



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0801963-0 B1

(22) Data do Depósito: 17/04/2008

(45) Data de Concessão: 05/01/2021



* B R P I 0 8 0 1 9 6 3 B 1 *

(54) Título: MÉTODO DE CONTROLE DA ALIMENTAÇÃO DE CARREGAMENTO DE METAL EM FORNO ELÉTRICO A ARCO

(51) Int.Cl.: F27D 19/00.

(30) Prioridade Unionista: 26/04/2007 IT UD 2007 A 000075.

(73) Titular(es): DANIELI AUTOMATION SPA.

(72) Inventor(es): FERRUCIO DELLA VEDOVA; MARCO OMETTO.

(57) Resumo: MÉTODO DE CONTROLE DA ALIMENTAÇÃO DE CARREGAMENTO DE METAL EM FORNO ELÉTRICO A ARCO Método para controlar a alimentação de um carregamento de metal (14) para um forno elétrico a arco (10), compreendendo pelo menos um eletrodo (11) para gerar um arco elétrico para a fusão de metais, compreende uma etapa de definição de um "índice de cobertura CI" do arco elétrico pela escória (25) presente acima do banho líquido (24), para calcular quais os harmônicos presentes em uma quantidade de alimentação elétrica do forno (10) são levados em consideração, uma etapa de medição do índice de cobertura CI real durante um ciclo de funcionamento do forno (10) e uma etapa de ajuste da velocidade de alimentação da carga metálica (14) para o forno (10) baseada no valor medido do índice de cobertura CI.

**"MÉTODO DE CONTROLE DA ALIMENTAÇÃO DE
CARREGAMENTO DE METAL EM FORNO ELÉTRICO A ARCO"**

CAMPO DA INVENÇÃO

[0001] A presente invenção se refere a um método para o controle da alimentação de carregamento de metal, em particular de sucatas ou similares em fornos elétricos a arco.

[0002] Mais particularmente, a invenção se refere a um método para o controle dos tempos de alimentação do carregamento metálico em um forno elétrico a arco, que permite reduzir os distúrbios e perturbações principalmente do tipo elétrico, maximizando ao mesmo tempo a velocidade de carregamento, e assim a produtividade geral do forno.

[0003] A invenção se aplica, particularmente, mas sem exclusividade, a sistemas de alimentação de sucata com carregamento contínuo, apesar de seu uso não ser excluído para sistemas de alimentação intermitente, por exemplo, do tipo com cestas.

HISTÓRICO DA INVENÇÃO

[0004] Em um forno elétrico a arco para a fusão de metais, a sucata pode ser alimentada tanto de forma intermitente, por exemplo, com cestas que carregam ritmicamente em um tempo predeterminado, correlacionado com a duração do ciclo de fusão, ou continuamente, normalmente por meio de uma esteira transportadora tendo sua extremidade de saída ligada ao interior do forno.

[0005] É sabido que, para aumentar a produtividade do forno, é buscada uma velocidade de carregamento da sucata que seja a maior possível, de maneira a obter a quantidade máxima de metal fundido no menor tempo possível.

[0006] É também sabido que todos os carregamentos de sucata dentro do forno determinam um efeito negativo no alcance em que o arco elétrico é coberto pela escória espumosa que cobre o banho de metal líquido.

[0007] Em outras palavras, a sucata carregada tem o efeito disruptivo sobre o nível de cobertura que a escória exerce sobre o arco elétrico; isto significa que, em caso de somente uma cobertura parcial do arco, ou mesmo sem haver nenhuma cobertura, uma parte menor ou maior da energia irradiada pelo arco é dispersa na direção das paredes e do teto do forno, o que provoca uma perda de eficiência energética do forno.

[0008] Nesses casos, quando é notada uma redução no grau da cobertura do arco elétrico, é interrompida a entrada da sucata, ou pelo menos tem a velocidade reduzida, para permitir a restauração de um estado de imobilidade dentro do forno, que permite retornar a um nível aceitável de cobertura do arco elétrico.

[0009] Entretanto, no presente, a verificação do estado de cobertura do arco elétrico é confiada a técnicas empíricas ou simplesmente visuais, que não são confiáveis, e que em grande parte dependem da experiência e da prática dos operadores.

[00010] Tudo isso pode provocar, por um lado, reduções desnecessárias da velocidade de alimentação, caso seja desejado garantir que se mantenha a alta eficiência energética; e, por outro lado, reduções na eficiência energética, caso se desejar em qualquer caso manter uma alta velocidade de carregamento da sucata para o forno.

[00011] O objetivo da presente invenção é, portanto obter

um método para o controle da alimentação do carregamento de metal dentro do forno elétrico a arco, que permita garantir um controle confiável, padronizado, repetitivo e objetivo das condições de cobertura do arco elétrico, de maneira a condicionar a velocidade de carregamento da sucata para o forno, maximizando assim a eficiência de produção.

[00012] O Requerente planejou, testou e configurou a presente invenção de maneira a alcançar esses objetivo e demais vantagens.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[00013] A presente invenção é apresentada e caracterizada na reivindicação independente, enquanto as reivindicações dependentes descrevem variantes da idéia principal do invento.

[00014] De acordo com a invenção, o Requerente descobriu que o nível de cobertura do arco elétrico em um forno de fusão está correlacionado com a tendência das flutuações das quantidades de alimentação elétrica do forno, em particular, da tensão.

[00015] Mais particularmente, foi descoberto, de forma surpreendente, que o grau de cobertura do arco elétrico está proximamente correlacionado com o teor harmônico da tensão de alimentação, e em particular com o número de harmônicos pares presentes no sinal de tensão.

[00016] Portanto, o método de acordo com a invenção define, primeiramente, um "índice de cobertura": para calculá-lo, são tomados em consideração os harmônicos presentes na tensão de alimentação e, em uma solução preferencial, somente os harmônicos pares presentes na referida tensão de alimentação.

[00017] No método de acordo com a invenção, são definidos

dois limites, respectivamente o inferior e o superior, definindo valores limites que correspondem respectivamente a uma situação em que o arco elétrico está coberto, quando o referido índice de cobertura está abaixo do limite mínimo, e uma situação sem cobertura, quando o índice está acima do limite máximo.

[00018] Quando o índice de cobertura, medido de forma contínua ou em intervalos, durante um ciclo de funcionamento do forno, cai abaixo de um limite mínimo, a velocidade de alimentação da carga metálica aumenta; ao contrário, se o índice sobe acima do limite máximo, é reduzida a velocidade de alimentação.

[00019] Em particular, uma forma aperfeiçoada da invenção provê que, se o índice de cobertura permanecer abaixo do limite mínimo por um tempo determinado, também depois de um primeiro aumento de velocidade, a velocidade é mais aumentada, por exemplo, de um valor determinado e em intervalos preestabelecidos.

[00020] Ao contrário, se o índice de cobertura estiver acima do limite máximo, a velocidade é reduzida progressivamente, por exemplo, com reduções sucessivas de um valor determinado, até que o valor fique, pelo menos, dentro do intervalo definido entre os dois limites.

[00021] De acordo com uma solução da invenção, quando o índice de cobertura fica compreendido entre os dois limites, a velocidade de alimentação é mantida substancialmente constante em um valor preestabelecido de trabalho.

[00022] A distância entre os dois limites pode ser escolhida como desejado, e indica uma situação de cobertura suficiente para manter uma velocidade preestabelecida de trabalho.

[00023] Portanto, com a presente invenção, a velocidade

de alimentação do carregamento de metal dentro do forno é sempre substancialmente a velocidade máxima admitida pelas condições reais de cobertura do arco elétrico encontradas dentro do forno, de maneira que a produtividade geral possa ser assim otimizada.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00024] Os desenhos anexos mostram um exemplo não restritivo de uma configuração preferencial da invenção.

[00025] Nos desenhos:

[00026] - A fig. 1 é uma vista esquemática de um forno elétrico para a fusão de metais, mostrando o sistema elétrico de alimentação e o sistema para alimentar o carregamento de metal;

[00027] - A fig. 2 é um diagrama de bloco de uma configuração do método de acordo com a invenção.

[00028] DESCRIÇÃO DETALHADA DE UMA FORMA PREFERENCIAL DE CONFIGURAÇÃO

[00029] Com referência à fig. 1, o número de referência 10 indica um forno elétrico a arco alimentado com corrente alternada, dentro do qual os eletrodos 11 estão dispostos (somente um dos quais é mostrado nos desenhos).

[00030] Apesar de a fig. 1 se referir a um forno alimentado por corrente alternada, fica entendido que a invenção também é aplicável, com as adaptações adequadas que provêm do conhecimento da pessoa técnica no assunto, aos fornos alimentados por corrente contínua.

[00031] Os eletrodos superiores 11 são controlados por um sistema de controle de posicionamento 13, ligado em *feedback* a uma unidade de regulagem 15 que administra o funcionamento do forno 10.

[00032] A energia elétrica para o forno é obtida a partir de uma linha de alimentação em média tensão 16 e transformada por um transformador adequado 17.

[00033] Depois da linha de alimentação 16 existem unidades de medição 20 e 21 que enviam seus sinais à unidade de controle 15, por meio da qual é possível controlar o perfil da energia usada no forno 10 pelos eletrodos 11.

[00034] Além disso, a jusante do transformador 17 existe uma outra unidade de medição 23 adequada para transmitir para a unidade de controle 15 as informações referentes às quantidades elétricas, por exemplo, potência, tensão e corrente, fornecidas para os eletrodos 11.

[00035] Um indutor 19 se localiza a montante do transformador 17, enquanto existe um conjunto de capacitores para a correção do fator de potência 22 em paralelo com a linha de alimentação.

[00036] O forno 10 está associado, no caso mostrado esquematicamente, a um sistema de carga contínua que compreende um transportador de esteira 12, no qual a sucata 14 é posicionada.

[00037] A esteira transportadora 12 pode estar associada, de maneira conhecida, com um túnel de aquecimento ou de manutenção, com sucção de fumos e meios de descarga, e com outros sistemas acessórios não mostrados na presente, já que são irrelevantes para a compreensão da invenção.

[00038] A esteira transportadora 12 avança a uma velocidade determinada por um sistema de acionamento, mostrado esquematicamente pelo número 18 na fig. 1, também conectada em *feedback* à unidade de controle 15.

[00039] Assim, a unidade de controle 15 regula a velocidade de carregamento da sucata 14 para o forno 10 de acordo com os sinais de alimentação elétrica que chegam das várias unidades existentes, e em particular das unidades de medição 20, 21 e 23.

[00040] Dentro do forno 10 existe um banho de metal líquido, indicado por 24, acima do qual existe uma camada de escória espumosa 25 que, pelo menos parcialmente cobre o arco elétrico que centelha entre a extremidade inferior dos eletrodos 11 e o banho de metal líquido 24.

[00041] De acordo com a invenção, como indicado na etapa 30 da fig. 2, é definido um índice de cobertura CI do arco elétrico, para o cálculo do qual são levados em consideração os harmônicos presentes na tensão de alimentação para o forno 10, em particular os harmônicos pares.

[00042] Uma configuração preferida da invenção provê que o índice de cobertura CI ~~seja~~ definido pela seguinte fórmula:

$$CI = K \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n H_{2i}^2}}{H_1}$$

onde H representa a distorção harmônica da i-ésima onda senoidal da tensão de alimentação do forno 10, e K é um coeficiente de adaptação usado para amplificar o sinal.

[00043] Como pode ser visto na fórmula, a solução preferida provê que, para calcular o índice de cobertura CI, são somente levados em consideração os harmônicos pares. Entretanto, se situa no campo da invenção que os harmônicos ímpares sejam levados em consideração, ou mesmo os pares e os ímpares.

[00044] Então, os limites são definidos (etapa 31), respectivamente S1 mínimo e S2 máximo, que indicam uma posição,

respectivamente, de cobertura quando $CI < S1$, e sem cobertura quando $CI > S2$. No caso em que $S1 < CI < S2$, existe uma condição aceitável do índice de cobertura, que é considerada como doravante indicada.

[00045] Quando o funcionamento do ciclo do forno 10 é iniciado, com um determinado furo de rosqueamento (correspondente a uma posição definida dos eletrodos 11 dentro do forno 10, definido pelo sistema 13), a alimentação então inicia com um carregamento contínuo de sucata 14, acionando a esteira transportadora 12, o CI real é calculado, correspondendo a uma etapa de funcionamento (etapa 32).

[00046] No caso em que CI estiver compreendido entre S1 e S2 (bloco 33), a velocidade preestabelecida de trabalho é mantida (bloco 34), correspondendo a um determinado ponto de rosqueamento e, após um determinado intervalo de tempo, é feita uma nova medição de CI.

[00047] No caso em que CI é menor que o limite mínimo S1 (bloco 35), esta é uma indicação de cobertura completa do arco elétrico e, portanto permite um aumento na velocidade de alimentação (bloco 36).

[00048] O aumento na velocidade pode ocorrer em intervalos preestabelecidos e com aumentos preestabelecidos.

[00049] De acordo com uma variante, o aumento pode ocorrer continuamente com uma rampa de inclinação preestabelecida, até que uma nova medição do CI determine um aumento de CI dentro do intervalo S1-S2 ou mesmo acima de S2.

[00050] Também nesse caso, após cada aumento de velocidade, pode ser feito um novo cálculo de CI, para verificar o

efeito disruptivo provocado por uma maior velocidade de carregamento da sucata 14 dentro do forno 10.

[00051] Pelo contrário, no caso (bloco 37) em que o índice CI calculado ficar acima do limite máximo S2, isto significa um baixo valor de cobertura do arco elétrico e, portanto a velocidade de alimentação da carga é reduzida (bloco 38).

[00052] Também nesse caso, a redução de velocidade pode ocorrer com reduções do valor fixo e em intervalos fixos ou, continuamente, sendo em qualquer caso seguida por novos cálculos do valor CI para verificar um retorno dentro da faixa admissível S1-S2, para restaurar a velocidade de trabalho, ou para verificar se o valor CI está abaixo de S1, para permitir um aumento na velocidade acima da velocidade de trabalho.

[00053] Modificações e variantes podem ser feitas na presente invenção, todas estando dentro do campo de proteção, como definido pelas reivindicações a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para o controle da alimentação de um carregamento de metal (14) em um forno elétrico a arco (10), compreendendo pelo menos um eletrodo (11) capaz de gerar um arco elétrico para a fusão de metais, **caracterizado** pelo fato de compreender as seguintes etapas:

- uma etapa de definição (30) de um "índice de cobertura CI" do arco elétrico pela escória (25) presente acima do banho líquido (24), de maneira a calcular quais os harmônicos presentes em uma quantidade de alimentação elétrica do forno (10) que são levados em consideração;

- uma etapa de medição (32) do índice de cobertura (CI) real durante um ciclo de funcionamento do forno (10); e

- uma etapa de ajuste da velocidade de alimentação (34, 36, 38) da referida carga de metal (14) no referido forno (10) baseado no valor medido do referido índice de cobertura (CI) é menor ou maior do que um respectivamente mais baixo e valor limite superior pré-definido, em que o índice de (CI) é definido pelas seguintes fórmulas:

$$CI = K \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n H_{2i}^2}}{H_1}$$

quando apenas os harmônicos pares são considerados,

$$CI = K \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n H_{2i+1}^2}}{H_1}$$

quando apenas os harmônicos ímpares são considerados, e

$$CI = K \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n H_i^2}}{H_1}$$

quando são uma combinação entre harmônicos ímpares e os harmônicos pares é considerada, e por compreender uma outra etapa (31) de estabelecimento de dois limites, respectivamente o mais baixo (S1) e o mais alto (S2), definindo valores limites que correspondem respectivamente a uma situação em que o arco elétrico está coberto, quando o referido índice de cobertura (CI) é menor que o referido limite mínimo (S1), e uma situação sem cobertura, quando o índice (CI) se situa acima do referido limite máximo (S2), e por a referida etapa de ajuste da velocidade compreender um aumento (36) na velocidade de alimentação da carga metálica (14) no forno (10); no caso em que o referido índice de cobertura (CI) é menor que o referido limite mínimo (S1), uma etapa de manutenção da velocidade de trabalho (34) no caso em que o referido índice de cobertura (CI) esteja compreendido entre os referidos limites (S1, S2), e uma etapa de redução da velocidade de alimentação (38); no caso em que o referido índice de cobertura (CI) se situa acima do referido limite máximo (S2).

2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que para o cálculo do referido índice de cobertura (CI) somente os harmônicos pares da referida quantidade elétrica são levados em consideração.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o referido aumento e/ou redução na velocidade de alimentação da carga de metal (14) no forno (10) ocorre por aumentos/reduções contínuas em intervalos constantes.

4. Método de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de o referido aumento e/ou redução na velocidade de alimentação da carga de metal (14) no forno (10) ocorre continuamente com uma rampa de inclinação predeterminada.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos após cada aumento e/ou redução na velocidade de alimentação do carregamento de metal (14) no forno (10), é feito um cálculo sucessivo do índice de cobertura (CI).

6. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a referida etapa de medição (32) do índice de cobertura (CI) real durante um ciclo de funcionamento do forno (10) é feita continuamente.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a referida etapa de medição (32) do índice de cobertura (CI) real durante um ciclo de funcionamento do forno (10) é feita em intervalos preestabelecidos.

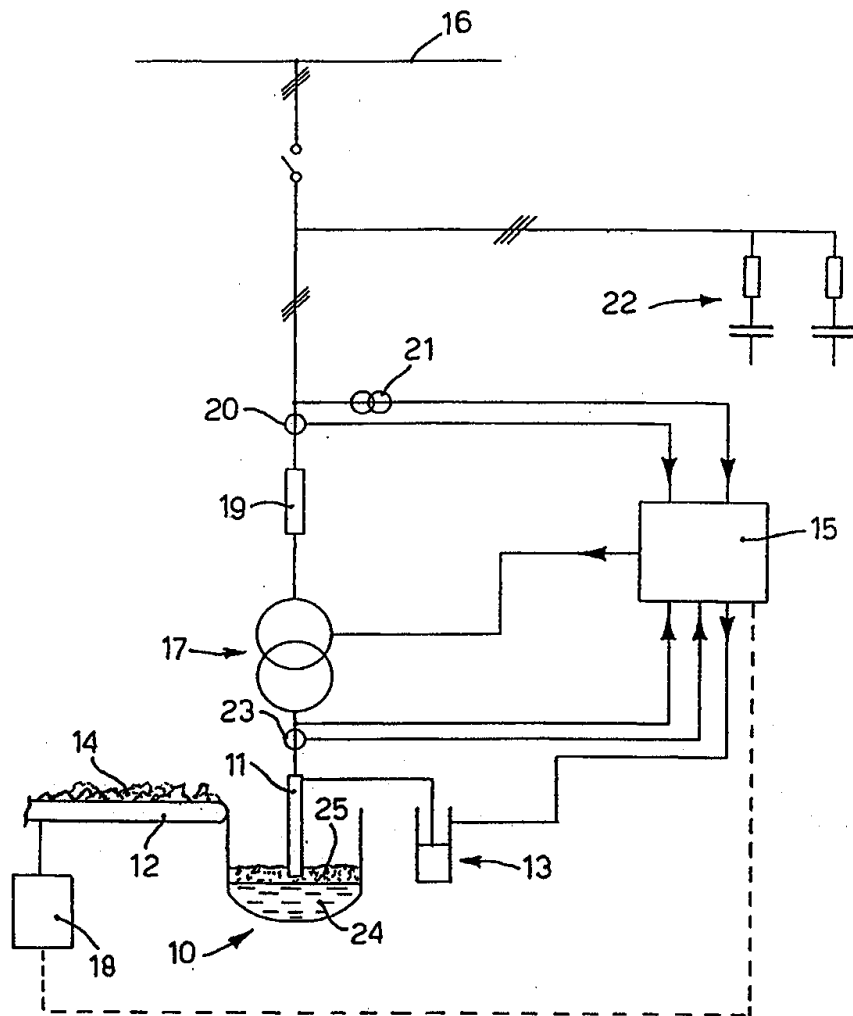


Fig. 1

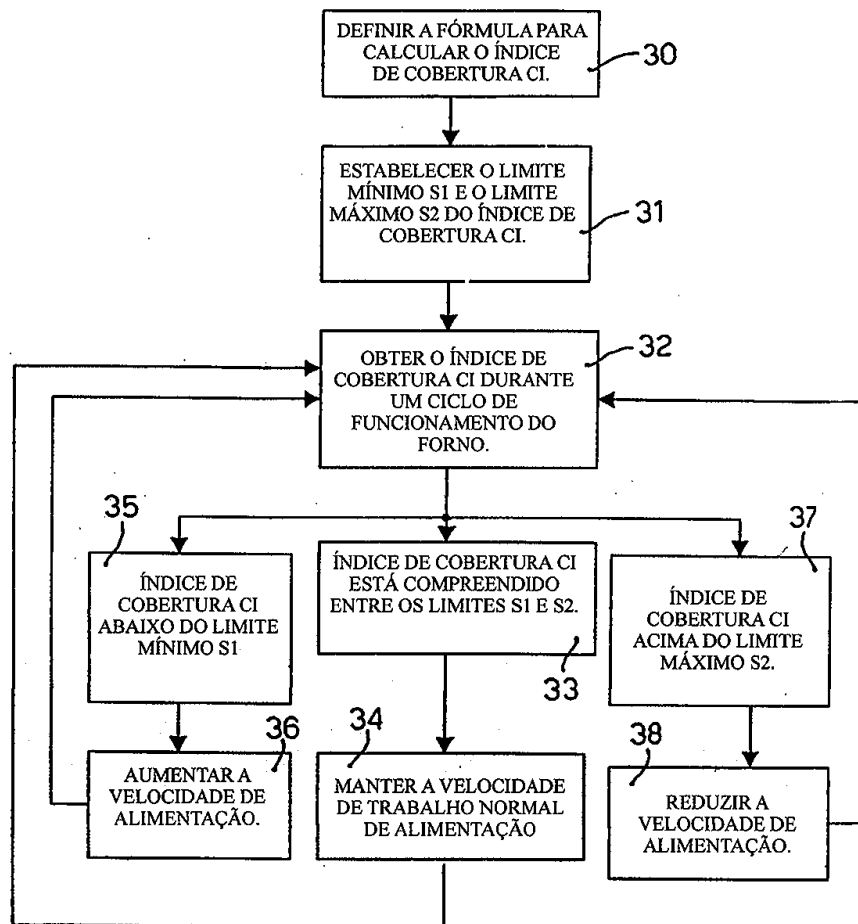


Fig. 2