



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

(11) PI 0206891-5 B1

(22) Data do Depósito: 13/11/2002

(45) Data de Concessão: 05/07/2016



* B R P I 0 2 0 6 8 9 1 B 1 *

(54) Título: PROCESSO AOD PARA PRODUÇÃO DE UMA FUSÃO METÁLICA DE AÇO DE LIGA INOXIDÁVEL OU AÇO FINO DE LIGA

(51) Int.Cl.: C21C 1/00

(30) Prioridade Unionista: 13/11/2001 AT A 1784/2001

(73) Titular(es): VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH & CO.

(72) Inventor(es): NORBERT RAMASEDER, STEFAN DIMITROV, JOHANNES STEINS, YUYOU ZHAI, JOHANNES MUELLER

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO AOD PARA PRODUÇÃO DE UMA FUSÃO METÁLICA DE AÇO DE LIGA INOXIDÁVEL OU AÇO FINO DE LIGA"**.

[001] A invenção refere-se a um processo para produção de uma fusão metálica em uma indústria siderúrgica, particularmente para refinação de uma fusão metálica, preferivelmente para produção de aço, tal como, por exemplo, de aço ou aço fino de liga, inoxidável, processo esse que se baseia em uma técnica de cálculo, que se desenvolve de acordo com um modelo de processo e que controla a indústria siderúrgica.

[002] Para a produção industrial de aço existe há muito tempo uma necessidade por um processo, que possibilite uma condução de processo ótima e também econômica. A invenção refere-se, portanto, particularmente, a um processo para produção de aço por refinação de uma quantidade de ferro bruto fundido, predeterminada, que, além dos elementos usuais, contém elementos de liga, opcionalmente necessários para a produção de diferentes qualidades, tal como, por exemplo, cromo e níquel.

[003] Na descarbonização de uma fusão metálica, tal como uma fusão de ferro bruto com oxigênio, cuida-se para que haja um equilíbrio entre metal, carbono e oxigênio, a uma determinada temperatura e a uma determinada pressão. Esse equilíbrio determina a medida do conteúdo de carbono que pode ser removida da fusão, sem que, simultaneamente, sejam oxidados componentes metálicos, tal como, por exemplo, cromo como também ferro. Nesse processo de refinação, a atividade termodinâmica dentro do banho de fusão metálica, bem como o equilíbrio que se forma entre os elementos contidos no banho de fusão e a atmosfera de gás que se desenvolve podem ser influenciados pela mistura de oxigênio com gás inerte (como gás diluente).

[004] Do documento AT 339 938 B é conhecido um programa pa-

ra a otimização da descarbonização de uma massa de metal fundido, que se baseia no conhecimento da temperatura inicial, composição química inicial da fusão preliminar e do peso, sendo que podem ser obtidos valores teóricos sob condições economicamente favoráveis. Como diluente é escolhido, nesse caso, qualquer gás desejado, que se mantenha inerte na descarbonização. Com o uso das informações iniciais, são calculados com o programa vários coeficientes, que definem as atividades termodinâmicas de cada elemento existente no banho de fusão, como função da composição do banho. Com o uso desses coeficientes, o programa calcula a pressão parcial de monóxido de carbono em equilíbrio com carbono e os diversos elementos a óxidos metálicos. Desvantajoso, nesse caso, é que valores da temperatura, da composição química etc., que se apresentam durante a descarbonização, não são levados em consideração, de modo que valores efetivos, que se alteram continuamente, não podem ter nenhuma influência sobre o produto final.

[005] Na patente EP 0 545 379 B1 é descrito um processo para refinação de aço por controle da descarbonização de um banho de fusão metálica predeterminado, com composição química e temperatura conhecida. O processo apresenta, nesse caso, as seguintes etapas de processo:

- uma primeira rede neural, para analisar dados de entrada e saída, de dados aos quais pertencem a composição, o peso e a temperatura do banho no início de cada período de processo, a relação de gás a ser usada, de oxigênio para gás diluente, durante cada período de processo, e a temperatura final atingida no final de cada período de processo, até que a rede neural esteja em condições de fornecer um valor inicial essencialmente preciso, que representa valores de contagem de oxigênio, que precisam ser insuflados no banho, para fazer com que a temperatura do banho suba para um determinado valor de

temperatura teórico,

- uma segunda rede neural, para analisar dados de entrada e saída, de dados aos quais pertencem a composição, o peso e a temperatura do banho no início de cada período de processo e a temperatura final atingida no final de cada período de processo, até que a rede neural esteja em condições de fornecer um valor inicial essencialmente preciso de valores de contagem de oxigênio, para baixar o nível de carbono de acordo com uma disposição previamente escolhida de relações de oxigênio para gás diluente para o nível teórico previamente escolhido,

- materiais adicionais são levados em consideração em três outras redes neuronais, para calcular o conteúdo de carbono, a temperatura e a composição final do banho, no término da insuflação de oxigênio.

[006] Nesse caso, é desvantajoso que ao longo de todo o tempo de tratamento, não há uma detecção contínua e teste de plausibilidade dos valores de temperatura e análise calculados. A otimização de processos é difícil desse modo, se de todo exequível, especialmente quando também se leva em consideração as relações no agregado de fusão (alteração da temperatura à prova de fogo, alteração da intensidade à prova de fogo, alteração do volume de reação,...).

[007] A invenção de acordo com o documento EP 0 857 222 B1 refere-se a um processo para descarbonização de uma fusão de aço, para produção de aços com alto conteúdo de cromo, no qual a velocidade de descarbonização é medida continuamente e a quantidade de oxigênio a ser insuflada é ajustada na dependência dos valores medidos, sendo que a velocidade de descarbonização é determinada do conteúdo de CO e CO₂ no gás de escapamento e da passagem de gás de escapamento. A medição das composições de gás de escapamento descritas acima, na verdade, é possível, porém relativamente imprecisamente.

sa. A posição da sonda de medição na corrente de gás de escapamento precisa ser posicionada na proximidade da boca do cadinho, para, por um lado, obter a informação do gás de escapamento de modo relativamente rápido e, por outro lado, minimizar/evitar a falsificação da composição do gás de escapamento, por introdução de ar fresco na região da boca do cadinho. Para produção de aços de liga esse processo é menos apropriado, uma vez que não é levada em consideração uma oxidação metálica e que também não pode ser constatada com esse processo.

[008] De acordo com o documento DE 33 11 232 C2, dá-se uma refinação controlada por computador de fusões metálicas, com oxigênio e um gás diluente, sendo que as quantidades de passagem de gás são estabelecidas por cálculo da extensão da oxidação metálica, sob uso de valores calculados.

[009] O processo descrito no documento DE 33 11 232 C2, embora seja apropriado para descarbonização de fusões metálicas, no entanto, devido ao modelo utilizado, esse processo não é apropriado para determinar exatamente o momento em que é atingido o ponto de transição da reação de descarbonização para a oxidação metálica. A consequência é uma perda de cromo mais alta e, desse modo, quantidades adicionalmente necessárias de agentes de redução (ferrossilício, cal), bem como uma durabilidade menor do conversor.

[0010] A prática corrente no processo de produção de aço de AOD (“argon oxygen decarburization” ou descarbonização a argônio e oxigênio) é a seguinte: durante a carga (principalmente na produção de aço inoxidável) são realizadas medições (temperatura, retirada de amostra para análise química).

- No uso de uma sublança, o processo não precisa ser interrompido na medição (indicações de temperatura estão presentes imediatamente depois da imersão da sonda de medição na fusão de aço;

na retirada de amostra, é preciso aguardar os resultados da análise pelo laboratório (aproximadamente 3 - 6 minutos)).

- Se não for usada uma sublança, o processo de AOD precisa ser interrompido para uma medição. No caso de uma medição manual, o valor de temperatura também está presente imediatamente após a imersão da sonda na fusão de aço. Na retirada de uma amostra, também é preciso esperar pelos resultados da análise, tal como descrito acima, por aprox. 3 a 6 minutos.

[0011] A desvantagem desses dois métodos de medição é que as informações sobre a fusão de aço (temperatura, análise química) só se dão pontualmente. No caso da medição manual, ocorre, além disso, em cada medição, uma interrupção do processo (o conversor precisa ser mudado para a medição). Isto determina um aumento do tempo entre corridas, estando associados a isso, um desgaste da resistência a fogo, uma redução da temperatura da fusão de aço (provocada pela mudança do conversor) etc.

[0012] Uma intervenção de correção no caso de temperatura alta ou baixa demais, só pode dar-se depois da medição realizada.

[0013] É tarefa da presente invenção é indicar um processo, particularmente para processos de produção, que convencionalmente são difíceis de ser regulados, tal como, por exemplo, no processo de AOD, com o qual podem ser obtidos um aumento de produção, economia de energia, encurtamento do tempo de entre corridas (tempo de ttt), otimização de aditivos e uma durabilidade mais alta dos materiais refratários, que são usados no processo de produção. Particularmente, a invenção também deve ser usada na produção de aços de liga, tal como, por exemplo, aços inoxidáveis com liga de Cr-Nr.

[0014] Essa tarefa é solucionada de acordo com a invenção pelas seguintes etapas de processo:

- com o modelo de processo é determinado, com dados de

um valor de processo efetivo, tal como a temperatura da fusão e/ou a composição química da fusão, levantados em um momento determinado (t_i), por simulação com técnica de cálculo, imediatamente no momento do levantamento do valor de processo efetivo, um valor de processo para o momento posterior ($t_i + dt$), preferivelmente, um valor de processo final, e

- no caso de desvios do valor de processo simulado de um valor teórico desejado, são calculados por meio do modelo de processo, com técnica de cálculo, medidas corretivas para alteração do valor de processo efetivo e o valor de processo efetivo é alterado de modo correspondente,

- após o que, em um momento posterior ($t_i + dt$), o processo é repetido com outros dados levantados do valor de processo efetivo.

[0015] De acordo com a invenção, desse modo, em um determinado momento é realizada uma medição na fusão, pelo menos da temperatura ou pelo menos da composição química, após o que, por meio de um modelo de processo, é calculado com o valor medido um valor para um momento posterior (preferivelmente, no momento final), e, no caso de um desvio do valor calculado desse modo do valor de medição de um valor predeterminado, desejado, é tomada uma medida corretiva para o valor de processo, o que, naturalmente, pode ser realizado imediatamente ou também em um momento posterior. Se, por exemplo, constatar-se que a temperatura no final de uma carga está alta demais, pode-se intervir de modo corretivo pela adição de sucata de refrigeração, o que tanto pode dar-se imediatamente, no momento da medição, ou caso seja mais vantajoso para o processo, por razões metalúrgicas, também um pouco depois.

[0016] A realização do processo de acordo com a invenção pode ser concretizada de modo tanto melhor quanto mais rapidamente estiverem disponíveis os dados de medição, depois da realização da me-

dição. Tanto para a medição de temperatura como também para a análise química, são conhecidos processos de medição (WO 97/22859 e WO 02/48661), com os quais os dados medidos estão disponíveis praticamente imediatamente depois da medição. Desse modo, os valores de temperatura da fusão estão disponíveis depois de milissegundo e um valor de temperatura calculado da média de várias medições, depois de aproximadamente um segundo. Valores da análise química estão disponíveis, por exemplo, depois de 0,05 a 0,1 s e um valor calculado através da média de aproximadamente 100 medições, depois de 5 a 10 s.

[0017] Convenientemente, por meio do modelo de processo, os dados levantados em um determinado momento (t_i) de um valor de processo efetivo são examinados com relação à plausibilidade e exclusivamente dados plausíveis são postos à disposição para simulação do valor de processo e os dados não plausíveis são rejeitados, sendo que neste último caso, a simulação é prosseguida com base nos dados plausíveis determinados por último. Desse modo, é possível concluir o processo, apesar de dados errôneos, por exemplo, causados por erros de medição etc., sem retardamento, com obtenção da meta do processo.

[0018] Devido a interferências, podem ocorrer erros de medição. Essas interferências são, por exemplo, respingos de escória em sensores de medição ou um fechamento de uma abertura no recipiente metalúrgico, pela qual a fusão é observada por meio do sensor de medição. Neste último caso, continuaria a ser medido continuamente um estado passado. Esses valores de medição permanentes são admissíveis por algum tempo, tempo esse que depende do curso do processo, do valor de medição ou do curso do processo já realizado. Quando o valor de medição permanente for identificado como inadmissível, portanto, como não plausível, pode-se partir diretamente para a solução

do problema, por exemplo, abrir por queima a abertura fechada, pela qual a fusão deve ser observada, opcionalmente, limpar uma janela de inspeção etc.

[0019] Por um exame de plausibilidade, podem ser eliminados valores de medição, que se encontram fora de uma largura de banda predeterminada de um valor predeterminado em um momento determinado de acordo com um curso ideal do processo. Essa largura de banda desvia-se do valor ideal predeterminado na ordem de tamanho de $\pm 10\%$, preferivelmente, $\pm 5\%$. A determinação do curso de processo ideal ou de um valor ideal em um momento determinado se dá com base em valores de experiência ou em valores calculados. Se um novo valor de medição situar-se dentro da largura de banda, isto é, se ele for aceito como plausível, presume-se desse último valor novamente um curso ideal do processo, com base em valores de experiência ou valores calculados e a simulação com base nesse novo curso de processo é prosseguida, de modo, que, finalmente, são aceitos valores de medição que são identificados como plausíveis, situados fora da largura de banda de um dos cursos ideais do processo precedentes e abandonados nesse meio-tempo. Desse modo, o sistema é de aprendizagem automática.

[0020] Vantajosamente, para cada valor de processo variável é utilizado um módulo de modelo de processo próprio. Por módulo de modelo de processo é entendida uma parte do modelo de processo, fechada em si mesma, que é responsável por uma determinada operação de função, tal como, por exemplo, para a descarbonização, a desulfuração, o cálculo prévio da temperatura e a liga com elementos de liga. Porém, os módulos de modelo de processo, na medida em que as operações de função individuais se influenciam reciprocamente, estão ligadas entre si, para levar em consideração essas influências.

[0021] O modelo de processo em si ou pelo menos um módulo do

modelo de processo está dotado, de acordo com uma forma de realização preferida, de otimização automática inteligente. A tarefa de acordo com a invenção é solucionada, nesse caso, por um sistema formado de modo inteligente, que, com base em um conhecimento prévio introduzido, automaticamente emite instruções apropriadas à situação, para uma condução de processo segura e tão ótima quanto possível. As instruções emitidas automaticamente são, nesse caso, continuamente comparadas com dados efetivos e examinadas com relação à plausibilidade.

[0022] O conhecimento prévio introduzido (conhecimento do processo) é, nesse caso, continuamente aperfeiçoado automaticamente, por conhecimento adquirido no processo durante a produção. Esse conhecimento de processo auto gerador é assumido por uma memória de dados como conhecimento prévio novo, isto é, ocorre uma base constantemente aperfeiçoada para uma adaptação ou otimização adicional do processo.

[0023] Para a realização ótima do processo, a diferença de tempo entre dois levantamentos sucessivos de um valor de processo efetivo é mantida muito pequena, pelo menos ao longo de uma parte da duração do processo, preferivelmente, a diferença de tempo é infinitesimal, isto é, o valor de processo efetivo é levantado continuamente.

[0024] Um modelo de processo particularmente simples, com o qual podem ser obtidos resultados finais muito bons, está caracterizado pelo fato de que como valores de processo efetivos são levantadas a composição química do gás de escapamento e a composição química de material carregado, bem como, opcionalmente, a composição química da escória.

[0025] Convenientemente, o processo é realizado de tal modo que de um modo de operação existente (adquirido, por exemplo, com base em experiência de muitos anos; know-how) para diferentes qualidades,

uma otimização é realizada de tal modo que alterações favoráveis para o processo (tal como redução de O₂, aperfeiçoar a evolução de temperatura do processo para valores mais baixos; redução/otimização de quantidades de gás; encurtamento dos tempos de processo;...) são assumidas e armazenadas para a respectiva qualidade. Subsequentemente, as etapas de otimização do processo são fixadas de modo cada vez mais estreito. Esse processo é concretizado, entre outros, com ajuda de redes neuronais.

[0026] Vantajosamente, são levantadas como valores de processo adicionalmente a composição química do gás de escapamento e a composição química de material carregado, bem como, opcionalmente, a composição química da escória.

[0027] Para fazer com que valores finais de processo, que representam valores característicos de qualidade para a fusão metálica acabada, coincidam o mais possível com os valores ideais predeterminados, a serem visados, vantajosamente variáveis de processo reguláveis, tal como corrente, pressão, temperatura e composição e/ou quantidades de gases, composições e velocidades de carga de aditivos são otimizados no modelo de processo.

[0028] O processo de acordo com a invenção baseia-se em um conhecimento da situação efetiva em determinados momentos durante o processo, sendo que, tal como descrito acima, o conhecimento permanente da situação efetiva, para pelo menos as etapas de processo mais importantes, produz um processo ótimo de acordo com a invenção. Com base no conhecimento do estado efetivo, portanto, dos valores de processo efetivos, os parâmetros de processo, tal como passagem de oxigênio, passagem de gás inerte, momento de adição, a composição química e quantidade dos aditivos, podem ser otimizados. O conhecimento da situação efetiva permite que os alvos sejam abordados com exatidão, por exemplo, só com o conhecimento da composi-

ção química e da temperatura da fusão metálica, os materiais e quantidades de gás deficientes e ainda a serem adicionados podem ser introduzidos no momento certo, de modo preciso em quantidade e análise.

[0029] A operação de fundição para produção de uma fusão de aço, especialmente para o processo de AOD, iria desenvolver-se do seguinte modo:

[0030] Com o modelo, é reproduzido de acordo com a especificação do respectivo produto de qualidade, o comportamento de processo estático para um valor de processo $y = f$ (valores reguláveis, valores de processo não influenciáveis). O valor final de processo y^* calculado dos mesmos é um parâmetro de qualidade típico do produto a ser produzido e desvia-se em maior ou menor grau do valor final y , que se apresenta efetivamente,.

[0031] Com uma adaptação de modelo, o modelo de processo é aperfeiçoado, para que o comportamento de modelo coincida da melhor forma possível com o comportamento de processo efetivo.

[0032] Por meio de um processo de otimização realizado com um otimizador de processo são encontrados valores de regulação, que levam a um bom comportamento de processo. Por exemplo, no caso de temperatura alta demais da fusão de aço, pode ser reduzida a alimentação de oxigênio ou ser alterado o momento de adição para sucata de refrigeração ou elementos de liga.

[0033] Como o modelo de processo baseia até em determinado percentual sobre conhecimento incerto, o modelo de processo é adaptado e alterado por meio de dados de processo obtidos. Essa adaptação se dá com a adaptação de modelo de processo, que se baseia em dados de estados de processo passados. O controle dos resultados do processo se dá por consultas de plausibilidade.

[0034] A estrutura, em princípio, do processo de acordo com a in-

venção está representada simplificada nas Figuras 1a e 1b e na Figura 2, mais precisamente, respectivamente, em forma de diagramas de bloco. Processos referentes à descarbonização (processo de DeC), redução, adição de materiais de liga e refrigeração estão representados em forma de diagramas de bloco nas Figuras. 3, 4, 5 e 6. As Figuras 7 e 8 mostram a evolução da temperatura e valores de análise química sobre o curso do processo do exemplo abaixo.

[0035] Como funções do modelo de processo estão previstas as seguintes funções:

equações metalúrgicas

algoritmos, parâmetros

determinação de pontos de intersecção de modelo internos

estrutura, curso interno.

[0036] Antes de iniciar o modelo de processo, é necessário o conhecimento do estado da fusão preliminar e da escória.

[0037] A análise inicial, análise dos aditivos e das quantidades de gás introduzidas são determináveis precisamente sem dificuldades e estão à disposição a qualquer momento. O conhecimento da temperatura da fusão de aço, a composição do gás de escapamento e a análise da fusão de aço baseia-se em detecções momentâneas, concretizadas por um sistema de medição de temperatura e de análise para a fusão metálica, que trabalha continuamente, tal como se dá, por exemplo, de acordo com os documentos WO 97/22859 ou WO 02/48661.

[0038] Só esse conhecimento permite a otimização e complementação de modelos existentes. O modelo de AOD, concebido exemplificadamente de acordo com a invenção, leva isso em conta e foi formado de tal modo que, depois do conhecimento do estado efetivo, os parâmetros do modelo de processo são adaptados/alterados de tal modo que os valores teóricos visados são efetivamente atingidos. Com esse procedimento é conseguido que o consumo de FF seja reduzido, as

quantidades de passagem sejam otimizadas e, desse modo, reduzidas, e o tempo de ttt é encurtado. Além disso, é otimizada a quantidade de aditivos, por uma estratégia de carga dirigida.

Descrição de modelo detalhada:

[0039] De acordo com um conversor de AOD 1 representado na Figuras 1a e 1b, oxigênio e um gás diluente (gás inerte) são introduzidos tanto através de uma lança superior 2 como também através de bocais 3, que estão previstos abaixo do nível de banho da fusão de aço 4 no conversor 1, no interior do mesmo. Tal como é usual em conversores de usinas de aço, o conversor 1 está disposto de modo basculável, o que não está representado mais detalhadamente. Além disso, o conversor está dotado de um dispositivo 6 para medição de temperatura da fusão de aço 7, bem como de um dispositivo 8 para determinação da análise química da fusão de aço 7. Adicionalmente, podem ser detectadas com os dispositivos de medição 9 e 10 as quantidades de passagem dos gases introduzidos através da lança superior 2 e dose dos bocais 3. O gás de escapamento que sai do conversor é igualmente analisado por meio de um dispositivo 11 com relação a sua composição química, sendo que esse dispositivo de análise 11 está previsto na chaminé de gás de escapamento, que não está representado mais detalhadamente.

[0040] Antes do início do processo, são levantados da fusão de aço 7 carregada no conversor 1 o peso, análise química e temperatura. Também da escória 12 disposta sobre a fusão preliminar são determinados o peso, composição química e temperatura. Dos aditivos a serem introduzidos de modo planejado, são igualmente conhecidos o peso, composição química e temperatura.

[0041] Dados sobre qualidades de aço e estado de sangria compreendem todos os valores limite e valores alvo dos elementos de aço no momento de sangria, bem como também a temperatura de sangria.

[0042] Para o cálculo do modelo são levantados, vantajosamente, os seguintes dados abaixo como valores de processo efetivos:

1. Bocais 3: quantidades de passagem para Ar, N₂, O₂, ar, CH₄ ou C_nH_m (Nm³/h) = f (t)

2. Lança superior 2: quantidades de passagem para Ar, N₂, O₂ = f (t)

3. Posição da lança superior 2 = f (t)

4. Aditivos de materiais: espécie, composição química, velocidade, peso, temperatura = f (t)

5. Análise química da fusão de aço 7 = função (t)

6. Temperatura da fusão de aço 7 = função (t)

7. Posição do conversor (grau de inclinação) = f (t)

8. Gás de escapamento: composição química, temperatura, quantidade = f (t)

[0043] A determinação da temperatura e da concentração de um elemento na fusão de aço 7 se dá por meio das definições abaixo:

[0044] Concentração (efetiva, elemento x na fusão de aço) [%; t] = concentração (efetiva, elemento x na fusão de aço) [%; t-Dt] + f (quantidade de gás (Nl/min), espécie de gás, peso de carga fusão de aço (t₀), peso dos aditivos, rendimento, temperatura; t-Dt). Concentração (efetiva, elemento x no aditivo) [%]

Nesse caso significam:

f(...,t), g(...,t).....funções dependentes de tempo

t.....tempo

teórico.....valor teórico

efetivo.....valor efetivo

aditivos.....elementos de liga, sucata de refrigeração, formadores de escória

1. Concentração de um elemento x na fusão de aço:

soma da concentração (teórico, elemento x) = 100%

concentração (elemento x) (%; t) = f (quantidade de gás (NI/min), espécie de gás, peso de carga

fusão de aço (t_0), peso dos aditivos, rendimento, temperatura; t-Dt).

Concentração (efetiva, elemento x aditivo) [%]

2. Determinação da temperatura da fusão de aço

temperatura teórica (t) - temperatura efetiva (t-Dt) + g (oxidação, quantidade de gás (NI/min), perdas de calor, perdas de gás de escapamento; t-Dt)

t-Dt....a medição está presente no momento t-Dt, sendo que Dt é a etapa de tempo entre duas etapas de cálculo. Quanto menor for escolhido Dt, tanto mais precisamente pode ser obtida a curva teórica.

[0045] Para intervalos de tempo curtos, é necessário que os dados de medição descrevam o estado atual na fusão de aço.

[0046] Durante o cálculo de modelo, os valores dos elementos (%) e da temperatura (°C) para aço, escória, gás de escape (componentes, valor) e o balanço de calor no momento i são calculados ciclicamente, depois do início do modelo.

[0047] É feito o balanço da fase gasosa, do aço e da escória.

[0048] Nesse caso, para o balanço é estabelecida uma quantidade (kg ou mole) para cada elemento/cada material em cada período.

[0049] A equação de balanço para o elemento x é a seguinte:

$$\text{peso } x^{i+1} = \text{peso } x^i + \sum \text{aditivo}_k * x_k * \text{rendimento}_k - \text{peso } X_{\text{oxidação}} - \text{peso } X_{\text{vap}}$$

x_kfração de x no aditivo k

rendimento_krendimento do aditivo k

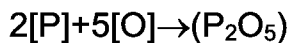
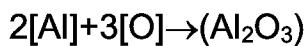
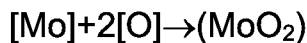
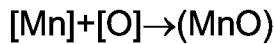
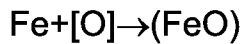
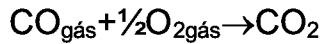
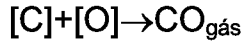
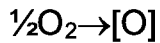
$\text{peso } X_{\text{oxidação}}$peso do material x, que oxida no período Dt

$\text{peso } X_{\text{vap}}$perda por evaporação no período Dt

[0050] Os produtos de oxidação e redução devem ser levados em consideração na fase de escória e fase gasosa.

[0051] Reações importantes (as mesmas estão depositadas em

um banco de dados) são:



[0052] O diagrama de bloco da figura 1b tem a seguinte descrição:

A1b – Modelo de processo (dinâmico), inclusive modelo de correção.

Especificação: Qualidade; Valores característicos dos materiais de carga: análise, quantidade, temperatura, momento; Modelo de operação de lança e bocais.

B1b – Aditivos: momento de adição, qualidade.

C1b – Quantidades de passagem pela lança: oxigênio, gás, inerte, água. Posição da lança.

D1b – Quantidades de passagem pelos bocais abaixo do banho: oxigênio, gás inerte.

E1b – Q(t): oxigênio; posição da lança

F1b – Conversor

G1b – gás de escapamento; temperatura; análise; quantidades de passagem; lança e bocais.

[0053] O diagrama de bloco da figura 2 tem a seguinte descrição:

A2 – Etapa de processo precedente, etapa_k (t_{final, etapa k})

B2 - Valor de processo medido: (peso (t₀); análise (t_{final, etapa k}), T(t_{final, etapa k}))

C2 – Valores de processo calculados: peso (metal, escória), análise

($t_{\text{final, etapa } k}$), volume de gás de descarga ($t_{\text{final, etapa } k}$)

D2 – Consulta de plausibilidade: valores de processo medidos e calculados

E2 – Fusão efetiva (metal, escória), $m=0$

F2 – Próxima etapa de processo etapa_{k+1} ; Descarbonação etapa_{k+1} ; Redução etapa_{k+1} ; Dessulfuração etapa_{k+1} ; Liga etapa_{k+1}

G2 – Duração de processo prevista etapa_{k+1} ; Fusão teórica etapa_{k+1} (T, análise, peso)

H2 – Banco de dados de modelo: dados termoquímicos; valores específicos de carga; parâmetros de modelo; parâmetros de indústria (superfície do banho, material ff, prática de fusão (perfis de insuflação, perfis de adição)

I2 – Modelo de reação metalúrgico (termodinâmica e cinética); reações químicas no sistema no período dt "aditivos de metal-escória-aditivos degás-resistente a fogo" → consulta de plausibilidade, análise_{medição} ($t_{\text{etapa } k+1} + m \cdot dt$), análise e cálculo ($t_{\text{etapa } k+1} + m \cdot dt$) → cálculo de correção com relação a escória e gás de descarga → ligas necessárias (balanço de metal) → formadores de escória necessários para escória de processo ideal (balanço de escória)

J2 – Modelo térmico; alimentação de energia ou alimentação de agente de refrigeração necessária no período dt → efeito térmico, materiais de processo e reações, instalações de perdas operacionais → consulta de plausibilidade $T_{\text{medição}} (t_{\text{etapa } k+1} + m \cdot dt)$ e $T_{\text{cálculo}} (t_{\text{etapa } k+1} + m \cdot dt)$ → necessidade de aquecimento ou refrigeração

K2 – Critério de convergência; balanço de massa e balanço de calor

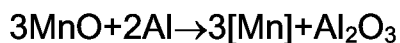
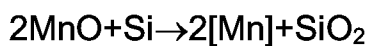
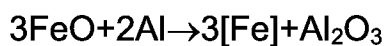
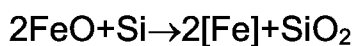
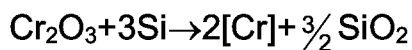
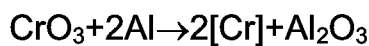
L2 – Adição: elementos de liga, fornecedores de escória, energia, agente de refrigeração; Saída: quantidades de passagem, valores de regulagem

M2 – Próxima etapa e tratamento

Legendas da Figura 2: etapa k = etapa de processo k , onde $k= 1, 2, 3, \dots$;

m = multiplicador, que após cada período dt aumenta em 1; dt = etapa de tempo; $T_{\text{medição}}$ = temperatura medida continuamente; $\text{análise}_{\text{medição}}$ = análise medida continuamente; $t_{\text{final, etapa k}}$ = tempo final da etapa k.

[0054] O curso do processo de interação e cálculo está representado nas Figuras 3 e 4 por meio de um plano lógico, sendo que Figura 3 para o processo de descarbonização e Figura 4 para o processo de redução são decisivos. Esses processos têm por base as seguintes formas de cálculo.



Cálculo de liga e refrigeração

1. Materiais de liga

[0055] O cálculo de materiais de liga visa, substancialmente, duas metas:

- a) regulagem da análise
- b) obtenção do peso de sangria

[0056] Partindo do estado da fusão preliminar (análise química da fusão de aço, peso, temperatura), são calculados todos os aditivos necessários à análise de sangria dirigida.

[0057] Para a escolha dos materiais de liga, para o cálculo preliminar, é decidido de acordo com os seguintes critérios:

- otimização de custos, isto é, minimização de custos para cada elemento de liga
- adição de C > 2% só são permitidos nas etapas 1, 2a, 2b

- Adição de Cr: na etapa 1 e 2a (50%), 2b (50%), redução (regulagem fina)

- adição de Ni: na etapa 2c (90%), adição restante na etapa 3 (30%), etapa 4 (20%), redução (20%)

- adição de MN: na etapa 2b (100% de HCMn) ou na etapa 2b (50%) e restante, com SiMn, em fases de redução (quando disponíveis)

- para formação de massa, é calculada uma adição neutra adicional, com análise de sangria.

[0058] Um deslocamento do momento da adição de materiais de liga entre as diversas etapas é realizada, para manter a temperatura desejada.

[0059] O diagrama de bloco da figura 3 tem a seguinte descrição:

A3 – Condições iniciais: peso de aço, peso da escória, análise química, temperatura no momento t_i

B3 – Parâmetros de modelo de dados do banco de dados

C3 – Todos os valores medidos

D3 – $T = T_i$

E3 – Etapa 1: distribuição de oxigênio para combustão complementar; etapa 2: distribuição de oxigênio para oxidação de Cr, Mn, Fe, C; etapa 3: balanço de massa para cada elemento; etapa 4: controle de nitrogênio (determinação do valor de nitrogênio); etapa 5: balanço de energia para determinação de temperatura T_{i+1}

F3 – $T = T_{i+1}$

G3 – Consulta: $\text{abs}[(T_{i+1}-T)/T] < 0,001$

H3 – Dados de saída: peso do aço; peso da escória, análise química, temperatura no momento t_{i+1}

I3 – Próxima etapa de tempo

Legenda da Figura 3: t = tempo; T = temperatura; $i, i+1$ = etapas de

tempo

[0060] O diagrama de bloco da figura 4 tem a seguinte descrição:

A4 – Condições iniciais; peso de aço, peso da escória, análise química, temperatura no momento t_i

B4 – Parâmetros de modelo de dados do banco de dados

C4 – Todos os valores medidos

D4 – $T=T_i$

E4 – Etapa 1: distribuição de oxigênio para combustão complementar; etapa 2: processo de redução: distribuição de Al/Si para Cr_2O_3 , MnO, FeO, com velocidade de redução constante com consultas Linit (Si, Al>0); etapa 3: balanço de massa para cada elemento; etapa 4: controle de nitrogênio (determinação do valor de nitrogênio); etapa 5: determinação do valor de S; etapa 6: balanço de energia para determinação de temperatura T_{i+1}

F4 – Dados de saída: peso de aço, peso de escória, análise química, temperatura no t_{i+1}

G4 – Próxima etapa de tempo

Legenda da Figura 4: t = tempo; T = temperatura; i , $i+ 1$ = etapas de tempo

[0061] O plano lógico para cálculo de liga é visível da Figura 5.

2. Refrigeração

[0062] Para a refrigeração são usados, predominantemente, FeNi ou Ni, cal e/ou sucata.

Consumo de cal/dolomita

[0063] O consumo total de cal e dolomita orienta-se de acordo com a introdução de Si e introdução de SiO_2 durante todo o processo:

$$SiO_2(kg/t) = \sum SiO_{2j}(\%) + j_{adição} + 2,14 * (\sum Si\% * j_{adição} + Si_{red})$$

- [0064] O diagrama de bloco da figura 5 tem a seguinte descrição:
- A5 - Condições iniciais: peso de aço, peso da escória, análise química, temperatura
- B5 - Parâmetros de modelo de dados do banco de dados
- C5 – Introdução pelo operador (aditivos)
- D5 – Peso do aço = peso da fusão preliminar
- E5 – Massa básica – peso do aço $\cdot (100\% - \text{Si}\%_{\text{aço}} - \text{C}\%_{\text{aço}}) + \sum \text{aditivos}_x \cdot (100\% - \text{Si}_x\% - \text{C}_x\%)$; Necessidade de elemento y para tap: $y_{\text{necessidade}} = \text{massa básica} \cdot y_{\text{tap}}\% / \text{Yield}_y$, onde $y_{\text{tap}}\%$ = análise de tap (banco de dados), Yield_y = rendimento do conversor AOD, $y_{\text{aditivos}} = y_{\text{necessidade}} - \text{peso do aço} \cdot y\% - \sum \text{aditivos}_x \cdot y_x\%$, $M_{y\text{-aditivos}} = y_{\text{aditivos}} / (y\% \text{ em } M)$, onde $y\% \text{ em } M_y$ = do banco de dados/dados de material
- F5 - y
- G5 – Peso do aço = massa básica
- H5 – Consulta: $\text{abs}[(\text{peso do aço} - \text{massa básica}) / \text{massa básica}]$
- I5 – Dados de saída: $M_{y\text{-aditivos}}$
- J5 – Para outros elementos tal como Ni, Mn
- K5 – Dados de saída: todos os aditivos
- L5 – Massa básica = peso desejado de sangria
- K – Massa básica < peso de sangria $\cdot 95\%$

[0065] O plano lógico para o cálculo do consumo de cal/dolomita está reproduzido na Figura 6.

- [0066] O diagrama de bloco da figura 6 tem a seguinte descrição:
- A6 – Condições iniciais: fusão preliminar: peso do aço, análise química, aditivos calculados
- B6 – Parâmetros de modelo, dados do banco de dados
- C6 – Introdução pelo operador (aditivos)
- D6 – $\text{SiO}_2(\text{kg/t}) = \sum \text{SiO}_2\% \cdot y_{\text{aditivos}} + 2,14 \cdot (\sum \text{SiO}_2\% \cdot y_{\text{aditivos}} + \text{Si}_{\text{red}})$;

$$\text{CaO(kg/t)} = \sum \text{CaO}_y\% * y_{\text{aditivos}};$$

$$\text{MgO(kg/t)} = \sum \text{MgO}_y\% * y_{\text{aditivos}};$$

$$\text{Escória(kg/t)} = (\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO}) * 1,05$$

Necessidade de dolomita = alvo_Mg% * escória - MgO(kg/t) / MgO% de dolomita, onde alvo_Mg% é o Mg desejado na escória;

Necessidade de cal = (B * SiO₂ - CaO(kg/t) - necessidade de dolomita * CaO%_dolomita) / CaO% de cal

E6 – Dados de saída: Aditivos cal, dolomita;

$$\text{escória}_{x+1} = (\text{SiO}_2(\text{kg/t}) + \text{CaO}(\text{kg/t}) + \text{MgO}(\text{kg/t})) * 1,05$$

F6 – Novo cálculo com novos aditivos cal, dolomita

$$\text{G6} - \text{abs}((\text{escória}_{x+1} - \text{escória}) / \text{escória}) < 0,001$$

[0067] Preferivelmente, são usadas as seguintes funções de modelo para o modelo de processo:

- + cálculo do nível de banho
- + modelo de carga
- + cálculo de modelo térmico
- + cálculo de análise
- + modelo de nitrogênio
- + modelo de DeC
- + modelo de DeC (regulagem fina sangria)
- + modelo de redução
- + modelo de DeS
- + modelo de aditivo neutro
- + modelo de liga
- + modelo de sangria
- + modelo de temperatura
- + função de modelo de controle de T
- + modelo de resopro

[0068] Os resultados do cálculo de modelo são comparados conti-

nuamente com os valores efetivos da temperatura da fusão de aço, temperatura de escória, análise da fusão de aço e da medição de gás de escapamento.

Exemplo:

[0069] Por meio da sequência de processo abaixo, está representada a produção da qualidade AISI 304, partindo do aço bruto carregado até o produto acabado. As Figuras. 7 (Perfil de temperatura de AOD AISI 304) e 8 (Relação de elementos = $f(t)$) mostram o curso da alteração de temperatura bem como o curso da alteração da análise química (para C, Mn, Cr, Ni) nessa sequência de processo.

Modelo de processo de AOD, em combinação com uma medição de temperatura e análise contínua

Sequência de processo para AISI 304:

1. Carga (sem adição de formadores de escória)
2. Medição de temperatura (anualmente ou com sistema de medição de T contínua)
3. Etapa de insuflação com lança superior
4. Durante toda a 1ª etapa de insuflação, medição contínua da temperatura e da análise do banho de aço
5. 2ª etapa de insuflação até 4ª etapa de insuflação, sem lança superior
6. Durante toda a 2ª etapa de insuflação até a 4ª etapa de insuflação, medição contínua da temperatura e da análise de banho de aço
7. 5ª etapa de insuflação
8. Durante toda a 5ª etapa de insuflação, medição contínua da temperatura e da análise do banho de aço
9. Fase de redução e dessulfuração
10. Durante toda a fase de redução e dessulfuração, medição contínua da temperatura e da análise do banho de aço

11. Ao ser atingida a análise alvo e temperatura alvo, sangria com eventual correção fina de Si por adição de agente de liga no caldeiro durante a sangria

Tabela 1: Esquema de insuflação AISI 304:

	Lança de O ₂ [Nm ³ /min]	Bocais de O ₂ [Nm ³ /min]	Lança de N ₂ [Nm ³ /min]	Lança de Ar [Nm ³ /min]	Conteúdo alvo de C [%]	Temperatura alvo [°C]
Etapa 1	100	30	15	-	0,6	1710
Etapa 2	-	60	20	-	0,4	1740
Etapa 3	-	45	45	-	0,2	1760
Etapa 4	-	20	60	-	0,08	1750
Etapa 5	-	12	48	-	0,04	1750
Redução e dessulfuração	-	-	-	45	-	1665
Eficiência da descarbonização (CRE): CRE etapa 1: em média, 78% CRE total: em média, 68%						

1. Carga (etapa 1):

Peso da carga: aço 86,5 t
 escória 0,6 t

Análise

C	1,8
Si	0,14
Mn	0,59
P	0,023
S	0,024

Cr	19,03
Ni	7,14

Temperatura no momento t=0 1538°C

Consumo dos meios: veja Tabela 1

Adição: dolomita 1500 kg

cal 2000 kg

FeNi 1500 kg

Temperatura depois da etapa 1: 1709°C

Tempo de tratamento na etapa 1: 11,15 minutos

2. Etapa da descarbonização 2 (etapa 2)

Análise após etapa 1

C	0,507
Si	0,0
Mn	0,49
P	0,023
S	0,022
Cr	18,39
Ni	7,91

Consumo dos meios: veja Tabela 1

Adição: cal 1000 kg

FeNi 1000 kg

Temperatura depois da etapa 2: 1743°C

Tempo de tratamento na etapa 2: 4,83 minutos

3. Etapa da descarbonização 3 (etapa 3)

Análise após etapa 2

C	0,347
Si	0

Mn	0,475
P	0,023
S	0,022
Cr	17,77
Ni	8,34

Consumo dos meios: veja Tabela 1

Adição: cal 1500 kg

Temperatura depois da etapa 3: 1760°C

Tempo de tratamento na etapa 3: 5,66 minutos

4. Etapa da descarbonização 4 (etapa 4)

Análise após etapa 3

C	0,199
Si	0
Mn	0,457
P	0,023
S	0,021
Cr	17,426
Ni	8,395

Consumo dos meios: veja Tabela 1

Adição: cal 480 kg

aparas 1000 kg

Temperatura depois da etapa 4: 1749°C

Tempo de tratamento na etapa 4: 7,92 minutos

5. Etapa da descarbonização 5 (etapa 5)

Análise após etapa 4

C	0,119
Si	0
Mn	0,462
P	0,0238

S	0,0209
Cr	17,197
Ni	8,431

Consumo dos meios: veja Tabela 1

Adição:

Temperatura depois da etapa 5: 1752°C

Tempo de tratamento na etapa 5: 16,08 minutos

6. Etapa de redução e descarbonização

Análise após etapa 5

C	0,0397
Si	0
Mn	0,453
P	0,024
S	0,0208
Cr	16,853
Ni	8,479

Consumo de meios: veja Tabela 1

Adição: CaF₂ 710 kg

SiMn 900 kg

FeSi 1602 kg

Nimet 90 kg

agente de refrigeração ss 500 kg

Temperatura depois da fase de redução e descarbonização: 1660°C

7. Sangria

Análise

C	0,0558
Si	0,5933
Mn	1,2516
P	0,0251

S	0,0003
Cr	18,485
Ni	8,0788

Temperatura de sangria: 1660°C

Peso de sangria: 90,5 t

Escória: 9,478 t

[0070] Os traçados das curvas dos diagramas representados nas Figuras. 7 e 8 deixam ver que existe uma coincidência praticamente total com as curvas teóricas. Isto significa que a sequência de processo efetiva acompanha a sequência de processo ideal predeterminada e os valores alvo, com desvios só muito pequenos, que - quando existentes - só podem ter sido causados por imprecisões de medição. Isto é possibilitado pela intervenção imediata no processo, prevista de acordo com a invenção, se, devido aos resultados de medição e da simulação baseada nos mesmos, isto é, o cálculo prévio dos resultados a serem esperados, forem esperados desvios dos valores alvo.

[0071] Complementarmente, acresce o efeito de aprendizagem para esse modelo dinâmico, com base em sequências de processo já realizadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo AOD para produção de uma fusão metálica de aço inoxidável ou aço fino de liga, processo esse que se desenvolve de acordo com um modelo de processo e que se baseia na técnica de cálculo que controla a unidade siderúrgica, sendo que o modelo de processo descreve o comportamento para pelo menos um parâmetro de processo variável entre um valor de processo efetivo, que é a temperatura da fusão metálica e/ou a composição química da fusão metálica, um valor de regulagem e um valor final de processo, caracterizado pelo fato de que compreende as seguintes etapas:

- com o modelo de processo é determinado, com dados de um valor de processo efetivo levantados em um momento determinado (t_i), por simulação com técnica de cálculo, imediatamente no momento do levantamento do valor de processo efetivo, um valor de processo para um momento posterior ($t_i + dt$),

- no caso de desvios do valor de processo simulado de um valor teórico desejado, são calculadas por meio do modelo de processo, com técnica de cálculo, medidas corretivas para alteração do valor de processo efetivo e o valor de processo efetivo é alterado de modo correspondente,

- após o que, em um momento posterior ($t_i + dt$), o processo é repetido com outros dados levantados do valor de processo efetivo,

sendo que por meio do modelo de processo os dados de um valor de processo efetivo levantados em um determinado momento (t_i) são examinados com relação à plausibilidade e exclusivamente dados plausíveis são postos à disposição para a simulação do valor de processo e que dados não plausíveis são rejeitados, sendo que, neste último caso, a simulação é prosseguida com base nos dados plausíveis determinados por último,

sendo que por meio do modelo de reação metalúrgico para

uma respectivo etapa de tempo é determinado um balanço de metais e por meio do modelo térmico para a mesma etapa de tempo é determinado um balanço térmico, onde entre ambos modelos ocorre uma iteração, até que o balanço de massa e o balanço térmico cheguem a um critério de convergência.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que são usados como dados plausíveis para simulação do valor de processo, os que se situam dentro de uma largura de banda de $\pm 10\%$ de um curso ideal do processo de produção, que se baseia em valores de experiência ou sobre valores calculados.

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que são usados como dados plausíveis para simulação do valor de processo, os que se situam dentro de uma largura de banda de $\pm 5\%$.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que, partindo de um valor identificado como plausível, que, porém, se desvia do curso ideal do processo de produção válido por último, é estabelecido um novo curso ideal e o mesmo serve de base para o processo posterior.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que para cada valor de processo variável é usado um módulo de modelo de processo próprio.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o modelo de processo ou pelo menos um módulo do modelo de processo está dotado de otimização automática inteligente, sob uso de uma rede neural.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que pelo menos sobre uma parte da duração do processo, a diferença de tempo entre dois levantamentos sucessivos de um valor de processo efetivo é muito pequena.

8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que pelo menos sobre uma parte da duração do processo, a diferença de tempo entre dois levantamentos sucessivos de um valor de processo efetivo é preferivelmente infinitesimal.

9. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que como valores de processo efetivos são levantados a composição química do gás de escapamento e a composição química de material carregado.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que como valores de processo efetivos é levantada a composição química da escória.

11. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que variáveis de processo reguláveis são otimizadas no modelo de processo.

12. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que as variáveis de processo reguláveis são corrente, pressão, temperatura e composição de gases e/ou quantidades, composições e velocidades de carga de aditivos.

13. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que um valor de processo para um momento posterior ($t_i + dt$) é um valor final de processo.

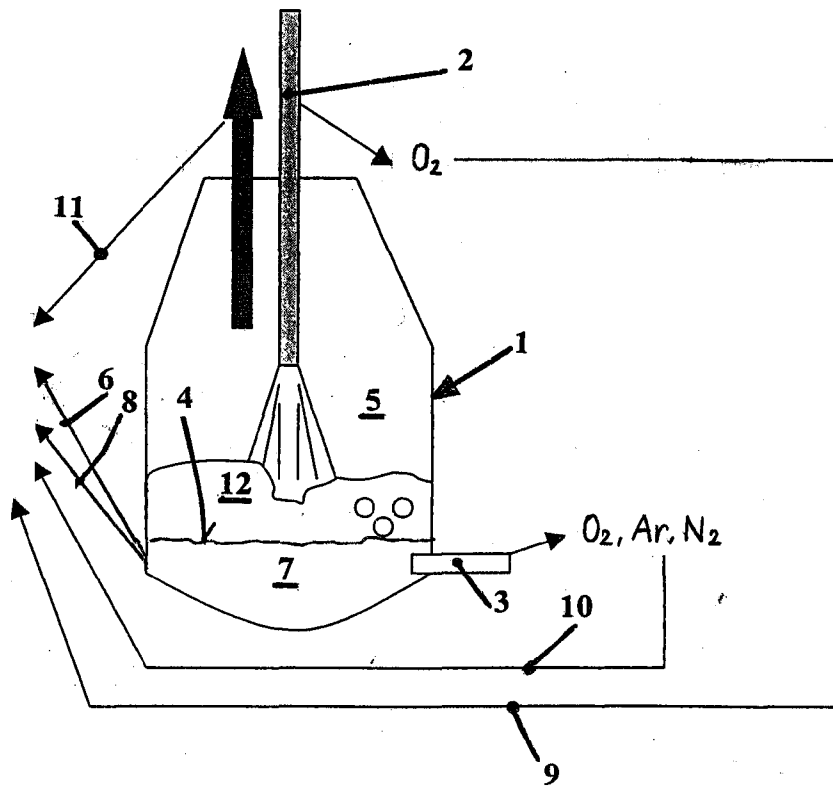


FIG 1a

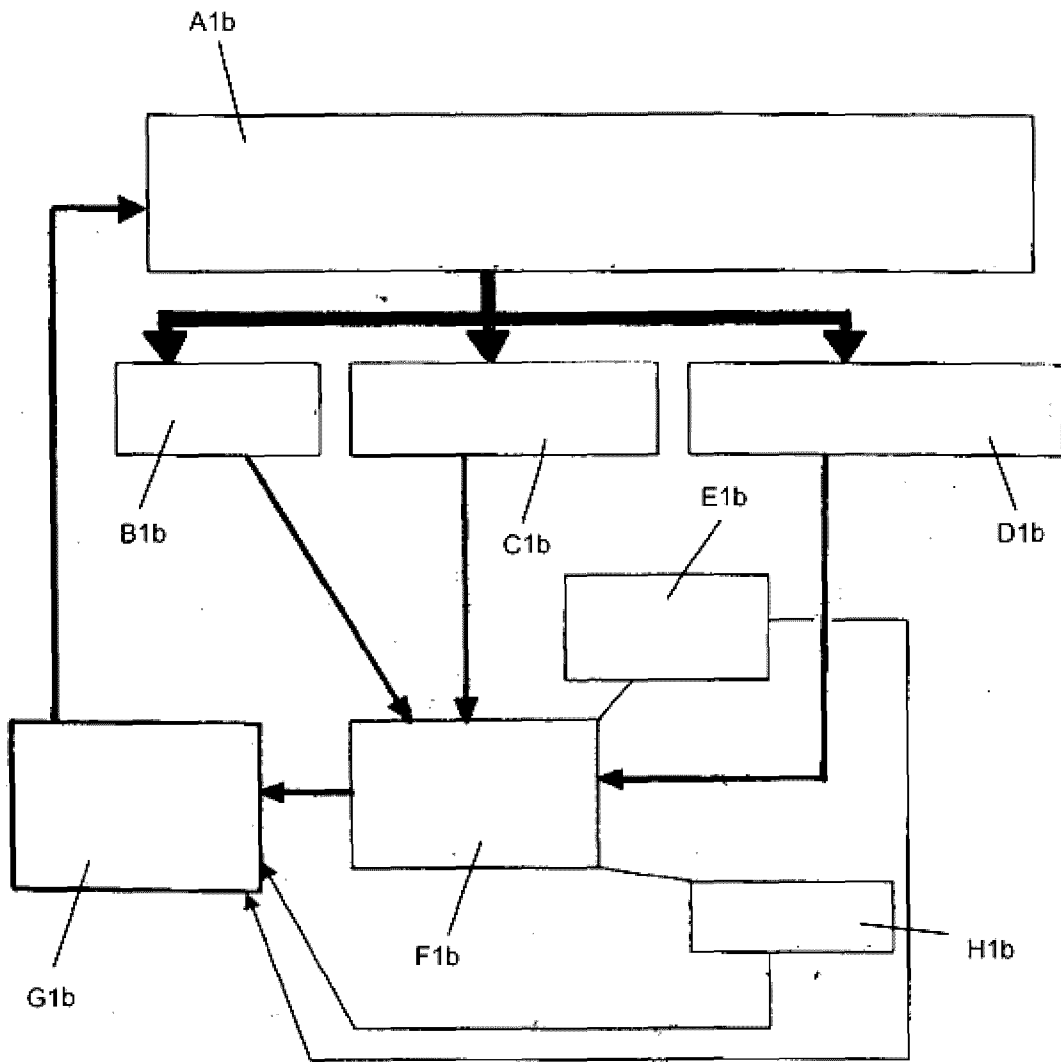


FIG 1b

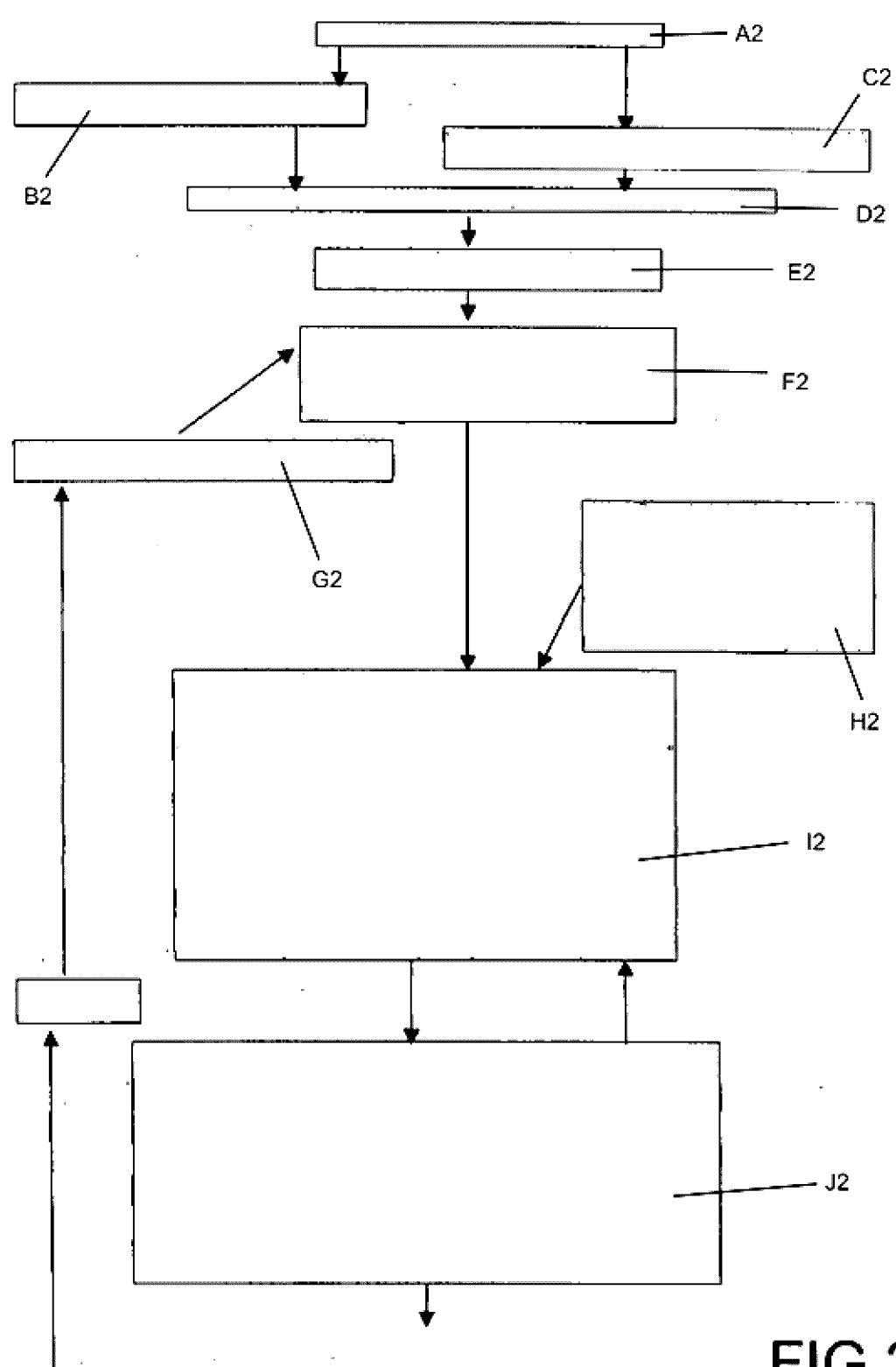


FIG 2

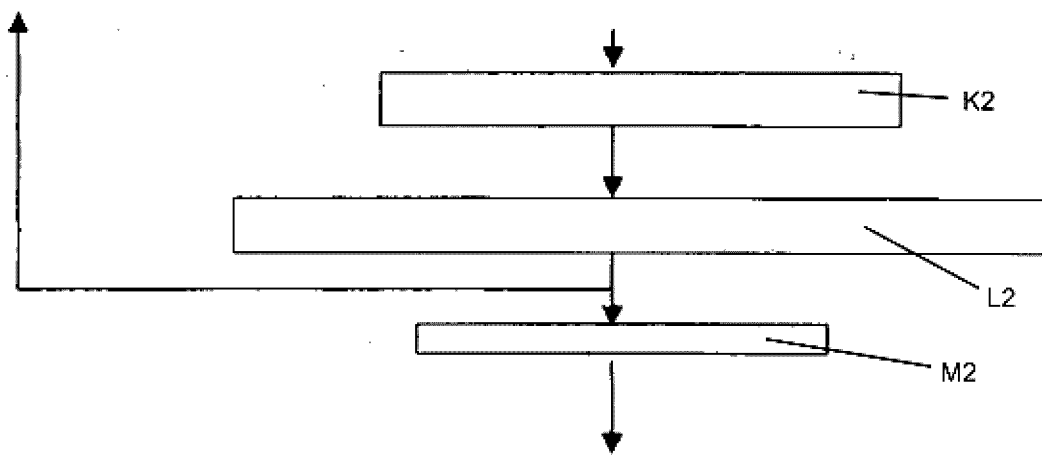


FIG 2 (Continuação)

FIG 3

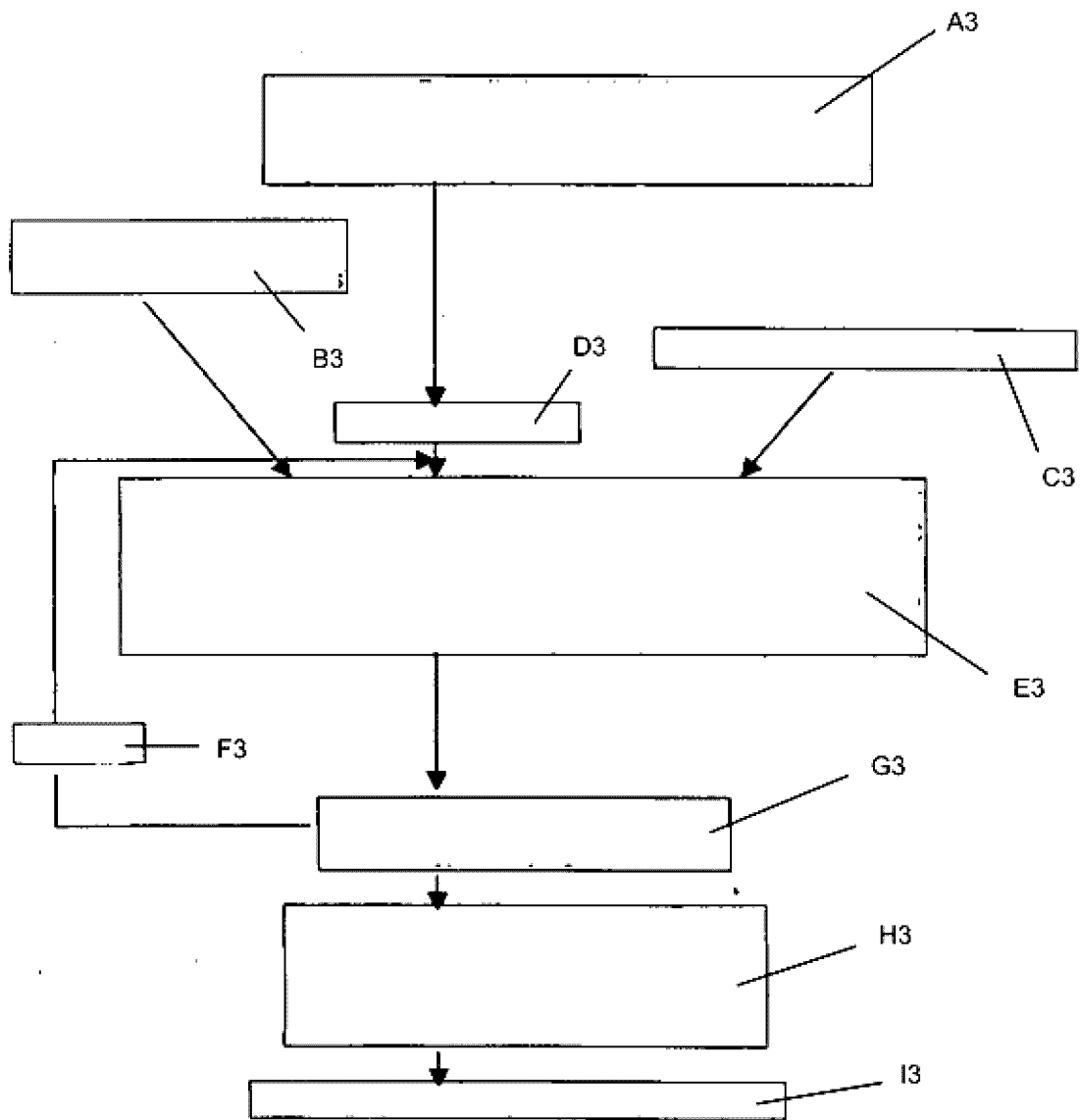


FIG 4

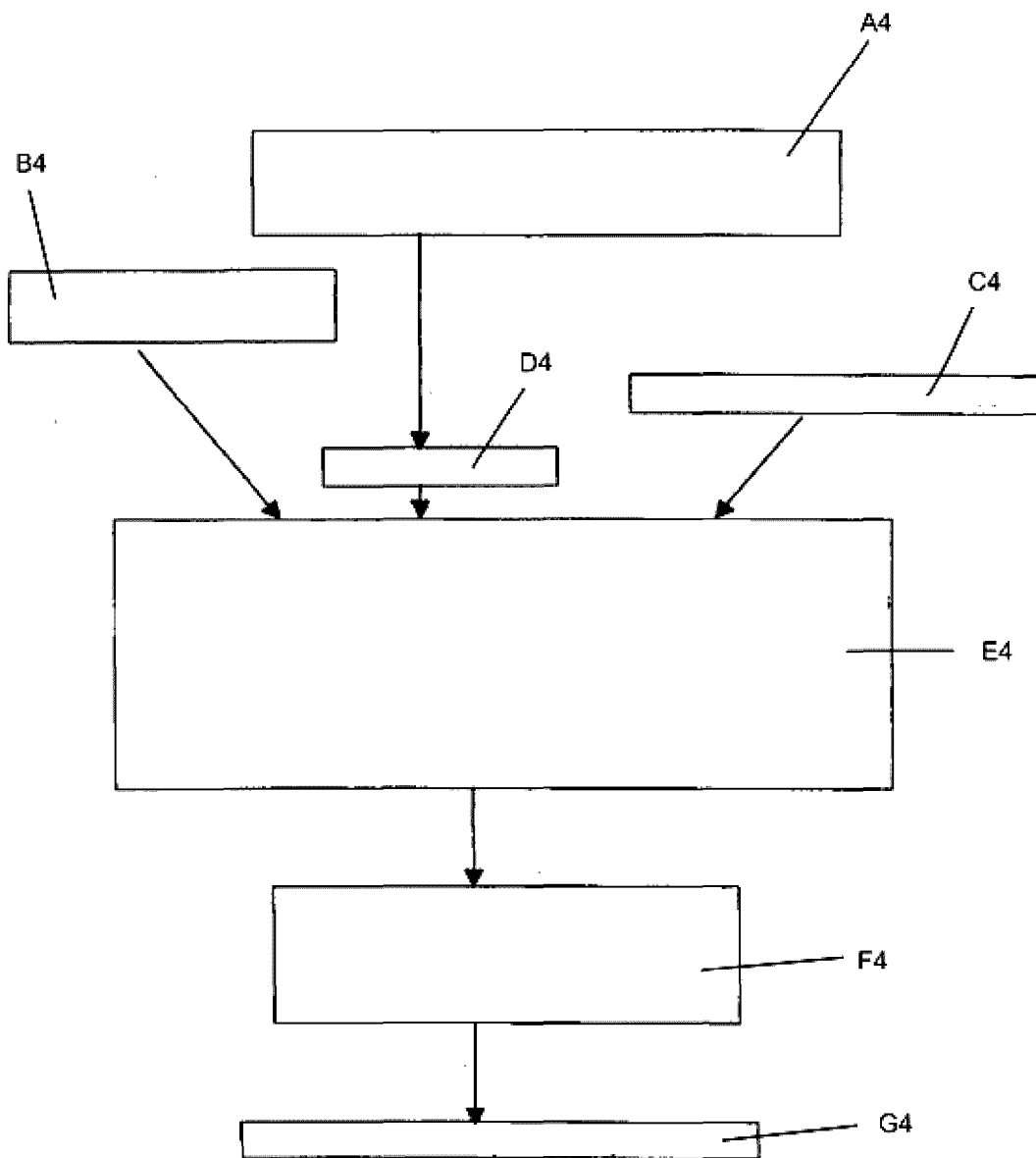


FIG 5

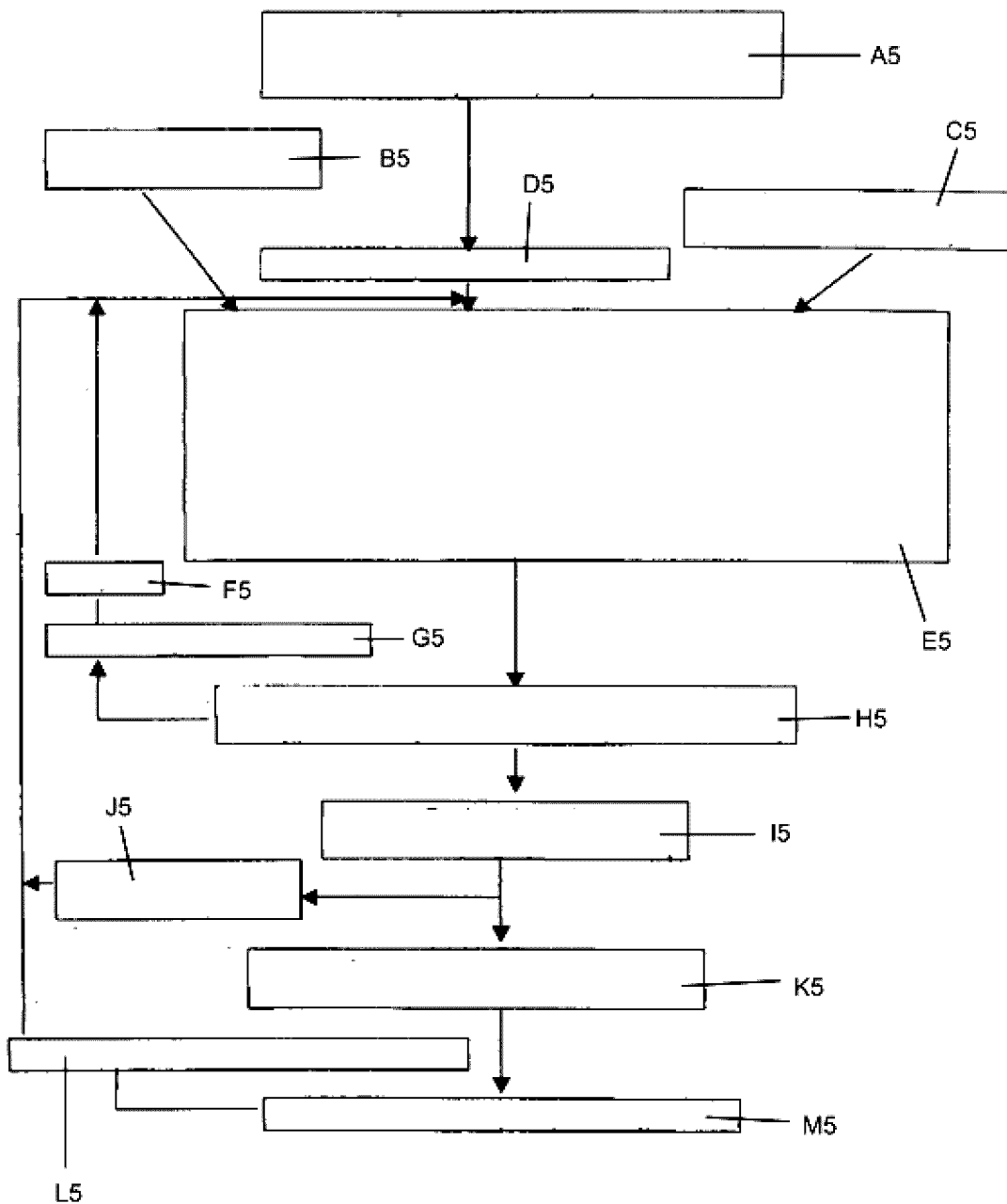
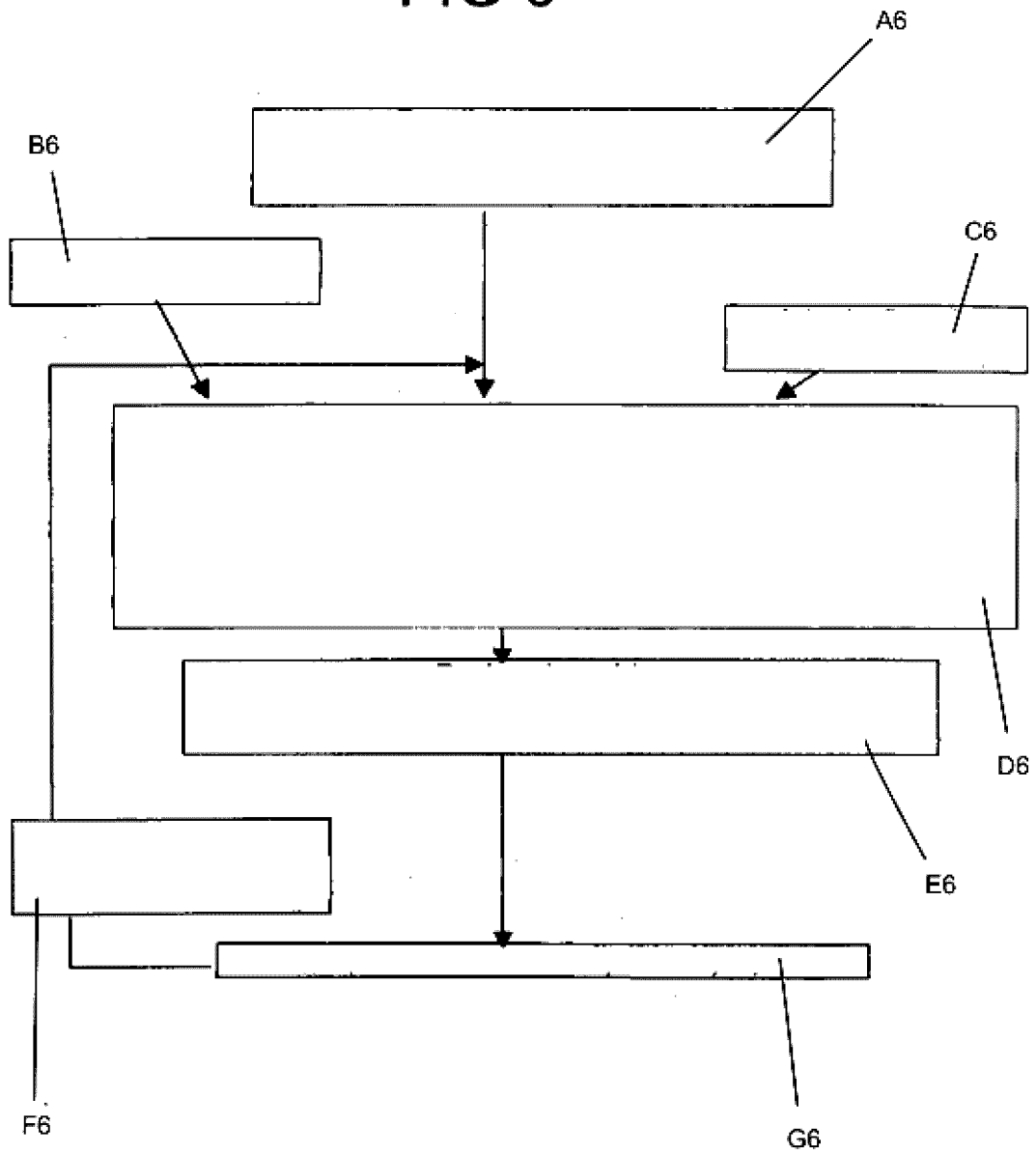


FIG 6



Perfil de temperatura
de AOD AISI 304

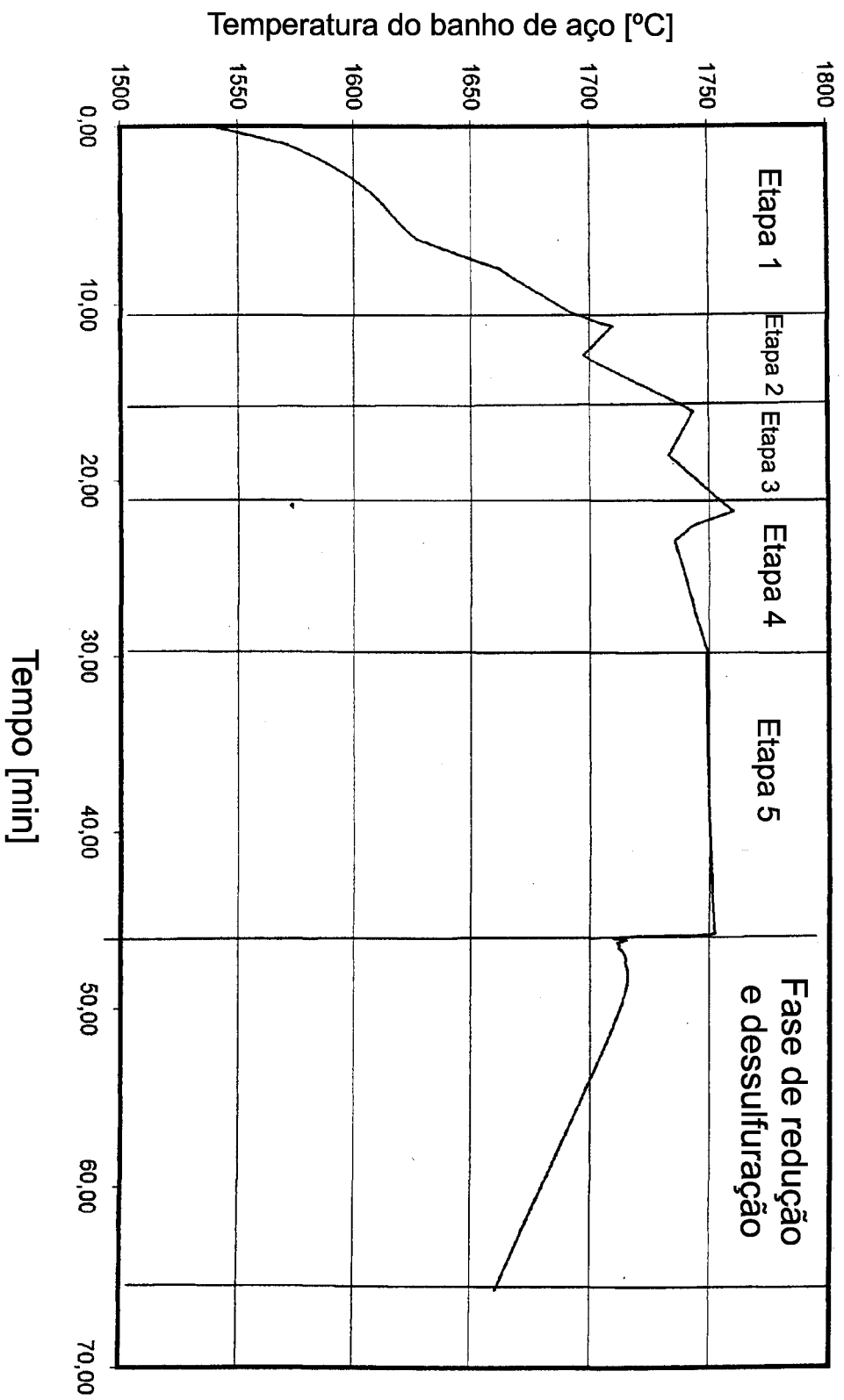
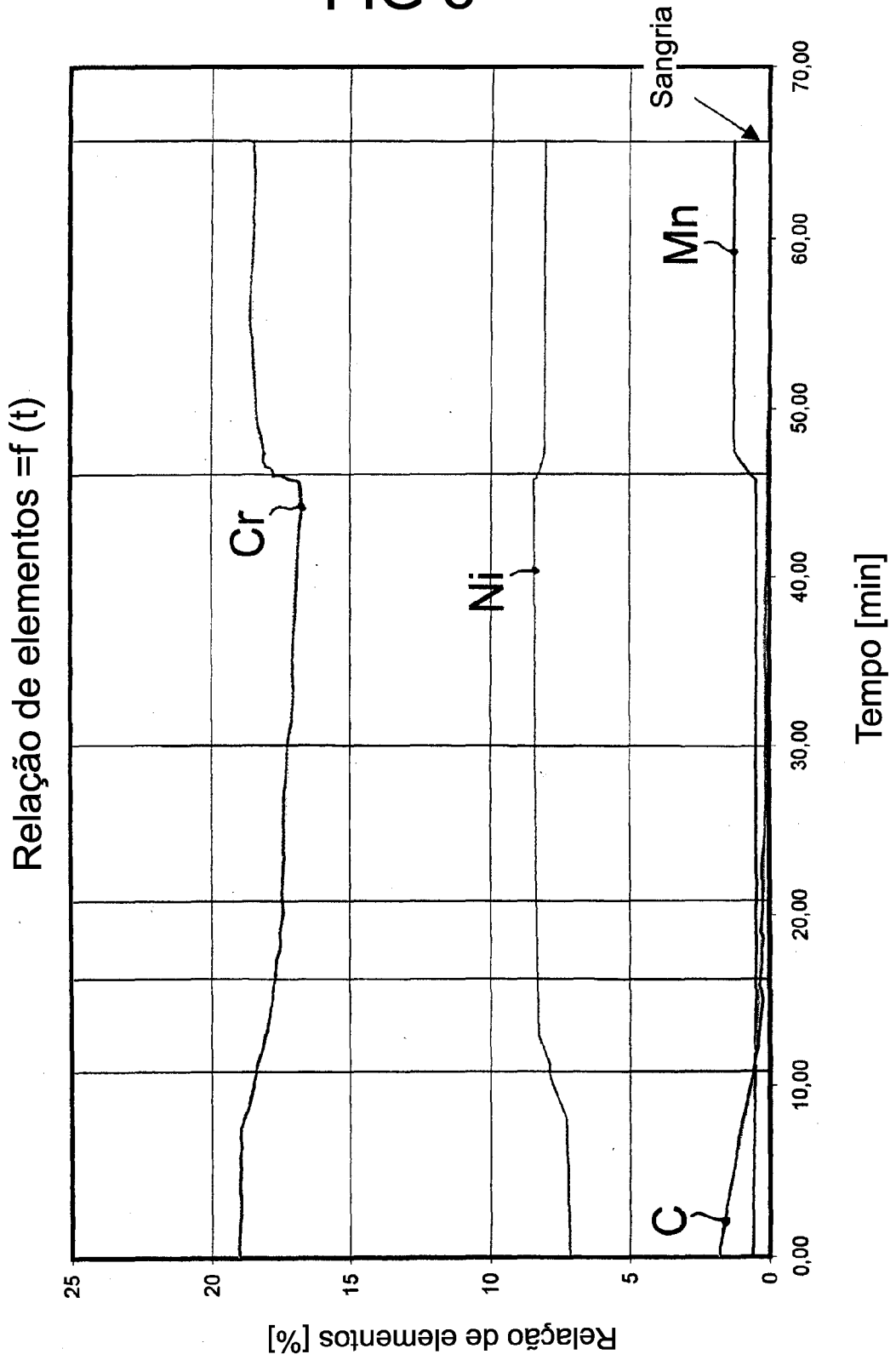


FIG 7

FIG 8



RESUMO

Patente de Invenção: **"PROCESSO AOD PARA PRODUÇÃO DE UMA FUSÃO METÁLICA DE AÇO DE LIGA INOXIDÁVEL OU AÇO FINO DE LIGA"**.

Em um processo AOD para produção de uma fusão metálica de aço de liga inoxidável ou aço fino de liga, processo esse que se desenvolve de acordo com um modelo de processo e que baseia a técnica de cálculo que controla a unidade siderúrgica, sendo que o modelo de processo descreve o comportamento para pelo menos um parâmetro de processo variável entre um valor de processo efetivo, que é a temperatura da fusão metálica e/ou a composição química da fusão metálica, um valor de regulação e um valor final de processo. O processo se realiza de acordo com as seguintes etapas:

- com o modelo de processo é determinado, com dados de um valor de processo efetivo levantados em um momento determinado (t_i), por simulação com técnica de cálculo, imediatamente no momento do levantamento do valor de processo efetivo, um valor de processo para um momento posterior ($t_i + dt$), e

- no caso de desvios do valor de processo simulado de um valor teórico desejado, são calculadas por meio do modelo de processo, com técnica de cálculo, medidas corretivas para alteração do valor de processo efetivo e o valor de processo efetivo é alterado de modo correspondente,

- após o que, em um momento posterior ($t_i + dt$), o processo é repetido com outros dados levantados do valor de processo efetivo.