todo el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido se reduce por el carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido. Por lo tanto, se puede suprimir

la elución del FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido hacia la escoria.

El exceso de carbono es necesario para suprimir la elución del FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido en la escoria. El exceso de contenido de carbono Cx se fija en un 0,2% en masa o más, de modo que se suprima con seguridad la elución de FeO en la escoria. Si el exceso de contenido de carbono Cx es excesivo, la cantidad de oxígeno introducida en el horno eléctrico en la etapa de descarburación aumenta, y la cantidad de FeO eluido en la escoria aumenta a medida que aumenta la cantidad de oxígeno. Por lo tanto, el exceso de contenido de carbono Cx es preferentemente igual o inferior al 2,0 % en masa.

Después, se describirá cada etapa del método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización.
(Etapa de separación de escoria)

En la etapa de separación de escoria, el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde en un horno eléctrico sin introducir oxígeno, se separa en acero fundido y escoria y, a continuación, la escoria se descarga continuamente del horno eléctrico. Es posible usar, como el horno eléctrico, un horno eléctrico de siderurgia general (Electric Arc Furnace; EAF) que genera un arco de plasma para realizar el calentamiento.

El hierro de reducción directa en estado sólido se introduce en un horno eléctrico y se calienta para separarlo en un acero fundido y una escoria. El hierro de reducción directa en estado sólido que se va a introducir en el horno eléctrico se encuentra preferentemente en un estado posterior a la producción y anterior al descenso de la temperatura para reducir la energía necesaria para el calentamiento. El horno eléctrico antes de cargar la plancha de reducción directa en estado sólido puede estar vacío, pero para permitir la fusión continua del hierro de reducción directa en estado sólido inmediatamente en el siguiente calentamiento (la siguiente producción de acero fundido realizada una vez finalizada la producción anterior de acero fundido), es preferible que el acero fundido y la escoria se alojen en un estado denominado talón caliente o metal fundido restante.

En la etapa de separación de escoria, el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde sin introducir oxígeno en el horno eléctrico. Esto se basa en las conclusiones obtenidas de los estudios de los presentes inventores de que la cantidad de FeO contenida en la escoria generada puede reducirse fundiendo el hierro de reducción directa en estado sólido sin introducir oxígeno en el horno eléctrico en comparación con el caso en que se introduce oxígeno. Cuando se introduce oxígeno en el horno eléctrico, el oxígeno reacciona con el carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido para generar gas monóxido de carbono. Como resultado, el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido no se reduce y se eluye tal cual en la escoria. Adicionalmente, una parte del hierro metálico (Fe) contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido o una parte del hierro metálico (Fe) en el acero fundido también es oxidada por el oxígeno para convertirse en FeO, y este FeO también se eluye en la escoria, de modo que aumentará el contenido de FeO de la escoria. Por otro lado, si no se introduce oxígeno en el horno eléctrico, el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido se reduce por el exceso de carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido, para así poder suprimir la elución de FeO en la escoria. Como resultado, se puede reducir el contenido de hierro descargado junto con la escoria, y se puede suprimir la disminución en el rendimiento del acero fundido.

En la etapa de separación de escoria de la presente realización, "introducción de oxígeno" significa la introducción artificial de oxígeno, tal como soplar oxígeno o aire sobre el acero fundido. Sin embargo, la introducción de oxígeno no incluye la inevitable entrada secundaria de aire en el horno debida a, por ejemplo, aspiración y ventilación para el tratamiento del polvo en el horno eléctrico.

En la presente realización, la etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria. Es decir, el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria es del 50 % al 80 % del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación. El tiempo para realizar la etapa de separación de escoria se describirá más adelante junto con la explicación del tiempo para realizar la etapa de descarburación.

En la etapa de separación de escoria, la temperatura del acero fundido se fija preferentemente entre 1500 y 1650 °C. Ajustando la temperatura del acero fundido a 1500 °C o más, la viscosidad de la escoria disminuye, de modo que el acero fundido y la escoria se puedan separar fácilmente, y cada uno de los aceros fundidos y la escoria se puedan descargar fácilmente del horno eléctrico. Por otro lado, ajustando la temperatura del acero fundido a 1650 °C o menos, es posible suprimir la erosión del revestimiento refractario del horno eléctrico. La temperatura del acero fundido es más preferentemente de 1530 °C o superior, y más preferentemente de 1630 °C o inferior.

La basicidad de la escoria se fija preferentemente entre 1,4 y 2,0. La basicidad de la escoria puede ajustarse añadiendo adecuadamente un material formador de escoria como la cal viva o la dolomita al hierro de reducción directa en estado sólido, seguido de fusión en horno eléctrico según el contenido total de SiO₂ y Al₂O₃ del hierro de reducción directa en estado sólido. Al establecer la basicidad de la escoria en 2,0 o menos, se garantiza fácilmente la fluidez de la escoria y la escoria se puede descargar fácilmente del horno eléctrico. Además, cuando se utiliza un refractario básico como

revestimiento refractario del horno eléctrico, la erosión del refractario debida a la escoria se puede suprimir estableciendo la basicidad de la escoria en 1,4 o más. En este punto, la basicidad de la escoria significa una proporción de masa de CaO a SiO_2 (CaO/SiO_2) con respecto a CaO y SiO_2 contenida en la escoria. La basicidad de la escoria se puede ajustar ajustando la cantidad de material formador de escoria que se va a cargar en el horno eléctrico junto con el hierro de reducción directa en estado sólido.

En la etapa de separación de escoria, el hierro de reducción directa en estado sólido y el material formador de escoria se introducen en el horno eléctrico, se inicia el calentamiento, y tras confirmar que el material formador de escoria está completamente fundido en el horno, la apertura de la puerta de escoria del horno eléctrico se ajusta para descargar la escoria. Para mantener la basicidad de la escoria lo más constante posible, es preferible añadir continuamente el hierro de reducción directa en estado sólido y el material formador de escoria secuencialmente desde el principio hasta el final de la etapa de separación de escoria mientras se calienta en el horno eléctrico, y es más preferible añadir continuamente el hierro de reducción directa en estado sólido y el material formador de escoria secuencialmente durante la etapa de descarburación.

(Etapa de descarburación)

En la etapa de descarburación, después de la etapa de separación de escoria, se sopla oxígeno sobre el acero fundido en el horno eléctrico para reducir el contenido de carbono del acero fundido a un valor objetivo predeterminado. La etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria, y en la etapa de descarburación se introduce la cantidad total de oxígeno que debe introducirse en el horno eléctrico.

El contenido del horno eléctrico en la etapa de descarburación incluye un acero fundido producido en la etapa de separación de escoria y una escoria restante sin eliminar en la etapa de separación de escoria. Incluso en la fase de descarburación, cuando el hierro de reducción directa en estado sólido se carga continuamente en el horno eléctrico, el hierro de reducción directa en estado sólido también se incluye en el contenido. En la etapa de descarburación, en este horno eléctrico se sopla oxígeno desde la superficie superior o inferior del acero fundido y la escoria para oxidar el carbono contenido en el acero fundido y eliminar el carbono en forma de monóxido de carbono, reduciendo así el contenido de carbono del acero fundido. Además, también en la fase de descarburación, puede añadirse adecuadamente al material fundido un material formador de escoria, como cal viva o dolomita, según sea necesario en función de la composición del acero fundido y similares. Ajustando la composición de la escoria con el material formador de escoria, las impurezas contenidas en el acero fundido pueden transferirse a la escoria, y el contenido de impurezas del acero fundido puede ajustarse a un valor deseado.

La etapa de descarburación inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria. Es decir, el tiempo para realizar la etapa de descarburación es del 20 % al 50 % del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación.

El tiempo para realizar la etapa de separación de escoria y el tiempo para realizar la etapa de descarburación se determina en función del contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido. Cuanto más grande sea el contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido, mayor tiempo de realización de la etapa de separación de escoria es preferible. Esto se debe a que cuanto mayor es el tiempo necesario para realizar la etapa de separación de escoria, más escoria puede generarse y descargarse en la etapa de separación de escoria. En la etapa de descarburación, la cantidad de hierro eluido en la escoria aumenta debido a la introducción de oxígeno en el horno eléctrico en comparación con la etapa de separación de escoria. Sin embargo, generando más escoria en la etapa de separación de escoria, la cantidad total de escoria generada en la etapa de descarburación puede reducirse y el contenido de hierro descargado con la escoria puede reducirse, para poder aumentar así el rendimiento del acero fundido.

Por lo tanto, en la presente realización, el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria se fija en el 50 % o más del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación. Es decir, la hora de inicio de la etapa de descarburación se define como la hora en que ha transcurrido el 50 % o más del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria. El momento de inicio de la etapa de descarburación es preferentemente el momento en que ha transcurrido el 60 % o más del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria.

Por otro lado, como método para aumentar la relación entre el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria y el tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación, hay un método para aumentar la velocidad de introducción de oxígeno en el horno eléctrico, es decir, hay un método para acortar el tiempo para realizar la etapa de descarburación aumentando la cantidad de introducción del oxígeno por unidad de tiempo. Sin embargo, este método requiere la modificación del equipo para mejorar la capacidad de un dispositivo de soplado de oxígeno y un equipo de tratamiento de gases de escape, lo que se traduce en un aumento del coste de producción del acero fundido. En consecuencia, es necesario asegurar un cierto tiempo para la etapa de descarburación.

Por lo tanto, en la presente realización, el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria se fija en el 80 % o menos del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación. Es decir, el tiempo de inicio de la etapa de descarburación se define como el tiempo en que ha transcurrido el 80 % o menos del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria. El tiempo de inicio de la etapa de descarburación es preferentemente el tiempo en que ha transcurrido el 75 % o menos del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria.

El tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación puede determinarse adicionalmente en función de la capacidad del horno eléctrico, y puede ser, por ejemplo, 40 a 80 minutos. Como el tiempo específico para la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación, por ejemplo, el tiempo de la etapa de separación de escoria puede ser de 32 minutos, el tiempo de la etapa de descarburación puede ser de 10 minutos, y el tiempo total puede ser de 42 minutos, en el caso de que la cantidad de metal fundido restante en el horno eléctrico sea de 48 toneladas, la cantidad de hierro de reducción directa en estado sólido suministrada es de 4,7 toneladas por minuto, y la cantidad de fabricación de acero es de 160 toneladas, usando un horno eléctrico con una capacidad de 208 toneladas.

En la etapa de descarburación, se introduce la cantidad total de oxígeno que debe introducirse en el horno eléctrico. La cantidad de oxígeno introducida en el horno eléctrico es una cantidad de oxígeno necesaria para reducir el carbono contenido en el acero fundido para descarburar y fijar la cantidad de carbono contenida en el acero fundido después de la descarburización a un valor predeterminado. El contenido predeterminado de carbono contenido en el acero fundido será, por ejemplo, igual o superior al contenido de carbono objetivo del material de colada preparado vertiendo el acero fundido en un molde, y no superior o igual al valor obtenido añadiendo 0,1 % en masa al contenido de carbono objetivo. El contenido objetivo de carbono del material de fundición puede fijarse en un valor arbitrario en función de la aplicación del material de fundición.

En la etapa de descarburación, la temperatura del acero fundido es preferentemente de 1500 a 1650 °C. Ajustando la temperatura del acero fundido a 1500 °C o más, el hierro de reducción directa en estado sólido cargado continuamente en el horno eléctrico puede fundirse con seguridad, y la viscosidad de la escoria disminuye, para que el acero fundido y la escoria puedan descargarse fácilmente del horno eléctrico sin dejar residuos sin fundir. La temperatura del acero fundido es más preferentemente de 1530 °C o superior. Además, cuando la temperatura del acero fundido supera los 1650 °C, aumenta la erosión del revestimiento refractario del horno eléctrico, y también aumenta la cantidad de energía eléctrica utilizada por tonelada de acero fundido. La temperatura del acero fundido es más preferentemente de 1630 °C o inferior.

La basicidad de la escoria en la fase de descarburación no está especialmente limitada, pero cuando se utiliza un refractario básico como revestimiento refractario del horno eléctrico, la basicidad de la escoria es preferentemente de 1,4 a 2,0 como en la etapa de separación de escoria, de modo que se suprima la erosión del refractario debida a la escoria.

De acuerdo con el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente realización, como se ha descrito anteriormente, puede suprimirse una disminución del rendimiento del acero fundido en la etapa de separación de escoria, y puede obtenerse un acero fundido con un contenido de carbono predeterminado en la etapa de descarburación. Dado que estas etapas se pueden realizar en un solo horno eléctrico, el acero fundido se puede obtener eficientemente con un alto rendimiento incluso si se utiliza un mineral de hierro de baja ley como materia prima para un hierro de reducción directa en estado sólido.

La presente memoria descriptiva divulga diversos aspectos de las técnicas descritas anteriormente, y las técnicas principales se resumen a continuación.

Como se ha descrito anteriormente, el método para producir un acero fundido de acuerdo con un aspecto de la presente invención es un método para producir un acero fundido utilizando hierro de reducción directa en estado sólido como materia prima, en donde:

el hierro de reducción directa en estado sólido contiene 3,0 % en masa o más de SiO_2 y Al_2O_3 en total y 1,0 % en masa o más de carbono,

una proporción de un hierro metálico con respecto a un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido es del 90 % en masa o más, y

un exceso de contenido de carbono C_x especificado por la siguiente fórmula (1) con respecto al carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido es del 0,2 % en masa o más, incluyendo el método:

una etapa de separación de escoria en la que el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde en un horno eléctrico sin introducir oxígeno para separarse en un acero fundido y una escoria, y la escoria se descarga continuamente del horno eléctrico, y

una etapa de descarburación por soplado, en el horno eléctrico, de una cantidad total de oxígeno introducida en el horno eléctrico al acero fundido para descarburizar el acero fundido después de la etapa de separación de escoria,

en donde la etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria, en donde el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria y el tiempo para realizar la etapa de descarburación se determina en función del contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido.

$$C_x = [C] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

En la fórmula, C_x : exceso de contenido de carbono (% en masa), $[C]$: contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa), $[\text{FeO}]$: Contenido de FeO del hierro de reducción directa en estado sólido (% en masa).

De acuerdo con esta constitución, el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido se reduce por el exceso de carbono contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido en la etapa de separación de escoria, para suprimir la elución de FeO en la escoria. Por lo tanto, es posible suprimir una disminución del rendimiento del acero fundido en la etapa de separación de escoria. En la etapa de descarburación, la cantidad de hierro transferida a la escoria aumenta debido a la introducción de oxígeno en el horno eléctrico en comparación con la etapa de separación de escoria. Sin embargo, generando escoria en la etapa de separación de escoria, se reduce la cantidad total de escoria generada en la etapa de descarburación, de modo que se suprime el FeO descargado junto con la escoria en la etapa de descarburación. Además, en la etapa de descarburación, el contenido de carbono del acero fundido puede reducirse para poder obtener un acero fundido con un contenido de carbono predeterminado. Como se ha descrito anteriormente, según el método para producir un acero fundido que tenga la constitución mencionada, el acero fundido puede obtenerse con un alto rendimiento mediante las dos etapas anteriores incluso si se utiliza un mineral de hierro de baja ley como materia prima para el hierro de reducción directa en estado sólido.

En la etapa de separación de escoria con la constitución anterior, la basicidad de la escoria puede ser de 1,4 a 2,0, y en la etapa de descarburación, la temperatura del acero fundido puede ser de 1500 a 1650 °C.

Como resultado, la escoria con bajo contenido en FeO puede descargarse fácilmente del horno eléctrico en la etapa de separación de escoria, para que el acero fundido pueda producirse eficazmente.

En lo sucesivo en el presente documento, la presente invención se describirá más específicamente con referencia a ejemplos. Los siguientes ejemplos no pretenden limitar el alcance de la invención. La presente invención sólo está limitada por las reivindicaciones adjuntas.

Ejemplos

(Condiciones de ensayo)

Utilizando como materia prima hierros de reducción directa en estado sólido, cada uno de los cuales tiene la composición indicada en la Tabla 1, se realizó una simulación por ordenador de la producción de aceros fundidos de los siguientes números de prueba 1 a 3 en un horno eléctrico de fabricación de acero (EAF) descrito anteriormente. El hierro A1 de reducción directa en estado sólido se produjo a partir de un mineral de hierro de baja ley como materia prima y tenía un contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del 7,63 % en masa. El hierro A2 de reducción directa en estado sólido se produjo a partir de un mineral de hierro de alta ley como materia prima y tenía un contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 del 2,47 % en masa. La tasa de metalización era del 94,0 % en cada caso. "Fe T." que se muestra en la Tabla 1 significa un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido.

[Tabla 1]

Hierro de reducción directa en estado sólido	Composición de los componentes (% en masa)						$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	Tasa de metalización (%)
	Fe T.	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	C		
A1	88,3	7,63	0,00	0,47	0,51	1,5	7,63	94,0
A2	93,1	1,72	0,75	0,89	0,34	1,5	2,47	94,0

(Ensayo 1)

El Ensayo 1 es un ejemplo de la presente invención. En el Ensayo 1, el ensayo se llevó a cabo utilizando el hierro A1 de reducción directa en estado sólido. La etapa de descarburación se inició cuando había transcurrido el 75 % del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria. Es decir, el tiempo para la etapa de separación de escoria se fijó en el 75 % del tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación, y el tiempo para la etapa de descarburación se fijó en el 25 % del tiempo total. No se introdujo oxígeno en la fase de separación de la escoria, pero el oxígeno sólo se introdujo en la etapa de descarburación. En la etapa de descarburación, se introdujo un total de 10,2 Nm^3/t de oxígeno a un caudal constante.

Un hierro de reducción directa en estado sólido a 500 °C se introdujo en un horno eléctrico de fabricación de acero, y en la etapa de separación de escoria, no se utilizó oxígeno, y la escoria se descargó continuamente del horno eléctrico de fabricación de acero abriendo una puerta de escoria móvil verticalmente instalada en el lado de escape de escoria del horno eléctrico de fabricación de acero. En la etapa de descarburación, se insufló oxígeno en el acero fundido para que el contenido de carbono del acero fundido se ajustara al 0,15 % en masa y la temperatura del acero fundido se fijó en 1630 °C.

En la etapa de separación de escoria y en la de descarburación, se utilizaron cal viva y dolomita como materiales formadores de escoria, y la basicidad de la escoria se estableció en 1,8 como se muestra en la Tabla 2.

(Ensayo 2 y Ensayo 3)

El ensayo 2 es un ejemplo comparativo en el que se utiliza un hierro A1 de reducción directa en estado sólido, y el ensayo 3 es un ejemplo de referencia en el que se utiliza un hierro A2 de reducción directa en estado sólido. Tanto en el Ensayo 2 como en el Ensayo 3, se suministró un caudal constante de oxígeno desde el inicio del calentamiento del horno eléctrico de fabricación de acero hasta el final de la descarburación. Tanto en el Ensayo 2 como en el Ensayo 3, se cargó hierro de reducción directa en estado sólido a 500 °C en un horno eléctrico de fabricación de acero, y el contenido de carbono del acero fundido se fijó en 0,15 % en masa, y la temperatura del acero fundido se fijó en 1630 °C. Además, se utilizaron cal viva y dolomita como los materiales formadores de escoria, y la basicidad de la escoria se estableció en 1,8 como se muestra en la Tabla 2.

[Tabla 2]

Horno eléctrico	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Basicidad de la escoria	1,8	1,8	1,8
Contenido de MgO de la escoria (% en masa)	12	12	12
Contenido de FeO de la escoria (% en masa)	10,0	25,0	25,0
Contenido de carbono del acero fundido (% en masa)	0,15	0,15	0,15
Temperatura del acero fundido (°C)	1630	1630	1630
Cantidad de hierro de reducción directa (500 °C) utilizado (kg/t)	1161	1231	1095
Cantidad de cal viva utilizada (kg/t)	162	149	19
Cantidad de dolomita utilizada (kg/t)	44	87	18
Cantidad de energía eléctrica utilizada (kWh/t)	588	542	461
Cantidad de carbono utilizado (kg/t)	0	0	0
Cantidad de oxígeno utilizado (Nm ³ /t)	10,2	23,2	7,6
Cantidad de escoria producida (kg/t)	338	456	104
Rendimiento del acero fundido (%)	96,8	91,9	98,0

(Resultados del ensayo)

La Tabla 2 muestra la cantidad de materias primas y energía eléctrica utilizadas para la producción por tonelada de acero fundido, la cantidad de escoria producida y el rendimiento del acero fundido. En este punto, el rendimiento del acero es la proporción (% en masa) entre el contenido de hierro recuperado como acero y el contenido de hierro cargado en el horno eléctrico de fabricación de acero como hierro de reducción directa en estado sólido.

(Ensayo 1)

En el Ensayo 1, ya que no se introdujo oxígeno en el horno eléctrico de fabricación de acero en la etapa de separación de escoria, el contenido medio de FeO de la escoria descargada en la etapa de separación de escoria fue del 5 % en masa. En la etapa de descarburación, al introducir oxígeno, el FeO contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido se eluye en la escoria tal cual, y el FeO recién generado producido al oxidar un hierro metálico con oxígeno se eluye en la escoria, de modo que el contenido medio de FeO de la escoria en la fase de descarburación fue del 25,0 % en masa. El contenido medio de FeO de toda la escoria combinada de la etapa de separación de escoria y de la etapa de descarburación fue del 10 % en masa. Como se ha descrito anteriormente, ya que el contenido de FeO era relativamente pequeño, del 10 % en masa, la cantidad total de escoria producida fue de 338 kg/t, que era una cantidad que podía procesarse en el funcionamiento del horno eléctrico de fabricación de acero.

El rendimiento del acero fundido en toda la fase de separación de escoria y descarburación alcanza el 96,8 %, e incluso si se utiliza un mineral de hierro de baja ley como materia prima para el hierro de reducción directa en estado sólido, se podría obtener acero fundido con un alto rendimiento.

5 (Ensayo 2)

10 En el Ensayo 2, dado que el oxígeno se suministraba a caudal constante desde el inicio del calentamiento del horno eléctrico de fabricación de acero hasta el final de la descarburación, el contenido medio de FeO de la escoria desde el inicio del calentamiento del horno eléctrico de fabricación de acero hasta el final de la descarburación alcanzó el 25,0 % en masa. Por lo tanto, la cantidad total de escoria producida alcanzó los 456 kg/t, difícil de procesar debido al funcionamiento del horno eléctrico de fabricación de acero. Adicionalmente, el rendimiento del acero fundido era tan bajo como el 91,9 % porque se descargaba una gran cantidad de hierro junto con la escoria.

15 (Ensayo 3)

20 En el Ensayo 3, se utilizó mineral de hierro de alta ley como materia prima para el hierro de reducción directa en estado sólido, de modo que la cantidad de escoria producida fue tan pequeña como 104 kg/t. Por lo tanto, aunque el contenido medio de FeO de la escoria desde el inicio del calentamiento del horno eléctrico de fabricación de acero hasta el final de la descarburación alcanzó el 25,0 % en masa, el contenido de hierro descargado con la escoria fue pequeño y el rendimiento del acero fundido fue del 98,0 %, que fue mayor que el del Ensayo 1. Adicionalmente, la cantidad de escoria producida fue una cantidad que no causó ningún problema operativo.

(Sumario)

25 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con el método para producir un acero fundido de acuerdo con la presente invención, se confirmó que incluso si se utilizara mineral de hierro de baja ley, se podía obtener acero fundido con un alto rendimiento equivalente al que se obtenía cuando se utilizaba mineral de hierro de alta ley.

30 Para describir la presente invención, la invención se describió en la descripción anterior de manera apropiada y suficiente utilizando realizaciones con referencia a ejemplos específicos y similares. Sin embargo, debe entenderse que a los expertos en la materia se les ocurrirán fácilmente cambios y/o modificaciones en las realizaciones anteriores. Por lo tanto, a menos que un cambio o modificación realizado por expertos en la materia esté más allá del alcance de las reivindicaciones adjuntas, dicho cambio o modificación debe quedar comprendido dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

35

Aplicabilidad industrial

La presente invención tiene una amplia gama de aplicabilidad industrial en los campos técnicos relacionados con un método para producir acero fundido.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir acero fundido utilizando hierro de reducción directa en estado sólido como materia prima, en donde:

- 5 el hierro de reducción directa en estado sólido contiene 3,0 % en masa o más de SiO_2 y Al_2O_3 en total y 1,0 % en masa o más de carbono,
 una proporción de un hierro metálico con respecto a un contenido total de hierro contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido es del 90 % en masa o más, y
 un exceso de contenido de carbono Cx especificado por la siguiente fórmula (1) con respecto al carbono contenido en
 10 el hierro de reducción directa en estado sólido es del 0,2 % en masa o más,
 comprendiendo el método:
 una etapa de separación de escoria en la que el hierro de reducción directa en estado sólido se calienta y se funde en un horno eléctrico sin introducir oxígeno para separarse en un acero fundido y una escoria, y la escoria se descarga continuamente del horno eléctrico, y
 15 una etapa de descarburación por soplado, en el horno eléctrico, de una cantidad total de oxígeno introducida en el horno eléctrico para que el acero fundido se descarburice después de la etapa de separación de escoria,
 en donde la etapa de descarburación se inicia cuando ha transcurrido entre el 50 % y el 80 % de un tiempo total para realizar la etapa de separación de escoria y la etapa de descarburación desde el inicio de la etapa de separación de escoria, en donde el tiempo para realizar la etapa de separación de escoria y el tiempo para realizar la etapa de
 20 descarburación se determina en función del contenido total de SiO_2 y Al_2O_3 contenido en el hierro de reducción directa en estado sólido:

$$\text{Cx} = [\text{C}] - [\text{FeO}] \times 12 \div (55,85 + 16) \div 0,947 \quad (1)$$

 en la fórmula, Cx: exceso de contenido de carbono, en % en masa, [C]: contenido de carbono del hierro de reducción directa en estado sólido, en % en masa, [FeO]: contenido de FeO del hierro de reducción directa en estado sólido, en
 25 % en masa.

2. El método para producir un acero fundido de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la basicidad de la escoria se fija entre 1,4 y 2,0 en la etapa de separación de escoria, y la temperatura del acero fundido se fija entre 1500 y 1650 °C en la etapa de descarburación.

30

FIG. 1

