

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 767**

51 Int. Cl.:

C21B 5/00 (2006.01)

C21B 5/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2020** **PCT/JP2020/006011**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.08.2020** **WO20171008**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2020** **E 20759676 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2024** **EP 3907303**

54 Título: **Procedimiento de operación de altos hornos**

30 Prioridad:

18.02.2019 JP 2019026220

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2024

73 Titular/es:

NIPPON STEEL CORPORATION (33.3%)

6-1, Marunouchi 2-chome

Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JP;

JFE STEEL CORPORATION (33.3%) y

KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (33.3%)

72 Inventor/es:

SAKAI, HIROSHI;

NISHIOKA, KOKI y

NAKANO, KAORU

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 981 767 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 altos hornos

Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere al procedimiento de operación de un alto horno.

- 5 Se reivindica prioridad respecto de la Solicitud de patente japonesa nº 2019-026220, presentada el 18 de febrero de 2019.

Técnica relacionada

En la industria siderúrgica, el procedimiento de alto horno es la corriente principal de un proceso de fabricación de acero. En el procedimiento de alto horno, los materiales ferrosos para un alto horno (materias primas que incluyen 10 óxido de hierro; principalmente minerales sinterizados; en lo sucesivo denominados simplemente "materiales ferrosos") y el coque se cargan alternativamente en capas en un alto horno desde la parte superior del alto horno, y el viento caliente se insufla en el alto horno desde una tobera de la parte inferior del alto horno. El viento caliente reacciona con el carbón pulverizado insuflado junto con el viento caliente y el coque en el alto horno, de manera que se produce gas reductor a alta temperatura (en este caso, principalmente gas CO) en el alto horno. Es decir, el viento 15 caliente gasifica el coque y el carbón pulverizado en el alto horno. El gas reductor asciende en el alto horno y reduce el material férreo al tiempo que calienta los materiales férricos. Los materiales ferrosos son calentados y reducidos por el gas reductor mientras caen en el alto horno. A continuación, los materiales ferrosos se funden y se introducen en el alto horno mientras el coque los sigue reduciendo. Por último, los materiales ferrosos se acumulan en un hogar en forma de hierro fundido (arrabio) que incluye aproximadamente un 5% en masa de carbono. El hierro fundido en el 20 hogar se extrae por un orificio de grifo y se suministra para el siguiente proceso de fabricación de acero. Por consiguiente, en el procedimiento de alto horno, se utiliza un material de carbono como el coque o el carbón pulverizado como material reductor.

Por cierto, recientemente, el calentamiento global ha sido un problema social, y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (gas CO₂) que es un gas de efecto invernadero se ha reivindicado como una contramedida contra 25 el calentamiento global. Como se ha descrito anteriormente, en el procedimiento de alto horno se fabrica una gran cantidad de arrabio utilizando un material de carbono como material reductor. Por lo tanto, se produce una gran cantidad de CO₂. En consecuencia, la industria siderúrgica es una de las principales industrias en lo que respecta a las emisiones de gases de CO₂ y a la necesidad de satisfacer la demanda de la sociedad. En concreto, es urgente reducir aún más la proporción de material reductor (la cantidad de material reductor utilizado por tonelada de hierro 30 fundido) en la operación del alto horno. En concreto, la proporción de material reductor se refiere a la masa total de coque y carbón pulverizado (y cuando se insufla gas reductor desde una tobera, gas reductor insuflado desde una tobera (descrito más adelante)) necesaria para producir una tonelada de hierro fundido.

El material reductor tiene la función de calentar los materiales que se van a cargar en el horno como fuente de calor y la función de reducir el material férreo en el horno, y necesita aumentar la eficiencia de reducción en el horno para 35 reducir la proporción de material reductor. Las reacciones de reducción en el horno pueden representarse mediante diversas fórmulas de reacción. Entre estas reacciones de reducción, una reacción de reducción directa (fórmula de reacción: $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$) por coque es una reacción endotérmica acompañada de una elevada absorción de calor. Por consiguiente, para reducir la proporción de material reductor, es importante suprimir en la medida de lo posible la aparición de la reacción de reducción directa. La razón de ello es que, al suprimir la aparición de la reacción 40 de reducción directa en la medida de lo posible, se puede reducir la cantidad de coque y de material reductor utilizado como fuente de calor necesaria para la reacción de reducción directa. La reacción de reducción directa se produce en la parte inferior de un alto horno. Por lo tanto, siempre que los materiales ferrosos puedan reducirse suficientemente mediante gas reductor como CO o H₂ hasta que los materiales ferrosos alcancen la parte inferior del horno, los materiales ferrosos como objetivo de la reacción de reducción directa pueden reducirse.

Como técnicas de la técnica relacionado para resolver el problema descrito anteriormente, por ejemplo, según lo divulgado en los Documentos de Patente 1 a 4, se conoce una técnica para mejorar el potencial de gas reductor en un horno insuflando gas reductor (por ejemplo, COG, LPG o gas metano) incluyendo carbono junto con viento caliente de una tobera. En esta técnica, el carbono del gas reductor insuflado desde una tobera se convierte en gas CO en el alto horno para reducir los materiales que contienen hierro. Como resultado, se puede reducir la cantidad de materiales 50 que contienen hierro como objetivo de la reacción de reducción directa. En la siguiente descripción, a menos que se especifique lo contrario, "carbono" e "hidrógeno" representan "átomo de carbono" y "átomo de hidrógeno", respectivamente.

Documento del Estado de la Técnica

Documento de patente

- 55 [Documento de Patente 1] Patente japonesa nº 6019893
[Documento de Patente 2] Patente japonesa nº 5070706

[Documento de Patente 3] Solicitud de Patente Japonesa No Examinada, Primera Publicación No. 2007-169750

[Documento de patente 4] US 5 234 490 A

Divulgación de la invención

5 Problemas que resolverá la invención

Sin embargo, cuando la cantidad de gas reductor que incluye carbono insuflado (la cantidad del mismo insuflada por tonelada de hierro fundido) aumenta, la cantidad de carbono introducida en el alto horno aumenta junto con un aumento de la cantidad de material reductor insuflado. Junto con el aumento del volumen de gas reductor, cambia el factor de utilización del gas CO en el alto horno. Cuando el volumen de gas reductor aumenta excesivamente, la mayor parte del gas reductor se agota sin utilizarse en el horno. Por consiguiente, sólo cuando aumenta la cantidad de gas reductor insuflado, el carbono del gas reductor se agota sin utilizarse para la reducción, de modo que puede aumentar la proporción de material reductor o las emisiones de CO₂.

Por lo tanto, la presente invención se ha realizado teniendo en cuenta los problemas descritos anteriormente, y el objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento de operación de alto horno novedoso y mejorado en el que se pueda obtener un efecto de reducción de la proporción de material reductor deseado.

Medios para resolver el problema

Para lograr el objeto, los presentes inventores definieron un parámetro de reducción InputΔC en el consumo específico de carbono causado por el insuflado de gas reductor en el alto horno. Aquí, el consumo específico de carbono Input C (kg/t-arrabio) se refiere a la cantidad de carbono consumido por tonelada de hierro fundido y, más concretamente, se refiere a la masa total de coque, carbón pulverizado y carbono en el gas reductor insuflado desde la tobera necesaria para producir una tonelada de hierro fundido. Concretamente, Input C se calcula a partir de la siguiente expresión numérica (1).

$$\begin{aligned} \text{Input C (kg/t-arrabio)} = & \text{Relación de coque (kg/t-arrabio)} \times \text{Proporción de carbono (\% en} \\ & \text{masa) en Coque} + \text{Relación de carbón pulverizado (kg/t-arrabio)} \times \text{Proporción de carbono} \\ & \text{(\% en masa) en carbón pulverizado} + \text{Consumo de gas reductor usado (Nm}^3\text{/t-arrabio)} \times \\ & \text{Proporción de carbono (kg/Nm}^3\text{) en gas reductor (1)} \end{aligned}$$

Aquí, la relación de coque y la relación de carbón pulverizado se refieren a las cantidades de coque y carbón pulverizado utilizadas por tonelada de hierro fundido. El consumo de gas reductor utilizado se refiere al volumen de gas reductor por tonelada de hierro fundido. La proporción de carbono en el coque se refiere al % en masa de carbono con respecto a la masa total del coque, y la proporción de carbono en el carbón pulverizado se refiere al % en masa de carbono con respecto a la masa total del carbón pulverizado. La proporción de carbono en el gas reductor se refiere al contenido de carbono por unidad de volumen del gas reductor. En la expresión numérica (1), el volumen (Nm³/t-arrabio) del gas reductor insuflado para fabricar una tonelada de hierro fundido se utilizó como el consumo de gas reductor utilizado, y el contenido de carbono (kg/Nm³) por unidad de volumen de gas reductor se utilizó como la proporción de carbono en el gas reductor. Sin embargo, la masa (kg/t-arrabio) del gas reductor insuflado para fabricar una tonelada de hierro fundido puede utilizarse como el consumo de gas reductor utilizado, y el % en masa de carbono con respecto a la masa total del gas reductor puede utilizarse como la proporción de carbono en el gas reductor.

InputΔC puede definirse, por ejemplo, como la proporción de reducción (porcentaje, %) en el consumo específico de carbono (Input C) de una operación en la que se insufla una cantidad predeterminada de gas reductor con respecto a una operación base. En la operación base, por ejemplo, se pueden establecer condiciones de operación en las que no se sople el gas reductor. Cuando el Input C de una operación base está representado por A (kg/t-arrabio) y el Input C de una operación en la que se insufla una cantidad predeterminada de gas reductor está representado por B (kg/t-arrabio), el InputΔC está representado por la siguiente Expresión Numérica (2). Por supuesto, la reducción InputΔC en el consumo específico de carbono no se limita a un valor representado por la siguiente Expresión Numérica (2) y puede ser un valor que represente el grado de reducción en el consumo específico de carbono con respecto a la operación base. Por ejemplo, InputΔC puede ser la diferencia (A - B) entre A y B.

$$\text{Input}\Delta\text{C} = (A - B) / A \times 100 (\%) \quad (2)$$

InputΔC es el parámetro correspondiente a la proporción de material reductor, y a medida que aumenta InputΔC, aumenta la reducción de la proporción de material reductor con respecto a la operación base. Como se describe más adelante en los Ejemplos en detalle, los presentes inventores calcularon InputΔC con respecto a las cantidades de una pluralidad de gas reductor insuflado realizando una simulación de operación de alto horno mientras se cambiaba el tipo de gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado (la cantidad de gas reductor insuflado por tonelada de hierro fundido). Como resultado, mientras la cantidad de gas reductor insuflado sea pequeña, InputΔC aumenta junto

con un aumento de la cantidad de gas reductor insuflado. Sin embargo, se aclaró que, a medida que aumenta la cantidad de gas reductor insuflado, el aumento de Input Δ C disminuye, y el Input Δ C empieza a disminuir.

Así, los presentes inventores llevaron a cabo una investigación sobre los parámetros que afectan al Input Δ C o a la proporción de material reductor. En primer lugar, los actuales inventores se centraron en la cantidad de hidrógeno introducido (Nm³/t-arrabio) en el alto horno por tonelada de hierro fundido. El hidrógeno aquí descrito se refiere al hidrógeno alimentado en la parte delantera de la tobera e incluye no sólo el hidrógeno del gas reductor, sino también el hidrógeno de la humedad higroscópica del aire y el hidrógeno del carbón pulverizado. Los presentes inventores cambiaron la cantidad de hidrógeno alimentado cambiando el tipo de gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado y adquiere una correlación entre la cantidad de hidrógeno alimentado y una tasa de reducción de hidrógeno (%) en este momento a través de la simulación de operación del alto horno. En este caso, la simulación de la operación del alto horno se realizó siguiendo el mismo procedimiento que el del Ejemplo 1. La tasa de reducción de hidrógeno se define como la proporción de óxido de hierro reducido por el hidrógeno en el óxido de hierro introducido en el horno, y la suma de una tasa de reducción de CO (la proporción de óxido de hierro reducido por el gas CO) y una tasa de reducción directa (la proporción de óxido de hierro reducido por reducción directa con C) es del 100%. Los resultados se muestran en la FIG. 2. En la Figura 2, se utilizaron gas de horno de coque (COG), gas natural (GN) y gas mixto de gas de horno de coque y gas hidrógeno como gas reductor. Aquí, durante la mezcla de gas de horno de coque y gas hidrógeno para el gas mezclado, COG:H₂ = 1: 1,43 cuando la cantidad total de hidrógeno introducida en el horno $\approx$ 270 Nm³/t-arrabio, y COG:H₂ = 1:2,28 cuando la cantidad total de hidrógeno introducida en el horno $\approx$ 340 Nm³/t-arrabio. En la operación base, no se sopló el gas reductor. Como resultado, puede observarse que, independientemente del tipo de gas reductor, a medida que aumenta la cantidad de hidrógeno alimentado, el índice de reducción de hidrógeno (%) aumenta sustancialmente de forma monótonica. Cuando los materiales ferrosos están completamente reducidos, la suma de la tasa de reducción de hidrógeno, la tasa de reducción de CO y la tasa de reducción directa es del 100%, y existe una relación en la que, a medida que aumenta la tasa de reducción de hidrógeno, disminuye la tasa de reducción directa (o la tasa de reducción de CO). La FIG 3 muestra el porcentaje de reducción directa en este momento. En esta prueba, a medida que aumenta la cantidad de hidrógeno alimentado, el índice de reducción de hidrógeno aumenta monótonamente, el índice de reducción directa disminuye monótonamente y el Input Δ C aumenta monótonamente junto con un aumento de la cantidad de hidrógeno alimentado. Por lo tanto, un comportamiento específico que el aumento de Input Δ C disminuir junto con un aumento en la cantidad de hidrógeno alimentado y Input Δ C comienza a disminuir no es probable que ocurra. En consecuencia, se comprobó que la cantidad de hidrógeno alimentado no es un parámetro que afecte al comportamiento de Input Δ C o a la proporción de material reductor.

A continuación, los presentes inventores se centraron en el consumo de carbono alimentado en el alto horno junto con el gas reductor insuflado desde la tobera. Aquí, el consumo de carbono introducido en el alto horno junto con el gas reductor es un valor que se obtiene multiplicando la proporción de carbono (kg/Nm³) en el gas reductor por el volumen de gas reductor (Nm³/t-arrabio) por tonelada de hierro fundido. En lo sucesivo, el consumo de carbono introducido en el alto horno junto con el gas reductor también se denominará "consumo de carbono en el gas reductor".

Los presentes inventores calcularon Input Δ C realizando la simulación de operación del alto horno mientras se cambiaba el consumo de carbono en el gas reductor y el tipo de gas reductor como se describe a continuación en los Ejemplos en detalle. Como resultado, los presentes inventores descubrieron que existe una correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor.

Los presentes inventores llevaron a cabo una investigación sobre la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor y aclararon que la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor tiende a variar entre un caso en el que una relación molar C/H de átomos de carbono a átomos de hidrógeno en el gas reductor es 0,15 o superior y un caso en el que C/H es inferior a 0,15. Más concretamente, cuando C/H en el gas reductor es 0,15 o superior, la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor se determina de forma única independientemente del tipo de gas reductor (en otras palabras, independientemente de C/H en el gas reductor). Por otro lado, cuando C/H en el gas reductor es inferior a 0,15, la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor varía en función de C/H en el gas reductor. Obsérvese que, en todos los casos, la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor se representa mediante un gráfico que forma una curva convexa ascendente (es decir, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es un valor determinado, se muestra el valor máximo).

En consecuencia, adquiriendo la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor en avance por C/H en el gas reductor, el consumo de carbono en el gas reductor puede determinarse de tal manera que Input Δ C sea un valor objetivo predeterminado o superior basándose en la correlación. Además, la cantidad de gas reductor insuflado en el alto horno puede ajustarse en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor y de la proporción de carbono en el gas reductor. Como resultado, se puede obtener el Input Δ C deseado (es decir, el Input Δ C que es el valor objetivo o superior). Es decir, se puede obtener el efecto deseado de reducción de la proporción de material reductor y, además, la proporción de material reductor se puede reducir de forma más fiable. Además, según esta correlación, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es un valor dado, Input Δ C muestra un valor máximo (el gráfico específico se describirá más adelante). En consecuencia, cuando el consumo de carbono en el gas reductor se determina de tal manera que Input Δ C está cerca del valor máximo, la proporción de material reductor puede

reducirse más eficientemente. Además, al adquirir la correlación por C/H en el gas reductor, se puede determinar la cantidad de gas reductor insuflado basándose en la correlación correspondiente a C/H en el gas reductor. Los presentes inventores completaron la presente invención basándose en los hallazgos descritos anteriormente.

El resumen de la presente invención es el siguiente.

- 5 De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de operación de alto horno en el que se insufla gas reductor que incluye átomos de hidrógeno y átomos de carbono en un alto horno, siendo el procedimiento divulgado en las reivindicaciones anexas 1 y 5.

Además, la correlación puede representarse mediante una expresión cuadrática del consumo de carbono en el gas reductor.

- 10 Además, la correlación puede representarse por $Y = a_1X^2 + b_1X + c_1$ (donde X representa el consumo de carbono en el gas reductor, Y representa la reducción Input Δ C en el consumo específico de carbono, y todos los coeficientes a_1 , b_1 y c_1 representan valores que no dependen de la relación molar C/H).

Además, el consumo de carbono en el gas reductor puede determinarse en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 65 kg/t-arrabio.

- 15 Además, la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor puede ser superior a 0 e inferior a 0,15.

Además, la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor puede ser de 0,13 o inferior.

- 20 Además, la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor puede ser de 0,10 o inferior.

Además, la correlación puede representarse por $Y = a_2X^2 + b_2X + c_2$ (donde X representa el consumo de carbono en el gas reductor, Y representa la reducción Input Δ C en el consumo específico de carbono, y al menos uno de los coeficientes a_2 , b_2 y c_2 representa una función que incluye la relación molar C/H como variable).

- 25 Además, cuando el gas reductor se insufla en el alto horno, la temperatura de la llama puede ajustarse para que sea de 2000°C o superior.

Además, a fin de ajustar la temperatura de la llama para que sea de 2000°C o superior, puede ajustarse al menos uno de un volumen de viento o una relación de enriquecimiento de oxígeno en el viento caliente.

- 30 Además, el gas reductor puede seleccionarse del grupo que consiste en gas de horno de coque, gas natural, gas superior reformado (BFG), gas ciudad, gas mezclado de los mismos y gas mezclado con hidrógeno obtenido mezclando gas de hidrógeno con el mismo.

Efectos de la invención

Según el aspecto de la presente invención, puede obtenerse el efecto deseado de reducción de la proporción de material reductor.

Breve descripción de los dibujos

- 35 La FIG 1 es un gráfico que muestra una correlación entre Input Δ C y un consumo de carbono (kg/t-arrabio) en el gas reductor por C/H en el gas reductor.
La FIG 2 es un gráfico que muestra una relación entre el índice de reducción de hidrógeno y la cantidad de hidrógeno introducida (Nm³/t-arrabio) en un alto horno por tonelada de hierro fundido.
40 La FIG 3 es un gráfico que muestra la relación entre el índice de reducción directa y la cantidad de hidrógeno introducido (Nm³/t-arrabio) en un alto horno por tonelada de hierro fundido.

Realizaciones de la invención

- En lo sucesivo, se describirá en detalle una realización preferente de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. En la siguiente realización, un intervalo de limitación numérica representado usando "a" se refiere a un intervalo que incluye valores numéricos antes y después de "a" como límite inferior y límite superior. Un valor numérico
45 indicado junto con "más que" o "menos que" no está incluido en un intervalo numérico.

<1. Correlación entre Input Δ C y consumo de carbono en la reducción de gas>

En primer lugar, se describirá una correlación entre Input Δ C y un consumo de carbono en gas reductor insuflado desde una tobera (en adelante, la correlación también se denominará "correlación Δ C-gas reductor") basada en la FIG. 1. En

la Figura 1 el eje vertical (eje y) representa InputΔC (%) y el eje horizontal (eje x) representa el consumo de carbono (kg/t-arrabio) en el gas reductor.

Aquí, InputΔC puede definirse como la proporción de reducción del consumo específico de carbono causada por el insuflado del gas reductor en el alto horno. Cuando C de una operación base está representada por A (kg/t-arrabio) y el Input C de una operación en la que se insufla una cantidad predeterminada de gas reductor está representada por B (kg/t-arrabio), el InputΔC está representada por la siguiente Expresión Numérica (2). Tenga en cuenta que InputΔC de la operación base en FIG. 1 (*0,0) Por supuesto, InputΔC no se limita a ser representado por la siguiente Expresión Numérica (2). Por ejemplo, la diferencia (A-B) entre A y B puede adquirirse como InputΔC.

$$\text{Input}\Delta C = (A - B) / A \times 100 (\%) \quad (2)$$

El consumo de carbono en el gas reductor se refiere al consumo de carbono introducido en el alto horno por el gas reductor insuflado desde la tobera como se ha descrito anteriormente, y puede obtenerse multiplicando la proporción de carbono (kg/Nm³) en el gas reductor por el volumen de gas reductor (Nm³/t-arrabio) por tonelada de hierro fundido.

El gas reductor se insufla en el alto horno desde una tobera situada en el mismo. El gas reductor incluye componentes reductores que reducen los materiales que contienen hierro en el alto horno. Aquí, los componentes reductores según la realización incluyen no sólo un componente (por ejemplo, gas CO o gas hidrógeno) que puede reducir los materiales que contienen hierro por sí mismo, sino también un componente (por ejemplo, gas CO₂ o gas hidrocarburo) que puede producir gas reductor a través de una reacción en el alto horno (por ejemplo, una reacción con coque, carbón pulverizado, o similares o descomposición).

La correlación ΔC-gas reductor mostrada en la FIG. 1 se adquiere realizando, por ejemplo, una simulación de operación de un alto horno. Como simulación de la operación del alto horno, por ejemplo, un llamado "Modelo Matemático de Alto Horno" Kouji TAKATANI, Takanobu INADA, Yutaka UJISAWA, "Simulador dinámico tridimensional para alto horno", ISIJ Internacional, Vol. 39 (1999), No. 1, p. 15 a 22 puede utilizarse. En este modelo matemático de alto horno, una región interna del alto horno se divide en una dirección de altura, una dirección radial y una dirección circunferencial para definir una pluralidad de mallas (pequeñas regiones), y se simula el comportamiento de cada una de las mallas. El resumen de la simulación de la operación del alto horno es el siguiente. Es decir, la simulación de la operación del alto horno se realiza utilizando varios casos en los que la C/H en el gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado (la cantidad del mismo insuflada por tonelada de hierro fundido) son diferentes entre sí. Los casos también incluyen la operación base (un caso en el que el volumen de gas reductor es 0). En este caso, las condiciones de operación se ajustan de modo que la temperatura de la llama y la temperatura del hierro fundido sean lo más constantes posible en los casos. Por ejemplo, puede ajustarse al menos uno de los volúmenes de viento o la proporción de enriquecimiento de oxígeno en el viento caliente. En este caso, la temperatura de la llama se refiere a la temperatura dentro del horno en una parte del extremo de la tobera en el interior del horno, y también se denominará "temperatura del extremo de la tobera". En la operación real, la temperatura de la llama se calcula como temperatura de combustión teórica de la punta de la tobera según la ecuación de Lamm descrita en "Ironmaking Handbook" (Chijinshokan Co., Ltd.), Akitoshi SHIGEMI. El viento caliente insuflado en el alto horno es de gas, incluido el aire. El viento caliente puede incluir humedad higroscópica y oxígeno enriquecido además de aire. Esquemáticamente, la relación de enriquecimiento de oxígeno se refiere a la proporción de volumen de oxígeno en el viento caliente con respecto al volumen total del viento caliente, y se representa por "Relación de enriquecimiento de oxígeno (%) = {(Volumen de viento [Nm³/min] × 0,21 + Cantidad de oxígeno enriquecido [Nm³/min]) / (Volumen de viento [Nm³/min] + Cantidad de oxígeno enriquecido [Nm³/min])} × 100 -21. Además o en lugar del ajuste de los factores anteriormente descritos, puede ajustarse al menos una de las proporciones de coque o de carbón pulverizado. Como resultado, InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor se adquieren por caso. Incidentalmente, un punto que representa InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor de cada uno de los casos se traza en el plano xy mostrado en la FIG. 1. Los puntos P1 a P8 son ejemplos de los puntos trazados. Se adquiere una curva ajustada de cada una de las parcelas utilizando un procedimiento de aproximación como, por ejemplo, un procedimiento de mínimos cuadrados o similar. Estas curvas ajustadas forman un gráfico que muestra la correlación ΔC-gas reductor. Los gráficos L1 a L5 son ejemplos del gráfico que muestra la correlación ΔC-gas reductor.

(1- 1. Caso en el que C/H es 0,15 o superior)

Como se ha descrito anteriormente, la correlación entre InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor, es decir, la correlación ΔC-gas reductor tiende a variar entre un caso en el que una relación molar C/H de átomos de carbono a átomos de hidrógeno en el gas reductor es 0,15 o superior y un caso en el que C/H es inferior a 0,15. Por lo tanto, en primer lugar, se describirá la correlación ΔC-gas reductor del caso en que C/H es 0,15 o superior basándose en los puntos P1 a P4 y en el gráfico L1.

Aquí, el punto P1 representa InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en la operación base (operación en la que no se insufla el gas reductor), los puntos P2 y P4 representan InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en una operación en la que se insufla gas de horno de coque (COG, C/H = 0,186) como gas reductor, y el punto P3 representa InputΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en una operación en la que se insufla gas natural (C/H = 0,25) como gas reductor. Los puntos P1 a P3 se obtuvieron utilizando el mismo procedimiento que el del Ejemplo 1 descrito a continuación. El punto P4 se adquirió utilizando el mismo procedimiento que el del Ejemplo

1, salvo que la temperatura de la llama se fijó en 2085°C o 2315°C. El gráfico L1 es un gráfico que muestra la curva ajustada de los puntos de P1 a P4, es decir, la correlación ΔC -gas reductor.

Ejemplos del gas reductor donde C/H es 0,15 o superior incluyen COG, gas natural, gas ciudad, y similares. El gas reductor puede ser gas obtenido por reformado de gas superior (BFG) (gas obtenido eliminando el vapor de agua y el gas CO₂ del gas superior). Entre ellos, es preferible el gas reductor que incluye gas hidrocarburo, es decir, COG, gas natural, gas ciudad o similares. Cuando se utiliza este gas reductor, el gas hidrocarburo se quema en el horno para generar calor de combustión. Por lo tanto, cabe esperar una mayor reducción de la proporción de material reductor. Además, en una fábrica de hierro que cuente con un horno de coque, la energía puede suministrarse desde la propia fábrica de hierro utilizando COG. El COG es preferible a los demás gases reductores desde el punto de vista de los costes. El límite superior de C/H no está particularmente limitado y, por ejemplo, puede ser 0,3 o inferior.

La composición del COG utilizado para obtener los datos de los puntos P2 y P4 se muestra en la Tabla 1, y la composición del gas natural utilizado para obtener los datos del punto P3 se muestra en la Tabla 2. Estas composiciones se midieron mediante cromatografía de gases, un espectrómetro de masas o similares. Los valores numéricos de cada uno de los componentes que figuran en las tablas 1 y 2 son la relación molar (más concretamente, la relación entre las concentraciones molares (mol/L)). Obsérvese que C representa la proporción de carbono (kg/Nm³) en el gas reductor. La C/H del COG cuya composición figura en la tabla 1 es de 0,185. El ejemplo de cálculo es el siguiente.

$$(0,065 + 0,025 + 0,292 + 0,02 \times 2 + 0,008 \times 2) / (0,535 \times 2 + 0,292 \times 4 + 0,02 \times 4 + 0,008 \times 6) = 0,185$$

Además, la C/H del gas natural que tiene la composición mostrada en la Tabla 2 es 0,271. El ejemplo de cálculo es el siguiente.

$$(0,85 + 0,03 \times 2 + 0,12 \times 2) / (0,85 \times 4 + 0,03 \times 4 + 0,12 \times 6) = 0,271$$

Tabla 1

Ejemplo de composición del COG								
CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C	C/H
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg/Nm ³)	(-)
0,065	0,025	0,535	0,055	0,292	0,02	0,008	0,23	0,185

Tabla 2

Ejemplo de composición del gas natural				
CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C	C/H
(-)	(-)	(-)	(kg/Nm ³)	(-)
0,85	0,03	0,12	0,62	0,271

Como puede verse en la FIG. 1, los puntos P1 a P4 están presentes en prácticamente el mismo gráfico L1. En consecuencia, al adquirir el consumo de carbono en el gas reductor independientemente del tipo de gas reductor (en otras palabras, independientemente de C/H en el gas reductor), Input ΔC puede especificarse de forma única. Es decir, Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor tienen una correlación que no depende de C/H, esta correlación está representada por el gráfico L1. Además, si se tiene en cuenta que el punto P4 está presente en el gráfico L1, puede decirse que la correlación tampoco depende de la temperatura de la llama.

Como el gráfico L1 está representado por un gráfico convexo ascendente, el consumo de carbono en el gas reductor está representado por una expresión cuadrática. Por ejemplo, la gráfica L1 se representa mediante la expresión numérica $Y = a_1X^2 + b_1X + c_1$. X representa el consumo de carbono en el gas reductor, e Y representa Input ΔC . Todos los coeficientes a₁, b₁ y c₁ representan valores que no dependen de la relación molar C/H. En el ejemplo de la FIG. 1, la gráfica L1 se representa por la expresión numérica $Y = -0,0014X^2 + 0,194X$ (es decir, a₁ = -0,0014, b₁ = 0,194, c₁ = 0). Por supuesto, el gráfico L1 no se limita a ser representado por esta expresión numérica.

Según el gráfico L1, cuando el consumo de carbono en el gas reductor está en un rango de 65 kg/t-arrabio o inferior, InputΔC tiene una correlación positiva con el consumo de carbono en el gas reductor, y cuando el consumo de carbono en el gas reductor está en un rango superior a 65 kg/t-arrabio, InputΔC tiene una correlación negativa con el consumo de carbono en el gas reductor. Además, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es de unos 65 kg/t-arrabio, InputΔC muestra un valor máximo. En consecuencia, cuando el consumo de carbono en el gas reductor se determina de tal manera que InputΔC está cerca del valor máximo, la proporción de material reductor puede reducirse aún más.

Más específicamente, cuando el consumo de carbono en el gas reductor está en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 107 kg/t-arrabio, el InputΔC es aproximadamente 4,0% o superior. En este caso, por ejemplo, suponiendo que la proporción de material reductor de la operación base es de 375 kg/t-arrabio a 500 kg/t-arrabio, la proporción de material reductor se reduce en unos 15 kg/t-arrabio a 20 kg/t-arrabio o más. Esta reducción es un valor significativo si se tiene en cuenta la fluctuación diaria de la proporción de material reductor. Por consiguiente, el consumo de carbono en el gas reductor es de 21 kg/t-arrabio a 107 kg/t-arrabio.

Aquí, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es de aproximadamente 65 kg/t-arrabio, InputΔC muestra un valor máximo, y cuando el consumo de carbono en el gas reductor supera los 65 kg/t-arrabio, InputΔC comienza a disminuir. Es decir, se pierde el efecto de reducir el Input C. Por ejemplo, se supone que esto se debe a que el consumo de carbono en el gas reductor es excesivamente elevado en comparación con la cantidad necesaria para la reducción en el horno, de modo que el factor de utilización del gas disminuye, o a que, aunque la cantidad de gas reductor insuflado aumenta junto con un incremento del consumo de carbono en el gas reductor, bajo la condición de que la temperatura de la llama sea constante, la relación de enriquecimiento de oxígeno aumente junto con un aumento de la cantidad de gas reductor insuflado y la cantidad de gas insuflado en el alto horno a través de una estufa caliente disminuya de forma que el calor sensible del aire disminuya, o similares. Por consiguiente, el consumo de carbono en el gas reductor es más preferiblemente de 65 kg/t-arrabio o inferior, es decir, de 21 kg/t-arrabio a 65 kg/t-arrabio. En este caso, InputΔC se puede hacer para ser alta (específicamente 4,0% o superior) con una menor cantidad de gas reductor insuflado.

Además, cuando se utiliza el gas reductor en el que la proporción de carbono (kg/Nm³) es baja (en particular, el gas reductor en el que la proporción de carbono es inferior a 0,6 kg/Nm³), debido a las restricciones de la operación, puede darse el caso de que el consumo de carbono en el gas reductor sea preferiblemente de 65 kg/t-arrabio o inferior. A continuación se describirá detalladamente el motivo de ello.

En la operación del alto horno, es necesario que la temperatura de la llama se mantenga a un valor constante que sea superior o igual a un valor predeterminado (en este caso, el valor predeterminado varía en función de diversos factores, pero es probable que sea un valor en torno a 2000°C) en la medida de lo posible. La razón de ello es que, cuando la temperatura de la llama es inferior al valor predeterminado, la combustibilidad del carbón pulverizado disminuye y se produce un problema, por ejemplo, en el sentido de que se produce un gráfico sin quemar que deteriora la permeabilidad en el horno o en el sentido de que sólo una parte del carbón pulverizado alimentado como material reductor puede utilizarse como gas reductor (que se produce en el horno), o similares. Cuando la proporción de carbono (kg/Nm³) en el gas reductor insuflado desde la tobera es baja, es necesario insuflar una gran cantidad de gas reductor para ajustar el consumo de carbono en el gas reductor para que sea superior a 65 kg/t-arrabio. Como resultado, es necesario aumentar la proporción de enriquecimiento de oxígeno en el viento caliente. Se supone que esto se debe a que, a menos que se aumente la relación de enriquecimiento de oxígeno, puede darse el caso de que la temperatura de la llama no pueda mantenerse en el valor predeterminado o superior. Obsérvese que, a medida que aumenta la relación de enriquecimiento en oxígeno, la proporción de oxígeno en el viento caliente aumenta de tal manera que se insufla oxígeno puro. En este momento, la relación de enriquecimiento de oxígeno alcanza el límite superior, y la relación de enriquecimiento de oxígeno no puede aumentar más.

Por ejemplo, cuando el consumo de carbono en el gas reductor se ajusta a 83 kg/t-arrabio utilizando el COG que tiene la composición mostrada en la Tabla 1, es necesario insuflar el COG a 350 Nm³/t-arrabio. En este caso, al aumentar la relación de enriquecimiento de oxígeno para acercarse al límite superior, la temperatura de la llama puede mantenerse en el valor predeterminado o superior. Sin embargo, es necesario diseñar cuidadosamente los elementos de operación para que la temperatura de la llama esté muy cerca del valor predeterminado, y es necesario supervisar cuidadosamente los elementos durante la operación. En consecuencia, la operación se puede realizar, pero se requiere tiempo y esfuerzo para llevarla a cabo. Además, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es de 95 kg/t-arrabio, es necesario insuflar el COG a 400 Nm³/t-arrabio. En este caso, incluso cuando se insufla oxígeno puro, puede darse el caso de que la temperatura de la llama no pueda mantenerse en el valor predeterminado o superior. Cuando el consumo de carbono en el gas reductor es de 65 kg/t-arrabio o inferior, la cantidad de COG insuflado puede ser inferior a 350 Nm³/t-arrabio. Por lo tanto, se puede tener en cuenta la relación de enriquecimiento de oxígeno y la temperatura de la llama. En consecuencia, cuando se utiliza el gas reductor en el que la proporción de carbono (kg/Nm³) es baja (en particular, el gas reductor en el que la proporción de carbono es inferior a 0,6 kg/Nm³), el consumo de carbono en el gas reductor es preferiblemente de 65 kg/t-arrabio o inferior.

Por otro lado, cuando se utiliza el gas natural (la proporción de carbono es de 0,6 kg/Nm³ o superior) que se muestra en la Tabla 2, básicamente, las restricciones descritas anteriormente no están presentes. Por ejemplo, incluso cuando el consumo de carbono en el gas reductor es de 100 kg/t-arrabio, que es mucho mayor que 65 kg/t-arrabio, la cantidad de gas reductor insuflado sólo necesita ser de unos 170 Nm³/t-arrabio. En este caso, aunque se trata de una

disminución de la temperatura de la llama, se puede hacer que la temperatura de la llama sea el valor predeterminado o superior aumentando la relación de enriquecimiento de oxígeno. Por consiguiente, el consumo de carbono en el gas reductor puede ser superior a 65 kg/t-arrabio.

Debido a las razones descritas anteriormente, el punto P2 se traza en un rango de 65 kg/t-arrabio o inferior, pero el punto P3 se traza en un rango más amplio.

Cuando cambian las condiciones de operación distintas de las descritas anteriormente, la correlación ΔC -gas reductor puede fluctuar ligeramente con respecto al gráfico L1. Sin embargo, incluso en este caso, se considera que no hay una fluctuación significativa en el rango preferible del consumo de carbono en el gas reductor.

(1-2. Caso en que C/H es inferior a 0,15)

Incidentalmente, en primer lugar, se describirá la correlación ΔC -gas reductor del caso en el que C/H es inferior a 0,15 basándose en los puntos P1 y P5 a P8 y en los gráficos L2 a L5. Aquí, el punto P5 representa Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en un caso en el que C/H en el gas reductor es 0,054, el punto P6 representa Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en un caso en el que C/H en el gas reductor es 0,097.097, el punto P7 representa Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en un caso en que C/H en el gas reductor es 0,137, y el punto P8 representa Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor en un caso en que C/H en el gas reductor es 0,02. Los puntos P5 a P8 se obtuvieron utilizando el mismo procedimiento que el del Ejemplo 2 descrito a continuación. Los gráficos L2 a L5 son gráficos que muestran las curvas ajustadas de los puntos de P5 a P8, es decir, las correlaciones ΔC -gas reductor, respectivamente.

Los presentes inventores llevaron a cabo una investigación sobre el gas reductor (por ejemplo, COG, gas natural, gas ciudad y similares) en la técnica relacionada, y la C/H en la mayoría del gas reductor era de 0,15 o superior. Por lo tanto, el gas reductor en el que C/H es inferior a 0,15 puede producirse, por ejemplo, mezclando gas hidrógeno con gas reductor en el que C/H es 0,15 o superior. El gas reductor en el que se mezcla el hidrógeno gaseoso puede ser cualquiera, siempre que se trate de un gas reductor en el que la relación C/H es de 0,15 o superior, y entre sus ejemplos se incluyen el COG, el gas natural, el gas superior, el gas ciudad y similares. Además, el procedimiento de producción del gas reductor no se limita necesariamente a este procedimiento. Por ejemplo, el gas reductor en el que la C/H es inferior a 0,15 puede producirse mezclando entre sí gases reductores que tienen diferentes C/H (concretamente, gas reductor en el que la C/H es igual o superior a 0,15 y gas reductor en el que la C/H es inferior a 0,02).

Como se ve claramente en la FIG. 1, los puntos P5 a P8 están presentes en los gráficos L2 a L5 que son diferentes entre sí, respectivamente. Por consiguiente, cuando la C/H del gas reductor es inferior a 0,15, la correlación ΔC -gas reductor varía en función de la C/H del gas reductor. Es decir, mediante la adquisición de C/H en el gas reductor y el consumo de carbono en el gas reductor, Input ΔC se puede especificar de forma única. De este modo, Input ΔC y el consumo de carbono en el gas reductor tienen una correlación que depende de C/H, y la correlación por C/H se representa, por ejemplo, mediante los gráficos L2 a L5. Obsérvese que todas las correlaciones están representadas por los gráficos convexos ascendentes (es decir, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es un valor determinado, se muestra un valor máximo). Se supone que, incluso cuando la temperatura de la llama fluctúa, no hay sustancialmente ningún efecto sobre la correlación como en el caso en que C/H es 0,15 o superior.

Dado que los gráficos L2 a L5 están representados por un gráfico convexo ascendente, los gráficos L2 a L5 están representados por una expresión cuadrática del consumo de carbono en el gas reductor. Por ejemplo, las gráficas L2 a L5 se representan mediante la expresión numérica $Y = a2X^2 + b2X + c2$. Para simplificar el dibujo, la FIG. 1 no muestra una curva de una porción donde Input ΔC comienza a disminuir. X representa el consumo de carbono en el gas reductor, e Y representa Input ΔC . Dado que las formas de los gráficos L2 a L5 varían en función de C/H en el gas reductor, al menos uno de los coeficientes a2, b2 y c2 representa una función que incluye C/H en el gas reductor como variable. En consecuencia, cuando el consumo de carbono en el gas reductor se determina de tal manera que Input ΔC está cerca del valor máximo, la proporción de material reductor puede reducirse aún más. Como se ha descrito anteriormente, se supone que la razón por la que los gráficos L2 a L5 empiezan a disminuir a partir del valor máximo es que el consumo de carbono en el gas reductor es excesivamente alto en comparación con la cantidad necesaria para la reducción en el horno, de manera que el factor de utilización del gas disminuye, o bien que, aunque la cantidad de gas reductor insuflado aumenta junto con un aumento del consumo de carbono en el gas reductor, bajo la condición de que la temperatura de la llama sea constante, la relación de enriquecimiento de oxígeno aumente junto con un aumento de la cantidad de gas reductor insuflado y la cantidad de gas insuflado en el alto horno a través de una estufa caliente disminuya de manera que el calor sensible del aire disminuya, y similares.

Los gráficos L2 a L5 se describirán con más detalle. En el rango del consumo de carbono en el gas reductor donde Input ΔC no alcanza el valor máximo, al disminuir C/H, aumentan las pendientes de las gráficas L2 a L5. Es decir, un aumento del Input ΔC en relación con un aumento unitario del consumo de carbono en el gas reductor aumenta. Por consiguiente, a medida que disminuye la C/H en el gas reductor, puede aumentarse eficazmente el Input ΔC . Más concretamente, la C/H del gas reductor es preferiblemente 0,13 o inferior, más preferiblemente 0,10 o inferior, y aún más preferiblemente 0,05 o inferior. El límite inferior de C/H no está especialmente limitado siempre que sea superior a 0.

Como se ha descrito anteriormente, la correlación está presente entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor. Esta correlación, es decir, la correlación Δ C-gas reductor tiende a variar entre un caso en el que la relación molar C/H de átomos de carbono y átomos de hidrógeno en el gas reductor es de 0,15 o superior y un caso en el que C/H es inferior a 0,15. Es decir, cuando la C/H del gas reductor es igual o superior a 0,15, la correlación Δ C-gas reductor se determina de forma única independientemente del tipo de gas reductor (en otras palabras, independientemente de la C/H del gas reductor). Por otro lado, cuando la C/H del gas reductor es inferior a 0,15, la correlación Δ C-gas reductor varía en función de la C/H del gas reductor. Obsérvese que, en todos los casos, la correlación entre Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor está representada por el gráfico convexo ascendente (es decir, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es un valor dado, se muestra un valor máximo).

En consecuencia, adquiriendo por adelantado la correlación Δ C-gas reductor por C/H en el gas reductor, el consumo de carbono en el gas reductor puede determinarse de tal manera que Input Δ C sea un valor objetivo predeterminado o superior basándose en la correlación. Además, la cantidad de gas reductor insuflado en el alto horno puede ajustarse en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor y de la proporción de carbono en el gas reductor. Como resultado, se puede obtener el Input Δ C deseado (es decir, el Input Δ C que es el valor objetivo o superior). Es decir, se puede obtener el efecto deseado de reducción de la proporción de material reductor y, además, la proporción de material reductor se puede reducir de forma más fiable. El procedimiento de operación del alto horno según la realización se basa en los resultados descritos anteriormente.

En el ejemplo descrito anteriormente, la correlación de gas reductor de Δ C se adquiere mediante la realización de la simulación de operación del alto horno, pero el procedimiento de adquisición de la correlación de gas reductor de Δ C no se limita a ello. Asimismo, en una operación en un horno real (incluyendo una operación real y una operación de prueba) o una operación de prueba en un alto horno de prueba, la correlación Δ C-gas reductor puede adquirirse calculando Input Δ C mientras cambia el consumo de carbono en el gas reductor.

<2. Procedimiento de operación del alto horno>

A continuación, se describirá el procedimiento de operación del alto horno según la realización. El procedimiento de operación del alto horno según la realización incluye los procesos primero a tercero que se describen a continuación.

(2-1 Primer Proceso)

En el primer proceso, la correlación Δ C-gas reductor se adquiere por C/H en el gas reductor. El procedimiento de adquisición de la correlación Δ C-gas reductor (procedimiento de adquisición) no está particularmente limitado. Por ejemplo, la correlación Δ C-gas reductor puede adquirirse realizando la simulación de la operación del alto horno. Como simulación de la operación del alto horno, por ejemplo, un llamado "Modelo Matemático de Alto Horno" Kouji TAKATANI, Takanobu INADA, Yutaka UJISAWA, "Simulador dinámico tridimensional para alto horno", ISIJ Internacional, Vol. 39 (1999), No. 1, p. 15 a 22 puede utilizarse. En este modelo matemático de alto horno, una región interna del alto horno se divide en una dirección de altura, una dirección radial y una dirección circunferencial para definir una pluralidad de mallas (pequeñas regiones), y se simula el comportamiento de cada una de las mallas. Las condiciones de cálculo de la simulación de la operación del alto horno no están especialmente limitadas y se determinan preferentemente en función de las condiciones reales de operación. Por ejemplo, la temperatura de la llama es preferiblemente de 2000°C o superior. Obsérvese que, como se ha descrito anteriormente, incluso cuando cambia la temperatura de la llama, la correlación Δ C-gas reductor no fluctúa sustancialmente. Mediante la simulación de la operación del alto horno, se adquiere la correlación Δ C-gas reductor por C/H. Es decir, se adquiere un gráfico que muestra la correlación Δ C-gas reductor. Aquí, como se ha descrito anteriormente, la correlación Δ C-gas reductor tiende a variar entre un caso en el que C/H en el gas reductor es 0,15 o superior y un caso en el que C/H en el gas reductor es inferior a 0,15. Por lo tanto, es preferible que en cada caso se obtengan tipos plurales de correlaciones Δ C-gas reductoras.

El procedimiento de adquisición de la correlación Δ C-gas reductor se describirá con más detalle. La simulación de la operación del alto horno se realiza utilizando varios casos en los que la C/H en el gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado (la cantidad del mismo insuflado por tonelada de hierro fundido) son diferentes entre sí. Los casos también incluyen la operación base (operación en la que el volumen de gas reductor es 0). En este caso, es preferible que las condiciones de cálculo (condiciones de operación) se ajusten de modo que la temperatura de la llama y la temperatura del hierro fundido sean lo más constantes posible en los casos. Para que la temperatura de la llama sea constante, puede ajustarse al menos uno de los dos parámetros siguientes: un volumen de viento o una relación de enriquecimiento de oxígeno en el viento caliente. Además o en lugar del ajuste de los factores anteriormente descritos, puede ajustarse al menos una de las proporciones de coque y de carbón pulverizado. Como resultado, Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor se adquieren por caso. Por cierto, un punto que representa Input Δ C y el consumo de carbono en el gas reductor de cada uno de los casos se traza, por ejemplo, en el plano xy mostrado en la FIG. 1. Los puntos P1 a P8 son ejemplos de los puntos trazados. A continuación, se obtiene una curva ajustada de cada una de las parcelas utilizando un procedimiento de aproximación como, por ejemplo, un procedimiento de mínimos cuadrados. Estas curvas ajustadas forman un gráfico que muestra la correlación Δ C-gas reductor. Los gráficos L1 a L5 son ejemplos del gráfico que muestra la correlación Δ C-gas reductor.

(2-2 Segundo Proceso)

En el segundo proceso, el consumo de carbono en el gas reductor donde $\text{Input}\Delta C$ es un valor objetivo predeterminado o superior se determina basándose en la correlación ΔC -gas reductor adquirida en el primer proceso. Es decir, se selecciona la correlación ΔC -gas reductor correspondiente a C/H en el gas reductor que se va a utilizar realmente, y el consumo de carbono en el gas reductor en el que $\text{Input}\Delta C$ es un valor objetivo predeterminado o superior se determina basándose en la correlación ΔC -gas reductor seleccionada. La C/H en el gas reductor puede adquirirse, por ejemplo, especificando la composición del gas reductor mediante el procedimiento de medición descrito anteriormente y adquiriendo la C/H basándose en la composición especificada del gas reductor.

Aquí, como se ha descrito anteriormente, la correlación ΔC -gas reductor está representada por el gráfico convexo ascendente. En consecuencia, es preferible que el consumo de carbono en el gas reductor se determine de forma que $\text{Input}\Delta C$ se aproxime al valor máximo. Como resultado, la proporción de material reductor puede reducirse aún más. Por ejemplo, cuando la relación C/H en el gas reductor que se va a utilizar es de 0,15 o superior, es preferible que el consumo de carbono en el gas reductor se determine en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 107 kg/t-arrabio, y es más preferible que el consumo de carbono en el gas reductor se determine en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 65 kg/t-arrabio. El motivo es el descrito anteriormente. Es decir, determinando el consumo de carbono en el gas reductor en el intervalo de 21 kg/t-arrabio a 107 kg/t-arrabio, se puede conseguir que el $\text{Input}\Delta C$ sea del 4,0% o superior. Además, determinando el consumo de carbono en el gas reductor en el intervalo de 21 kg/t-arrabio a 65 kg/t-arrabio, se puede hacer que el $\text{Input}\Delta C$ sea alto (específicamente 4,0% o superior) con una menor cantidad de gas reductor insuflado. Además, incluso cuando la proporción de carbono en el gas reductor es baja (en particular, cuando la proporción de carbono es inferior a 0,6 kg/Nm³), la temperatura de la llama puede mantenerse de forma estable en el valor predeterminado o superior mientras se incrementa $\text{Input}\Delta C$.

Cuando se utiliza el gas reductor en el que C/H es 0,15 o superior y el consumo de carbono en el gas reductor es superior a 65 kg/t-arrabio, Como se ha descrito anteriormente, la temperatura de la llama tiende a disminuir. Por lo tanto, es preferible que los elementos de operación, incluida la relación de enriquecimiento de oxígeno, se ajusten de manera que la temperatura de la llama sea un valor predeterminado (por ejemplo, 2000°C) o superior. Además, en el intervalo de valores ajustados, $\text{Input}\Delta C$ disminuye. Por lo tanto, el consumo de carbono en el gas reductor es excesivamente alto en comparación con la cantidad necesaria para la reducción en el hogar, de modo que el factor de utilización del gas disminuye. Por lo tanto, se puede tomar una contramedida para mejorar el factor de utilización del gas. Por ejemplo, el material que contiene hierro puede cambiarse por materiales que tengan una excelente capacidad de reducción.

(2-3 Tercer Proceso)

En el tercer proceso, la cantidad de gas reductor insuflado en el alto horno (por ejemplo, la cantidad de gas reductor insuflado por tonelada de hierro fundido) se ajusta en función del consumo de carbono en el gas reductor determinado en el segundo proceso y la proporción de carbono en el gas reductor. Por ejemplo, la cantidad de gas reductor insuflado puede obtenerse dividiendo el consumo de carbono en el gas reductor por la proporción de carbono en el gas reductor. Al insuflar el gas reductor en el alto horno en la cantidad de insuflado determinada, se puede obtener el efecto de reducción de la proporción de material reductor deseado. Las condiciones de operación distintas de las descritas anteriormente pueden ser las mismas que las de la técnica relacionada.

Esquemáticamente, mientras se cargan alternativamente los materiales ferrosos y el coque en capas en el alto horno desde la parte superior del mismo, el gas reductor se insufla en el alto horno junto con el viento caliente de la tobera prevista en el alto horno. Los tipos de los materiales que contienen hierro y el coque no están particularmente limitados, y los materiales que contienen hierro y el coque que se utilizan en la operación de alto horno en la técnica relacionada también se pueden utilizar convenientemente en la realización. La cantidad de gas reductor insuflado se ajusta al valor determinado en el tercer proceso. El gas reductor puede ser, por ejemplo, uno o más seleccionados del grupo que consiste en COG, gas natural, gas superior reformado (BFG) y gas ciudad. El gas reductor puede ser gas mezclado de los gases o gas mezclado de hidrógeno obtenido mezclando gas hidrógeno con los gases (incluido el gas mezclado). En particular, el gas reductor en el que C/H es inferior a 0,15 puede producirse mezclando gas hidrógeno con COG o similar.

El gas reductor puede insuflarse en el alto horno sin calentarlo, pero preferiblemente se insufla en el alto horno después de calentarlo. Al insuflar el gas reductor en el alto horno después de ser calentado, se puede esperar una mayor reducción de la proporción de material reductor. La temperatura de calentamiento es preferiblemente de unos 300°C a 350°C.

La tobera para insuflar el gas reductor en el alto horno (en lo sucesivo, también denominada "tobera para gas reductor") está provista, por ejemplo, de una pieza bosch. La tobera para reducir el gas puede estar provista de una parte de eje. La tobera para la reducción de gas puede estar instalada tanto en la parte del eje como en la parte bosch. El gas reductor insuflado desde la parte del eje incluye preferiblemente una gran cantidad de CO y/o H₂ y se insufla mientras se gestiona la C/H.

Al igual que en la operación del alto horno en la técnica relacionada, el viento caliente se insufla en el alto horno. La temperatura del viento caliente, la composición del mismo y la cantidad insuflada pueden ser las mismas que las de la operación del alto horno en la técnica afín. Por ejemplo, el viento caliente incluye aire y puede incluir además humedad higroscópica y oxígeno enriquecido. El viento caliente se insufla en el alto horno, por ejemplo, desde la tobera prevista en la pieza bosch. La tobera para insuflar el viento caliente en el alto horno puede ser común o diferente de la tobera para reducir el gas.

Como se ha descrito anteriormente, en la realización, el consumo de carbono en el gas reductor donde Input Δ C es un valor objetivo predeterminado o superior se determina basándose en la correlación Δ C-gas reductor adquirida de antemano, y la cantidad de gas reductor insuflado se determina basándose en el consumo de carbono determinado en el gas reductor y la proporción de carbono en el gas reductor. De este modo, el Input Δ C deseada puede realizarse de forma relativamente fiable. Es decir, se puede obtener el efecto deseado de reducción de la proporción de material reductor y, además, la proporción de material reductor se puede reducir de forma más fiable. Como resultado, se pueden reducir las emisiones de CO₂. Además, según la correlación Δ C-gas reductor, cuando el consumo de carbono en el gas reductor es un valor determinado (este valor varía en función de C/H), Input Δ C muestra un valor máximo. En consecuencia, cuando el valor establecido del consumo de carbono en el gas reductor se determina de tal manera que Input Δ C está cerca del valor máximo, la proporción de material reductor puede reducirse aún más. Además, al adquirir la correlación por C/H, la cantidad de gas reductor insuflado puede determinarse y gestionarse en función de la correlación correspondiente a la C/H en el gas reductor. En consecuencia, los elementos de operación necesarios para aumentar Input Δ C se pueden configurar y gestionar adecuadamente.

Ejemplos

A continuación, se describirán con más detalle los efectos de un aspecto de la presente invención mediante ejemplos. Sin embargo, las condiciones de los ejemplos son meramente ejemplares para confirmar la operatividad y los efectos de la presente invención, y la presente invención no se limita a estos ejemplos de condiciones. La presente invención puede adoptar diversas condiciones dentro de un rango que no se aparta del ámbito de la presente invención siempre que el objeto de la presente invención pueda lograrse bajo las condiciones.

<1. Ejemplo 1>

En el Ejemplo 1, al realizar la simulación de operación del alto horno, se verificó que, cuando C/H era 0,15 o superior, la correlación Δ C-gas reductor estaba presente.

En la simulación de la operación del alto horno, se utilizó el "modelo matemático del alto horno" descrito anteriormente. Las condiciones de cálculo figuran en el cuadro 3. Los materiales ferruginosos eran todos minerales sinterizados. Además, la composición de los minerales sinterizados era T-Fe: 58.5%, FeO: 7.5%, C/S: 1.9, y Al₂O₃: 1.7%. Además, en lo que respecta al coque, un caso en el que el coque tiene una composición de C: 87.2% y ceniza: 12. se asumió que se había utilizado un 6% ("% representa % en masa" en todos los casos).

Tabla 3

Condiciones de cálculo		
Productividad	t/d/m ³	2,71 ~2,81
Volumen del viento	Nm ³ /t-arrabio	4 ~1035
Proporción de enriquecimiento de oxígeno	%	7,6 ~78,9
Humedad higroscópica del aire	g/Nm ³	5
Temperatura de la llama	°C	2175 ~2225

En el Ejemplo 1, realizando la simulación de la operación del alto horno mientras se cambiaba el tipo de gas reductor (es decir, el valor de C/H) y la cantidad de gas reductor insuflado (la cantidad de gas reductor insuflado por tonelada de hierro fundido), se verificó que la correlación Δ C-gas reductor estaba presente. Como gas reductor, se utilizó COG con la composición indicada en la Tabla 1 o gas natural con la composición indicada en la Tabla 2. El gas reductor se insuflaba en el alto horno desde la tobera prevista en la pieza bosch. El volumen de insuflado y la relación de enriquecimiento de oxígeno en el insuflado en caliente se ajustaron de manera que la temperatura de la llama fuera lo más constante posible (es decir, tuviera un valor comprendido en el intervalo indicado en la Tabla 3) cuando se insuflaba el gas reductor. Obsérvese que la relación de enriquecimiento de oxígeno se ajustó de forma que la temperatura de la llama fuera de 2085°C en el caso 8 y la relación de enriquecimiento de oxígeno se ajustó de forma que la temperatura de la llama fuera de 2315°C en el caso 9. Además, en todos los casos, la proporción de coque se

ajustó de forma que la temperatura del hierro fundido fuera constante. Como condiciones fijas, la proporción de carbón pulverizado fue de 115 kg/t-arrabio, y la temperatura de voladura fue de 1000°C. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 4 y en la FIG. 1.

Tabla 4

Resultados de los cálculos				
	Tipo de gas reductor	Reducción del volumen de gas	Consumo de carbono al reducir el gas	InputΔC
	-	Nm³/t-arrabio	kg/t-arrabio	%
Caso 0	Ninguno	0	0	0,0
Caso 1	COG	88	21	4,0
Caso 2	COG	191	46	5,6
Caso 3	COG	244	59	6,1
Caso 4	Gas natural	55	34	4,9
Caso 5	Gas natural	106	65	6,6
Caso 6	Gas natural	141	87	6,2
Caso 7	Gas natural	173	107	4,2
Caso 8	COG	195	46	5,6
Caso 9	COG	193	45	5,4

Como se muestra en la Tabla 4 y en la FIG. 1, se pudo comprobar que existía la correlación ΔC -gas reductor. Además, también se verificó que, cuando la C/H en el gas reductor era de 0,15 o superior, la correlación ΔC -gas reductor se determinaba de forma única independientemente del tipo de gas reductor (en otras palabras, independientemente de la C/H en el gas reductor). Al determinar el consumo de carbono en el gas reductor en el que InputΔC es un valor objetivo predeterminado o superior mediante la correlación ΔC -gas reductor y determinar la cantidad de gas reductor insuflado en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor, la proporción de material reductor puede reducirse de forma más fiable y pueden reducirse más las emisiones de CO₂.

<2. Ejemplo 2>

En el Ejemplo 2, realizando la simulación de la operación del alto horno, se verificó que, cuando C/H era inferior a 0,15, se producía la correlación ΔC -gas reductor.

En la simulación de la operación del alto horno, se utilizó el "modelo matemático del alto horno" descrito anteriormente. Las condiciones de cálculo fueron las mismas que las del Ejemplo 1. Además, se supuso que se utilizaban los mismos materiales ferrosos y el mismo coque que los del Ejemplo 1.

En el Ejemplo 2, realizando la simulación de la operación del alto horno mientras se cambiaba la C/H en el gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado (la cantidad de gas reductor insuflado por tonelada de hierro fundido), se verificó que la correlación ΔC -gas reductor estaba presente. En la operación real, la relación C/H en el gas reductor puede ajustarse, por ejemplo, mezclando el COG que tiene la composición mostrada en la Tabla 1 con gas hidrógeno a una relación de mezcla diferente en cada caso. El gas reductor se insuflaba en el alto horno desde la tobera prevista en la pieza bosch. El volumen de insuflado y la relación de enriquecimiento de oxígeno en el insuflado en caliente se ajustaron de manera que la temperatura de la llama fuera lo más constante posible (es decir, tuviera un valor comprendido en el intervalo indicado en la Tabla 3) cuando se insuflaba el gas reductor. Además, en todos los casos, la proporción de coque se ajustó de forma que la temperatura del hierro fundido fuera constante. Como condiciones fijas, la proporción de carbón pulverizado fue de 115 kg/t-arrabio, y la temperatura de voladura fue de 1000°C. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5 y en la FIG. 1.

Tabla 5

Resultados de los cálculos				
	C/H en gas reductor	Reducción del volumen de gas	Consumo de carbono al reducir el gas	Input Δ C
	-	Nm ³ /t-arrabio	kg/t-arrabio	%
Caso 0	-	0	0	0,0
Caso 1	0,054	99	6,1	5,7
Caso 2	0,054	199	12,1	10,0
Caso 3	0,054	294	17,9	11,8
Caso 4	0,054	396	24,1	11,9
Caso 5	0,097	99	11,1	5,6
Caso 6	0,097	199	22,5	8,3
Caso 7	0,097	292	33,0	10,2
Caso 8	0,097	393	44,4	9,9
Caso 9	0,137	98	16,1	4,2
Caso 10	0,137	199	32,9	8,0
Caso 11	0,137	293	48,4	9,2
Caso 12	0,137	340	56,1	9,0
Caso 13	0,02	99	2,6	5,1
Caso 14	0,02	390	10,2	13,7
Caso 15	0,02	473	12,3	13,4

Como se muestra en la Tabla 5 y en la FIG. 1, se pudo comprobar que existía la correlación Δ C-gas reductor. Además, también se comprobó que, cuando la C/H del gas reductor era inferior a 0,15, la correlación Δ C-gas reductor variaba en función de la C/H del gas reductor. En consecuencia, se selecciona la correlación correspondiente a C/H en el gas reductor, y el consumo de carbono en el gas reductor donde Input Δ C es un valor objetivo predeterminado o superior se determina utilizando la correlación seleccionada. Al determinar la cantidad de gas reductor insuflado en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor, la proporción de material reductor puede reducirse de forma más fiable y pueden reducirse aún más las emisiones de CO₂.

5

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de operación de un alto horno en el que se insufla gas reductor que incluye átomos de hidrógeno y átomos de carbono en un alto horno, comprendiendo el procedimiento:

adquirir una correlación entre un consumo de carbono en el gas reductor y una reducción Input Δ C realizando el cálculo utilizando varios casos en los que C/H en el gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado son diferentes entre sí, en el que el Input Δ C se define como la proporción de reducción en el consumo específico de carbono Input C de una operación en la que se insufla una cantidad predeterminada de gas reductor con respecto a una operación base en la que no se insufla el gas reductor, y el Input C se refiere a la masa total de coque, carbón pulverizado y carbono en el gas reductor para producir una tonelada de hierro fundido;

determinar un consumo de carbono en el gas reductor en el que la reducción Input Δ C en el consumo específico de carbono es un valor objetivo predeterminado de la reducción Input Δ C o superior sobre la base de la correlación entre el consumo de carbono en el gas reductor y la reducción Input Δ C adquirida por C/H;

y
ajustar una cantidad de gas reductor insuflado en el alto horno en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor y de una proporción de carbono en el gas reductor,

en el que la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor es de 0,15 o superior,

en el que el consumo de carbono en el gas reductor se determina en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 107 kg/t-arrabio, y
en el que el consumo de carbono en el gas reductor es un valor obtenido multiplicando la proporción de carbono kg/Nm³ en el gas reductor por el volumen de gas reductor Nm³/t-arrabio por tonelada de hierro fundido.

2. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 1, en el que la correlación está representada por una expresión cuadrática del consumo de carbono en el gas reductor.

3. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 2, en el que la correlación está representada por $Y = a_1X^2 + b_1X + c_1$ (donde X representa el consumo de carbono en el gas reductor, Y representa la reducción Input Δ C en el consumo específico de carbono, y todos los coeficientes a_1 , b_1 y c_1 representan valores que no dependen de la relación molar C/H).

4. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 3, en el que el consumo de carbono en el gas reductor se determina en un intervalo de 21 kg/t-arrabio a 65 kg/t-arrabio, y
en el que el consumo de carbono en el gas reductor es un valor obtenido multiplicando la proporción de carbono kg/Nm³ en el gas reductor por el volumen de gas reductor Nm³/t-arrabio por tonelada de hierro fundido.

5. Un procedimiento de operación de un alto horno en el que se insufla gas reductor que incluye átomos de hidrógeno y átomos de carbono en un alto horno, comprendiendo el procedimiento:

adquirir una correlación entre un consumo de carbono en el gas reductor y una reducción Input Δ C realizando el cálculo utilizando varios casos en los que C/H en el gas reductor y la cantidad de gas reductor insuflado son diferentes entre sí, en el que el Input Δ C se define como la proporción de reducción en el consumo específico de carbono Input C de una operación en la que se insufla una cantidad predeterminada de gas reductor con respecto a una operación base en la que no se insufla el gas reductor, y el Input C se refiere a la masa total de coque, carbón pulverizado y carbono en el gas reductor para producir una tonelada de hierro fundido;

determinar un consumo de carbono en el gas reductor en el que la reducción Input Δ C en el consumo específico de carbono es un valor objetivo predeterminado de la reducción Input Δ C o superior sobre la base de la correlación entre el consumo de carbono en el gas reductor y la reducción Input Δ C adquirida por C/H;

y
ajustar una cantidad de gas reductor insuflado en el alto horno en función del consumo de carbono determinado en el gas reductor y de una proporción de carbono en el gas reductor,

en el que la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor es superior a 0 e inferior a 0,15.

6. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 5, en el que la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor es de 0,13 o inferior.

7. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 5 o 6,

en el que la relación molar C/H de los átomos de carbono con respecto a los átomos de hidrógeno en el gas reductor es de 0,10 o inferior.

- 5 8. El procedimiento de operación del alto horno según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la correlación está representada por $Y = a_2X^2 + b_2X + c_2$ (donde X representa el consumo de carbono en el gas reductor, Y representa la reducción InputΔC en el consumo específico de carbono, y al menos uno de los coeficientes a_2 , b_2 y c_2 representa una función que incluye la relación molar C/H como variable).
9. El procedimiento de operación del alto horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que cuando se insufla el gas reductor en el alto horno, se ajusta una temperatura de la llama para que sea de 2000°C o superior.
- 10 10. El procedimiento de operación del alto horno según la reivindicación 9, en el que para ajustar la temperatura de la llama para que sea de 2000°C o superior, se ajusta al menos uno de un volumen de viento o una relación de enriquecimiento de oxígeno en viento caliente.
- 15 11. El procedimiento de operación del alto horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el gas reductor se selecciona del grupo que consiste en gas de horno de coque, gas natural, gas superior reformado (BFG), gas ciudad, gas mezclado de los mismos, y gas mezclado con hidrógeno obtenido mezclando gas de hidrógeno con el mismo.

FIG. 1

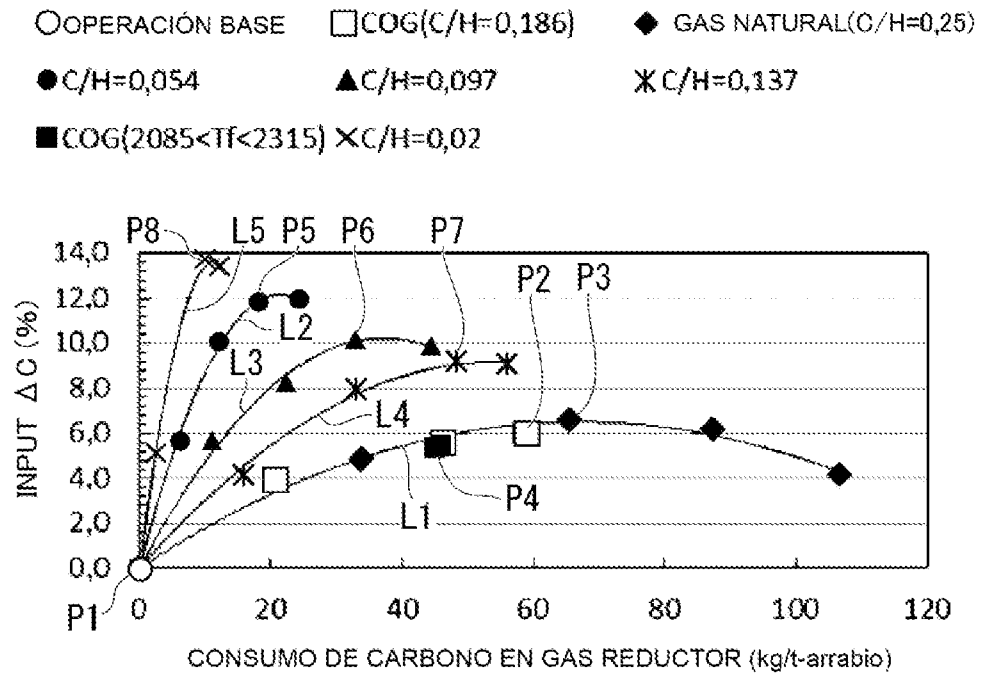


FIG. 2

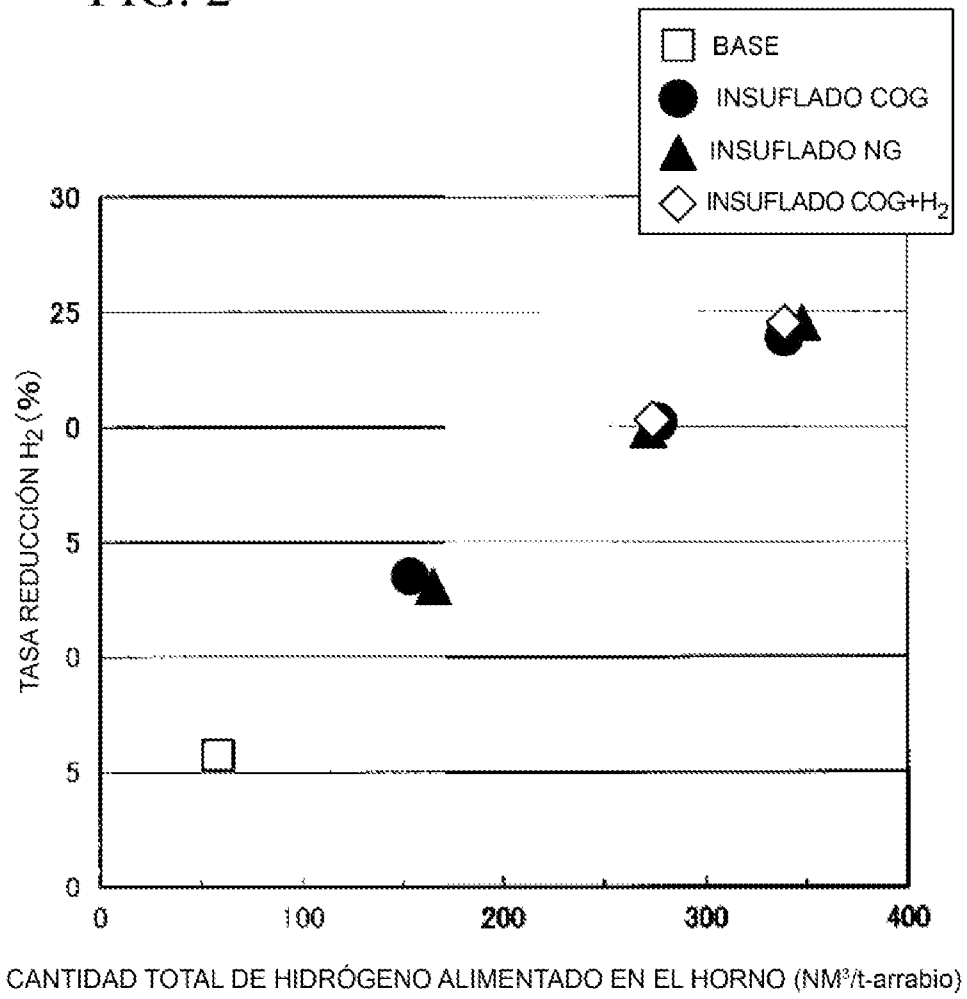


FIG. 3

