



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0818372-4 B1

(22) Data do Depósito: 15/12/2008

(45) Data de Concessão: 13/06/2017



(54) Título: PELOTAS AUTOFUNDENTES PARA ALTO-FORNO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DAS MESMAS

(51) Int.Cl.: C22B 1/14; C21B 5/00

(30) Prioridade Unionista: 20/12/2007 JP 2007-329065

(73) Titular(es): KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.)

(72) Inventor(es): EISAKU YASUDA; NOBUHIRO HASEGAWA; YOSHIYUKI MATSUI; SHUJI KITAYAMA

“PELOTAS AUTO-FLUXANTES PARA ALTO FORNO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DAS MESMAS”

Campo Técnico

A presente invenção refere-se a pelotas auto-fluxantes (também chamadas de “pelotas” daqui em diante) usadas como matéria-prima de ferro para alto fornos, e a métodos de produção das pelotas. Em particular, a presente invenção se refere a pelotas auto-fluxantes próprias para carregamento em um alto forno junto com minério sinterizado, e a um método de produção das pelotas. Estado da Técnica

O titular da presente invenção dedicou-se ao desenvolvimento de técnicas para modificar pelotas auto-fluxantes que seriam usadas como matéria-prima de ferro para um alto forno entre as décadas de 70 e 80, tendo completado o desenvolvimento das técnicas com as quais pelotas auto-fluxantes (pelotas auto-fluxantes de dolomita) com boa redutibilidade a temperaturas elevadas (doravante denominada “redutibilidade a temperaturas elevadas”) podem ser produzidas pela mistura, como fontes de CaO e MgO, de calcário e dolomita com minério de ferro de modo que a matéria-prima mesclada resultante tenha uma razão de massa de CaO/SiO₂ de 0,8 ou mais e uma razão de massa de MgO/SiO₂ de 0,4 ou mais, peletizando a matéria-prima mesclada em pelotas brutas, e queimando as pelotas brutas (refira-se aos Documentos de Patente 1 e 2).

O titular da presente invenção também se dedicou ao desenvolvimento de técnicas de controle de distribuição de carga para alto fornos simultaneamente ao desenvolvimento de técnicas para modificar as pelotas auto-fluxantes, tendo completado o desenvolvimento de tecnologias de carregamento de coque central capazes de melhorar consideravelmente a permeabilidade do ar e líquido em alto fornos (vide o Documento 1).

O uso das pelotas de dolomita auto-fluxantes e a aplicação das técnicas de carregamento de coque central tornaram possível a produção estável e eficiente de ferro fusa em alto fornos que utilizam tanto pelotas quanto minério sinterizado como a matéria-prima do ferro com grandes quantidades de carvão pulverizado injetadas nos fornos.

As pelotas de dolomita auto-fluxantes (que podem ser chamadas simplesmente de “pelotas auto-fluxantes” ou “pelotas” daqui em diante) possuem uma razão de massa de CaO/SiO₂ (abreviada por “C/S”) e uma razão de massa de MgO/SiO₂ (abreviada por “M/S”) ajustadas a valores específicos ou maiores mediante a adição de calcário e dolomita como matérias-primas auxiliares ao minério de ferro; no entanto, as quantidades de calcário e dolomita mescladas são preferencialmente reduzidas ao máximo para reduzir o custo de produção das pelotas.

De modo a satisfazer ao rápido aumento recente da demanda por aço, a produção de ferro gusa precisa ser aumentada ainda mais. Para os alto fornos que utilizam tanto minério sinterizado quanto pelotas como a matéria-prima do ferro, utilizam-se preferencialmen-

te as pelotas que possuem melhor redutibilidade sob alta temperatura e que podem aumentar ainda mais a produtividade sob operação de injeção de carvão de alto nível.

De acordo com o conhecimento posteriormente adquirido pelo titular, foi descoberto que a redutibilidade sob alta temperatura das pelotas de dolomita auto-fluxantes não é determinada somente pelo ajuste de C/S e M/S, sendo também influenciada fortemente pelo grau do minério de ferro das pelotas (ou seja, o grau do ferro do minério de ferro utilizado). Em outras palavras, foi descoberto que as faixas de combinação ideais para C/S e H/S variam conforme o grau do minério de ferro das pelotas.

Entretanto, a determinação quantitativa do grau dessa influência não foi investigada sistematicamente até o presente momento, e pouco se sabe sobre uma faixa de combinação mais adequada de C/S e M/S que leve em conta o grau do minério de ferro das pelotas. Documento 1: Matsui e col, "Blast Furnace Operational Technology and Central Gas Flow Intension for Center Coke Charging at Kobe Steel", R&D Kobe Steel Engineering Reports, Vol. 55, No. 2, September 2005, pp. 9-17

Documento de Patente 1: Publicação do Pedido de Patente JP Examinado Nº 3-77853

Documento de Patente 2: Publicação do Pedido de Patente JP Examinado Nº 3-77354

Revelação da Invenção

Problemas a serem Solucionados pela Invenção

A presente invenção tem por objetivo clarificar uma faixa de combinação mais adequada da razão de massa de CaO/SiO_2 e da razão de massa de MgO/SiO_2 que leve em conta o grau do minério de ferro das pelotas auto-fluxantes, e oferecer pelotas auto-fluxantes de custo inferior e com melhor redutibilidade sob alta temperatura, altamente adequadas como matéria-prima de ferro para alto forno a serem usadas com minério sinterizado, e um método de produção das pelotas. Meios para Solucionar os Problemas

A presente invenção proporciona uma pelota autofundente para um alto forno, caracterizada pelo fato de que a razão de massa de CaO/SiO_2 , C/S, é de 0,8 ou mais, e a razão de massa de MgO/SiO_2 , M/S, é de 0,4 ou mais; quando o teor de ferro (% de massa) na pelota inteira é representado por %TFe, %TFe é 65% ou menos; e a temperatura Ts (unidade: °C) na qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente em um teste de redução sob alta temperatura carregada e que é calculada pela equação abaixo é de 1290°C ou maior;

$$\text{Equação: } T_s = 110 \times \text{C/S} + 100 \times \text{M/S} + 25 \times \%TFe - 480$$

A presente invenção também propõe um método de fabricação de pelotas auto-fluxantes para um alto forno, incluindo uma etapa de combinação de matéria-prima para combinar matérias-primas auxiliares contendo CaO e MgO com minério de ferro de modo

que a razão de massa de CaO/SiO_2 e a razão de massa de MgO/SiO_2 da matéria-prima combinada resultante seja de 0,8 ou mais e 0,4 ou mais, respectivamente, que quando o teor de ferro (% de massa) nas pelotas inteiras é representado por %TFe, %TFe seja 65% ou menos, e que a temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente em um teste de redução sob alta temperatura carregada e que é calculada pela equação abaixo seja de 1290°C ou maior; uma etapa de peletização para peletizar a matéria-prima combinada em pelotas brutas; e uma etapa de queima para aquecer e queimar as pelotas brutas a 1220°C - 1300°C para formar pelotas auto-fluxantes:

$$\text{Equação: } T_s = 110 \times \text{C/S} + 100 \times \text{M/S} + 25 \times \% \text{TFe} - 480$$

10 Vantagens

De acordo com a presente invenção, a razão de massa de CaO/SiO_2 , C/S, e a razão de massa de MgO/SiO_2 , M/S, das pelotas auto-fluxantes são definidas em valores específicos ou maiores, e a temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente e que é estimada com base em C/S, M/S e %TFe é definida como igual ou maior do que 1290°C , que é a temperatura à qual a perda de pressão do minério sinterizado começa a aumentar abruptamente. Dessa forma, quando as pelotas auto-fluxantes são usadas em combinação com o minério sinterizado como matéria-prima para um alto forno, a largura da zona coesiva no alto forno é impedida seguramente de aumentar e a permeabilidade ao ar pode ser assegurada. Dessa forma, é possível aumentar ainda mais a produtividade do alto forno.

Melhores Modos de Concretização da Invenção

[Estrutura das pelotas auto-fluxantes para um alto forno de acordo com a presente invenção]

As pelotas auto-fluxantes para um alto forno de acordo com a presente invenção são caracterizadas pelo fato de que a razão de massa de CaO/SiO_2 , C/S, é de 0,8 ou mais, e a razão de massa de MgO/SiO_2 , M/S, é de 0,4 ou mais, pelo fato de que quando o teor de ferro (% de massa) nas pelotas inteiras é representado por %TFe, %TFe é 65% ou menos, e pelo fato de que a temperatura T_s (unidade: $^\circ\text{C}$) à qual a perda de pressão em um teste de redução de alta temperatura carregada começa a aumentar abruptamente e que é calculada pela equação (1) abaixo é de 1290°C ou maior:

$$T_s = 110 \times \text{C/S} + 100 \times \text{M/S} + 25 \times \% \text{TFe} - 480 \dots \text{Equação (1)}$$

Uma faixa mais preferível para %TFe é de 54% ou menos. %TFe é também chamado de "teor total de ferro". Os aspectos constitucionais individuais da presente invenção serão agora descritos em mais detalhes. (Composição da escória)

Quando a razão de massa de CaO/SiO_2 e a razão de massa de MgO/SiO_2 que definem a composição de escória das pelotas auto-fluxantes são definidas em valores específicos (0,8 e 0,4) ou maiores e a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar

abruptamente e que é estimada levando-se em conta o grau do minério de ferro (%TFe) é definida igual ou maior do que 1290°C, que é a temperatura à qual a perda de pressão do minério sinterizado começa a aumentar abruptamente, as temperaturas de amolecimento e queima das pelotas no momento da redução sob alta temperatura podem ser mantidas a uma temperatura igual ou maior do que a do minério sinterizado. Como resultado, a redutibilidade sob alta temperatura das pelotas é aperfeiçoada e a largura da zona coesiva em um alto forno pode ser mantida substancialmente na mesma largura que no caso em que se utiliza o minério sinterizado sozinho.

O processo de derivar a equação (1) acima será descrito agora.

Os inventores da presente invenção fabricaram pelotas mediante o ajuste adequado das razões de combinação de calcário, dolomita e serpentinita em relação a uma matéria-prima de minério de ferro em particular em uma usina de pelotas real de modo a alterar sequencialmente os três parâmetros, a saber: %TFe, C/S e M/S, como mostra a Tabela 1. As pelotas foram submetidas a um teste de redução sob alta temperatura carregada para medir a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente. Os resultados são apresentados também na Tabela 1.

[Tabela 1]

%TFe (% de massa)	C/S (razão de massa)	M/S (razão de massa)	Temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente (°C)
62,3	1,42	0,63	1300
62,8	1,42	0,69	1330
53,3	1,42	0,77	1319
63,1	1,5	0,77	1321
62,9	1,6	0,77	1329
62,7	1,6	0,88	1331
62,9	1,5	0,88	1312
63,1	1,42	0,88	1314
62,7	1,6	0,38	1340
63,1	1,42	0,88	1338
63,3	1,42	0,77	1326

Supôs-se que os graus de influência dos três parâmetros, isto é, %TFe, C/S e M/S, sobre a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente, podem ser sujeitos à aproximação de primeira ordem. Realizou-se a análise de regressão múltipla usando os resultados apresentados na Tabela 1 para obter a relação representada pela e-

quação (1) acima.

O teste de redução sob alta temperatura carregada envolve simular o padrão de redução em temperaturas elevadas em um alto forno. Como mostram as condições de teste abaixo, uma quantidade predeterminada de uma mostra é empacotada em um cadinho de grafita e um gás redutor é passado através dele sob uma carga específica e a temperatura de elevação enquanto se mede a razão de redução por análise do gás de exaustão, a razão de contração da camada de amostra empacotada usando um extensômetro, e a perda de pressão da camada de amostra empacotada usando um manômetro diferencial. [Condições de teste para teste de redução sob alta-temperatura carregada]

- 10 •Diâmetro interno do cadinho de grafita: 43 mm
- Quantidade da amostra: cerca de 87 g (altura de empacotamento: aproximadamente 33,5 mm)
- carga: $1,0 \text{ kgf/cm}^2$ ($- 9,80665 \times 10^4 \text{ Pa}$)
- Temperatura: [temperatura ambiente \rightarrow 1000°C] $\times 10^\circ\text{C/min}$, [$1000^\circ\text{C} \rightarrow$ fim da queima] $\times 5^\circ\text{C/min}$
- 15 •Gás redutor: [30 % em volume CO + 70 % em volume N₂] $\times 7,2 \text{ NL/min}$

A temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente é a temperatura à qual a taxa de aumento na perda de pressão da camada de amostra empacotada atinge primeiramente $50 \text{ mm de H}_2\text{O/min}$ ($= 490,3325 \text{ Pa/min}$) ou mais. A perda de pressão da camada de amostra empacotada aumenta abruptamente quando a amostra começa a se fundir. Logo, a temperatura à qual a perda de pressão aumenta abruptamente é equivalente à temperatura na superfície superior da camada coesiva no alto forno.

A temperatura à qual a perda de pressão do minério sinterizado começa a aumentar abruptamente é definida em 1290°C com base na Fig. 23 em um documento publicado (Sunahara e col., Tetsu-to-Hagane, vol. 92 (2006) No. 12, pags. 183-192) mostrando a relação entre a temperatura e a perda de pressão em um teste de amolecimento sob alta temperatura carregada do minério sinterizado (teste simulando o padrão de redução em temperatura elevada em um alto forno como no teste de redução sob alta temperatura carregada descrito acima).

30 Como descrito acima, C/S deve ser 0,8 ou maior, mas preferencialmente é 1,0 ou maior, mais preferencialmente 1,2 ou maior, e ainda mais preferencialmente, 1,4 ou maior. M/S deve ser 0,4 ou maior, mas preferencialmente é 0,5 ou maior, mais preferencialmente 0,5 ou maior, e ainda mais preferencialmente é 0,7 ou maior. A temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente conforme estimado pela equação (1) acima é igual ou maior do que 1290°C , isto é, a temperatura à qual a perda de pressão do minério sinterizado começa a aumentar abruptamente, mas é preferencialmente igual a 1300°C ou mais, mais preferencialmente 1310°C ou mais, e ainda mais preferencialmente

1320°C ou mais.

No entanto, quando C/S, M/S e a temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente são excessivamente altos, os componentes CaO e MgO não se transformam facilmente em escória durante a queima das pelotas. Dessa forma, a resistência das pelotas queimadas diminui e as quantidades do calcário e dolomita usadas como as fontes de CaO e MgO aumentam, resultando em aumento do custo. Portanto, C/S é preferencialmente 2,0 ou menos, mais preferencialmente 1,8 ou menos, e mais preferencialmente 1,6 ou menos. M/S é preferencialmente 1,1 ou menos, mais preferencialmente 1,0 ou menos, e mais preferencialmente 0,9 ou menos. A temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente é preferencialmente de 1370°C ou menos, mais preferencialmente 1360°C ou menos, e ainda mais preferencialmente 1350°C ou menos.

As pelotas auto-fluxantes que satisfazem simultaneamente tanto ao grau do minério de ferro quanto à composição da escória possuem boa redutibilidade sob alta temperatura. Quando as pelotas são usadas em combinação com o minério sinterizado como matéria-prima para um alto forno, a largura da zona coesiva no alto forno é impedida de aumentar e a permeabilidade ao ar pode ser assegurada. Dessa forma, é possível aumentar ainda mais a produtividade do alto forno.

[Método de produção das pelotas auto-fluxantes para alto fornos de acordo com a presente invenção]

As pelotas auto-fluxantes para alto fornos de acordo com a presente invenção podem ser fabricadas como se segue, por exemplo.

(Etapa de combinação de matérias-primas)

Por exemplo, o calcário e a dolomita, que são matérias-primas auxiliares contendo CaO e MgO, são combinados de acordo com o grau de ferro do minério de ferro (suprimento de pelotas) que serve de material para o ferro de modo que a razão de massa de CaO/SiO_2 seja ajustada para 0,8 ou mais (de preferência 1,0 ou mais, mais preferencialmente 1,2 ou mais, e ainda mais preferencialmente 1,4 ou mais), a razão de massa de MgC/SiO_2 seja ajustada para 0,4 ou mais (preferencialmente 0,5 ou mais, mais preferencialmente 0,5 ou mais, e ainda mais preferencialmente 0,7 ou mais), e a temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente conforme definido pela equação (3) acima seja ajustada para 1290°C ou mais (de preferência 1300°C ou mais, mais preferencialmente 1310°C ou mais, e ainda mais preferencialmente 1320°C ou mais). O minério de ferro e as matérias-primas auxiliares podem ser moídos com uma fresa de ponta esférica, ou similar, antes ou depois de serem combinados, caso necessário, de modo que a dimensão de grão de 80% de massa ou mais da matéria-prima combinada seja transformada em 44 μm ou menos. (Etapa de peletização)

As pelotas brutas são formadas mediante a adição de uma quantidade adequada

de água à matéria-prima combinada e a peletização da mistura resultante com uma peletizadora a tambor ou bandeja servindo de peletizadora. (Etapa de queima)

As pelotas brutas formadas conforme descrito acima são dispostas em camada sobre uma grelha móvel de um forno rotativo ou forno de grelha móvel que funciona como um dispositivo de queima, e um gás sob alta temperatura é passado através da camada de pelotas para realizar os estágios de secagem, remoção da água (somente quando necessário) e pré-aquecimento. As pelotas são então aquecidas e queimadas com um gás sob alta temperatura de 1220°C a 1300°C em um forno rotativo no caso em que um forno industrial de grelha é utilizado ou em uma grelha móvel no caso em que um forno de grelha móvel é utilizado, obtendo assim pelotas auto-fluxantes. A temperatura do aquecimento e da queima pode ser ajustada adequadamente na faixa de temperatura descrita acima de acordo com o tipo de minério de ferro utilizado, a razão de massa de CaO/SiO_2 , a razão de massa de MgO/SiO_2 etc.

O grau do minério de ferro e a composição da escória das pelotas auto-fluxantes obtidas conforme descrito acima satisfazem à razão de massa de CaO/SiO_2 e à razão de massa de MgO/SiO_2 definidas pela presente invenção, bem como à condição de que a temperatura T_s à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente conforme definido pela equação (1) acima seja igual ou maior do que 1290°C.

EXEMPLOS

De modo a confirmar os efeitos ocasionados pelo uso das pelotas auto-fluxantes da presente invenção como a matéria-prima do ferro a ser usada com minério sinterizado em alto fornos, um teste de redução sob alta temperatura carregada foi realizado em misturas preparadas pela variação sequencial da razão à qual as pelotas auto-fluxantes reais satisfazendo ao grau de minério de ferro e a composição de escória definida pela presente invenção e o minério sinterizado real são combinados para medir a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente.

As pelotas de dolomita auto-fluxantes fabricadas em uma usina de pelotas nos Trabalhos em Kakogawa do titular foram usadas como as pelotas fundentes reais. O minério sinterizado autofundente fabricado em uma usina de sinterização nos Trabalhos em Kakogawa do titular foi usado como o minério sinterizado real. Suas composições são apresentadas na Tabela 2. Como mostra a tabela, as pelotas auto-fluxantes usadas nos EXEMPLOS satisfazem ao grau de minério de ferro e à composição da escória ($\text{C/S} \geq 0,8$, $\text{M/S} \geq 0,4$, e valor da equação (1) $\geq 1290^\circ\text{C}$) definidos pela presente invenção.

[Tabela 2]

	Componente (% de massa)						razão de massa de CaO/SiO ₂	razão de massa de MgO/SiO ₂	Valor da equação (1) (°C)
	T.Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO			
Pelotas auto-fluxantes	61,9	0,61	2,90	3,79	1,28	2,28	1,31	0,79	1291
Minério sinterizado	58,4	6,7	5,3	10,8	1,72	0,88	2,04	0,17	-

As temperaturas observadas às quais a perda de pressão começou a aumentar abruptamente no teste de redução sob alta temperatura carregada são apresentadas na Tabela 3 abaixo.

5

[Tabela 3]

Amostra N ^o	Razão da combinação (% de massa)		Temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente (°C)
	Pelotas auto-fluxantes	Minério sinterizado	
1	0	100	1277
2	25	75	1233
3	50	50	1284
4	75	25	1304
5	100	0	1317

Como mostra a Tabela 3, a temperatura observada à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente é de 1277°C para o minério sinterizado usado no Exemplo (Amostra N^o 1), ao passo que a temperatura observada à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente para as pelotas auto-fluxantes é de 1317°C (Amostra N^o 5), isto é, maior do que a do minério sinterizado. Quando misturas das pelotas e do minério sinterizado são utilizadas, a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente se torna maior do que no caso em que apenas o minério sinterizado é utilizado. Também foi verificado que a temperatura à qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente se aproxima à das pelotas sozinhas à medida que a razão de combinação das pelotas aumenta (Amostras N^o 2 a 4).

15

Esses resultados confirmaram que, quando se utilizam as pelotas auto-fluxantes que satisfazem à definição dos componentes da presente invenção, a largura da zona coe-

siva no alto forno pode ser seguramente impedida de aumentar quando as pelotas são usadas como a matéria-prima do ferro do alto forno junto com o minério sinterizado.

REIVINDICAÇÕES

1. Pelota auto-fluxante para um alto forno, **CARACTERIZADA** pelo fato de que a razão de massa de CaO/SiO₂, C/S, é de 0,8 a 2,0 e a razão de massa de MgO/SiO₂, M/S, é de 0,4 a 1,1; quando o teor de ferro (% de massa) na pelota inteira é representado por %TFe, %TFe é 65% ou menor, e a temperatura Ts (unidade: °C) na qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente em um teste de redução sob alta temperatura carregada e que é calculada pela equação abaixo é de 1310°C ou mais:

$$\text{Equação: } T_s = 110 \times C/S + 100 \times M/S + 25 \times \%TFe - 480.$$

2. Método de fabricação de pelotas auto-fluxantes para um alto forno, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende uma etapa de mistura de matéria-prima para misturar matérias-primas auxiliares contendo CaO e MgO com minério de ferro de modo que a razão de massa de CaO/SiO₂ e a razão de massa de MgO/SiO₂ da matéria-prima combinada resultante seja de 0,8 a 2,0 e 0,4 a 1,1, respectivamente, que quando o teor de ferro (% de massa) nas pelotas inteiras é representado por %TFe, %TFe seja 65% ou menos, e que a temperatura Ts na qual a perda de pressão começa a aumentar abruptamente em um teste de redução sob alta temperatura carregada e que é calculada pela equação abaixo é de 1310°C ou maior; uma etapa de peletização para peletizar a matéria-prima combinada em pelotas brutas; e uma etapa de queima para aquecer e queimar as pelotas brutas a 1220°C-1300°C para formar pelotas auto-fluxantes:

$$\text{Equação: } T_s = 110 \times C/S + 100 \times M/S + 25 \times \%TFe - 480.$$