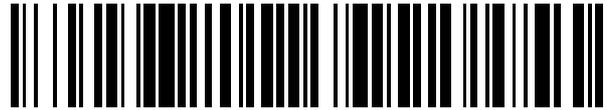


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 700**

51 Int. Cl.:

C22B 1/16 (2006.01)

C21B 13/00 (2006.01)

C22B 1/248 (2006.01)

C22B 5/10 (2006.01)

C21B 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2007 E 07831349 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2096181**

54 Título: **Hierro briqueteado mediante moldeo en caliente y proceso para producir el mismo**

30 Prioridad:

16.11.2006 JP 2006310047

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

28.11.2014

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)
10-26 WAKINOHAMA-CHO 2-CHOME
CHUO-KU KOBE-SHI HYOGO 651-8585 , JP**

72 Inventor/es:

**TANAKA, HIDETOSHI y
SUGIYAMA, TAKESHI**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 523 700 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

Hierro briqueteado mediante moldeo en caliente y proceso para producir el mismo

5 La presente invención se refiere a una técnica para producir hierro briqueteado en caliente (puede abreviarse a "HBI" en lo sucesivo en el presente documento) usando hierro reducido que se obtiene mediante la reducción por calentamiento de aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso y, en particular, a un HBI adecuado como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto y un método para producir el mismo.

10 El HBI ha atraído la atención como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto que puede hacer frente a los problemas tanto de la reciente tendencia a unas operaciones de relación de colada más alta como de la reducción de la emisión de CO₂ (consúltese, por ejemplo, el documento no de patente 1).

15 No obstante, el HBI convencional se produce mediante conformación en caliente del así denominado hierro reducido a base de gas (el hierro reducido puede abreviarse a "DRI" en lo sucesivo en el presente documento) que se produce mediante la reducción de gránulos caldeados con alta calidad de hierro, que se usa como un material en bruto, con un gas reductor que se produce mediante la reformación de gas natural. Por lo tanto, el HBI a base de gas convencional se usa como un material en bruto alternativo a las chatarras en hornos eléctricos, pero tiene un problema durante el uso práctico debido a su alto coste como un material en bruto para hornos altos.

20 Por otro lado, recientemente se ha desarrollado una técnica para producir el así denominado DRI a base de carbón mediante la reducción, en una atmósfera de alta temperatura, de un material sin procesar de hierro de baja calidad con aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso, que contienen carbón económico como un reductor, y se ha adelantado una aplicación práctica de la técnica (consúltese, por ejemplo, el documento del
25 patente 1). El DRI a base de carbón contiene grandes cantidades de contenido en ganga (contenido en escoria) y de contenido en azufre (consúltense el ejemplo 2 y la tabla 7 que se describen en lo sucesivo) y, por lo tanto, es inadecuado para cargarse directamente en un horno de arco eléctrico. Como contraste, cuando el DRI a base de carbón se usa como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, grandes cantidades de contenido en escoria y de contenido en azufre no son un problema tan importante. Además, el DRI a base de carbón tiene una
30 cualidad de que este puede producirse con un bajo coste en comparación con el HBI convencional.

No obstante, con el fin de usar el DRI a base de carbón como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, se requiere que el DRI tenga la suficiente resistencia para resistir la carga en un horno alto. El DRI a base de
35 carbón se produce usando un material carbonoso incorporado como un reductor y, por lo tanto, tiene una alta porosidad y un alto contenido de carbono residual en comparación con el DRI a base de gas. Por lo tanto, el DRI a base de carbón tiene una resistencia más baja que la del DRI a base de gas (consúltense el ejemplo 2 y la tabla 7 que se describen en lo sucesivo). En consecuencia, existe una condición en la que, con el fin de usar directamente el DRI a base de carbón como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, la cantidad del material carbonoso mezclado se disminuye para disminuir extremadamente el contenido de carbono residual en el DRI
40 (puede abreviarse a "contenido en carbono" (contenido en C) en lo sucesivo en el presente documento), y la resistencia se asegura incluso por el sacrificio de la metalización (consúltense la figura 3 del documento no de patente 2). Además, al igual que el DRI a base de gas, el DRI a base de carbón se re-oxida fácilmente y, por lo tanto, no tiene resistencia a la intemperie. Por lo tanto, el DRI a base de carbón tiene un problema de ser inadecuado para un almacenamiento a largo plazo y un transporte de larga distancia.

45 Documento no de patente 1: Y Ujisawa, y col. *Iron & Steel*, vol. 92 (2006), N° 10, págs. 591–600
Documento no de patente 2: Takeshi Sugiyama y col. "*Dust Treatment by FASTMET (R) Process*", Resource Material (Shigen Sozai) 2001 (Sapporo), 24–25 de septiembre de 2001, 2001 Autumn Joint Meeting of Resource Materials–Related Society (Shigen Sozai Kankeigaku Kyokai)
50 Documento de patente 1: Publicación de solicitud de patente no examinada de Japón con N° 2001–181721

La presente invención se ha conseguido en consideración de la situación que se ha mencionado en lo que antecede, y un objeto de la presente invención es la provisión de hierro briqueteado en caliente económico que tiene
55 resistencia como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto y resistencia a la intemperie. Otro objeto de la presente invención es la provisión de un método para producir el hierro briqueteado en caliente.

Con el fin de conseguir los objetos, el hierro briqueteado en caliente en un aspecto de la presente invención incluye una pluralidad de partículas de hierro reducido que se unen entre sí mediante conformación en caliente, teniendo las
60 partículas de hierro reducido una región superficial que tiene un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa y una región central que se encuentra en el interior de la región superficial y que tiene un contenido en carbono promedio más alto que el de la región superficial, donde dicha región superficial es una región desde la superficie de la partícula de hierro reducido hasta una profundidad de 5 mm.

Con el fin de conseguir los objetos, un método para producir hierro briqueteado en caliente en otro aspecto de la
65 presente invención incluye una etapa de aglomeración de granular aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso, que contienen un contenido en óxido de hierro y un material carbonoso, y siendo la relación de

mezcla del material carbonoso en los aglomerados de un 10 a un 26 %, una etapa de reducción por calor de reducir por calor los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso en un horno de reducción a una temperatura atmosférica de 1250 a 1400 °C durante un tiempo de retención de 8 a 30 minutos, para producir unas partículas de hierro reducido que tienen un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa en una región superficial y un contenido en carbono promedio más alto en una región central que el de la región superficial, una etapa de descarga de descargar una pluralidad de partículas de hierro reducido del horno de reducción, y una etapa de conformación en caliente de moldear por compresión la una pluralidad de las partículas de hierro reducido que se descargan del horno de reducción con una máquina de conformación en caliente.

10 [Figura 1] La figura 1 es un diagrama de flujo que muestra los esquemas generales de un flujo de producción de HBI de acuerdo con una realización de la presente invención.

[Figura 2] La figura 2 es una gráfica que muestra una relación entre el tamaño de partícula y la resistencia a la compresión del DRI a base de carbón.

15 [Figura 3] La figura 3 es una gráfica que muestra una relación entre el contenido en C y la resistencia a la compresión del DRI a base de carbón.

[Figura 4] La figura 4 es una gráfica que muestra una relación entre el grado de metalización y la tasa de producción del DRI a base de carbón en un horno de solera rotatoria.

[Figura 5] La figura 5 es una gráfica que muestra una relación entre el contenido en C y la resistencia frente a caída de HBI a base de carbón.

20 [Figura 6] La figura 6 es una gráfica que muestra una relación entre la metalización y la resistencia frente a caída de HBI a base de carbón.

[Figura 7] La figura 7 es un dibujo que muestra una macroestructura de una sección de HBI a base de carbón.

[Figura 8] La figura 8 es una gráfica que muestra cambios con el tiempo de la metalización en una prueba a la intemperie.

25 [Figura 9] La figura 9 es una gráfica que muestra la influencia de una temperatura de conformación sobre la resistencia a la compresión de HBI a base de carbón.

[Figura 10] La figura 10 es un dibujo que muestra una distribución de contenido en carbono en el DRI, en la que (a) muestra el DRI a base de gas y (b) muestra el DRI a base de carbón.

30 En primer lugar, se describe la posibilidad de briquetación en caliente de DRI a base de carbón. Se requiere que un material en bruto que va a cargarse en un horno alto tenga la suficiente resistencia para resistir la carga en un horno alto. Por lo tanto, para el fin de impartir la resistencia necesaria como un material en bruto que va a cargarse, el DRI a base de carbón puede aglomerarse para dar briquetas mediante conformación en caliente (briquetación en caliente para dar HBI). No obstante, cuando se usa un DRI a base de carbón que tiene un contenido en C residual alto, no puede obtenerse un HBI que tenga una resistencia suficiente de acuerdo con un conocimiento técnico común de la briquetación en caliente del DRI a base de gas convencional.

40 Dicho de otra forma, como un conocimiento técnico común de la briquetación en caliente de DRI a base de gas para producir HBI, cuando se usa HBI a base de gas en un horno eléctrico, se desea que el DRI tenga un contenido en C tan alto como sea posible debido a que el consumo de potencia se reduce mediante la reducción de óxido de hierro no reducido en el DRI. No obstante, se sabe que la resistencia del HBI se disminuye mediante el aumento del contenido en C en el DRI y, por lo tanto, el contenido en C de DRI está limitado a aproximadamente un 1,8 % en masa como máximo. Por lo tanto, incluso cuando la técnica de la briquetación en caliente de DRI a base de gas para dar HBI se usa directamente para un DRI a base de carbón que tiene un contenido en carbono residual alto y una resistencia baja en comparación con el DRI a base de gas, no puede obtenerse un HBI a base de carbón con una resistencia suficiente.

50 Por lo tanto, los inventores de la presente invención examinaron la influencia del contenido en C en el DRI sobre la resistencia del HBI cuando el DRI a base de gas se briquetea en caliente para dar HBI.

La figura 10 (a) muestra de forma esquemática una sección de DRI a base de gas (diámetro: aproximadamente 14 mm, contenido en C: aproximadamente un 1,8 % en masa) antes de la briquetación en caliente para dar HBI y una distribución de contenido en carbono (el contenido en carbono puede abreviarse a "contenido en C" en lo sucesivo en el presente documento) en la dirección del diámetro (la dirección lateral de la figura 10 (a)) que se obtiene mediante un análisis superficial de EPMA de una región entre las líneas A y B de la sección. En la figura, la distribución de contenido en carbono se indica por los contenidos en carbono promedio en una dirección (la dirección vertical de la figura) vertical con respecto a las líneas A y B a lo largo de la dirección del diámetro (la dirección lateral en la figura).

60 La figura 10 (a) indica que el contenido en C en el DRI es sustancialmente constante a aproximadamente un 0,5 % en masa dentro de una región central (en una región de un diámetro de aproximadamente 8 mm con respecto al centro). Por otro lado, el contenido en C aumenta de manera abrupta cerca de la periferia (es decir, el lado superficial). El contenido en C promedio en la totalidad del DRI de aproximadamente 14 mm de diámetro es de aproximadamente un 1,8 % en masa, y el contenido en C promedio en la región central de DRI con un diámetro de aproximadamente 8 mm es de aproximadamente un 0,5 % en masa. Por lo tanto, de acuerdo con el cálculo de equilibrio, el contenido en C promedio en una región superficial de DRI desde la superficie hasta una profundidad de

aproximadamente 3 mm es de aproximadamente un 2,5 % en masa.

La razón por la cual el contenido en C aumenta de manera abrupta en la región superficial de DRI a base de gas es que el DRI a base de gas se cementa por gas a partir de la superficie de hierro reducido con metano o similares que se añade al gas reductor y, por lo tanto, el carbono (C) se deposita sobre superficies de hierro metálico y se difunde en el hierro metálico, aumentando de ese modo el contenido en C.

Por lo tanto, cuando el contenido en C en el DRI a base de gas se aumenta adicionalmente, la deposición de carbono sobre la superficie de hierro metálico y la difusión al hierro metálico se aumentan adicionalmente, disminuyendo de ese modo la fuerza adhesiva entre las partículas de DRI durante la conformación en caliente para briquetar en caliente para dar HBI. Como resultado, tal como se indica por el conocimiento técnico común, la resistencia del HBI se disminuye.

No obstante, los inventores de la presente invención descubrieron a partir del examen que se ha descrito en lo que antecede que la resistencia del HBI (HBI a base de gas) que se produce mediante conformación en caliente a partir de DRI a base de gas no está determinada por el contenido en C promedio en la totalidad de la región de DRI a base de gas sino que está definida por el contenido en C promedio en la región superficial de DRI que tiene influencia sobre la fuerza adhesiva entre las partículas de DRI durante la conformación en caliente. En la figura 10 (a), los puntos similares a granos de arroz (puntos vaciados) en la región central muestran huecos, y los puntos en la región superficial muestran depósitos de carbono (que incluyen parcialmente carburo de hierro).

A continuación, el DRI a base de carbón también se sometió a un análisis superficial de EPMA de una sección de DRI dentro de una región entre las líneas A y B que se muestran en la figura 10 (b). Como resultado, se obtuvo una distribución de contenido en C tal como se muestra en la figura 10 (b). La figura 10 (b) indica que, al contrario que el DRI a base de gas, el contenido en C de DRI a base de carbón es sustancialmente constante a un valor relativamente alto en una región central. Por otro lado, el contenido en C disminuye de manera abrupta en una región periférica (es decir, una región del lado de superficie). En la medición de la distribución de contenido en C en el DRI a base de carbón, el análisis superficial no se realizó en una región cerca de la superficie de lado derecho de DRI que se muestra en la figura 10 (b) y, por lo tanto, no se muestra una distribución de contenido en C en la región cerca de la superficie de lado derecho en la figura 10 (b). No obstante, de acuerdo con los resultados de un análisis superficial de EPMA que se realiza por separado a lo largo de la totalidad de la región de DRI a base de carbón, se confirmó que el contenido en C cerca de la superficie de lado derecho de DRI es más bajo que el de la región central. (Con el fin de preparar una muestra de EPMA de DRI a base de gas, el DRI se enterró en una resina, la resina se cortó en mitades, y se pulió una sección de DRI. Por el contrario, con el fin de preparar una muestra de EPMA de DRI a base de carbón, el DRI se cortó, los huecos de una sección se cargaron con una resina y, a continuación, la sección se pulió debido a que una región central de DRI era muy porosa y, por lo tanto, no podría pulirse directamente. Por lo tanto, un análisis cuantitativo del contenido en C podría realizarse a lo largo de la totalidad de la región de DRI a base de gas, pero fue difícil determinar de forma cuantitativa el contenido en C con alta precisión dentro de una región central de DRI a base de carbón debido a la influencia del contenido en carbono en la resina. Por lo tanto, solo se obtuvieron los resultados de un análisis cualitativo. En la figura 10 (b), los puntos similares a granos de arroz (puntos vaciados) en la región central muestran huecos, y los puntos similares a granos de ajonjolí (puntos negros) muestran carbono e hierro con contenido en carbono.)

A pesar de que se describe con detalle en lo sucesivo, la razón por la cual el contenido en C de DRI a base de carbón disminuye de manera abrupta en la región superficial es que el mecanismo de cementación del DRI a base de carbón es diferente del de DRI a base de gas, y la temperatura en la región superficial del DRI a base de carbón se aumenta con rapidez mediante calentamiento por radiación dentro de un corto tiempo en comparación con la región central, aumentando de ese modo la cantidad del material carbonoso que se consume mediante reacción de pérdida de solución en comparación con la región central.

Por lo tanto, se cree que, si el contenido en C promedio de la región superficial de DRI a base de carbón se especifica (se contiene) a un 2,5 % en masa o menos que es un límite superior del contenido en C promedio en la región superficial del DRI a base de gas, puede asegurarse que la resistencia del HBI que se produce a partir de tal DRI a base de carbón es equivalente a la del HBI que se produce a partir de DRI a base de gas. La presente invención se ha conseguido como resultado de una investigación adicional.

La configuración de la presente invención se describe con detalle en lo sucesivo.

[Configuración de HBI]

Se produce hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la presente invención mediante conformación en caliente de una pluralidad de partículas de hierro reducido, y las partículas de hierro reducido incluyen una región superficial que tiene un contenido en C promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa y una región central que está dispuesta en el interior de la región superficial y que tiene un contenido en C promedio más alto que el de la región superficial.

En lo sucesivo, se describen la razón de emplear la configuración que se ha descrito en lo que antecede y la razón de limitar los valores.

5 Se produce hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la presente invención mediante conformación en caliente de una pluralidad de partículas de hierro reducido para dar briquetas. Las partículas de hierro reducido se deforman por compresión a través de conformación en caliente de tal modo que partículas de hierro reducido adyacentes se adhieren entre sí en las superficies. La razón de especificar “el contenido en C promedio en regiones superficiales” de las partículas de hierro reducido es que se cree que la fuerza adhesiva entre las partículas de hierro reducido, que determina la resistencia del HBI cuando se forma HBI mediante el moldeo por compresión de una pluralidad de
10 partículas de hierro reducido, se determina dependiendo de la cantidad de partículas de material carbonoso presentes en las porciones de hierro metálico en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido.

15 Las “regiones superficiales de las partículas de hierro reducido” preferiblemente son unas regiones desde las superficies de las partículas de hierro reducido hasta una profundidad de aproximadamente 1 a 5 mm. Si la profundidad desde la superficie es de menos de aproximadamente 1 mm, el espesor de una región superficial con bajo contenido en carbono es excesivamente pequeño y, por lo tanto, la adhesión entre partículas de hierro reducido se vuelve insuficiente. Por otro lado, cuando la profundidad es de más de aproximadamente 5 mm, el contenido en carbono promedio del hierro reducido a base de carbón se disminuye de manera excesiva. Por lo tanto, las regiones son más preferiblemente unas regiones desde las superficies de DRI hasta una profundidad de aproximadamente 3
20 mm hasta las que se extiende la deformación debido al moldeo por compresión.

25 La razón de especificar el contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido a “0,1 a 2,5 % en masa” es que, si el contenido en C promedio supera un 2,5 % en masa, la cantidad de partículas de material carbonoso presentes en las porciones de hierro metálico en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido se aumenta de manera excesiva, disminuyendo de ese modo la adhesión entre partículas de hierro reducido. Por otro lado, si el contenido en C promedio es de menos de un 0,1 % en masa, el hierro metálico en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido se re-oxida fácilmente para aumentar la cantidad de óxido de hierro en lugar de disminuir la cantidad de hierro metálico. Por lo tanto, se disminuye la fuerza adhesiva entre partículas de hierro reducido. El límite inferior del contenido en C promedio en las regiones superficiales de las
30 partículas de hierro reducido es más preferiblemente de un 0,3 % en masa, en particular de un 0,5 % en masa, y el límite superior del contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido es más preferiblemente de un 2,0 % en masa, en particular de un 1,5 % en masa.

35 La razón de especificar el contenido en C promedio en la región central de tal modo que este sea más alto que el de las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido es que, incluso cuando el contenido en C promedio en las regiones superficiales se establece para que sea bajo, el contenido en C promedio en las regiones centrales se establece para que sea más alto que el de las regiones superficiales para mantener el contenido en C promedio a un determinado valor alto a lo largo de la totalidad de las regiones de las partículas de hierro reducido, consiguiendo de ese modo el efecto de evitar la re-oxidación con un gas rico en CO₂ en una porción de cuba en un horno alto y el
40 efecto de fácil fusión debido a la cementación en una porción de alta temperatura.

Se recomienda que cada una de las partículas de hierro reducido incluya solo la región superficial y la región central.

45 El contenido en C promedio de la totalidad de las partículas de hierro reducido que constituyen el HBI es preferiblemente de un 1,0 a un 5,0 % en masa. Cuando el contenido en C promedio es de menos de un 1,0 % en masa, es imposible conseguir suficientemente el efecto de evitar la re-oxidación con un gas rico en CO₂ en una porción de cuba en un horno alto y el efecto de fácil fusión debido a la cementación en una porción de alta temperatura. Por otro lado, cuando el contenido en C promedio supera un 5,0 % en masa, el contenido en C en la región central de DRI a base de carbón se vuelve excesivo, aumentando de ese modo la posibilidad de disminuir la
50 resistencia del HBI con una disminución de resistencia del DRI a base de carbón. El límite inferior del contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido es más preferiblemente de un 2,0 % en masa, en particular de un 3,0 % en masa, y el límite superior del contenido en C promedio es más preferiblemente de un 4,5 % en masa, en particular de un 4,0 % en masa.

55 Además, el grado de metalización de las partículas de hierro reducido que constituyen el HBI es preferiblemente de un 80 % o más, más preferiblemente de un 85 % o más y, en particular, preferiblemente de un 90 % o más. Esto se debe a que, cuando el grado de metalización se aumenta, pueden obtenerse el efecto de aumentar adicionalmente la producción en un horno alto y el efecto de disminuir la relación de un material reductor.

60 [Método para producir HBI]

65 El método para producir HBI se describe con referencia a un flujo de producción esquemático que se muestra en la figura 1. En la figura 1, el número de referencia 1 indica un horno de solera rotatoria que sirve como un horno de reducción para reducir por calor aglomerados que contienen un contenido en óxido de hierro y un material carbonoso para producir DRI, y el número de referencia 2 indica una máquina de briquetación en caliente que sirve como una máquina de conformación en caliente para moldear por compresión en caliente DRI para producir HBI. Se

hace una descripción detallada adicional de acuerdo con el flujo de producción.

(1) Etapa de aglomeración

5 De acuerdo con la demanda, se trituran por separado mineral de hierro **a** como un contenido en óxido de hierro y carbón **b** como un material carbonoso para preparar polvos respectivos que tienen un tamaño de partícula de menos de aproximadamente 1 mm. El mineral de hierro en polvo A resultante y el carbón en polvo B se mezclan con una relación previamente determinada. La relación de mezcla del carbón en polvo B se determina para incluir una cantidad necesaria para reducir el mineral de hierro en polvo A para dar hierro metálico y se deja que un contenido en C promedio (por ejemplo, de un 2,0 a un 5,0 % en masa) permanezca en hierro reducido F después de la reducción. Además, si se requiere, se añaden unas cantidades apropiadas de un aglutinante y agua (un material en bruto auxiliar puede añadirse como una fundente). Estos materiales se mezclan en una mezcladora 4 y, a continuación, se granulan para dar un tamaño de partícula de aproximadamente 6 a 20 mm con un granulador 5, preparando unos gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso como aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso.

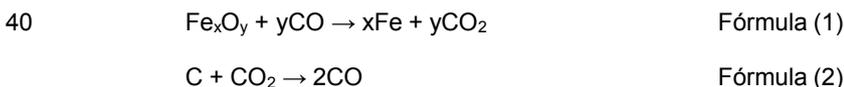
Los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso preferiblemente se secan para dar un contenido de humedad de aproximadamente un 1 % en masa o menos con un secador 6 con el fin de evitar el estallido en un horno de solera rotatoria 14.

(2) Etapa de reducción por calor

A continuación, los gránulos secados E en los que se ha incorporado el material carbonoso se colocan en un espesor de una o dos capas sobre la solera (que no se muestra) del horno de solera rotatoria 14 usando un dispositivo de carga (que no se muestra). Los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso que se colocan sobre la solera se calientan y se pasan a través del horno de solera rotatoria 1. De forma específica, los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se pasan a través del horno de solera rotatoria 1 calentado hasta una temperatura atmosférica de 1250 a 1400 °C, durante un tiempo de retención de 8 a 30 minutos.

Como medios (medios de calentamiento) para calentar los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso, por ejemplo, pueden usarse una pluralidad de quemadores (que no se muestran) provistos sobre una porción superior de la amplia pared del horno de solera rotatoria 1.

Los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se calientan por radiación durante el paso a través del horno de solera rotatoria 1. Como resultado, el contenido en óxido de hierro en los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se metaliza mediante reducción con el material carbonoso de acuerdo con las reacciones en cadena que se representan por las fórmulas (1) y (2) en lo sucesivo, produciendo hierro reducido sólido F.



Las condiciones de reacción que se producen en los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se describen con detalle en lo sucesivo.

50 Cuando los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se calientan por radiación en el horno de solera rotatoria 1, la temperatura de las regiones superficiales de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se aumentan antes que las regiones centrales y se mantienen en una condición de alta temperatura durante un largo tiempo. Por lo tanto, el material carbonoso presente cerca de las superficies se consume más mediante la reacción de pérdida de solución que se representa por la fórmula (2) que el material carbonoso presente en las regiones centrales. Además, en la región central, el CO que se produce mediante la reacción de pérdida de solución que se representa por la fórmula (2) se convierte en CO₂ mediante una reacción de reducción con el contenido en óxido de hierro que se representa por la fórmula (1). Además, el CO₂ que se produce en la región central consume adicionalmente el material carbonoso presente en la región superficial al pasar a través de la región superficial y fluir al exterior de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso. Como resultado, el contenido en C en la región superficial es más bajo que el de la región central tal como se muestra en la figura 10 (b)

60 Tal como se ha descrito en lo que antecede, el contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido F que se producen a partir de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso es más bajo que el de las regiones centrales (es decir, el contenido en C promedio en las regiones centrales de las partículas de hierro reducido a base de carbón F es más alto que el de las regiones superficiales).

65 Es necesario que el contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido F se encuentre dentro de un intervalo previamente determinado (un 0,1 a un 2,5 % en masa). Con el fin de ajustar el

contenido en C promedio en las regiones superficiales a un 0,1 a un 2,5 % en masa, la relación de mezcla del material carbonoso en los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso, y las condiciones de funcionamiento del horno de solera rotatoria 1, tal como la temperatura atmosférica en el horno de solera rotatoria 1, el tiempo de retención de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso en el horno de solera rotatoria 1, y similares, pueden controlarse de manera apropiada. De acuerdo con la presente invención, la relación de mezcla del material carbonoso, la temperatura atmosférica, y el tiempo de retención se controlan a un 10 a un 26 %, 1250 a 1400 °C y 8 a 30 minutos, respectivamente. En particular, la cantidad de mezcla de carbono es preferiblemente una cantidad que incluye una cantidad de carbono que se corresponde con el mol de carbono que es igual al mol de oxígeno retirado de los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso (por ejemplo, los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso) más un 3 %. Por otro lado, las condiciones de funcionamiento son preferiblemente unas condiciones en las que los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso se estratifican en una o dos capas sobre la solera, la temperatura directamente por encima de los aglomerados se mantiene a 1300 °C, y se realiza un calentamiento hasta que el grado de metalización alcanza un 90 % o más.

Así mismo, se recomienda que el contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido F sea de un 1,0 a un 5,0 % en masa. Tal como se ha descrito en lo que antecede, el contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido F puede controlarse mediante la relación de mezcla del material carbonoso en los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso. En este caso, la relación de mezcla se ve influenciada por las condiciones de funcionamiento, tal como la temperatura atmosférica en el horno de solera rotatoria 1, el tiempo de retención de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso en el horno de solera rotatoria 1, y similares y, por lo tanto, la relación de mezcla se controla en consideración de estas condiciones de funcionamiento. Dicho de otra forma, la relación de mezcla del material carbonoso con respecto al contenido en óxido de hierro en la etapa de aglomeración y / o las condiciones de funcionamiento del horno de solera rotatoria 1 en la etapa de reducción por calor pueden controlarse de tal modo que el contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido F sea de un 1,0 a un 5,0 % en masa.

Además, se recomienda que el grado de metalización del hierro reducido F sea de un 80 % o más. Debido a que la cantidad del carbón (material carbonoso) **b** que se mezcla en los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso supera una cantidad necesaria para la reducción del mineral de hierro (contenido en óxido de hierro) **a**, el grado de metalización puede conseguirse fácilmente mediante el control de manera apropiada las condiciones de funcionamiento, tal como la temperatura atmosférica en el horno de solera rotatoria 1, el tiempo de retención de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso en el horno de solera rotatoria 1, y similares. Dicho de otra forma, la relación de mezcla del material carbonoso con respecto al contenido en óxido de hierro en la etapa de aglomeración y / o las condiciones de funcionamiento del horno de solera rotatoria 1 en la etapa de reducción por calor pueden controlarse de tal modo que el grado de metalización del hierro reducido F sea de un 80 % o más.

(3) Etapa de descarga

Las partículas de hierro reducido F que se producen tal como se ha descrito en lo que antecede se descargan a aproximadamente 1000 °C del horno de solera rotatoria 1 usando un dispositivo de descarga (que no se muestra).

(4) Etapa de conformación en caliente

Las partículas de hierro reducido F que se descargan del horno de solera rotatoria 1, una vez que se han almacenado en, por ejemplo, un recipiente 7, se enfrían hasta aproximadamente 600 a 650 °C, que es una temperatura adecuada para una conformación en caliente habitual, con un gas inerte tal como gas nitrógeno y, a continuación, se conforman por presión (conformación por compresión) con, por ejemplo, una máquina de briquetación en caliente de doble rodillo 2, para producir hierro briqueteado en caliente G. Debido a que el contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido F se ajusta a un 0,1 a un 2,5 % en masa, el hierro briqueteado en caliente G asegura una resistencia suficiente como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto. Además, debido a que el contenido en C promedio en las regiones centrales de las partículas de hierro reducido F es más alto que el de las regiones superficiales, el contenido en C promedio de la totalidad del hierro briqueteado en caliente G se mantiene alto. Por lo tanto, cuando el hierro briqueteado en caliente G se carga en un horno alto, es posible conseguir el efecto de evitar la re-oxidación con un gas de horno rico en CO₂ en una porción de cuba en el horno alto y el efecto de fácil fusión debido a la cementación en el hierro metálico en una porción de alta temperatura del horno alto.

[Ejemplo modificado]

En un ejemplo que se describe en la realización, el contenido en C promedio en las regiones superficiales de las partículas de hierro reducido F se ajusta mediante el control de la relación de mezcla del material carbonoso con respecto al contenido en óxido de hierro en la etapa de aglomeración y / o de controlar las condiciones de funcionamiento del horno de solera rotatoria 1 en la etapa de reducción por calor. En otra realización de la presente invención, en lugar de o además del control, el grado de oxidación de una atmósfera de gas puede cambiarse en una zona inmediatamente antes de la porción de descarga de hierro reducido F en el horno de solera rotatoria 1, la

zona que se corresponde con el momento de finalización de la etapa de reducción por calor, es decir, el momento en el que la generación de gas a partir de los gránulos E en los que se ha incorporado el material carbonoso se disminuye o se detiene. Esto se debe a que puede ajustarse el consumo del material carbonoso en las regiones superficiales del hierro reducido F. Cuando se cambia el grado de oxidación de la atmósfera de gas, el contenido en C promedio en las regiones superficiales del hierro reducido F puede controlarse de manera más precisa. El grado de oxidación de la atmósfera de gas en una zona previamente determinada en el horno de solera rotatoria 1 puede cambiarse fácilmente mediante el cambio de la relación de aire de un quemador provisto en la zona. Por ejemplo, cuando el contenido en C promedio en las regiones superficiales del hierro reducido F supera un 2,5 % en masa, la relación de aire del quemador puede aumentarse para aumentar el grado de oxidación de la atmósfera de gas. En consecuencia, el consumo del material carbonoso en las regiones superficiales del hierro reducido F se promueve de tal modo que el contenido en C promedio en las regiones superficiales del hierro reducido F puede mantenerse a un 2,5 % en masa o menos (primera etapa de controlar el contenido en C en las regiones superficiales de hierro reducido).

Además, después de que el hierro reducido F se haya descargado del horno de solera rotatoria 1, una cantidad previamente determinada de gas oxidante puede ponerse en contacto con el hierro reducido F durante un tiempo previamente determinado mediante, por ejemplo, pulverización, como el gas oxidante, aire o gas de escape de combustión de quemador del horno de solera rotatoria 1 sobre el hierro reducido F. En este caso, puede controlarse el consumo del material carbonoso en las regiones superficiales del hierro reducido F (segunda etapa de controlar el contenido en C en las regiones superficiales de hierro reducido).

Además, puede realizarse una cualquiera de la primera y la segunda etapas de controlar el contenido en C en las regiones superficiales de hierro reducido, o pueden combinarse ambas etapas.

A pesar de que, en un ejemplo que se describe en la realización, las partículas de hierro reducido F a aproximadamente 1000 °C que se descargan del horno de solera rotatoria 1 se enfrían hasta aproximadamente 600 a 650 °C y, a continuación, se conforman en caliente, la conformación puede realizarse a una temperatura de conformación en caliente aumentada sin enfriar de manera sustancial las partículas de hierro reducido F, es decir, sin una operación de enfriamiento forzado de un tipo tal como el que se ha descrito en lo que antecede. En este caso, la resistencia frente al calor de la máquina de briquetación en caliente 2 se vuelve un problema, pero el problema puede abordarse al potenciar el enfriamiento con agua del rodillo, mejorando la calidad del material del rodillo, o similares. Incluso cuando el contenido en C de la totalidad de las partículas de hierro reducido F en el hierro briquetado en caliente G es tan alto como aproximadamente un 5 % en masa, puede asegurarse una alta resistencia mediante conformación a una temperatura de conformación en caliente aumentada.

A pesar de que, en la realización, se usa mineral de hierro como el contenido en óxido de hierro a, puede usarse en lugar de, o además del mineral de hierro, polvo de horno alto, polvo de convertidor, polvo de horno eléctrico, o polvo de acería tal como cascarilla de laminación, que contiene óxido de hierro.

A pesar de que, en la realización, se usa carbón como el material carbonoso b, puede usarse coque, coque de petróleo, carbón vegetal, virutas de madera, residuos plásticos, un neumático de desecho, o similares, en lugar de o además del carbón. Además, puede usarse el contenido en carbono en el polvo de horno alto.

A pesar de que, en la realización, los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso se usan como los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso y se granulan mediante un granulador, pueden usarse briquetas en las que se ha incorporado un material carbonoso (briquetas más pequeñas que hierro briquetado en caliente) en lugar de los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso y se moldean por compresión con una máquina de conformación por presión. En este caso, no se añade agua alguna durante la conformación de acuerdo con el tipo de aglutinante que se usa, sino que en su lugar puede usarse un material en bruto seco.

A pesar de que, en la presente realización, se usa un horno de solera rotatoria como un horno de reducción, puede usarse un horno lineal en lugar del horno de solera rotatoria.

55 Ejemplos

[EJEMPLO 1]

Con el fin de examinar el contenido en C promedio en cada una de una región superficial y una región central de DRI a base de carbón, se realizó una prueba de reducción que se describe en lo sucesivo como una simulación de la etapa de reducción por calor usando un horno de solera rotatoria.

Se añadieron materiales auxiliares a carbón y mineral de hierro que tiene las composiciones que se muestran en la tabla 1 y se mezclaron con la relación de mezcla que se muestra en la tabla 2. A continuación, se añadió una cantidad apropiada de agua a la mezcla resultante, y la mezcla se granuló mediante una máquina de granulación de disco pequeño y, a continuación, se secó suficientemente al mantenerse en un secador para preparar gránulos de

muestra en los que se ha incorporado un material carbonoso que tiene un tamaño de partícula promedio de 18,7 mm. En la tabla 1, “-74 µm” indica “partículas con un diámetro de partícula de 74 µm o menos” y “LOI” es una abreviatura para “Pérdida de Ignición” (*Loss of Ignition*) e indica una pérdida de masa mediante calentamiento a 1000 °C durante 1 hora. Esto es de aplicación a la tabla 4.

5

[Tabla 1]

Mineral de hierro	Composición química (% en masa)							Tamaño de partícula (% en masa)
	T.Fe	Fe ₃ O ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI	-74 µm
	67,64	93,48	4,7	0,21	0,47	0,46	0,13	96
Carbón	Análisis inmediato (% en masa)			Análisis elemental (% en masa)				Tamaño de partícula
	Ceniza	VM	FC	S	C	H	O	-74 µm
	4,64	16,79	78,57	0,595	86,24	4,18	2,48	93

[Tabla 2]

Relación de mezcla (% en masa)	Mineral de hierro	Carbón	Agglutinante orgánico	Caliza	Dolomita
	72,38	17,0	0,9	6,28	2,64

10

Seis gránulos de muestra en los que se ha incorporado el material carbonoso se colocaron en una capa sobre una bandeja de alúmina y se insertaron con rapidez en un horno de calentamiento horizontal de pequeño tamaño ajustado a una temperatura atmosférica de 1300 °C bajo una corriente de N₂ al 100 % a 3 NL / min. Cuando la concentración de CO en el gas de escape disminuyó a un 5 % en volumen, se consideró que la reducción estaba completada, y la muestra se sacó hasta una posición de enfriamiento y se enfrió hasta temperatura ambiente en una atmósfera de N₂. La muestra de hierro reducido resultante se sometió a una observación en sección transversal y análisis químico. La prueba se repitió dos veces con el fin de confirmar la reproducibilidad.

15

De acuerdo con la observación en sección transversal, se descubrió que en una porción periférica del hierro reducido resultante, el hierro metálico se sinteriza mediante el tratamiento por calentamiento para formar una región densa, mientras que en una porción central, hay un contenido de mucho carbono residual y el hierro metálico no se sinterizó lo bastante. El diámetro de partícula promedio del hierro reducido se disminuyó a aproximadamente 16 mm con respecto al diámetro de partícula de 18,7 mm antes de la reducción.

20

25

Debido a que el espesor de la región densa que se forma mediante la sinterización del hierro metálico en la porción periférica fue de aproximadamente 3 mm, se consideró que la porción periférica se correspondía con “la porción desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 3 mm”, que es un intervalo recomendado de la región superficial de hierro reducido de acuerdo con la presente invención, y se consideró que la porción central se correspondía con la región central (una porción que excluye la región superficial). El hierro reducido se separó en la porción periférica (región superficial) y la porción central (región central) y se sometió a análisis químico para cada una de las regiones. Los resultados del análisis químico se muestran en la tabla 3.

[Tabla 3]

Prueba N°	Región	Dimensión de la muestra	Masa de la muestra	Composición química (% en masa)			Grado de metalización (%)
				T.Fe	FeO	T.C	
1	Porción periférica	Espesor de aproximadamente 3 mm	3,09 g	81,15	0,24	1,57	No medida
	Porción central	Diámetro de aproximadamente 10 mm	16,85 g	78,00	0,30	4,37	No medida
	Completa	Diámetro de aproximadamente 16 mm	19,94 g	78,49	0,29	3,94	99,74
2	Porción periférica	Espesor de aproximadamente 3 mm	3,37 g	80,94	0,24	1,50	No medida
	Porción central	Diámetro de aproximadamente 10 mm	16,86 g	76,75	0,26	4,48	No medida
	Completa	Diámetro de aproximadamente 16 mm	20,23 g	77,45	0,26	3,98	99,74

30

La tabla indica que la prueba muestra una alta reproducibilidad, y el contenido en C promedio en la porción periférica (región superficial) es de un 1,5 a un 1,6 % en masa, mientras que el contenido en C promedio en la porción central (región central) es de aproximadamente un 4,4 a un 4,5 % en masa. Esto satisface las definiciones de componentes

de DRI para el HBI de la presente invención. Además, el contenido en C promedio de la totalidad de la muestra de hierro reducido es de aproximadamente un 3,9 a un 4,0 % en masa, y el grado de metalización es de aproximadamente un 99,7 %. Esto satisface las definiciones de componentes preferidas de DRI para el HBI de la presente invención, es decir, satisface "el contenido en carbono promedio de la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa" y "el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más". El grado de metalización de DRI se midió mediante análisis químico de la totalidad del DRI, mientras que la composición química de la totalidad del DRI se calculó mediante promedio ponderado de las composiciones químicas de la porción periférica (región superficial) y la porción central (región central) de DRI.

Por lo tanto, se estima que el HBI que se produce mediante conformación en caliente del hierro reducido que se produce tal como se ha descrito en lo que antecede tiene una resistencia suficiente y, por lo tanto, la prueba de producción de HBI que se describe en lo sucesivo se realizó con fines de confirmación.

[EJEMPLO 2]

(Método y condición de prueba)

La prueba de producción de HBI se llevó a cabo usando un horno de solera rotatoria (escala de producción de hierro reducido: 50 t / d) que tiene un diámetro exterior de 8,5 m y una máquina de briquetación en caliente que tiene un diámetro de rodillo de 1 m.

Se usaron mineral de magnetita (mineral de hierro) y hulla bituminosa (carbón) que tiene las composiciones que se muestran en la tabla 4 como materiales en bruto, y se mezclaron un 80 % en masa de mineral de hierro y un 20 % en masa de carbón. Además, se añadió un 1,5 % de un aglutinante orgánico mediante exterior. Además, se añadió una cantidad apropiada de agua, y los materiales en bruto se mezclaron mediante una mezcladora y, a continuación, se produjeron gránulos en los que se ha incorporado un material carbonoso mediante un granulador de tipo batea que tiene un diámetro de 3,0 m. Los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso se secaron de forma continua mediante un secador de tipo banda ajustado a una temperatura atmosférica de 170 °C. Después del secado, los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso se cargaron de forma continua en el horno de solera rotatoria y se redujeron bajo las condiciones que se muestran en la tabla 5. La relación de aire de un quemador provisto en la zona final del horno de solera rotatoria fue de aproximadamente 1,0. En la tabla 5, "-190" indica "presión de horno de 190 Pa o menos".

[Tabla 4]

Mineral de hierro	Composición química (% en masa)							Tamaño de partícula (% en masa)
	T.Fe	Fe ₃ O ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI	-74 μm
	68,8	95,11	2,06	0,57	0,55	0,44	0,71	88
Carbón	Análisis inmediato (% en masa)			Análisis elemental (% en masa)				Tamaño de partícula
	Ceniza	VM	FC	S	C	H	O	-74 μm
	9,6	18,6	71,9	0,21	81,2	4,3	4,0	80

[Tabla 5]

Horno de solera rotatoria	Tasa de alimentación de gránulos (t / h)	Temperatura atmosférica (promedio) (°C)	Tiempo de retención de gránulos (min)	Presión de horno (N)
	3,0	1350	7,0 ~ 9,0	190

El hierro reducido descargado del horno de solera rotatoria se almacenó en un recipiente purgado con gas N₂ con un revestimiento refractario, y el hierro reducido de dos recipientes se cargó en una tolva instalada por encima de la máquina de briquetación en caliente cada vez que cada recipiente se había cargado con el hierro reducido. A continuación, aproximadamente 2,5 t de hierro reducido a una alta temperatura se suministraron a la máquina de briquetación en caliente de una forma por lotes y se conformaron en caliente bajo las condiciones que se muestran en la tabla 6. La briqueta formada se enfrió por inmersión en agua para producir hierro briquetado en caliente.

[Tabla 6]

Máquina de briquetación en caliente	Temperatura de alimentación de DRI (°C)	Velocidad de rotación de rodillo (rpm)	Presión aplicada por rodillo (MPa)	Par de fuerzas de rodillo (N)
	658	86	1,6,5	378

(Resultado de prueba)

[Propiedades del hierro reducido a base de carbón]

- 5 El hierro reducido antes de la briquetación en caliente para dar HBI se recogió y se midió con respecto a las propiedades físicas. Los valores típicos de las propiedades físicas se compararon con los del hierro reducido a base de gas convencional. Los resultados de medición se muestran en la tabla 7. La tabla indica que el hierro reducido a base de carbón tiene unos contenidos más altos de carbono (C), ganga y azufre (S) que los del hierro reducido a base de gas debido a que el hierro reducido a base de carbón se produce usando carbón como un reductor.
- 10 Además, el carbón compuesto se retira mediante gasificación para aumentar la porosidad y disminuir la resistencia a la compresión.

[Tabla 7]

Artículos	DRI a base de carbón	DRI a base de gas
Grado de metalización (%)	91,0	92,0
T.Fe (% en masa)	85,8	92,7
M. Fe (% en masa)	78,1	85,3
C (% en masa)	3,0	1,1
S (% en masa)	0,08	0,01
Contenido en ganga (% en masa)	7,54	3,60
Resistencia a la compresión (N / partícula)	412	510
Porosidad (%)	65,6	62,1

- 15 La figura 2 muestra unas representaciones gráficas de los diámetros de partícula de 50 partículas de hierro reducido a base de carbón muestreadas y la resistencia a la compresión. Tal como se ve a partir de la figura, la resistencia varía de 20 a 60 kg / partícula (aproximadamente 200 a 600 N / partícula) dentro del intervalo de tamaño de partícula de 16 a 20 mm, y se encuentran presentes partículas que tienen una resistencia muy baja. Debido a que el hierro reducido a base de carbón que se produce con un horno de calentamiento pequeño a escala de laboratorio en general se calienta de manera uniforme, puede producirse un hierro reducido homogéneo. No obstante, en un horno de solera rotatoria industrial, la recepción de calor se vuelve no uniforme dependiendo de la disposición de un quemador en el horno de calentamiento rotatorio y el solapamiento de los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso, y similares, dando lugar de ese modo a tal variación en la calidad.
- 20

- 25 La figura 3 muestra una relación entre el contenido en C de la totalidad de las partículas de hierro reducido a base de carbón y la resistencia a la compresión. La figura 3 indica que la resistencia a la compresión disminuye a medida que aumenta el contenido en C.

- 30 Como resultado, se confirmó que con el fin de usar, como un material que va a cargarse en un horno alto, el hierro reducido a base de carbón en el que el contenido en C de la totalidad de las partículas se aumenta tanto como es posible, es necesario aumentar la resistencia del hierro reducido mediante briquetación en caliente para dar HBI.

- 35 La figura 4 muestra una relación entre el grado de metalización y la tasa de producción del hierro reducido a base de carbón. Se confirma que, cuando la tasa de producción objetivo se encuentra en el intervalo de 80 a 100 kg / (m²h), el grado de metalización de un 80 % o más se asegura de manera constante a la vez que tiene lugar una gran variación. El límite superior del grado de metalización puede maximizarse hasta aproximadamente un 95 % al disminuir ligeramente la tasa de producción (disminuyendo la tasa de producción objetivo a 90 kg / (m²h) o menos). Así mismo, el grado de metalización puede controlarse mediante el control del tiempo de retención o similares de los gránulos en los que se ha incorporado el material carbonoso en el horno de solera rotatoria.

- 40 [Propiedades del HBI a base de carbón]

- 45 Con el fin de evaluar la resistencia del HBI a base de carbón, se llevó a cabo una prueba de resistencia frente a caída. Como un método de la prueba de la resistencia frente a caída, al igual que para el HBI a base de gas, suponiendo que el HBI se transporta por mar por medio de un barco o similares, se dejaron caer 10 partículas de HBI de manera repetida cinco veces sobre una placa de hierro con un espesor de 12 mm desde una altura de 10 m. A continuación, la relación en masa de conglomerados de un tamaño de 38,1 mm o más (que se abrevia a "+38,1 mm" en lo sucesivo en el presente documento) y la relación en masa de polvo de un tamaño de 6,35 mm o menos (que se abrevia a "-6,35 mm" en lo sucesivo en el presente documento) se midieron usando tamices de tamaños de malla de 38,1 mm y 6,35 mm.

- 50 La figura 5 muestra una relación entre la resistencia frente a caída y el contenido en C de la totalidad del HBI a base de carbón que se produce mediante una máquina de briquetación en caliente. La figura indica que, cuando el

contenido en C de HBI a base de carbón (es decir, el contenido en C promedio de la totalidad del hierro reducido) se encuentra en el intervalo de un 2,0 a un 5,0 % en masa, puede obtenerse una resistencia frente a caída (+38,1 mm) que satisface de manera sustancial un promedio (+38,1 mm, un 65 %) como una referencia de la resistencia frente a caída de HBI a base de gas convencional. Además, la relación de -6,35 mm se disminuye a aproximadamente un 10 %.

La figura 6 muestra una relación entre el grado de metalización y la resistencia frente a caída de HBI a base de carbón. Esta figura indica que no se observa una correlación específica entre el grado de metalización y la resistencia frente a caída, pero la resistencia frente a caída que se corresponde con la del HBI a base de gas puede obtenerse incluso con un grado de metalización tan bajo como aproximadamente un 82 %.

[Apariencia y estructura interna del HBI a base de carbón]

El HBI a base de carbón que se produce en el presente ejemplo tiene una forma similar a una almohada que tiene una longitud de 110 mm, una anchura de 50 mm, un espesor de 30 mm y un volumen de 105 cm³ y tiene ambos extremos que están conformados de manera satisfactoria y ninguna grieta que se forme fácilmente en los extremos y a la que se hace referencia como "boca de pescado". Además, el cuerpo de HBI es lo bastante grueso y, por lo tanto, se considera que el hierro reducido se empuja a una presión alta.

La figura 7 muestra una sección transversal de HBI a base de carbón que se toma a lo largo de una dirección vertical con respecto a una dirección longitudinal. En la sección, puede verse la forma de cada partícula de hierro reducido deformada por compresión y, por lo tanto, se descubre que las superficies de las partículas de hierro reducido se adhieren estrechamente entre sí. En la sección, la porción de superficie oscura de cada partícula de hierro reducido se debe al contraste mediante ataque químico con un ácido para facilitar la observación.

[Resistencia a la intemperie de HBI a base de carbón]

Se llevó a cabo una prueba a la intemperie de HBI a base de carbón que se produce en el presente ejemplo. Como materiales comparativos, se usaron un DRI a base de carbón no briqueteado en caliente para dar HBI de la presente invención y DRI a base de gas convencional. Aproximadamente 5 kg de cada muestra se colocaron en una jaula de plástico y se dejaron al aire libre (condiciones que incluyen una humedad relativa promedio de un 71,7 %, una temperatura promedio de 7,2 °C y una precipitación mensual de 44 mm). Una pequeña cantidad de muestra se recogió cada 2 semanas y se examinó con respecto al grado de oxidación (disminución en el grado de metalización) sobre la base de los valores de análisis químico.

Los resultados del examen se muestran como una relación entre el número de días transcurridos y el grado de metalización (valor relativo para un grado de metalización inicial de 1,0) en la figura 8. La figura indica que, en el caso del DRI, los grados de metalización de DRI tanto a base de carbón como a base de gas disminuyen de forma significativa hasta aproximadamente un 60 a un 70 % del grado de metalización inicial después de 12 semanas (84 días). Como contraste, el grado de metalización de HBI a base de carbón disminuye poco y una disminución después de 12 semanas es de aproximadamente un 3 % del grado de metalización inicial. La resistencia a la intemperie del DRI y el HBI es importante, en particular, desde el punto de vista de asegurar la seguridad en el transporte por mar. No obstante, en el DRI a base de carbón, tiene lugar una re-oxidación durante el transporte o almacenamiento, y se da lugar a una generación de calor debido a la re-oxidación y al peligro de ignición. No obstante, debido a que la porosidad se disminuye de forma significativa mediante briquetación en caliente para dar HBI para densificar el HBI, el peligro puede evitarse.

[Influencia de la temperatura de moldeo en caliente sobre la resistencia del HBI a base de carbón]

Con el fin de examinar la influencia de la temperatura de moldeo en caliente sobre la resistencia del HBI a base de carbón, la temperatura de DRI a base de carbón que va a suministrarse a una máquina de briquetación en caliente se cambió a dos niveles de una temperatura habitual de 600 °C y una temperatura de 760 °C más alta que la temperatura habitual, se produjo HBI a base de carbón y se sometió a medición de la resistencia a la compresión. Los resultados de medición se muestran en la figura 9. La resistencia a la compresión de HBI se indica por una carga por unidad de longitud de anchura de HBI que se obtiene mediante la división de la carga que se aplica en la dirección del espesor en el momento de la rotura por la anchura de HBI. Tal como se muestra en la figura, cuando el contenido en C en HBI es tan bajo como aproximadamente un 2 % en masa, sustancialmente no se observa influencia alguna de la temperatura de conformación. No obstante, cuando el contenido en C de HBI se aumenta a aproximadamente un 5 % en masa, a la temperatura de conformación habitual de 600 °C, la resistencia a la compresión disminuye de forma significativa, mientras que a la temperatura de conformación de 760 °C más alta que la temperatura habitual, la disminución en la resistencia a la compresión es muy pequeña. Por lo tanto, se confirmó que el HBI que tiene un contenido en C alto y una alta resistencia puede producirse mediante conformación a una temperatura más alta.

Tal como se ha descrito en lo que antecede, el hierro briqueteado en caliente en un aspecto de la presente invención incluye una pluralidad de partículas de hierro reducido que se unen entre sí mediante conformación en caliente,

5 teniendo cada una de las partículas de hierro reducido una región superficial que tiene un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa y una región central que se encuentra en el interior de la región superficial y que tiene un contenido en carbono promedio más alto que el de la región superficial. Las partículas de hierro reducido pueden ser hierro reducido granular o en gránulos o hierro reducido briqueteado, y la forma del hierro reducido no se limita a una forma granular.

La región superficial del hierro briqueteado en caliente de la presente invención es preferiblemente una región desde la superficie de la partícula de hierro reducido hasta una profundidad de 3 mm.

10 En el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, el contenido en C promedio en la región superficial se limita a un 0,1 a un 2,5 % en masa y, por lo tanto, la resistencia del hierro briqueteado en caliente puede asegurarse a la vez que se mantiene la fuerza adhesiva entre las partículas de hierro reducido. Por lo tanto, el hierro briqueteado en caliente de la presente invención tiene resistencia como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto y resistencia a la intemperie. Así mismo, debido a que puede usarse el DRI a base de carbón que se produce usando un material carbonoso, tal como carbón económico, como un reductor y una fuente de óxido de hierro de baja calidad como un material en bruto, el coste del hierro briqueteado en caliente de la presente invención es más bajo que el HBI a base de gas.

20 En el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, el contenido en carbono promedio en la totalidad de la región de la partícula de hierro reducido es preferiblemente de un 1,0 a un 5,0 % en masa.

25 Por lo tanto, debido a que el contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido en el hierro briqueteado en caliente de la presente invención se establece en un intervalo de valores altos, es posible evitar la re-oxidación con un gas de horno rico en CO₂ en una porción de cuba de horno alto y facilitar la cementación en hierro metálico en una porción de alta temperatura de un horno alto, acelerando la fusión y mejorando la permeabilidad al aire en el horno alto.

30 En el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es preferiblemente de un 80 % o más.

35 Por lo tanto, debido a que el grado de metalización de las partículas de hierro reducido en el hierro briqueteado en caliente se establece a un valor alto de un 80 % o más, cuando el hierro briqueteado en caliente se usa como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, es posible aumentar la productividad del horno alto y disminuir la relación de un material reductor (relación de combustible) en el horno alto, disminuyendo de ese modo la cantidad de CO₂ de escape.

40 Un método para producir hierro briqueteado en caliente en otro aspecto de la presente invención incluye una etapa de aglomeración de granular aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso, conteniendo los aglomerados un contenido en óxido de hierro y un material carbonoso, y siendo la relación de mezcla del material carbonoso en los aglomerados de un 10 a un 26 %, una etapa de reducción por calor de reducir por calor los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso en un horno de reducción a una temperatura atmosférica de 1250 a 1400 °C durante un tiempo de retención de 8 a 30 minutos, para producir unas partículas de hierro reducido que tienen, cada una, un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa en una región superficial y un contenido en carbono promedio más alto en una región central que el de la región superficial, una etapa de descarga de descargar las partículas de hierro reducido del horno de reducción, y una etapa de conformación en caliente de moldear por compresión la pluralidad de las partículas de hierro reducido que se descargan del horno de reducción con una máquina de conformación en caliente.

50 Por lo tanto, los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso, que contienen el material carbonoso tal como carbón económico como un reductor y una fuente de óxido de hierro de baja calidad, se reducen por calor para producir unas partículas de hierro reducido a base de carbón, y el hierro briqueteado en caliente se produce a partir de las partículas de hierro reducido usando una máquina de conformación en caliente. Por lo tanto, es posible asegurar la resistencia del hierro briqueteado en caliente a la vez que se mantiene la fuerza adhesiva entre las partículas de hierro reducido. Como resultado, puede proporcionarse un hierro briqueteado en caliente que puede usarse en la práctica como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto y que tiene un bajo coste y una alta resistencia y resistencia a la intemperie.

60 En el método para producir el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, las partículas de hierro reducido que se descargan preferiblemente se moldean por compresión en la etapa de conformación en caliente sin enfriarse de manera sustancial.

65 Por lo tanto, las partículas de hierro reducido pueden moldearse por compresión en un estado ablandado a una alta temperatura y, por lo tanto, es posible asegurar la resistencia del hierro briqueteado en caliente incluso cuando el contenido en C promedio en la totalidad de las partículas de hierro reducido es alto.

- En el método para producir el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, en la etapa de aglomeración, el contenido en óxido de hierro y el material carbonoso preferiblemente se mezclan con una relación tal que el contenido en C promedio en la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa. Así mismo, en la etapa de reducción por calor, los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso preferiblemente se reducen por calor bajo una condición en la que el contenido en C promedio en la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa.
- De acuerdo con el método de producción, el contenido en C promedio en la región superficial de las partículas de hierro reducido puede controlarse de manera más precisa y, por lo tanto, el hierro briqueteado en caliente de la presente invención puede obtenerse de manera más segura.
- En el método para producir el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, en la etapa de aglomeración, el contenido en óxido de hierro y el material carbonoso preferiblemente se mezclan con una relación tal que el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más. Así mismo, en la etapa de reducción por calor, los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso preferiblemente se reducen por calor bajo una condición en la que el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más.
- De acuerdo con el método de producción, debido a que el grado de metalización de la totalidad de las partículas de hierro reducido es tan alto como un 80 % o más, cuando el hierro briqueteado en caliente preparado usando las partículas de hierro reducido se usa como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, es posible aumentar la productividad del horno alto y disminuir la relación del material reductor (relación de combustible) en el horno alto, disminuyendo de ese modo la cantidad de CO₂ de escape.
- Así mismo, en el método para producir el hierro briqueteado en caliente de la presente invención, el grado de oxidación de una atmósfera de gas en el horno de reducción preferiblemente se cambia en el momento de finalización de la etapa de reducción por calor. Así mismo, las partículas de hierro reducido que se descargan preferiblemente se ponen en contacto con un gas oxidante después de la etapa de descarga.
- De acuerdo con el método de producción de la presente invención, el grado de metalización de las partículas de hierro reducido puede aumentarse. Por lo tanto, cuando el hierro briqueteado en caliente que se produce usando las partículas de hierro reducido se usa como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, es posible aumentar la productividad del horno alto y disminuir la relación del material reductor (relación de combustible) en el horno alto, disminuyendo de ese modo la cantidad de CO₂ de escape.
- Un método general para producir hierro briqueteado en caliente es un método para producir hierro briqueteado en caliente que incluye una pluralidad de partículas de hierro reducido, incluyendo el método partículas de hierro reducido de moldeo por compresión con una máquina de conformación en caliente, incluyendo cada una de las partículas de hierro reducido una región superficial que tiene un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa y una región central que está dispuesta en el interior de la región superficial y que tiene un contenido en carbono promedio más alto que el de la región superficial.
- Por lo tanto, debido a que las partículas de hierro reducido que tienen, cada una, un contenido en C promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa en la región superficial se moldean por compresión, el hierro briqueteado en caliente puede mantener la fuerza adhesiva entre las partículas de hierro reducido. Como resultado, puede producirse hierro briqueteado en caliente que tiene resistencia como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto y resistencia a la intemperie. Además, puede usarse el DRI a base de carbón que se produce usando un material carbonoso, tal como carbón económico, como un reductor y una fuente de óxido de hierro de baja calidad como un material en bruto como las partículas de hierro reducido. Por lo tanto, puede producirse hierro briqueteado en caliente más económico que el HBI a base de gas.
- En el presente método para producir el hierro briqueteado en caliente que incluye una pluralidad de partículas de hierro reducido, el contenido en C promedio en la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es preferiblemente de un 1,0 a un 5,0 % en masa.
- De acuerdo con el método de producción, el contenido en C promedio en la región superficial de las partículas de hierro reducido puede controlarse de manera más precisa y, por lo tanto, el hierro briqueteado en caliente de la presente invención puede obtenerse de manera más segura.
- En el presente método para producir el hierro briqueteado en caliente que incluye una pluralidad de partículas de hierro reducido, el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es preferiblemente de un 80 % o más.
- De acuerdo con el método de producción, debido a que el grado de metalización de la totalidad de las partículas de hierro reducido es tan alto como un 80 % o más, cuando el hierro briqueteado en caliente que se produce usando las partículas de hierro reducido se usa como un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, es posible aumentar la productividad del horno alto y disminuir la relación del material reductor (relación de combustible) en el horno alto, disminuyendo de ese modo la cantidad de CO₂ de escape.

Además, el hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la presente invención es adecuado como, en particular, un material en bruto que va a cargarse en un horno alto, pero no se excluye el uso como un material en bruto para un horno eléctrico. En particular, en un hierro briqueteado en caliente que tiene un contenido en carbono promedio de un 1,0 a un 5,0 % en masa a lo largo de la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido, el contenido en C puede aumentarse para que sea más alto que el del HBI que está compuesto de DRI a base de gas convencional. A pesar de que existe la necesidad de tratar el contenido en escoria y el contenido en azufre, el uso en un horno eléctrico es digno de investigación debido al efecto elevado de disminuir el consumo de potencia.

REIVINDICACIONES

1. Hierro briqueteado en caliente que comprende una pluralidad de partículas de hierro reducido que se unen entre sí mediante conformación en caliente, donde cada una de las partículas de hierro reducido tiene una región superficial que tiene un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa y una región central que se encuentra en el interior de la región superficial y que tiene un contenido en carbono promedio más alto que el de la región superficial, donde dicha región superficial es una región desde la superficie de la partícula de hierro reducido hasta una profundidad de 5 mm.
2. El hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 1, donde la región superficial es una región desde la superficie de la partícula de hierro reducido hasta una profundidad de 3 mm.
3. El hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde el contenido en carbono promedio de la totalidad de la región de la partícula de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa.
4. El hierro briqueteado en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más.
5. Un método para producir hierro briqueteado en caliente que comprende:
- una etapa de aglomeración de granular aglomerados en los que se ha incorporado un material carbonoso, conteniendo los aglomerados un contenido en óxido de hierro y un material carbonoso, y siendo la relación de mezcla del material carbonoso en los aglomerados de un 10 a un 26 %;
- una etapa de reducción por calor de reducir por calor los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso en un horno de reducción a una temperatura atmosférica de 1250 a 1400 °C durante un tiempo de retención de 8 a 30 minutos, para producir unas partículas de hierro reducido que tienen, cada una, un contenido en carbono promedio de un 0,1 a un 2,5 % en masa en una región superficial y un contenido en carbono promedio en una región central, que es más alto que el de la región superficial;
- una etapa de descarga de descargar las partículas de hierro reducido del horno de reducción; y
- una etapa de conformación en caliente de moldear por compresión la pluralidad de las partículas de hierro reducido que se descargan del horno de reducción con una máquina de conformación en caliente.
6. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 5, donde en la etapa de conformación en caliente, las partículas de hierro reducido que se descargan se moldean por compresión sin enfriarse de manera sustancial.
7. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, donde en la etapa de aglomeración, el contenido en óxido de hierro y el material carbonoso se mezclan con una relación tal que el contenido en carbono promedio de la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa.
8. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, donde en la etapa de reducción por calor, los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso se reducen por calor bajo una condición en la que el contenido en carbono promedio de la totalidad de la región de las partículas de hierro reducido es de un 1,0 a un 5,0 % en masa.
9. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, donde en la etapa de aglomeración, el contenido en óxido de hierro y el material carbonoso se mezclan con una relación tal que el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más.
10. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, donde en la etapa de reducción por calor, los aglomerados en los que se ha incorporado el material carbonoso se reducen por calor bajo una condición en la que el grado de metalización de las partículas de hierro reducido es de un 80 % o más.
11. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 10, donde en el momento de finalización de la etapa de reducción por calor, se cambia el grado de oxidación de una atmósfera de gas en el horno de reducción.
12. El método para producir hierro briqueteado en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11, donde después de la etapa de descarga, las partículas de hierro reducido que se descargan se ponen en contacto con un gas oxidante.

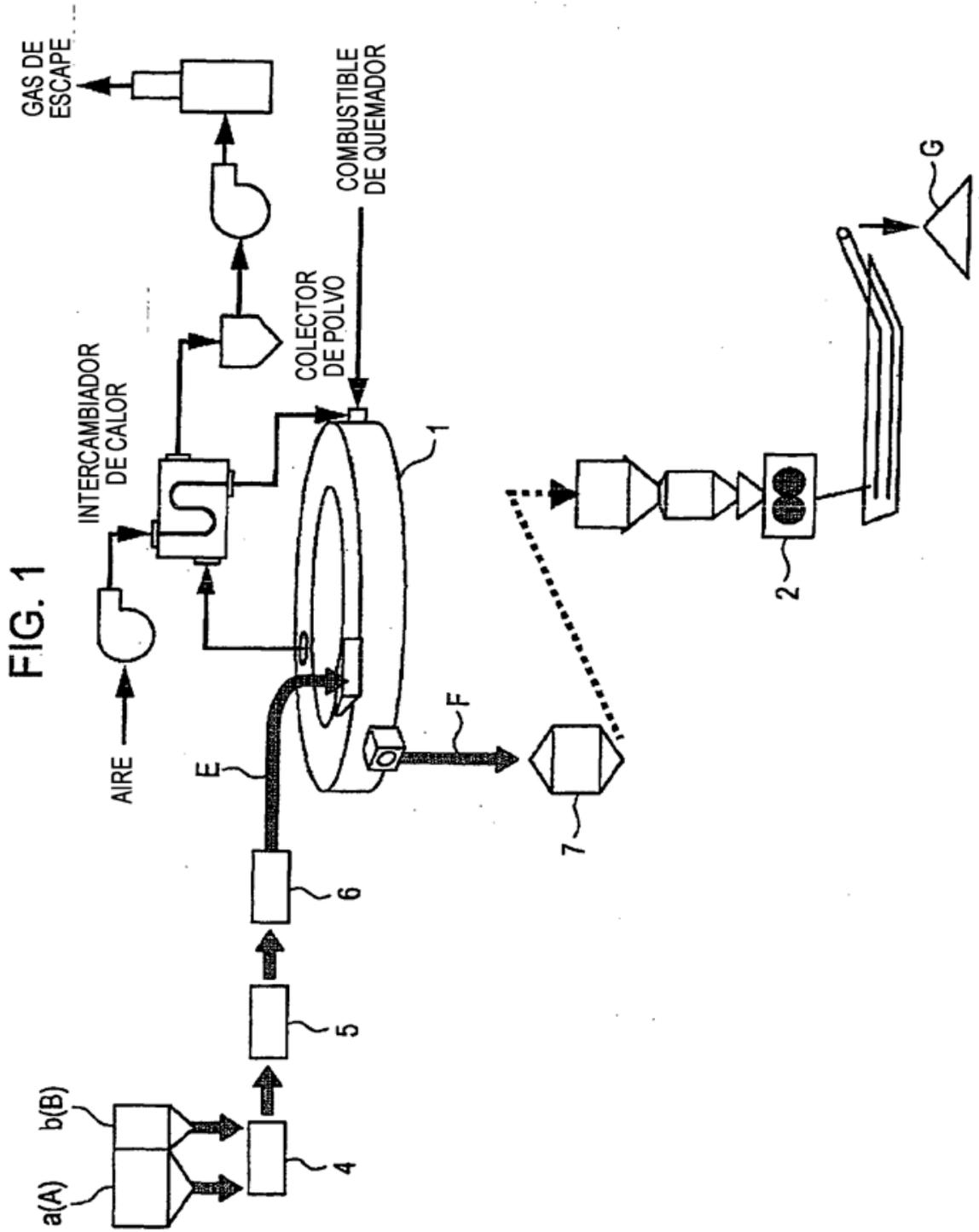


FIG. 2

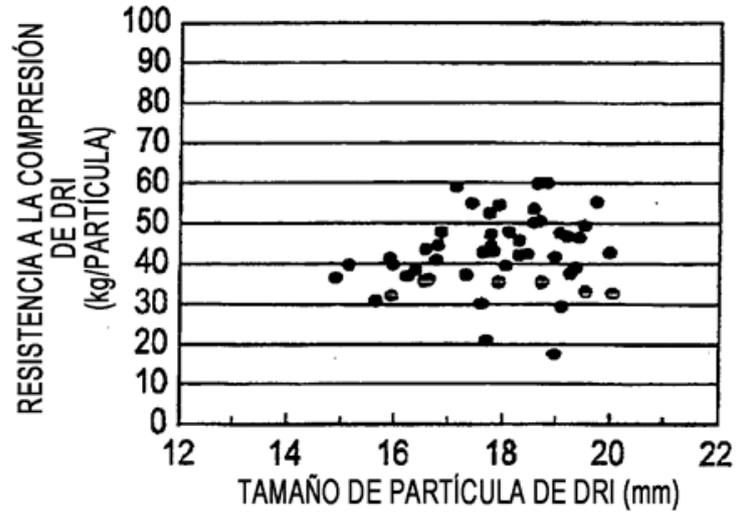


FIG. 3

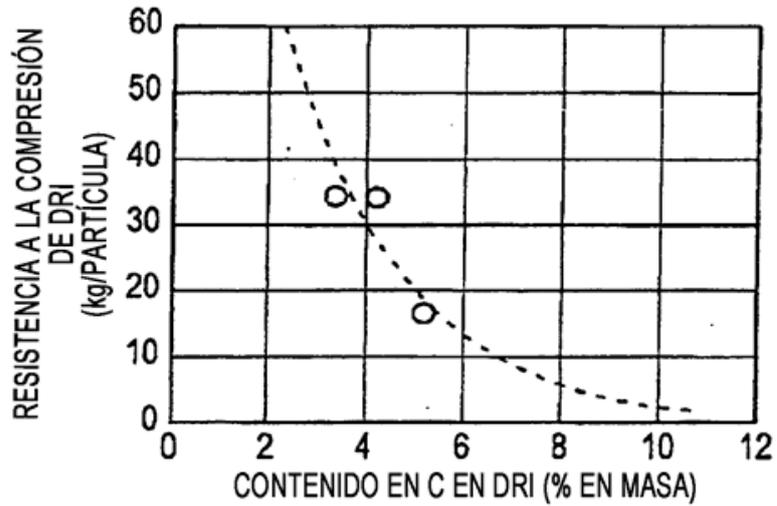


FIG. 4

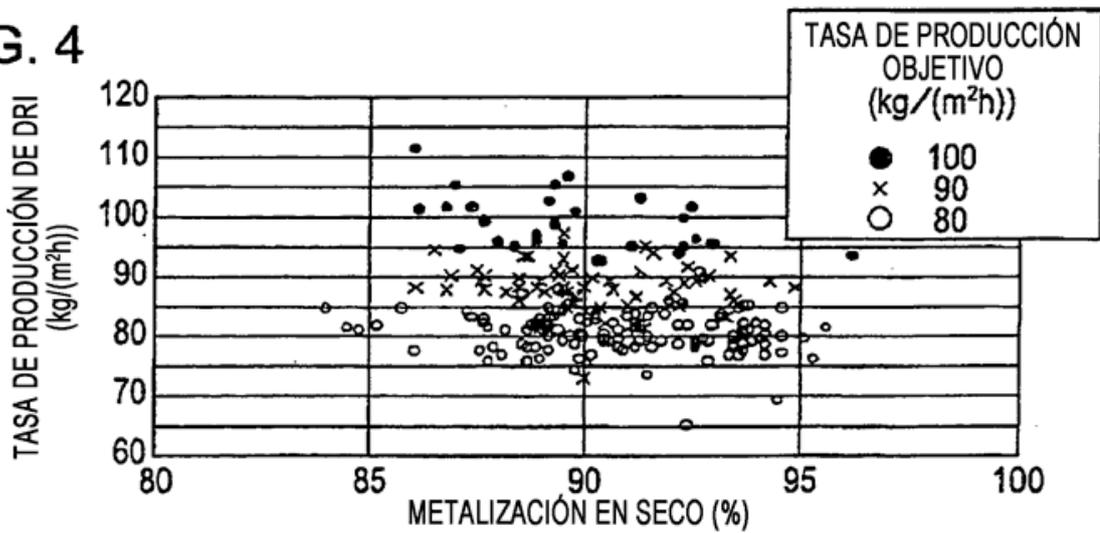


FIG. 5

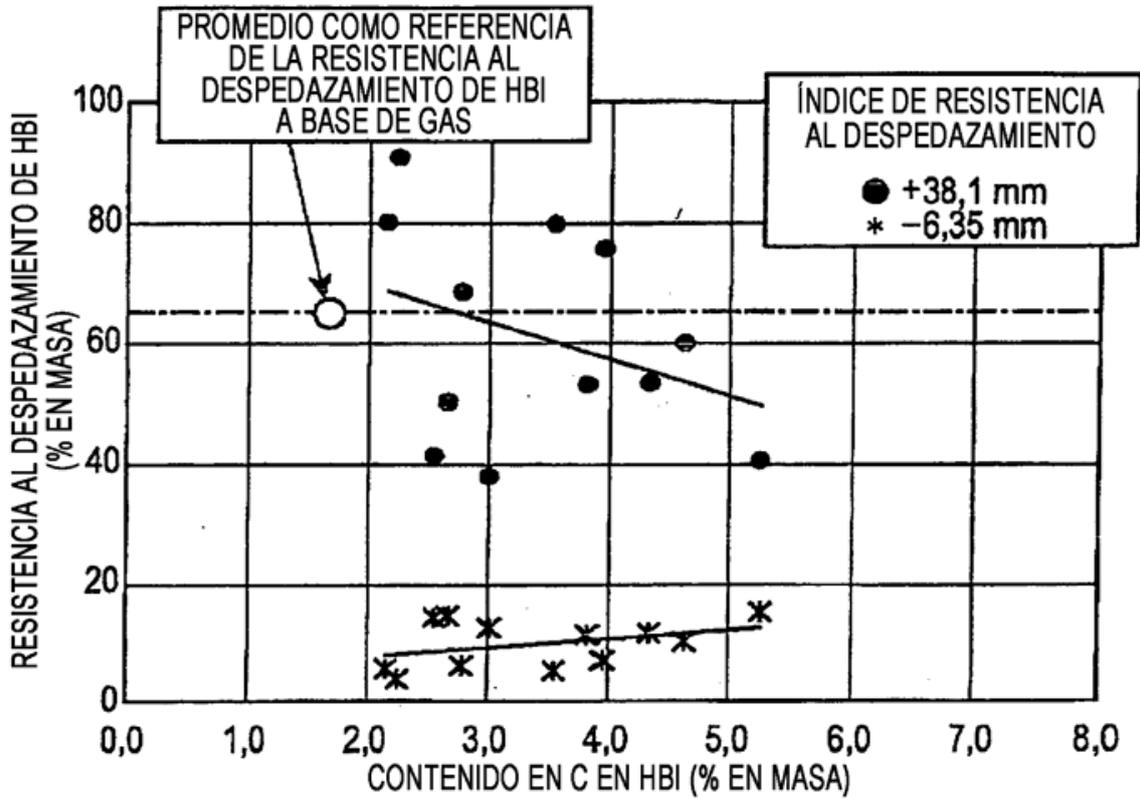


FIG. 6

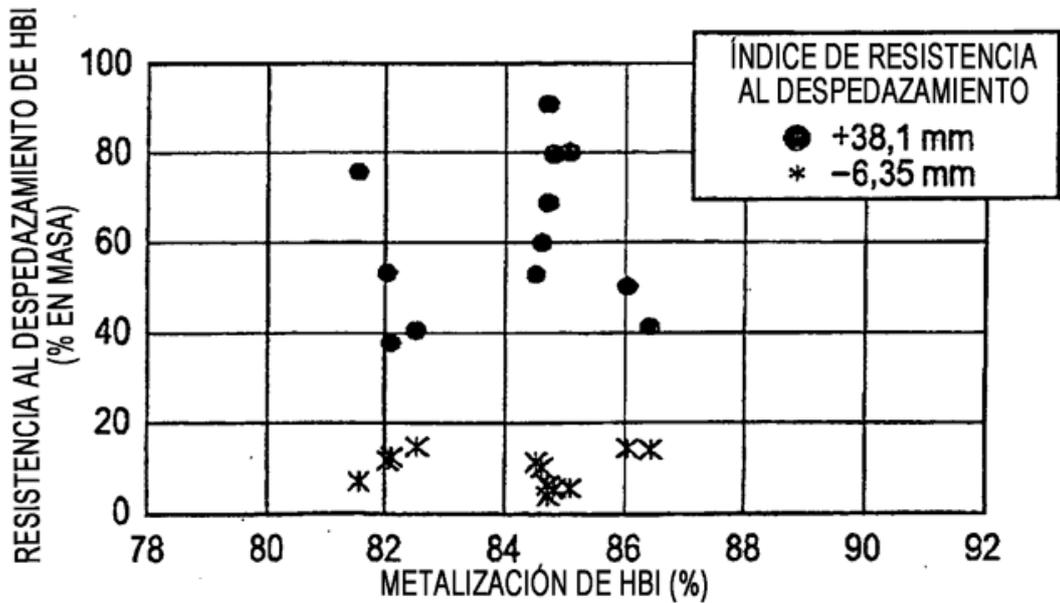


FIG. 7



FIG. 8

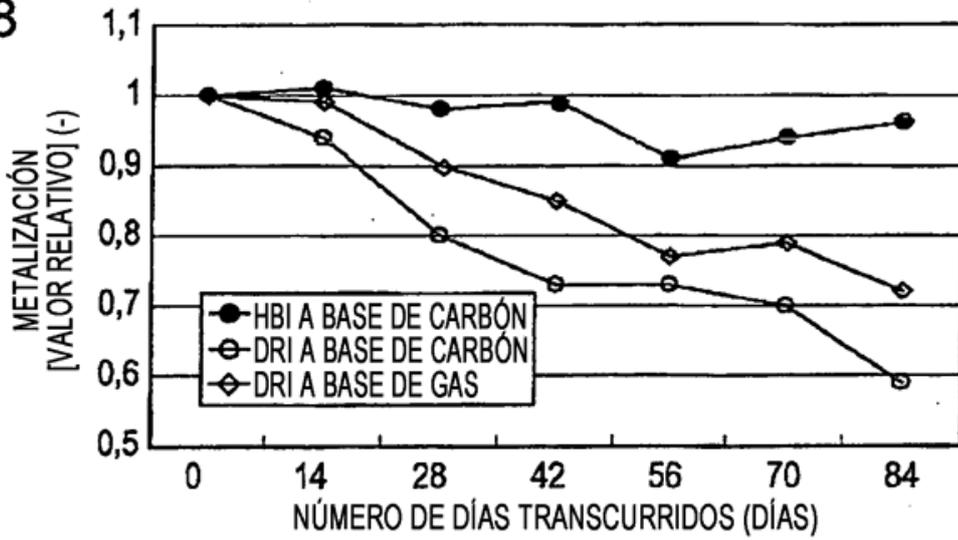


FIG. 9

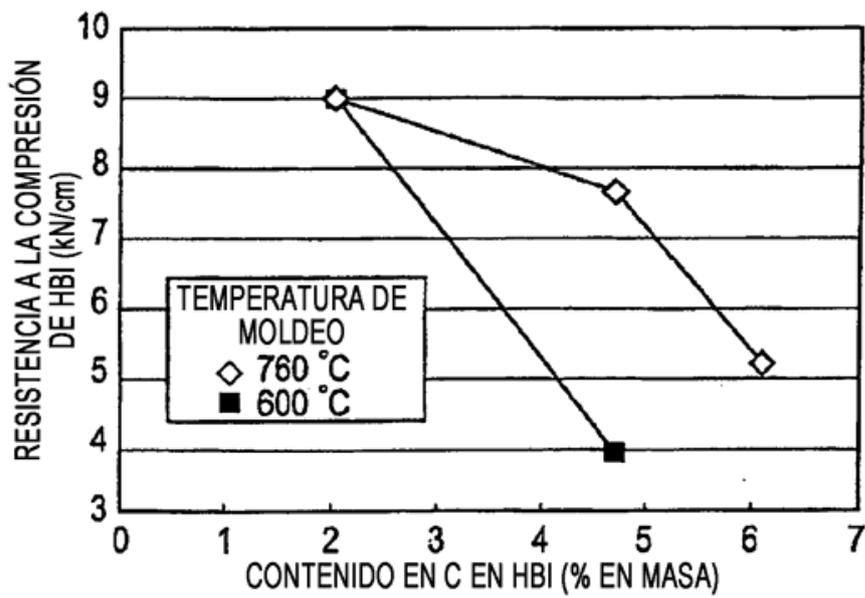


FIG. 10

