

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

(21) **PI0618470-7 A2**

(22) Data de Depósito: 09/11/2006
(43) Data da Publicação: 30/08/2011
(RPI 2121)



(51) *Int.Cl.*:
C21B 5/00
C21B 11/02
F27B 1/16

(54) Título: **PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UM FORNO DE CUBA E FORNO DE CUBA APROPRIADO PARA ESSE PROCESSO**

(30) Prioridade Unionista: 09/11/2005 DE 10 2005 053 505.4

(73) Titular(es): Thyssenkrupp At. Protec Gmbh

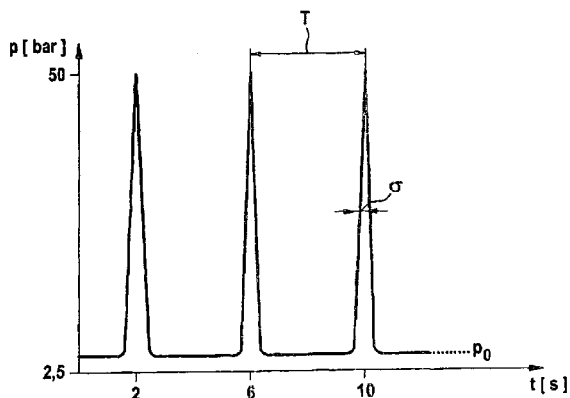
(72) Inventor(es): Alexander Babich, Dieter Georg Senk, Gerd König, Hans-Heinrich Heldt, Heinrich-Wilhelm Gundenau, Wolfram König

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT EP2006010752 de 09/11/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/054308 de 18/05/2007

(57) Resumo: PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UM FORNO DE CUBA E FORNO DE CUBA APROPRIADO PARA ESSE PROCESSO. Processo para a operação de um forno de cuba, no qual uma região superior do forno de cuba é alimentada com matérias-primas, que afundam no forno de cuba sob influência da força de gravidade, sendo que uma parte das matérias-primas é fundida e/ou pelo menos parcialmente reduzida sob a ação da atmosfera predominante dentro do forno de cuba, e no qual em uma região inferior do forno de cuba é introduzido um gás de tratamento que influencia ao menos parcialmente a atmosfera predominante dentro do forno de cuba, sendo que a introdução do gás de tratamento é modulada dinamicamente dentro de um intervalo de tempo de 40 s quanto à pressão e/ou à corrente volumétrica, e forno de cuba que pode ser operado por um processo desse tipo, fazendo com que se obtenha uma melhor passagem de gás pelo forno de cuba.





PI0618470-7

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UM FORNO DE CUBA E FORNO DE CUBA A-
PROPRIADO PARA ESSE PROCESSO".**

A presente invenção refere-se a um processo para a operação
5 de um forno de cuba, no qual uma região superior do forno de cuba é ali-
mentada com materiais brutos, os quais afundam no forno sob a ação da
força de gravidade, sendo que uma parte dos materiais brutos é fundida e/ou
reduzida sob ação da atmosfera predominante dentro do forno de cuba, e
em uma região inferior do forno de cuba é introduzido um gás de tratamento
10 que influencia ao menos parcialmente a atmosfera predominante dentro do
forno de cuba, bem como a um forno de cuba apropriado para a aplicação
desse processo, tal como, por exemplo, alto forno, forno de cúpula ou forno
de incineração de lixo.

Um processo desse tipo, respectivamente um forno de cuba
15 desse tipo, já é basicamente conhecido. Tão somente para a produção de
fundição primária de ferro, ele é empregado preponderantemente como a-
gregado principal, sendo que outros processos possuem somente uma parti-
cipação correspondente de apenas cerca de 5%. O forno de cuba pode tra-
balhar segundo o princípio de contracorrente. Materiais brutos, tais como
20 mistura de minerais e coque, são introduzidos na região superior do forno de
cuba pela boca de carregamento do forno e afundam no forno de cuba para
baixo. Em uma região inferior do forno (plano da forma de sopro) é insuflado
um gás de tratamento (assim chamado de vento com 800 – 10.000 m³/tRE
conforme a dimensão do forno) para dentro do forno através de formas de
25 sopro. Desse modo, o vento, que usualmente se trata de ar aquecido previ-
amente em aquecedores de ar para cerca de 1.000 a 1.300°C, reage com o
coque, sendo que gerado, entre outros, monóxido de carbono. O monóxido
de carbono sobe no forno e reduz o minério de ferro contido na mistura de
minerais.

30 Além disso, usualmente também são insuflados no forno reduto-
res de reserva com, por exemplo, 100 – 170 kg/tRE (pó de carvão, óleo ou
gás natural, por exemplo), o que reforça a geração de monóxido de carbono.

Adicionalmente à redução dos minerais de ferro, as matérias-primas se fundem devido ao calor gerado nos processos químicos que ocorrem no forno de cuba. No entanto, a distribuição de calor pela seção transversal do forno de cuba não é uniforme. Assim sendo, no centro do forno de cuba se forma o assim chamado "homem morto", enquanto que os processos relevantes, como a gaseificação (reação de oxigênio com coque ou redutores de reserva para formar monóxido de carbono e dióxido de carbono) só se desenvolvem na assim chamada zona de turbulência, que é uma região antes de uma forma de sopro, ou seja, apenas em uma região marginal em relação à seção transversal do forno. A zona de turbulência possui uma profundidade em relação ao centro do forno de cerca de 1 m e um volume de cerca de 1,5 m³. Usualmente, no plano da forma de sopro estão dispostas várias formas de sopro perifericamente, de tal modo que a zona de turbulência formada antes de cada forma de sopro se sobrepõe com as zonas de turbulência formadas à esquerda e à direita, de tal modo que a região ativa é formada no essencial por uma região em forma de anel circular. Durante a operação do forno de cuba forma-se o assim chamado "ninho de pássaros".

Além disso, usualmente o vento quente pode ser enriquecido com oxigênio, a fim de intensificar os processos acima descritos (gaseificação na zona de turbulência, redução dos minérios de ferro), o que leva a um aumento da potência do forno de cuba. Nesse caso, por exemplo, o vento quente pode ser enriquecido antes da introdução com oxigênio, ou também se pode introduzir oxigênio puro separadamente, sendo que para a introdução em separado pode ser prevista uma assim chamada lança, isto é, um tubo que se estende, por exemplo, dentro da forma de sopro, a qual também já é uma peça tubular, e desemboca no forno dentro de uma região de desembocadura da forma de sopro. Especialmente no caso de fornos de cuba modernos, que são operados com carga reduzida de coque, o vento quente é enriquecido com elevado grau com oxigênio. Por outro lado, devido à adição de oxigênio há um aumento dos custos de produção, de tal modo que a eficiência de um forno de cuba moderno não pode ser aumentada simplesmente por meio de uma concentração de oxigênio au-

mentada cada vez mais de modo correspondente.

Também é conhecido o fato de que a eficiência, ou seja o desempenho de um forno de cuba moderno, está correlacionada com a assim chamada passagem de gás no forno de cuba. Com isso entende-se, em geral, o quão satisfatoriamente funcionam a gaseificação na zona de turbulência, a redução dos minérios de ferro e em geral a passagem da fase gasosa predominante no forno de cuba desde o plano da forma de sopro para cima até a boca de carregamento do forno, onde então é desviado o assim chamado gás de boca de carregamento. Um sinal para uma melhor passagem de gás é, por exemplo, uma menor perda de pressão possível no forno.

No entanto, foi constatado que apesar do enriquecimento de oxigênio para o vento quente, a passagem de gás nos fornos de cuba modernos ainda não é totalmente satisfatória. Por isso, a invenção tem como objetivo apresentar um processo para a operação de um forno de cuba que garanta uma melhor passagem de gás no forno.

Esse objetivo é alcançado de acordo com a invenção por intermédio das características apresentadas na reivindicação 1, bem como por um forno de cuba com as características apresentadas na reivindicação 11.

No que se refere ao processo, esse objetivo é alcançado por meio de um processo do tipo explicado ao início, no qual a introdução do gás de tratamento é modulada dinamicamente. Nesse caso, a modulação do gás de tratamento é efetuada de tal modo que as variáveis de operação pressão p e/ou corrente volumétrica V sejam variadas dentro de um intervalo de tempo igual ou menor do que 40 s. A variação da pressão e/ou da corrente volumétrica ocorre dentro de um intervalo de tempo igual ou menor do que 20 s, de preferência igual ou menor do que 5 s e particularmente de preferência igual ou menor do que 1 s. Constatou-se que uma passagem de gás nitidamente melhor e, conseqüentemente, uma elevação da potência e da eficiência são obtidas quando o gás de tratamento for introduzido no forno de modo não uniforme temporalmente, mas sim que seja variada em curtos intervalos de tempo.

Evidentemente, a introdução do gás de tratamento varia também

nos processos convencionais sempre quando for dada a partida no forno ou quando este for desligado, quando forem ajustados parâmetros operacionais diferentes para uma nova carga de matérias-primas, ou quando apenas para o aumento do desempenho se alterar a concentração de oxigênio do vento quente para um valor superior. No entanto, essas mudanças temporais são tão somente mudanças únicas, que ocorrem em uma escala de tempo de várias horas. Em vez disso, a modulação dinâmica de acordo com a invenção da introdução do gás de tratamento ocorre em escalas de tempo abaixo de um minuto, o que implica que o tempo médio de permanência do gás no forno de cuba seja de apenas 5 a 10 s. Em comparação com a modulação dinâmica de acordo com a invenção, as mudanças temporais dos parâmetros operacionais em um intervalo acima de um minuto apresentam um intervalo de tempo relativamente menor no qual os parâmetros operacionais não são estáticos. Isso significa que o intervalo de tempo entre duas mudanças dos parâmetros operacionais nos quais os parâmetros operacionais são essencialmente constantes, ou seja, são estáticos, é maior do que o intervalo de tempo que é requerido para se alcançar o estado essencialmente estacionário. Com exceção do tempo de mudança relativamente curto, essas mudanças são essencialmente estáticas e por isso são chamadas de "modulação quase estática". No caso da modulação dinâmica de acordo com a invenção, o intervalo de tempo com estados não estacionários no forno de cuba é maior do que o intervalo de tempo com estados essencialmente estacionários.

Devido à modulação dinâmica, ocorre interferência em zonas de fluxo mortas na zona de turbulência, o que eleva a turbulência total na zona de turbulência; isso tem como resultado uma melhor passagem de gás na zona de turbulência, o que por sua vez também leva a uma melhor passagem de gás no forno.

De modo particularmente vantajoso, a modulação é efetuada quase periodicamente, especialmente periodicamente, sendo que a duração do período T é de 40 s ou menos, de preferência 20 s ou menos, especialmente de preferência 5 s ou menos. Nesse caso, uma modulação periódica

se caracteriza por uma função variável temporalmente $f(t)$ com $f(t + T) = f(t)$, fazendo com que ao mesmo tempo seja definida a duração de período T . Por uma quase modulação entende-se aqui, por um lado, o fato de que uma modulação básica é de natureza periódica, ou seja, por exemplo, uma função $h(t) = g(t) \cdot f(t)$ com $f(t)$ periódico e uma função de cobertura $g(t)$, a qual, em comparação com $f(t)$, tem uma influência qualitativa apenas pequena sobre a estrutura de $h(t)$. Por outro lado, também se poderia entender por uma quase modulação aquela na qual $g(t)$ é uma função contínua, porém aleatória, que em certa medida deforma de forma desigual a estrutura da função contínua $f(t)$, sendo que, no entanto, a estrutura periódica que serve de base ainda permanece identificável. Por meio de uma modulação periódica desse tipo pode-se responder através da resposta de um processo também periódico que ocorre na zona de turbulência, o que leva a mais um melhoramento da passagem de gás.

É conveniente que a duração de período T seja 60 ms ou mais, de preferência 100 ms ou mais, especialmente 0,5 s ou mais. Apesar de que o tempo de permanência do gás de tratamento na zona de turbulência é extremamente pequeno, com durações de períodos nessas faixas é possível obter uma passagem de gás satisfatória, sendo que a geração de modulações com duração de período ainda menores implicaria um esforço técnico mais elevado.

Desse modo, para a duração de período T aplica-se $40 \text{ s} \geq T \geq 60 \text{ ms}$, de preferência $20 \text{ s} \geq T \geq 100 \text{ ms}$, especialmente de preferência $10 \text{ s} \geq T \geq 7 \text{ s}$ e ainda mais de preferência $5 \text{ s} \geq T \geq 0,5 \text{ s}$. Em especial, T é escolhido de tal modo que os gases de tratamento no forno de cuba formem um fluxo de corrente turbulento e, no essencial, impeçam regiões laminares.

Em uma configuração simples do processo é previsto que a modulação ocorra harmonicamente. Isso pode ser obtido com facilidade por meio de uma modulação senoidal simples $f(t) = f_0 + \Delta f \sin(2\pi t/T)$.

Em uma configuração do processo particularmente vantajosa, a modulação ocorre em forma de pulsação. Uma modulação desse tipo se caracteriza, por exemplo, por uma função $f(t) = f_0 + \sum_i \delta(t - t_i)$, sendo que $\delta(t)$

descreve no geral um pulso, isto é, picos de pulsos que retornam em relação a um plano de fundo essencialmente constante. Os próprios pulsos podem ser pulsos retangulares, pulsos triangulares, pulsos tipo Gauss (pulso δ matemático expandido) ou possuir formas similares de pulsos, sendo que a forma exata de pulso atua de modo menos caracterizante que a amplitude de pulso σ , a qual se trata da amplitude pulso no caso de um meio nível de pulso (FWHM). Um ajuste adequado da amplitude de pulso é obtido quando σ for de 5 s ou menos, de preferência 2 s ou menos, especialmente 1 s ou menos. Por outro lado, é conveniente que a amplitude de pulso σ seja de 1 ms ou mais, de preferência 10 ms ou mais, especialmente 0,1 s ou mais. Amplitudes de pulso muito pequenas são difíceis de serem produzidas; por outro lado, consegue-se com elas uma influência sobre processos que se desenvolvem na zona de turbulência com tempos de reação correspondentemente pequenos.

Em uma configuração vantajosa do processo, as pulsações periódicas apresentam uma relação entre amplitude pulso e duração de período $\sigma:T$ de 0,5 ou menor, de preferência 0,2 ou menor, especialmente 0,1 ou menor. Para a amplitude de pulso σ vale, portanto, especialmente $5\text{ s} \geq \sigma \geq 1\text{ ms}$, de preferência $0,7\text{ s} \geq \sigma \geq 25\text{ ms}$, especialmente de preferência $0,1\text{ s} \geq \sigma \geq 30\text{ ms}$ e ainda mais de preferência $55\text{ ms} \geq \sigma \geq 35\text{ ms}$.

É conveniente que a relação $\sigma:T$ seja 10^{-4} ou maior, de preferência 10^{-3} ou maior, especialmente 10^{-2} ou maior. Desse modo pode-se obter um efeito de combinação, no qual sejam solicitados processos que se desenvolvem periodicamente nas zonas de turbulência, os quais estão acoplados a determinados tempos de reação.

Em uma possível configuração de processo, a amplitude da modulação em relação a um valor básico é de 5 % ou mais, de preferência 10 % ou mais, especialmente 20 % ou mais. Constatou-se precisamente que já pequenas diferenças de amplitude possibilitam uma passagem de gás satisfatória. Além disso, é vantajoso que a amplitude da modulação em relação ao valor básico seja de 100% ou menos, de preferência 80% ou menos, especialmente 50% ou menos. Especialmente as modulações harmônicas a-

baixo desses limites podem ser concretizadas com facilidade no que se refere ao processo.

No caso de modulação em forma de pulsação, pode ser vantajoso quando o nível de pulso de um pulso ultrapassar o valor essencialmente não modulado entre dois pulsos em um fator 2 ou mais, de preferência 5 ou mais, especialmente 10 ou mais. Desse modo, o efeito de choque da modulação pode ser aumentado e a perturbação das zonas de fluxo mortas na zona de turbulência pode ser reforçada, o que ao final leva a uma melhor passagem de gás no forno. Por outro lado, por razões ligadas a técnicas processuais, é conveniente que o fator seja 200 ou menor, de preferência 100 ou menor, especialmente 50 ou menor.

Basicamente uma modulação da introdução do gás de tratamento poder ser efetuada de modos variados. No entanto, convenientemente a modulação irá ocorrer através de um ajuste de no mínimo uma variável operacional que controle especialmente a introdução do gás de tratamento. Nesse sentido, uma modulação da pressão do vento quente pode acelerar a gaseificação na zona de turbulência e assim melhorar a passagem de gás no forno de cuba. Por exemplo, no caso da modulação de pressão podem ocorrer picos de pressão de 30 mPa (300 bar). De modo particularmente vantajoso, o gás de tratamento a ser introduzido apresenta partes diferenciáveis. Isso não deve ser entendido, porém, somente como a evidente repartição de um gás em seus componentes (nitrogênio, oxigênio etc., por exemplo), mas também como diferentes fases gasosas, cuja possibilidade de diferenciação provém do fato de que ao menos em um estágio da introdução elas são introduzidas separadamente. Por exemplo, cabe mencionar aqui a introdução separada de oxigênio através de lanças, válvulas ou diafragmas.

Além disso, os efeitos obtidos com o processo de acordo com a invenção são reforçados significativamente quando juntamente com o gás de tratamento e/ou adicionalmente ao gás de tratamento são introduzidos redutores de reserva nos fornos de cuba. Como já foi mencionado, no caso dos redutores de reserva pode se tratar especialmente de pó de carvão produzido a partir de carvão de antracite, de outros pós metalúrgicos, bem como de

materiais de granulação pequena, óleo, graxa, alcatrão com gás natural ou outros portadores de hidrocarboneto, que devido ao oxigênio são convertidos em CO_2 e CO e se apresentam especialmente como nano-partículas. Devido à modulação de acordo com a invenção, pode-se obter precisamente

5 um grau mais elevado de conversão dos redutores de reserva insuflados. Isso se aplica particularmente no caso de modulação em forma de pulsação, pois devido aos pulsos ocorre uma intensificação da conversão. Além disso, devido ao aumento solicitado da turbulência total na zona de turbulência, ocorre um prolongamento do tempo de permanência muito curto dos redutores

10 res de reserva na zona de turbulência, de apenas cerca de 0,03 s até 0,05 s, o que também pode aumentar a conversão dos redutores de reserva. Além disso, uma melhor conversão dos redutores de reserva leva a uma menor participação de partículas não queimadas, o que reforça a passagem de gás na região de "ninho de pássaros" e, conseqüentemente, permite um aumento

15 adicional da taxa de insuflação.

Em outras configurações vantajosas do processo, a pressão e/ou a corrente volumétrica de no mínimo uma das partes diferenciáveis do gás de tratamento e/ou a pressão e/ou a corrente de massa do redutor de reserva a ser introduzido são moduladas dinamicamente. Uma melhor passagem de gás no forno de cuba também será, portanto, obtida quando, por

20 exemplo, uma porção adicional de oxigênio for adicionada em forma de pulsação ao gás de tratamento. De outra forma ou em combinação, também a pressão com a qual são insuflados redutores de reserva ou a sua corrente volumétrica podem ser moduladas dinamicamente. Nesse caso, sendo constante a densidade dos redutores de reserva, naturalmente a corrente de

25 massa é idêntica à corrente volumétrica, embora, por outro lado, também no caso de uma corrente volumétrica constante seja possível modular dinamicamente a densidade média dos redutores de reserva. Também é possível insuflar ao menos por algum tempo gás inerte total ou parcialmente, por e-

30 xemplo para regular picos de temperatura indesejáveis ou para resfriar os dutos de alimentação, respectivamente as válvulas dispostas nos dutos de alimentação.

De modo particularmente vantajoso, no caso das variáveis operacionais trata-se da quantidade absoluta de uma das partes diferenciáveis do gás de tratamento a ser introduzido, e/ou da fração quantitativa relativa de uma das partes diferenciáveis em relação a uma outra fração ou a todo o gás de tratamento. Nesse sentido, por exemplo, a quantidade absoluta de oxigênio, respectivamente a concentração relativa de oxigênio, pode ser modulada dinamicamente de modo especialmente simples, apesar de que a carga principal propriamente, a saber, o vento quente, não precisa ser modulada. Isso pode ser então realizado com facilidade quando se introduzir separadamente oxigênio puro ou uma fase gasosa com concentração de oxigênio aumentada em relação ao ar, ao menos durante uma parte da introdução. Se isso ocorrer em forma de pulsação, então a conversão dos redutores de reserva pode ser ainda mais intensificada, com os efeitos ainda mais reforçados conforme já mencionado. Nesse caso, por exemplo, a amplitude da corrente volumétrica de oxigênio extra em relação à do vento do plano de fundo pode se situar na faixa de 0,25 – 20%, de preferência 0,5 – 10 %, especialmente 1 – 6 %.

Isso também é, ao mesmo tempo, um exemplo para a configuração vantajosa do processo, na qual são moduladas duas ou mais variáveis operacionais (diferentes). Basicamente, nesse caso são possíveis modulações combinadas de, por exemplo, pressão de vento quente, fração de oxigênio, pressão de oxigênio extra, pressão ou concentração dos redutores de reserva etc., sendo que se deve ponderar entre o esforço adicional para uma outra modulação e o efeito adicional obtido.

Em uma configuração do processo particularmente preferida, o gás de tratamento é introduzido no forno de cuba por no mínimo dois caminhos diferentes, e uma primeira variável operacional para o controle da fração a ser introduzida ao longo do primeiro caminho é modulada dinamicamente assim como uma segunda variável operacional para o controle da fração do gás de tratamento introduzida ao longo do segundo caminho, sendo que no caso da primeira e da segunda variáveis operacionais também se pode tratar das mesmas variáveis operacionais em cuja modulação, no en-

tanto, também se pode tratar de modulações diferentes. Basicamente isso significa que em relação a cada forma de sopro é possível modular dinamicamente a mesma ou uma diferente variável operacional, ou seja, que a modulação das frações de gás de tratamento que são introduzidas através das respectivas formas de sopro pode ocorrer independentemente. Nesse caso, de modo vantajoso também pode ser previsto juntar respectivamente um grupo de frações que sejam introduzidas através de caminhos adjacentes, de tal modo que, nesse sentido, se formem regiões de introdução independentes, as quais, por sua vez também podem ser moduladas de modos iguais. Por meio deste último caso pode-se ter, por exemplo, influência setorial sobre o andamento do forno, sendo que, todavia, torna-se possível uma distribuição uniforme do gás de tratamento (vento quente) pelas formas de sopro.

Uma outra configuração vantajosa do processo prevê que a primeira e a segunda variáveis operacionais sejam moduladas periodicamente com a mesma duração de período T , sendo que a fase relativa delas encontra-se deslocada em um valor. No caso da fase se trata, assim, de um deslocamento temporal relacionado à duração de período T . Se o deslocamento temporal relativo for, por exemplo, $T/2$, então as duas variáveis operacionais encontram-se moduladas de modo anticíclico uma em relação à outra. No que se refere ao tempo de combustão, mesmo que pequeno, nas zonas de turbulência, pode ser vantajoso, por exemplo, que as pulsações de oxigênio sejam levemente retardadas em relação aos correspondentes aumentos em forma de pulsação da quantidade de redutores de reserva, como por exemplo deslocadas em $0 \leq \varphi \leq \pi/2$.

Em uma configuração particularmente preferida do processo, a duração de período inversa T^{-1} é ajustada para uma auto-freqüência de um subsistema da atmosfera dentro do forno de cuba. Nesse caso, um subsistema da atmosfera significa em primeiro lugar, por um lado, um subsistema espacial que aqui é determinado pelas zonas de turbulência; por outro lado, pode se referir a uma parte física/química da atmosfera, ou seja, por exemplo, a distribuição de pressão, a distribuição de calor, a distribuição de den-

sidade, a distribuição de temperatura ou a composição. No caso da auto-freqüência pode se tratar da freqüência de uma excitação linear em direção radial (desde as formas de sopro até o centro do forno) ou excitações de turbulência na zona de turbulência de uma única forma de sopro, embora também se possa tratar de uma excitação de turbulência que se propague além das zonas de turbulência na direção periférica do forno de cuba, sendo que o "homem morto" localizado no centro espacial dessa excitação representa um furo topologicamente para uma vibração de turbulência desse tipo. Por meio da excitação do subsistema em uma de suas auto-freqüências pode-se obter uma passagem de gás de ressonância na zona de turbulência/nas zonas de turbulência, a qual leva a uma melhor passagem total de gás no forno de cuba e, conseqüentemente, aumenta a eficiência do forno de cuba. De modo particularmente preferido, a modulação ocorre, por exemplo, quanto à duração de pulso, freqüência de pulso ou intensidade de pulso, de tal modo que no forno de cuba resulte uma onda estacionária. Adicionalmente, respectivamente alternativamente, a modulação ocorre de um modo tal que as matérias-primas no forno de cuba afundem uniformemente especialmente sob a forma de um fluxo com tampão. Para isso, a modulação pode ser regulada em função de variáveis processuais medidas.

Uma outra vantagem do processo apresentado localiza-se em uma influência sobre a geometria de zonas de turbulência, de tal modo que a região onde ocorre a conversão do carvão principal seja aumentada. Portanto, sem dispêndio adicional energético ou material é possível aumentar o desempenho do forno de cuba, ou seja, obter uma melhor eficiência.

Um outro ponto de vista da invenção refere-se a um processo do tipo mencionado ao início, no qual, em uma primeira fase operacional, no mínimo uma das variáveis operacionais é modulada dinamicamente sob ajuste de um parâmetro; o efeito da modulação da no mínimo uma variável operacional para no mínimo uma variável característica do forno de cuba é registrado; em seguida, o parâmetro é variado segundo um sistema predeterminado e o parâmetro variado é ajustado de novo para a modulação, sendo que após cada variação e reajuste são registrados os seus efeitos e vari-

áveis características; então, sob os valores das variáveis características registradas, correspondentes aos parâmetros variados, seleciona-se, segundo critérios de seleção predeterminados, um valor de variável característica com o correspondente valor de parâmetro, e em uma segunda fase operacional, a no mínimo uma variável operacional é modulada dinamicamente com o valor de parâmetro selecionado. Nesse processo, em primeiro lugar é verificado vantajosamente como deve ser executada convenientemente a modulação dinâmica, na medida em que um parâmetro, que pode ser, por exemplo, a duração de período para uma modulação periódica, seja variado e, por meio da variação com base em uma variável característica, que pode ser, por exemplo, a eficiência do forno de cuba, seleciona-se um valor de parâmetro ótimo (por exemplo uma duração de período ótima), com base no qual ocorre a modulação dinâmica (periódica, por exemplo).

Vantajosamente, esse processo de otimização pode ser executado para outros parâmetros, de tal modo que se possa obter no total um conjunto ótimo de parâmetros, com base no qual ocorra a modulação dinâmica.

A invenção também se refere a um forno de cuba que pode ser operado segundo o processo de acordo com a invenção. O forno de cuba é projetado e desenvolvido especialmente conforme explicado acima com base no processo de acordo com a invenção.

Vantajosamente, em um forno de cuba desse tipo, o dispositivo para a introdução do gás de tratamento apresenta uma primeira e uma segunda peças tubulares, sendo que adicionalmente a um caminho de duto principal, através do qual é introduzida uma fração do gás de tratamento, um agente de oxidação é insuflado através da primeira peça tubular e um redutor de reserva é insuflado através da segunda peça tubular. Desse modo, é possível introduzir separadamente no forno de cuba, de modo tecnicamente fácil, tanto um agente de oxidação, como por exemplo oxigênio ou ar enriquecido com oxigênio, quanto também um redutor de reserva, o que permite uma modulação dinâmica das introduções independente e de fácil concretização do ponto de vista da técnica de construção. De acordo com a inven-

ção, para isso um dispositivo de controle é ajustado de um modo tal que dentro de um intervalo de tempo igual ou menor do que 40 s sejam variadas as variáveis operacionais pressão p e/ou corrente volumétrica V .

5 Nesse caso, ficou comprovado que é particularmente conveniente que a primeira e a segunda peças tubulares sejam ligadas ao menos parcialmente para formar uma lança tubular dupla, sendo que as peças tubulares podem ser dispostas concetricamente ou excentricamente uma em relação à outra. Desse modo, as exigências funcionais para as peças tubulares podem ser correlacionadas com uma disposição que economiza espaço.

10 No entanto, também pode ser previsto que no caso da primeira e da segunda peças tubulares se trate de lanças separadas espacialmente, sendo que no mínimo um ângulo de saída de uma das peças tubulares é ajustável em relação a um plano horizontal e/ou vertical do forno de cuba, sendo que especialmente os ângulos de saída das duas peças tubulares são
15 ajustáveis independentemente um do outro. Nesse sentido, a direção de insuflação do oxigênio adicional, por exemplo, ou dos redutores pode ser variada em relação à geometria das zonas de turbulência. Em especial também se pode pensar em também modular dinamicamente o ângulo de saída conforme as explicações acima, quando o forno de cuba for operado.

20 Nos dutos de alimentação para o forno de cuba são previstas especialmente válvulas cerâmicas, especialmente válvulas de discos ou válvulas magnéticas de êmbolo, de tal modo que as válvulas são estáveis em altas temperaturas e resistentes a temperaturas. Por isso, as válvulas apresentam uma dilatação térmica particularmente pequena e, por isso, também
25 podem ser operadas sem dificuldades sob temperaturas particularmente elevadas que ocorrem durante a operação.

De preferência, o dispositivo para a introdução do gás de tratamento encontra-se ligado com no mínimo dois reservatórios, sendo que os reservatórios são submetidos à carga especialmente em expansão. Os reservatórios apresentam especialmente volumes diferentes e/ou pressões
30 diferentes, de tal modo que conforme a necessidade, para se obter uma determinada modulação pode-se conectar um determinado reservatório. Tam-

bém podem ser conectados vários reservatórios do mesmo tipo, para que ao ocorrer o esvaziamento do respectivo reservatório, a pressão no reservatório só caia de modo insignificante e haja tempo suficiente disponível para encher de novo o reservatório para seu estado inicial, enquanto o outro reservatório se encontra conectado.

Em especial, o dispositivo para a introdução do gás de tratamento apresenta um primeiro conjunto de válvulas e um segundo conjunto redundante de válvulas. Isso permite operar alternadamente cada um dos conjuntos, de tal modo que as válvulas possam esfriar. O resfriamento pode ser ainda bem melhorado na medida em que as válvulas não requisitadas para a alimentação do gás de tratamento sejam resfriadas com ajuda de um gás, especialmente um gás inerte.

Conforme um outro aspecto da invenção, apresenta-se um processo para a operação de um forno de cuba, que, em especial, além das características do processo já explicadas, se caracteriza pelo fato de que se atua sobre a atmosfera predominante na região superior do forno de cuba a partir da região superior do forno de cuba, de um modo modulado dinamicamente. Desse modo, o efeito explicado acima de modulações dinâmicas sobre uma região da atmosfera limitada às zonas de turbulência pode ser ampliado para uma região maior, na medida em que precisamente, por exemplo, o gás da boca do forno localizado na região superior do forno de cuba seja modulado dinamicamente. Para isso, pode-se, por exemplo, introduzir gás adicional na região superior do forno de cuba e/ou modular a pressão de gás de boca de forno por meio de direcionamento apropriado de válvulas previstas em um duto de saída de gás de boca de forno.

Em especial, pode ser previsto que uma modulação dinâmica ocorrendo no plano da forma de sopro e a modulação dinâmica ocorrendo na região superior (na boca de forno) sejam ajustadas uma à outra. Nesse sentido, por exemplo, podem ser excitadas outras excitações de ressonância de um subsistema da atmosfera predominante no forno de cuba, fazendo com que seja possível obter uma passagem de gás ainda melhor no forno de cuba. Nesse caso, as modulações dinâmicas podem ser vantajosamente

ajustadas uma à outra em relação, por exemplo, a períodos e amplitude, de tal modo que seja possível uma outra excitação de ressonância direta, ou que a excitação de um subsistema da atmosfera predominante no forno de cuba só ocorra por meio de uma ação de acoplamento das excitações externas.

Outras vantagens e detalhes da invenção resultam da explicação que se segue do desenho correspondente, no qual:

Figura 1: um diagrama de tempo-pressão;

Figura 2: um outro diagrama de tempo-pressão;

Figura 3: um diagrama de tempo-concentração;

Figura 4: um diagrama de tempo-corrente de massa;

Figura 5: um diagrama combinado de tempo-corrente volumétrica/de massa.

Na figura 1 é mostrado como a pressão do gás de tratamento, por exemplo, a ser introduzido no forno de cuba pode ser modulada dinamicamente. Pode-se reconhecer que a pressão $p(t)$ oscila harmonicamente em torno de uma pressão básica p_0 , com uma frequência de $f = 1/T = 10$ Hz. A pressão básica p_0 , nesse exemplo, é de 240 kPa (2,4 bar). A amplitude de pressão $2\Delta p$, nesse exemplo, é de 120 kPa (1,2 bar), ou seja 50% do valor da pressão básica p_0 . A trajetória da pressão do vento quente mostrada na figura 1 é dada portanto por $P(t) = p_0 + \Delta p \cdot \sin(2\pi t/T)$.

Na figura 2 é mostrada uma modulação em forma de pulsação da pressão de uma fração do gás de tratamento a ser introduzido no forno de cuba. Concretamente, nesse caso, pode se tratar de oxigênio puro, o qual é introduzido no forno de cuba adicionalmente ao vento quente. Também aqui a modulação é periódica, embora com uma duração de período de $T = 4$ s. O nível de pulso $p_{\max}$ é 5 mPa (50 bar), o que significa uma pulsação com fator de amplitude 20 em relação à pressão ambiente do vento quente introduzido com 250 kPa (2,5 bar), por exemplo. Os pulsos possuem uma amplitude de pulso σ de cerca de 0,4 s, de tal modo que resulta uma relação entre amplitude de pulso e duração de período de cerca de 0,1.

Na figura 3 é mostrada como exemplo uma modulação dinâmica

da concentração de oxigênio do gás de tratamento. Isso ocorre da seguinte forma: uma fração de vento quente, ela própria não modulada, do gás de tratamento fornece uma concentração básica constante n_0 , a qual corresponde à concentração natural de oxigênio no ar (nesse caso, o vento quente é constituído de ar quente). Adicionalmente ao vento quente são ainda introduzidas duas outras frações de gás de tratamento. Uma primeira fração, que é constituída por oxigênio puro ou por uma fase gasosa contendo oxigênio com concentração de oxigênio n'_1 , é introduzida em forma de pulsação periodicamente com duração de período T_1 de 2 s. Nesse caso, a quantidade do oxigênio puro, respectivamente a concentração n'_1 , é selecionada de tal modo que a concentração de oxigênio em relação ao gás de tratamento total seja elevada em uma diferença de concentração n_1 . Nesse caso, a relação n_1/n_0 é de aproximadamente 60%. De modo análogo, uma segunda fase gasosa é introduzida adicionalmente em forma de pulsação, sendo que a pulsação também ocorre periodicamente com a mesma duração de período $T_2 = T_1$, embora com deslocamento de fase correspondente a uma fase φ_t . Essa segunda fração de gás introduzida em forma de pulsação com deslocamento de fase leva a um aumento da concentração de oxigênio em relação ao gás de tratamento total de n_0 para $n_0 + n_2$, como se pode observar na figura 3. A relação n_2/n_0 é de cerca de 40%; a segunda fase gasosa fornece, portanto, ao gás de tratamento efetivamente menos oxigênio do que a primeira. Pode-se reconhecer bem na figura 3 que também toda a concentração de oxigênio $n(t)$ do gás de tratamento é periódica, e, mais precisamente, com uma duração de período $T = T_1 = T_2$, pois ela resulta da sobreposição de duas (três com n_0) fases gasosas moduladas periodicamente. No exemplo mostrado na figura 3, o deslocamento de fase φ_t é de cerca de $\pi/2$. No entanto, também poderia ser possível ajustá-lo para π , sendo que as duas fases gasosas adicionais seriam então anticíclicas. Nesse caso, a concentração de oxigênio $n(t)$ seria quase periódica com período $T/2$. Sem deslocamento de fase ($\varphi = 0$) foi obtida uma concentração de oxigênio $n(t)$ que também poderia ser obtida, tão bem quanto, por meio de uma única fase gasosa introduzida adicionalmente.

A figura 4 mostra a modulação temporal da taxa de injeção de redutores de reserva, que, nesse caso, podem ser pó de carvão, respectivamente de modo correspondente à corrente de massa deles m/dt . Também aqui, a uma corrente de massa contínua m_0/dt encontra-se sobreposta uma

5 fração adicional pulsante, que em uma única vez todo $T = 20$ S produz um aumento em 30%, e anticiticamente todo $T = 20$ S produz um aumento em 50%. Portanto, toda a corrente de massa m/dt tem um período T , embora seja quase periódica com $\tau = T/2$. A amplitude de pulso σ , nesse caso, é relativamente grande e chega a cerca de $T/4$.

10 A figura 5 mostra a modulação temporal simultânea, por um lado, da corrente de massa m/dt de um redutor de reserva e, por outro lado, de uma corrente volumétrica V/dt de oxigênio. Para a corrente de massa m/dt vale o mesmo que na descrição acima para a figura 4, exceto que a forma de pulso é diferente e o período T na figura 5 é $T = 0,6$ s. A modula-

15 ção temporal da corrente volumétrica de oxigênio V/dt , que também ocorre periodicamente com T , pode ser gerada, por exemplo, na medida em que uma fração V_0/dt seja solicitada pela corrente volumétrica natural de oxigênio do ar quente introduzido, e seja aumentada periodicamente por meio de pulsos de oxigênio fornecidos adicionalmente. Como se pode identificar na figura

20 5, os pulsos adicionais de oxigênio estão deslocados em um tempo $\Delta t = 0,02$ s em relação à pulsação da corrente de massa dos redutores de reserva, o que corresponde a um deslocamento de fase de $\phi_t = \pi/15$. Devido ao deslocamento de fase assim selecionado, a quantidade aumentada de redutores de reserva, que é insuflada para a zona de turbulência, possui, por um

25 lado, um salto em relação ao pulso de oxigênio seguinte e desse modo fica em certa medida pronta para a conversão, enquanto que por outro lado o pulso de oxigênio seguinte pode produzir a conversão do redutor de reserva, antes que este saia da zona de turbulência. Conseqüentemente, pode-se obter uma conversão elevada e segura do redutor de reserva, no caso de

30 uma taxa de insuflação aumentada, o que leva a uma melhor passagem de gás no forno de cuba.

O exemplo, explicado com base nas figuras de 1 a 5, de uma

modulação dinâmica da introdução do gás de tratamento, bem como de outros componentes, representa apenas uma parte das possibilidades de concretizar a modulação dinâmica de acordo com a invenção. As características da invenção evidenciadas na descrição acima bem como nas reivindicações, tal como já se pode reconhecer a partir dos diferentes exemplos de execução, podem ser essenciais para a concretização da invenção em suas diferentes formas de execução, tanto separadamente quanto em qualquer combinação.

Por exemplo, como forno de cuba é previsto um alto forno que em seu interior apresenta uma pressão de cerca de 200 a 400 kPa (2 a 4 bar). O gás de tratamento pode ser insuflado com uma pressão contínua de cerca de 1 mPa (10 bar). Para se obter uma modulação por pulsos, pode-se conectar temporariamente, através de uma válvula, um reservatório que apresente uma pressão de 2 mPa (20 bar), por exemplo. Devido à conexão do reservatório é possível, por exemplo, gerar um pulso de curta duração com uma pressão aumentada em 150 a 250 kPa (1,5 a 2,5 bar), isto é, a pressão do gás de tratamento apresenta, durante o pulso, uma pressão de cerca de 1,2 mPa (12 bar). Devido a esse pulso, dentro do alto forno por meio do gás de tratamento é gerado um impacto de energia que funde incrustações e escórias na roda da zona de reação e/ou que perfura a camada nas incrustações e nas escórias. Já que devido ao impacto de energia, oxigênio é transportado para a camada de escória da zona de reação, então ocorrem reações de oxidação com a camada de escórias. A escória que se desprende devido a isso possibilita um melhor fluxo por todo o alto forno. A formação de escórias pode ser ao menos reduzida quando no gás de tratamento forem adicionadas partículas de carvão que sejam as menores possíveis, de tal modo que ao ocorrer a reação na zona de reação, resultem menos componentes sem serem queimados, os quais, caso contrário, poderiam se fixar nas escórias. Os efeitos do gás de tratamento insuflado modulado podem ser reforçados na medida em que sejam previstos vários pontos de insuflação ao longo da circunferência e/ou ao longo da altura do alto forno.

Um exemplo de forno de cuba projetado como forno de cúpula

pode ser configurado e operado, em princípio, tal como foi explicado acima com base no alto forno. Usualmente, um forno de cúpula é operado a uma pressão menor de 30 kPa (300 mbar), por exemplo. Nesse caso, o gás de tratamento pode ser insuflado continuamente com uma pressão de 500 kPa (5 bar), sendo que o reservatório conectável pode apresentar uma pressão de 1,2 mPa (12 bar).

Pe = 0618440-4
Pet = 020080094618
Data = 04/10/12008

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a operação de um forno de cuba, no qual uma região superior do forno de cuba é alimentada com matérias-primas, que afundam no forno de cuba sob influência da força de gravidade, sendo que
- 5 uma parte das matérias-primas é fundida e/ou pelo menos parcialmente reduzida sob a ação da atmosfera predominante dentro do forno de cuba, e no qual em uma região inferior do forno de cuba é introduzido um gás de tratamento que influencia ao menos parcialmente a atmosfera predominante dentro do forno de cuba, caracterizado pelo fato de que a introdução do gás de
- 10 tratamento é modulada dinamicamente de um modo tal que ao ocorrer a modulação, as variáveis operacionais pressão p e/ou corrente volumétrica V são variadas pelo menos temporariamente dentro de um intervalo de tempo de ≤ 40 s, especialmente ≤ 20 s, preferencialmente ≤ 5 s, e especialmente de preferência ≤ 1 s.
- 15 2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a modulação ocorre quase periodicamente, especialmente periodicamente, de preferência harmonicamente, sendo que para a duração de período T vale $40\text{ s} \geq T \geq 60\text{ ms}$, especialmente $20\text{ s} \geq T \geq 100\text{ ms}$, de preferência $10\text{ s} \geq T \geq 0,5\text{ s}$, e especialmente de preferência $5\text{ s} \geq T \geq 0,7\text{ s}$.
- 20 3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a modulação ocorre em forma de pulsação, sendo que para uma amplitude de pulso σ de um pulso vale $5\text{ s} \geq \sigma \geq 1\text{ ms}$, especialmente $0,7\text{ s} \geq \sigma \geq 25\text{ ms}$, de preferência $0,1\text{ s} \geq \sigma \geq 30\text{ ms}$, e particularmente de preferência $55\text{ ms} \geq \sigma \geq 35\text{ ms}$.
- 25 4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a modulação ocorre através de um ajuste de no mínimo uma variável operacional, que controla especialmente a introdução do gás de tratamento, especialmente a pressão p e/ou V .
- 30 5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o gás de tratamento é introduzido no alto forno por no mínimo dois caminhos diferentes, e uma primeira variável operacional para o controle da fração do gás de tratamento a ser introduzi-

da ao longo do primeiro caminho é modulada dinamicamente, bem como uma segunda variável operacional para o controle da fração do gás de tratamento introduzida ao longo do segundo caminho é modulada dinamicamente, sendo que no caso da primeira e da segunda variáveis operacionais se trata de variáveis operacionais iguais e de modulações diferentes, ou no caso da primeira e da segunda variáveis operacionais se trata de variáveis operacionais diferentes e de modulações iguais.

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a primeira e a segunda variáveis operacionais são moduladas periodicamente com igual duração de período T , sendo que as fases relativas delas encontram-se deslocadas em um valor predeterminado.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 6, caracterizado pelo fato de que a duração de período inversa T^{-1} é ajustada para uma autofreqüência de um subsistema da atmosfera dentro do alto forno.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o gás de tratamento contém gás inerte ao menos temporariamente, parcialmente ou totalmente, para resfriar as válvulas dispostas na corrente volumétrica do gás de tratamento.

9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o gás de tratamento é modulado de um modo tal que o gás de tratamento no forno de cuba forme uma onda estacionária.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que a introdução do gás de processamento é regulada de um modo tal que as matérias-primas dentro do forno de cuba afundam uniformemente, especialmente sob a forma de um fluxo de tampão.

11. Forno de cuba, especialmente alto forno, forno de cúpula ou forno de incineração de lixo, especialmente que podem ser operados por meio de um processo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, com um dispositivo para o revestimento de uma região superior do alto forno com matérias-primas, um dispositivo para a introdução de um gás de

tratamento em uma região inferior do forno de cuba com um dispositivo de controle que controla a introdução por meio de variáveis operacionais ajustáveis, sendo que o ajuste das variáveis operacionais determina ao menos parcialmente a atmosfera predominante dentro do alto forno, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de controle está ajustado de tal modo que as variáveis operacionais pressão p e/ou corrente volumétrica V experimentem uma variação dentro de um intervalo de tempo de ≤ 40 s, especialmente ≤ 20 s, preferencialmente ≤ 5 s, e especialmente de preferência ≤ 1 s.

12. Forno de cuba de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a variação das variáveis operacionais ocorre com ajuda de uma válvula cerâmica, especialmente uma válvula de discos ou uma válvula magnética de êmbolo.

13. Forno de cuba de acordo com a reivindicação 11 ou 12, caracterizado pelo fato de que o dispositivo para a introdução do gás de tratamento apresenta uma primeira e uma segunda peças tubulares, sendo que adicionalmente a um caminho de duto principal, através do qual uma fração do gás de tratamento é introduzida, pode-se insuflar um agente de oxidação através da primeira peça tubular, e um redutor de reserva através da segunda peça tubular.

14. Forno de cuba de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 13, caracterizado pelo fato de que o dispositivo para a introdução do gás de tratamento apresenta um primeiro jogo de válvulas e um segundo jogo redundante de válvulas para a operação alternante do primeiro e do segundo jogos.

15. Forno de cuba de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 14, caracterizado pelo fato de que o dispositivo para a introdução do gás de tratamento está conectado com no mínimo dois reservatórios, operados especialmente em expansão, sendo que os reservatórios apresentam volumes diferentes e/ou pressões diferentes.

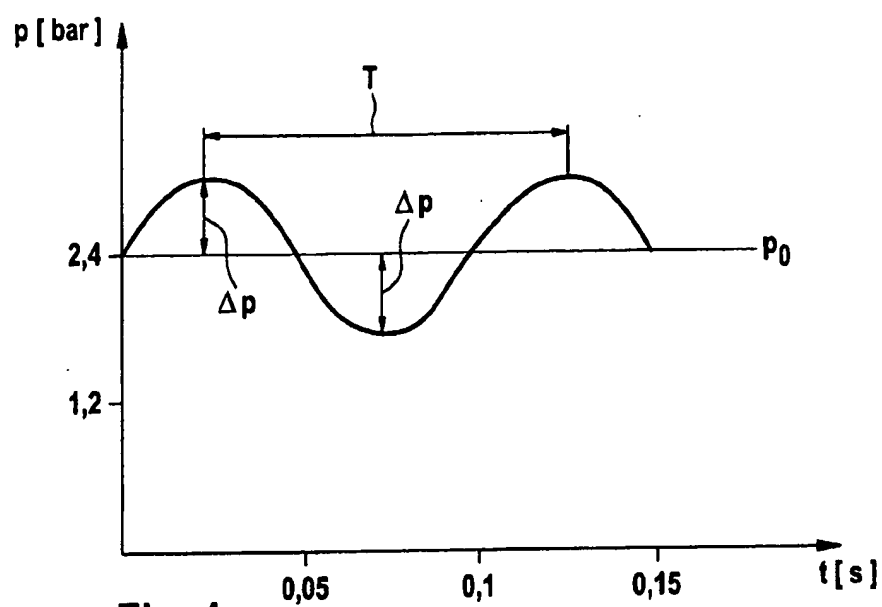


Fig. 1

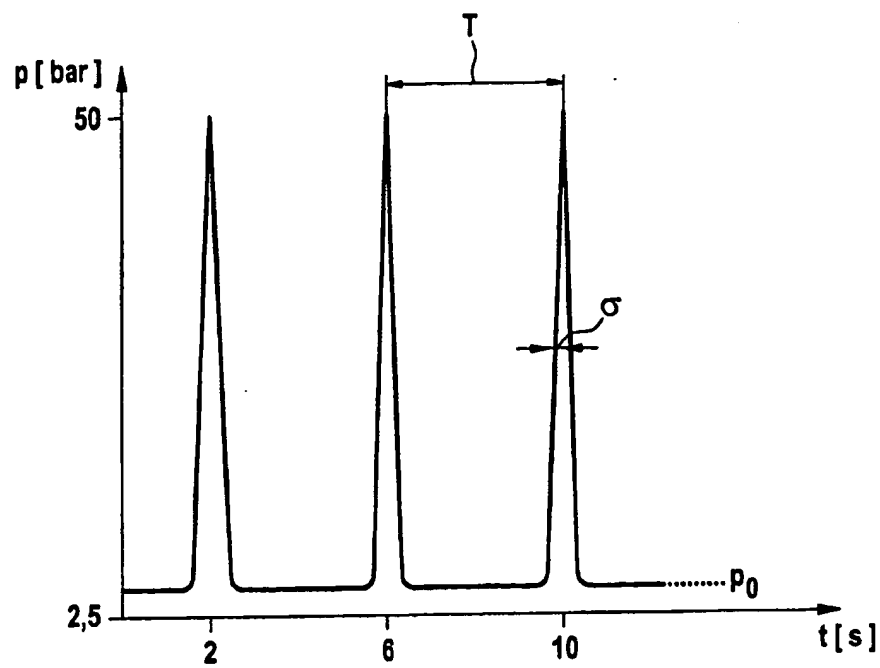


Fig. 2

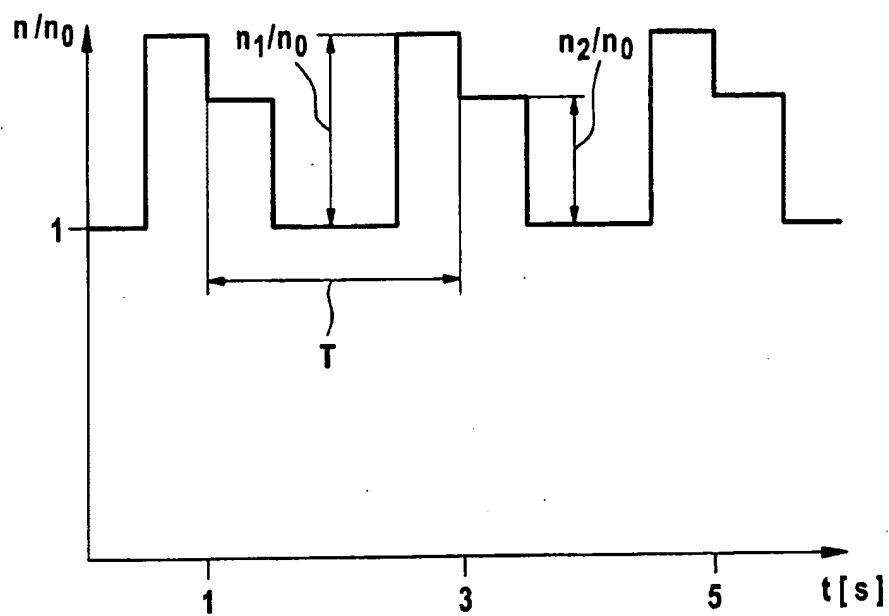


Fig. 3

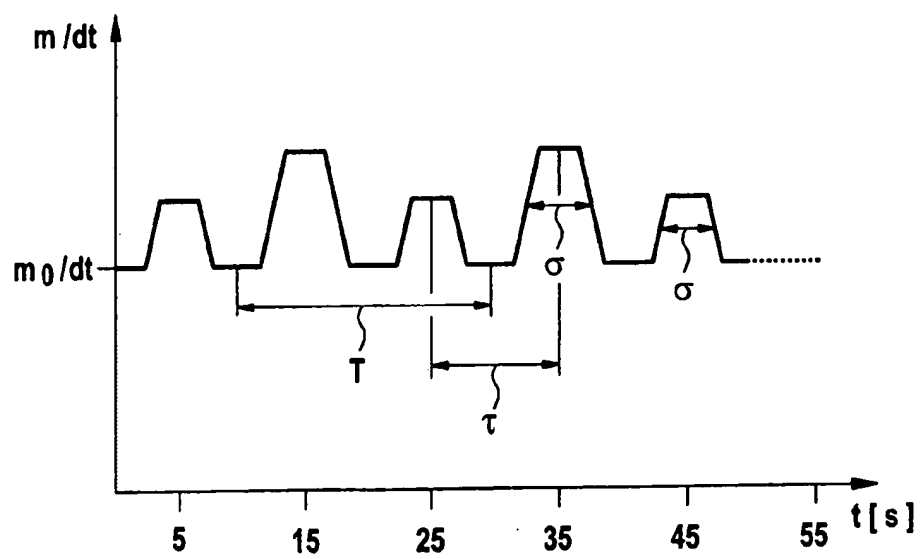


Fig. 4

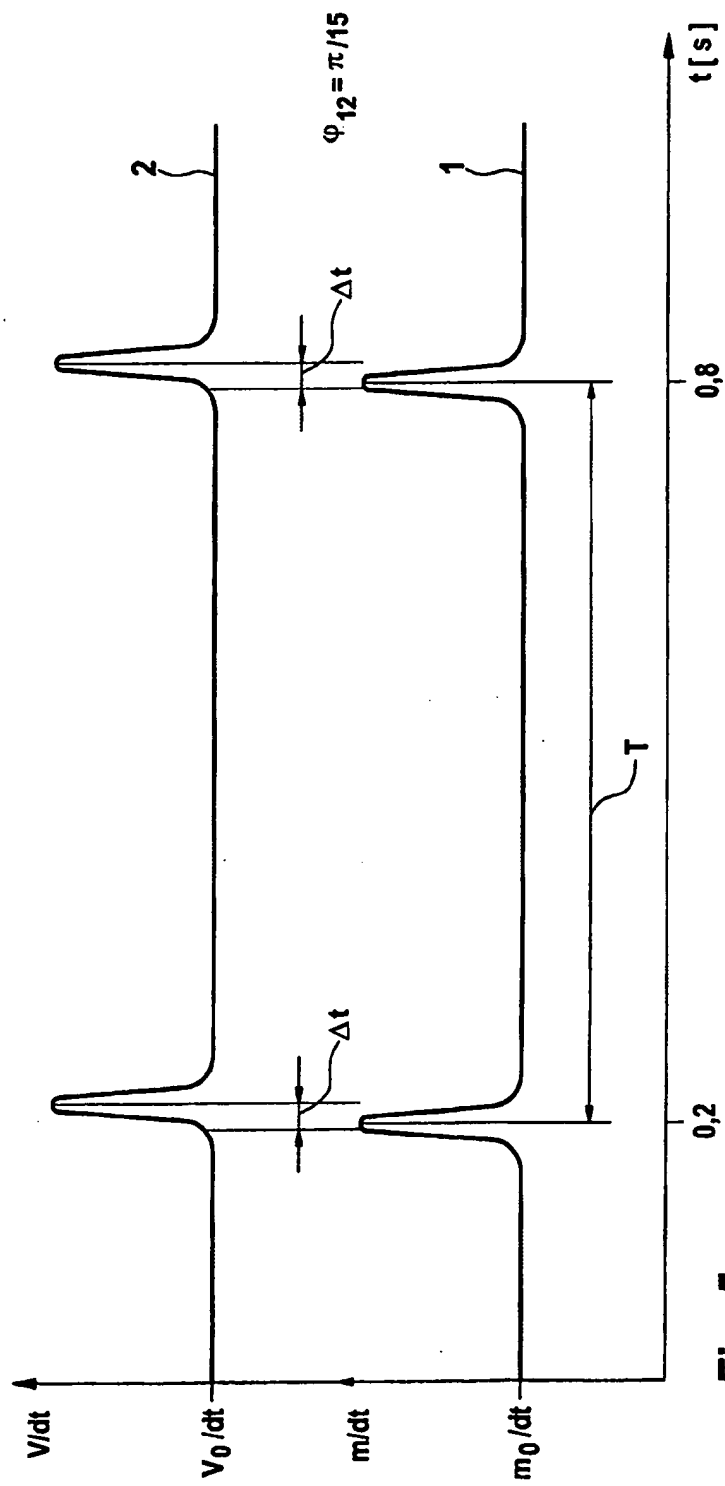


Fig. 5

RESUMO

Patente de Invenção: **"PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UM FORNO DE CUBA E FORNO DE CUBA APROPRIADO PARA ESSE PROCESSO"**.

5 Processo para a operação de um forno de cuba, no qual uma região superior do forno de cuba é alimentada com matérias-primas, que afundam no forno de cuba sob influência da força de gravidade, sendo que uma parte das matérias-primas é fundida e/ou pelo menos parcialmente reduzida sob a ação da atmosfera predominante dentro do forno de cuba, e no qual em uma região inferior do forno de cuba é introduzido um gás de tratamento que influencia ao menos parcialmente a atmosfera predominante dentro do forno de cuba, sendo que a introdução do gás de tratamento é modulada dinamicamente dentro de um intervalo de tempo de 40 s quanto à pressão e/ou à corrente volumétrica, e forno de cuba que pode ser operado por um processo desse tipo, fazendo com que se obtenha uma melhor passagem de gás pelo forno de cuba.

10

15