

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

(21) **PI0708641-5 A2**

(22) Data de Depósito: 07/03/2007
(43) Data da Publicação: 07/06/2011
(RPI 2109)



★ B R P I 0 7 0 8 6 4 1 A 2 ★

(51) *Int.Cl.*:
B21B 37/16 2006.01
B21B 37/28 2006.01

(54) Título: **MÉTODO PARA CONTROLAR GEOMETRIA DE TIRA EM UMA USINA DE FUNDIÇÃO DE TIRA, ARQUITETURA DE CONTROLE PARA CONTROLE A GEOMETRIA DE TIRA E MÉTODO PARA PRODUZIR TIRA FUNDIDA FINA**

(30) Prioridade Unionista: 19/01/2007 US 11/625,031, 08/03/2006 US 60/780,326, 08/03/2006 US 60/780,326, 19/01/2007 US 11/625,031

(73) Titular(es): Nucor Corporation

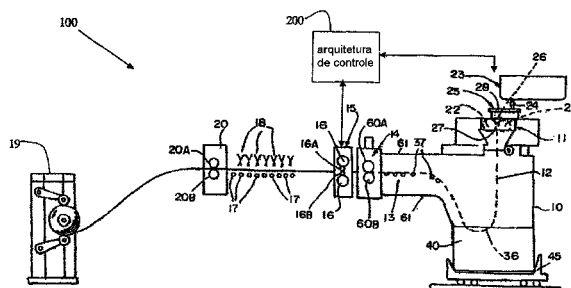
(72) Inventor(es): Glew Wallace, Harold Bradley Rees, Jason A. Mueller, Richard Britanik, Terry L. Gerber, Tino Domanti

(74) Procurador(es): Vieira de Mello, Werneck Alves - Advogados S/C

(86) Pedido Internacional: PCT AU2007000289 de 07/03/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/101308 de 13/09/2007

(57) Resumo: MÉTODO PARA CONTROLAR GEOMETRIA DE TIRA EM UMA USINA DE FUNDIÇÃO DE TIRA, ARQUITETURA DE CONTROLE PARA CONTROLAR A GEOMETRIA DE TIRA E MÉTODO PARA PRODUZIR TIRA FUNDIDA FINA. Expõe-se um aparelho e método para controlar geometria de tira em uma usina de fundição que é dotada de um laminador. Um perfil de espessura visado é calculado como uma função do perfil de espessura de entrada medida da tira enquanto satisfaz requisitos operacionais de perfil e lisura. Uma realimentação de tensão diferencial proveniente da tensão longitudinal na tira é calculada por um sistema de controle pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura visado, e um sinal de controle é gerado para controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira processada pela usina de laminação. Uma referência de controle de alimentação de avanço e/ou vetor de sensibilidade pode ser também calculado como uma função do perfil de espessura visado, e usada na geração do sinal de controle enviado para o dispositivo de controle. O dispositivo de controle pode ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, controlador de distância intercalar (flexão) e controlador de refrigerante.





MÉTODO PARA CONTROLAR GEOMETRIA DE TIRA EM UMA USINA DE
FUNDIÇÃO DE TIRA, ARQUITETURA DE CONTROLE PARA CONTRO-
LAR A GEOMETRIA DE TIRA E MÉTODO PARA PRODUZIR TIRA
FUNDIDA FINA

5 Antecedentes e Sumário da Invenção

Na fundição continua de tira de aço fina, metal derretido é fundido pelos cilindros de fundição na tira fina. A forma da tira fundida fina é determinada, entre outras coisas, pela superfície das superfícies dos cilindros de fundição.

Em um fundidor de cilindros gêmeos, metal fundido é introduzido entre um par de cilindros de fundição posicionados lateralmente que giram em contrarotação, os quais são refrigerados internamente, de maneira tal que cascas de metal solidificam-se nas superfícies de cilindro em movimento e são reunidas entre si na beliscadura formada entre eles, de maneira a produzirem um produto de tira solidificada fina. O termo "beliscadura" é utilizado neste contexto para fazer referência à região geral na qual os cilindros de fundição estão situados mais próximos um do outro. O metal fundido poderá ser vazado a partir de uma panela de fundição através de um sistema de distribuição de metal compreendido de uma panela intermediária móvel e um bocal de núcleo localizado acima da beliscadura, para formar uma poça de fundição de metal fundido suportada nas superfícies de fundição dos cilindros, acima da beliscadura e que se estende ao longo do comprimento da

beliscadura. Esta poça de fundição fica usualmente confinada entre placas ou represas laterais refratárias, mantidas em contacto deslizante com as superfícies extremas dos cilindros de fundição, de uma maneira
5 tal a represarem as duas extremidades da poça de fundição contra extravasamento.

A tira fundida fina passa descendentemente através da beliscadura entre os cilindros de fundição e então em um percurso transitório através da mesa-
10 guia para a cadeira de cilindros puxadores.

Depois de sair da cadeira de cilindros puxadores, a tira fundida fina passa para dentro e através de um laminador a quente no qual a geometria (por exemplo, a espessura, perfil, lisura) da tira pode ser modificada
15 de uma maneira controlada.

O perfil de tensão e lisura de tira "medidos" quando medidos em um dispositivo a jusante do laminador a quente são insuficientes para controlarem na prática o laminador a quente porque, diferente dos laminadores a frio (onde o perfil de tensão ou lisura medido a jusante da tira lembra muito de perto o perfil de tensão ou lisura produzido fora do laminador), o perfil de tensão ou lisura pode diferir devido à ação de fluência. Sob temperaturas elevadas, o aço sofre de-
20 formação plástica em resposta a esforço de tensão na entrada e saída do laminador na forma de fluência. A deformação plástica que ocorre fora do intervalo de cilindros nas regiões onde a tira entra e sai do laminador

provoca alterações nos perfis de esforço de tensão, lisura da tira, bem como no perfil da tira.

A alta temperatura da tira nos laminadores de aço a quente também dificulta a medição do perfil de
5 esforço de tensão ou lisura da tira por contacto directo. Têm sido usados métodos ópticos sem contacto para a medição de lisura. Entretanto, essa medição de lisura sem contacto resulta em medição de lisura parcial, uma vez que em qualquer tempo somente parte da tira exhibe defeitos de
10 lisura medidos. Além disso, além disso, a fluência na tira resulta em a lisura da tira na saída da cadeira de cilindros provavelmente ser significativamente pior do que aquela medida a jusante em locais de bitola de lisura práticos.

15 Na fundição de tira fina em cilindros gêmeos, a tira fundida é mais fina do que tipicamente encontrada na tira tradicional nos laminadores a quente. Tipicamente na fundição em cilindros gêmeos, a tira fina é fundida sob uma espessura de cerca de 1,8 a 1,6 mm e laminada para uma espessura entre 1,4 e 0,8 mm. A temperatura de ingresso da tira para o laminador a quente é mais alta do que aquela encontrada na cadeira final do laminador a quente típico, aproximadamente 1100°C. Uma
20 consequência do processo de fundição e alta temperatura de tira fina é que a tensão de entrada da tira é baixa, e, portanto é mais suscetível a ondulação e fluência antes do ingresso no laminador a quente. Além disso, na fundição de tira fina, é desejável produzir tira de um

perfil de tira desejado enquanto se mantém uma lisura aceitável, uma vez que o produto pode ser usado como substituto laminado a frio. A geometria da tira é amplamente controlada pelo fundidor. As baixas tensões empregadas nos laminadores a quente resultam em pequenos erros de intervalo entre cilindros locais e perda de esforço de tensão em pontos através da largura da tira, e resultam em ondulações da tira e lisura da tira inferior. Os inventores descobriram que o esforço de tensão proporciona uma maneira de controlar a lisura da tira.

Expõe-se um método para controlar a geometria da tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente, o qual compreende as etapas de:

medir um perfil de espessura de entrada de uma tira de metal entrante antes da tira de metal ingressar no laminador a quente;

calcular um perfil de espessura objetivo como uma função do perfil de espessura de entrada medida ao mesmo tempo em que se atende aos requisitos operacionais de perfil e lisura;

medir um perfil de espessura de saída da tira de metal depois da tira de metal sair do laminador a quente;

calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura objetivo derivado do perfil de espessura

de entrada medido; e

controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que sai do laminador a quente em resposta pelo menos à realimentação de deformação diferencial.

5 O método para controlar a geometria em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente pode compreender calcular ainda as etapas de:

calcular um perfil de pressão do intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e
10 dimensões e características do laminador a quente;

calcular uma referência de controle de alimentação de avanço e/ou vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de espessura de intervalo entre cilindros para permitir
15 a compensação para flutuações de perfil e lisura na tira fundida; e

controlar ainda o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta à referência de controle de realimentação
20 calculada e/ou vetor de sensibilidade calculado.

Os requisitos operacionais de perfil e lisura podem ser selecionados de maneira tal que o perfil de espessura objetivo inibe a ondulação da tira.

O dispositivo capaz de afetar a geometria da
25 tira que emerge do laminador a quente pode ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo, um controlador de refrigerante, e outros dispositivos capazes de modificarem o

intervalo entre cilindros carregado do laminador a quente.

O método para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente pode compreender ainda a etapa de gerar um vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável a partir do perfil de espessura de saída medido e utilizar o vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável no cálculo de pelo menos um da referência de controle de alimentação de avanço e do vetor de sensibilidade.

10 O método para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente pode incluir ainda calcular o perfil de espessura objetivo pela realização de pelo menos uma de filtragem de tempo e filtragem de frequência espacial.

15 O método para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um a laminador a quente ter também a etapa de controle que inclui executar o controle de realimentação simétrica e o controle de realimentação assimétrica do controlador de flexão e controlador de intervalo.

A etapa de controle pode alternativamente, ou adicionalmente, incluir a subtração de erros de medição sistemática a partir da realimentação de deformação diferencial quando o laminador é engrenado, sendo os erros de medição sistemática gerados através da comparação dos perfis de espessura de entrada e saída quando o laminador é desengrenado.

A etapa de controle também pode incluir a

realização de compensação de temperatura e detecção de ondulação, ou a realização de pelo menos uma de compensação de refrigerante induzido por operador e compensação de flexão induzida por operador.

- 5 Mais particularmente, o método para controlar geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente pode ser usada em fundição contínua por fundidor de cilindros gêmeos que compreende as seguintes etapas:
- 10 (a) montar um fundidor de tira fina que é dotado de um par de cilindros de fundição que são dotados de uma beliscadura entre eles;
- 15 (b) montar um sistema de distribuição de metal capaz de formar uma poça de fundição entre os cilindros de fundição acima da beliscadura com represamentos laterais adjacentes às extremidades da beliscadura para confinarem a poça de
- 20 fundição;
- 25 (c) montar, adjacente ao fundidor de tira fina, um laminador a quente que é dotado de cilindros laminadores com superfícies úteis que formam um intervalo de laminação entre eles, através do qual é laminada tira quente entrante, sendo os cilindros laminadores dotados de superfícies de cilindro operacionais

referentes a uma forma desejada através dos cilindros laminadores;

5 (d) montar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta a sinais de controle;

10 (e) montar um sistema de controle capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira por comparação de um perfil de espessura de saída com um perfil de espessura objetivo derivado de um perfil de espessura de entrada medido, e gerar sinais de controle em resposta à
15 realimentação de deformação diferencial calculada;

20 (f) conectar o sistema de controle ao dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta aos sinais de controle gerados provenientes do sistema de controle.

Para realizar o método em um fundidor de cilindros gêmeos, aço fundido pode ser introduzido entre o par de cilindros de fundição para formar uma poça de fundição suportada nas superfícies de fundição dos cilindros de fundição confinada por represamentos laterais, e os cilindros de fundição levados a girar em contra-

25

rotação para formarem cascas de metal solidificadas nas superfícies dos cilindros de fundição e fundir tira de aço fina através da beliscadura entre os cilindros de fundição a partir das cascas solidificadas.

5 O dispositivo que afeta a geometria da tira que está sendo processada pelo laminador a quente pode ser capaz de fazer variar o intervalo entre cilindros dos cilindros laminadores, flexão pelos cilindros laminadores, e/ou refrigerante proporcionado para os cilindros
10 laminadores em resposta a pelo menos um dos sinais de controle, para afetar a geometria da tira quente que sai do laminador a quente.

 Expõe-se igualmente uma arquitetura de controle para controlar a geometria da tira em uma usina
15 de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente que compreende:

 um aparelho calibrador de entrada capaz de medir um perfil de espessura de entrada de uma tira de metal entrante, antes da tira de metal entrar no laminador;

20 um modelo de perfil de espessura objetivo capaz de calcular um perfil de espessura objetivo como uma função do perfil de espessura de entrada medido, ao mesmo tempo em que satisfaz os requisitos operacionais de perfil e lisura;

25 um aparelho calibrador de saída capaz de medir um perfil de espessura de saída tira de metal depois de a tira de metal sair do laminador;

 um modelo de realimentação de deformação dife-

rencial capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura objetivo derivado do perfil de espessura de entrada medido; e

um modelo de controle capaz de controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta à realimentação de deformação diferencial.

10 O modelo de perfil de espessura objetivo pode inibir a ondulação da tira.

O modelo de realimentação de deformação diferencial também pode incluir capacidade de compensação de temperatura e capacidade de detecção de ondulação.

15 O modelo de realimentação de deformação diferencial pode incluir ainda uma capacidade de anulação automática capaz de subtrair erros sistemáticos da realimentação de deformação diferencial quando o laminador está engranzado, sendo os erros sistemáticos gerados através de comparação do perfil de espessuras de entrada e saída quando o laminador é desengranizado.

A arquitetura de controle para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente pode compreender ainda:

25 um modelo de intervalo entre cilindros capaz de calcular um perfil de pressão do intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente, e

um modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço capaz de calcular uma referência de controle de alimentação de avanço e/ou um vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a compensação para flutuações de perfil e lisura na tira fundida.

O modelo de deflexão de pilha de cilindros adaptável pode ser capaz de gerar um vetor de erro de intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de saída medido e utilizando o vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável no cálculo de pelo menos um de a referência de controle de alimentação de avanço e o vetor de sensibilidade.

O modelo de perfil de espessura objetivo poderá incluir ainda pelo menos um de capacidade de filtragem de tempo e capacidade de filtragem de frequência espacial como parte do cálculo do perfil de espessura target.

O modelo de controle pode incluir uma capacidade de realimentação simétrica e uma capacidade de realimentação assimétrica para controlar o controlador de flexão e o controlador de intervalo.

Novamente, o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente pode ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo, e um controlador de refrigerante.

A arquitetura de controle pode suportar, também, pelo menos uma de compensação de refrigerante induzida por operador e compensação de flexão induzida por operador.

5 A arquitetura de controle pode ser proporcionada em uma usina de fundição de tira fina para produzir continuamente tira fundida fina para geometria de tira controlada, a qual compreende:

10 (a) um fundidor de tira fina que é dotado de a par de cilindros de fundição que têm uma beliscadura formada entre eles;

15 (b) um sistema de distribuição de metal capaz de formar uma poça de fundição entre os cilindros de fundição acima da beliscadura com represamentos laterais adjacentes às extremidades da beliscadura para confina-

20 (c) um acionamento capaz de promover a contra-rotação dos cilindros de fundição para formar cascas de metal solidificadas nas superfícies dos cilindros de fundição e tira de aço fina fundida através da beliscadura entre os cilindros de fundição a partir das cascas solidificadas;

25 (d) um laminador a quente que é dotado de cilindros laminadores com superfícies úteis que formam um intervalo de laminação entre elas, através do qual pode ser laminada tira

fundida proveniente do fundidor de tira fina;

- 5 (e) um dispositivo conectado ao laminador a quente capaz de afetar a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta a sinais de controle; e
- 10 (f) um sistema de controle capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir de tensão longitudinal na tira por comparação de um perfil de espessura de saída com um perfil de espessura objetivo derivado de um perfil de espessura de entrada medido, capaz de gerar os sinais de controle em resposta à realimentação de
- 15 deformação diferencial, e conectado ao dispositivo para fazer com que o afete a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta aos sinais de controle.

20 Em uma usina de fundição de tira fina para produzir tira fundida fina com uma geometria de tira controlada por fundição contínua, o sistema de controle pode ser ainda capaz de calcular a referência de controle de alimentação de avanço e um vetor de sensibilidade, e

25 capaz ainda de gerar os sinais de controle da referência de controle de alimentação de avanço, e o vetor de sensibilidade.

A referência de controle de alimentação de

avanço e o vetor de sensibilidade são calculados como uma função de um perfil de espessura objetivo, derivado de um perfil de espessura de entrada medido, e um perfil de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a
5 compensação das flutuações de perfil e lisura na tira fundida.

Estas e outras vantagens e aspectos novos da presente invenção, bem como detalhes das suas concretizações ilustradas, serão mais amplamente compreendidas a
10 partir da descrição seguinte e dos desenhos.

Descrição Breve dos Desenhos

A Figura 1 é um desenho esquemático que ilustra uma usina de fundição de tira fina que é dotada de um laminador e uma arquitetura de controle.

15 A Figura 2 é um diagrama de blocos da arquitetura de controle da Figura 1 de interface para o Laminador da Figura 1.

A Figura 3 (desmembrada nas Figuras 3A e 3B) é um diagrama de blocos mais detalhado da arquitetura de controle da Figura 1 e Figura 2 de interface para o lamina-
20 dor da Figura 1 e Figura 2.

A Figura 4 é um fluxograma de uma concretização de um método para controlar a geometria de tira na fundição de tira que é dotada de um laminador a quente.

25 A Figura 5 é um fluxograma de um método para produzir tira fundida fina com uma geometria de tira controlada por fundição contínua; e

A Figura 6 é um gráfico que ilustra como é

obtido um vetor de sensibilidade.

Descrição Detalhada

A Figura 1 é um desenho esquemático que ilustra uma usina de fundição de tira fina 100 que é
5 dotada de um laminador 15 e uma arquitetura de controle 200. A instalação de fundição e laminação ilustrada compreende um fundidor de cilindros gêmeos, assinalado de um modo geral por 11, que produz tira de aço fundido fina 12 e compreende cilindros de fundição 22 e representa-
10 mentos laterais 26. Durante a operação, os cilindros de fundição giram em contra-rotação por meio de um acionamento (não ilustrado). Um sistema de distribuição de metal que compreende pelo menos uma panela intermediária móvel 23, uma grande panela intermediária 25, e um bocal
15 de núcleo 24 proporciona aço fundido para o fundidor de cilindros gêmeos 11. A tira de aço fundido fina 12 passa descendentemente através de uma beliscadura 27 formada entre os cilindros de fundição 22 e então dentro do trajeto transitório através de uma mesa-guia 13 para
20 uma cadeira de cilindros puxadores 14. Depois de sair da cadeira de cilindros puxadores 14, a tira fundida fina 12 passa para dentro e através do laminador a quente 15 compreendido dos cilindros de encosto 16 e cilindros laminadores superior e inferior 16A e 16B, onde a geometria
25 (por exemplo, espessura, perfil, e/ou lisura) da tira pode ser modificada de uma maneira controlada. A tira 12, ao sair do laminador 15, passa em uma mesa de saída 17, onde ela pode ser refrigerada forçada por jatos de água

18, e então através da cadeira de cilindros puxadores 20, que compreende um par de cilindros puxadores 20A e 20B, e então para uma enroladeira 19, onde a tira 12 é enrolada, por exemplo, em bobinas de 20 toneladas. Uma arquitetura de
5 controle 200 fica disposta de forma a interfacear com o laminador 15 e, opcionalmente, com um controlador de realimentação de fundidor 301 (vide Figura 3) para controlar a geometria (por exemplo, espessura, perfil, e/ou lisura da tira de aço 12.

10 Na presente invenção, é gerado um sinal de realimentação sintetizado (realimentação de deformação diferencial), tal como descrito neste contexto, para melhor controle de lisura e perfil de tira no laminador de um sistema de fundição contínua de cilindros gêmeos. Os
15 defeitos de lisura podem ser diferenciados em relação a outros movimentos de translação de corpo e vibração geral da tira. Se não forem diferenciados, positivos típicos podem resultar que indicarão tipicamente um defeito assimétrico na tira e poderão introduzir problemas de controle de flexão diferencial e problemas de
20 controle de refrigerante. Da mesma forma, a utilização somente de medições de lisura como controle de realimentação pode permitir defeitos de ondulação na entrada e saída do laminador de grandeza suficiente para pôr em risco o aperto
25 mecânico e rompimento da tira, sem que sejam manifestados quaisquer problemas de lisura detectáveis na localização de calibragem a jusante.

A Figura 2 é um diagrama de blocos de uma ar-

quitetura de controle 200 da Figura 1 de interfaceamento com o laminador 15 da Figura 1. A arquitetura de controle 200 proporciona medições de perfil de espessura de tira precisos na entrada e saída do laminador 15 em conjunto com medições
5 de lisura na saída e outra instrumentação para formar um esquema de controle de lisura, tensão, perfil de alimentação de avanço e realimentação integrados.

A arquitetura de controle 200 inclui um aparelho de calibragem de entrada 210 capaz de medir um perfil de
10 espessura de entrada 211 da tira de metal 12 entrante antes da tira de metal 12 entrar no laminador 15. O aparelho de calibragem de entrada 210 pode compreender um raio-X, laser, infravermelho, ou outro dispositivo capaz de promover a medição de um perfil de espessura de entrada da tira de me-
15 tal de entrada 12. As medições de entrada 211 provenientes do aparelho de calibragem de entrada 210 são enviadas para um modelo de perfil de espessura objetivo 220 da arquitetura de controle 200. O modelo de perfil de espessura objetivo 220 é capaz de calcular um perfil de es-
20 pessura objetivo 221 como uma função do perfil de espessura de entrada 211 medido de forma tal que a alteração na regometria requerida para se conseguir o perfil de espessura 221 objetivo é insuficiente para produzir ondu-
25 lação de titã (descrito adiante em detalhes). A perfil de espessura objetivo 221 satisfaz os requisitos operacionais de perfil e lisura.

O modelo de perfil de espessura objetivo 220 pode compreender um modelo matemático implementado em

software em uma plataforma baseada em processador (por exemplo, um PC). Alternativamente, o modelo de perfil de espessura objetivo 220 pode compreender um modelo matemático implementado, por exemplo, em suporte lógico inalterável em um circuito integrado específico de aplicação (ASIC). O modelo de perfil de espessura objetivo 220 também pode ser implementado de outras maneiras como é conhecido daqueles versados na técnica. De forma assemelhada, outros modelos descritos neste contexto são modelos matemáticos que podem ser implementados de várias maneiras.

O modelo de perfil de espessura objetivo 220 também é interfaceado operacionalmente a um modelo de intervalo entre cilindros 230 da arquitetura de controle 200. A alteração na geometria 211' necessária para manter a perfil de espessura objetivo 221, dado o perfil de espessura de entrada 211 atual, é enviada para o modelo de intervalo entre cilindros 230 a partir do modelo de perfil de espessura objetivo 220. O modelo de intervalo entre cilindros 230 é capaz de gerar um perfil de pressão do intervalo entre cilindros 231 como uma função de pelo menos a alteração na geometria de entrada 211', correspondente à pressão de intervalo entre cilindros, entre os cilindros operacionais 16A e 16B do laminador 15. O modelo de intervalo entre cilindros 230 pode usar também as dimensões físicas e características do equipamento de laminador juntamente com medições das perturbações de força de cilindro 216, tensões, e perfil de espessura en-

trante 211, para gerar o perfil de pressão do intervalo entre cilindros requerido para se conseguir o perfil de espessura objetivo.

O modelo de perfil de espessura objetivo
5 220 e o modelo de intervalo entre cilindros 230 também interfaceiam operacionalmente um modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240. O modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço proporciona controle de lisura de alimentação de
10 avanço e controle de perfil de alimentação de avanço. O modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240 pode ser capaz de gerar vetores de perfil de acionador e de sensibilidade de controle de alimentação de avanço 242 como uma função do pelo menos o
15 perfil de espessura objetivo 221 e o perfil de pressão de intervalo entre cilindros 231. Os vetores de perfil de acionador e de sensibilidade de controle de lisura 241 e as referências de controle de alimentação de avanço 242 são usados para controlar o controlador de
20 flexão 250 e um controlador de intervalo de cilindros 255 (ou algum outro dispositivo adequado que influencia o intervalo entre cilindros operacionais carregados do laminador 15) em resposta a perturbações no perfil de espessura de tira entrante 211 e perturbações de força
25 de cilindro 216 dentro do laminador 15. A flexão promovida pelos cilindros operacionais 16A e/ou 16B é controlada por meio do controlador de flexão 250. Um intervalo de cilindros entre os cilindros operacionais

16A e 16B é controlado pelo controlador de intervalos entre cilindros 255.

Um vetor de sensibilidade representa o efeito no perfil de espessura de tira transversal ou lisura de tira que é criado por uma mudança na ajustagem de acionador. Por exemplo, alteração na flexão enquanto o laminador está em um estado de operação particular fará com que o perfil ou lisura de tira modem de um estado original A para outro estado B tal como se encontra ilustrado no gráfico 600 da Figura 6. O vetor de sensibilidade é aquele vetor obtido pela diferenciação do estado A e do estado B e dividindo-se o resultado pela alteração na ajustagem de acionador que foi responsável pela alteração do estado A para o estado B.

15 A referência de controle de alimentação de avanço é uma referência para um acionador de controle, que controla a flexão, requerido para se conseguir algum objetivo de controle para uma seção particular da tira, tal como lisura ou perfil aperfeiçoado, que é
20 calculado com base na informação que se encontra disponível antes da seção de tira particular entrar no laminador. A forma mais comum será o cálculo de uma ajustagem de flexão aperfeiçoada, baseada no perfil de entrada medido, isto é, medido antes de entrar no laminador,
25 dada a força de cilindro efetiva e a geometria da pilha de cilindros (dimensões de cilindros, larguras e outras). Este cálculo é facilitado por meio do modelo matemático conhecido neste caso como o modelo de deflexão de pilha

de cilindros 240.

A arquitetura de controle 200 também inclui um aparelho de aferição de saída 215 capaz de medir os recursos de saída 217 da tira de metal 12 depois que a
5 tira de metal 12 sai do laminador 15. O aparelho de aferição de saída 215 pode compreender um raio-X, laser, infravermelho, ou outro dispositivo capaz de medir um perfil de espessura de saída 217A e/ou outros aspectos da tira de metal 12 que está saindo (por exemplo, temperatura da tira e lisura da tira). As medições provenientes
10 do aparelho de aferição de saída 215 são enviadas para um modelo de realimentação de deformação diferencial 260 da arquitetura de controle 200 que interfaceia operacionalmente com o aparelho de aferição de saída 215. O mo-
15 delo de realimentação de deformação diferencial 260 também o interfaceia operacionalmente com o modelo de perfil de espessura objetivo 220 e é capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial 261 como uma função de pelo menos o perfil de espessura objetivo
20 calculado 221, o perfil de espessura de saída medido 217A, e um perfil de tensão objetivo 360 (vide Figura 3) o qual é discutido de forma mais detalhada adiante com relação à Figura 3.

As medições provenientes do aparelho de
25 aferição de saída 215 são também enviadas para um modelo de deflexão de pilha de cilindros adaptável 270 da arquitetura de controle 200, capaz de gerar um vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável 271 em res-

posta a pelo menos o perfil de espessura de saída 217A para proporcionar adaptação do modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240. O modelo de deflexão de pilha de cilindros adaptável 270 também recebe um parâmetro de força de cilindros 216 a partir do laminador 15 o qual pode ser usado para gerar o vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável 271.

A arquitetura de controle 200 também pode incluir um modelo de controle 280 interfaceado operacionalmente ao modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240 e ao modelo de realimentação de deformação diferencial 260. O modelo de controle 280 é capaz de gerar sinais de controle 281-283 para controlar pelo menos um dos seguintes: o controlador de flexão 250, o controlador de intervalo 255, o controlador de refrigerante 290, e outros dispositivos adequados que influenciam a forma do intervalo entre cilindros de trabalho carregados do laminador 15, em resposta pelo menos à realimentação de deformação diferencial 261 e vetores de sensibilidade de controle de perfil e lisura de acionador 241. O controlador de refrigerante 290 proporciona refrigerante para os cilindros laminadores 16A e 16B de uma maneira controlada. O controlador de flexão 250, o controlador de intervalo 255, e o controlador de refrigerante 290 proporcionam, cada um, parâmetros de acionamento de laminação respectivos 291-293 para o laminador 15 para manipulação dos vários aspectos do laminador 15 tais como descritos anteriormente neste contexto, para adaptar

a forma da tira de metal 12.

A Figura 3 é um diagrama de blocos mais detalhado da arquitetura de controle 200 da Figura 1 e Figura 2, interfaceamento ao laminador 15 da Figura 1 e
5 Figura 2. A Figura 3 também mostra a tira de metal 12 saindo dos cilindros de fundidor 22, passando pelo dispositivo de aferição de entrada 210, entrando no laminador 15, saindo do laminador 15 e passando pelo dispositivo de aferição de saída 215. Como uma opção, a arquitetura de
10 controle 200 inclui um controle de geometria de realimentação de fundidor 301, o qual utiliza uma versão processada 211" do perfil de espessura de entrada medido 211 para adaptar a operação dos cilindros de fundidor 22. Esse controle de geometria de realimentação de fundidor 301 serve
15 para permitir adaptar o perfil de espessura de entrada 211 da tira de metal 12 a um perfil de tira objetivo fundida nominal desejado 302.

O perfil de espessura objetivo 221 pode ser um objetivo por perfil de espessura unitária, e pode ser
20 baseado em um aperfeiçoamento substancial no perfil de espessura dado o perfil de espessura de entrada entrante 211, sem produzir ondulações inaceitáveis na tira 12. Este perfil de espessura objetivo 221 é usado em vez de apenas o perfil de espessura entrante real 211 na comparação com o perfil de espessura de saída para produzir o
25 erro de realimentação (realimentação de deformação diferencial), tal como é descrito adiante neste caso. Portanto, os controladores de laminador são forçados a a-

cionar o perfil de espessura de saída para conjugar o perfil de espessura objetivo que respeita as restrições de limite estabelecidas pelas características de ondulação da tira. Qualquer condição que não exceda as restrições de limite de ondulação produzirá uma resposta de controle que proporciona aperfeiçoamentos de perfil e lisura.

O perfil de espessura de entrada medido 211 é uma entrada para o modelo de perfil de espessura objetivo 220 e é processado pelo desempenho de filtragem de tempo e filtragem de frequência espacial utilizando-se capacidade de filtragem de tempo 222 e capacidade de filtragem de frequência espacial 223 dentro do modelo 220. O modelo de perfil de espessura objetivo 220 pode incluir um modelo de tira 225 que serve para incorporar coibições limite de ondulação e/ou coibições limite de alteração de perfil no perfil de espessura objetivo 221 que está sendo gerado pelo modelo 220. Tais limites conservam a alteração de geometria da tira de metal 12 afastada em relação aos parâmetros de abordagem que fazem com que a tira de metal 12 seja ondulada durante o processamento através da usina de fundição de tira fina 100. isto é, o perfil de espessura objetivo 221 incorpora o aperfeiçoamento para o perfil de espessura de entrada 211 entrante que é compatível com os limites de ondulação de tira. Como um resultado, na presença de geometrias anormais provenientes do fundidor, o perfil de espessura objetivo 221 acompanhará automaticamente a varia-

ção na geometria fundida.

De acordo com uma concretização da presente invenção, o modelo de perfil de espessura objetivo 220 implementa o seguinte algoritmo matemático:

5 $H(x)^* = H^{\text{laminador}}(x) + dH_{\text{hderramamento}}(x)$; Perfil de Espessura Objetivo 221

 onde $H^{\text{laminador}}(x) = \text{LSFF}(\text{LPF}(H(x)))$;
 perfil de espessura de tira entrante filtrado em baixa frequência espacial e em tempo 211",

10 e onde $\text{LSFF}()$ é o filtro de baixa frequência espacial 223 pelo melhor ajuste de quadrados mínimos de polinômios de ordem baixa,

 e onde $\text{LFP}()$ é o Filtro de Passa baixos com uma constante de tempo ajustada em torno de 1-10 rotações de cilindro de fundidor,

15 e onde $H(x)$ é o Perfil de Espessura de Entrada 211,

 e onde $dH_{\text{hfspl}}(x) = s_{\text{Error}}(x) - d_{\text{ErrorLimited}}(x)$; derramamento de alta frequência para objetivo para evitar ondulação local, e onde

20 $d_{\text{ErrorLimited}}(x) = \text{mínimo}(d_{\text{Error}}(x), \text{Limit } dh(x))$; Alteração de geometria local 225 depois de limitação de ondulação, e onde

$\text{Limit } dh(x)$ é avaliado a partir de $\text{Limit } dh(x) = H * (K * Cs * (H/Wc(x))^{**2} + \text{correção para tensão total media e tensão aplicada, dando alteração de geometria local máxima para evitar ondulação, e onde}$

25

H = espessura de entrada média,

$W_c(x)$ = largura de região de compressão

local,

$C_s = \pi^2 E / (12(1 - \mu^2))$ constante e-

5 lástica, K = fator de escala de coibição.

Conseqüentemente, o modelo de perfil de espessura objetivo 220 é uma função da geometria de entrada, tensão de tira, deformação de laminação total, e seleção das constantes de filtragem de tempo e espacial. O perfil de espessura objetivo resultante 221 é enviado ao modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240 e ao modelo de realimentação de deformação diferencial 260.

15 O modelo de intervalo entre cilindros 230 também recebe uma versão processada 211' que representa a alteração no perfil de espessura necessária para se conseguir o perfil de espessura objetivo dado o perfil de espessura de entrada efetivo. O modelo de tira 225 e o modelo de intervalo entre cilindros 230 são responsáveis pela fluência, ondulação, alteração de geometria e tensão relacionadas que podem ocorrer fora do intervalo entre cilindros, e para alterações de pressão que podem ocorrer dentro do intervalo entre cilindros do laminador 15.

Alternativamente, o dispositivo de aferição de entrada 210 da arquitetura de controle 200 pode não estar presente, ou inibido de forma tal que a perfil

de espessura objetivo 221 resultante é baseada em informação de perfil de espessura de entrada estimada em vez de informação perfil de espessura de entrada medida real 211. Consequentemente, o perfil de espessura objetivo 221 é
5 independente do perfil de espessura de entrada real 211 nessas concretizações alternativas.

O modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço 240 pode ser um modelo de deflexão de pilha de cilindros de diferença finita complete
10 ou, alternativamente, um modelo simplificado que prognostica as ajustagens de acionador de perfil requeridas para aperfeiçoar a forma de intervalo entre cilindros carregados para adaptação ao perfil de espessura de tira desejado. As entradas para o modelo incluem a geometria do laminador 15, a geometria de tira entrante, o
15 perfil de pressão do intervalo entre cilindros 231 entre a tira e os cilindros, e a força de laminação desejada ou efetiva 216. Saídas do modelo são as referências de controle de acionador otimizadas 242 para controle de
20 alimentação de avanço e os vetores de sensibilidade de perfil e lisura de acionador 241 para o uso no esquema de controle de realimentação.

O modelo de realimentação de deformação diferencial 260 aceita medições do perfil de espessura de saída 217A, temperatura de tira 217B, e lisura de
25 tira 217C provenientes do dispositivo de aferição de saída 215. As medições de lisura 217C provenientes do aparelho de aferição de saída 215 são encaminhadas atra-

vés de um estágio de processamento de sinal 330 dentro do modelo de realimentação de deformação diferencial 260 para remover das medições os componentes de movimento de corpo. Conseqüentemente, medições causadas pela rotação de tira, instabilidade vertical de tira, vibração de tira em torno de um eixo longitudinal podem ser removidas. Tal processamento de sinal reduz os falsos positivos de não-lisura. O perfil de espessura de saída processada 217A é comparado, no avaliador de erro de tensão 305, para o perfil de espessura objetivo 221 para formar uma estimativa inicial de um perfil de deformação por laminação 310. A estimativa bruta do perfil de deformação por laminação 310 é ainda processada utilizando-se capacidade de nulificação automática 320 por subtração de erros de medição sistemáticos do perfil de deformação por laminação 310 quando o laminador 15 é engranzado. Os erros de medição automáticos são gerados através de comparação dos perfis de espessura de entrada e saída quando o laminador é desengranzado. Em condições ideais, nenhum erro de medição sistemática se encontra presente na usina de fundição de tira 100, e a medição dos perfis de espessura de entrada e saída será a mesma quando a usina de fundição de tira 100 se encontra operando sem que o laminador esteja engranzado. Entretanto, isto ocorre raras vezes, se é que ocorre. Conseqüentemente, os erros de medição sistemáticos são anulados (retirados da estimativa do perfil de deformação por laminação 310).

Também, outra informação de dispositivo de aferição de saída pode ser incorporada na estimativa do perfil de deformação por laminação. Processamento de sinal 330, para detector seções onduladas, e capacidade de
5 compensação de temperatura 340 (compensação para o efeito de perfil de temperatura transversal) pode ser executado com base em medições de lisura da tira 217C e temperatura de tira 217B e os resultados incorporados na estimativa do perfil de deformação por laminação 310. Como
10 um resultado, um perfil de deformação por laminação de largura plena 350 é formado, o qual é robusto para qualquer variação baseada em tempo na diferença entre as características de medição de perfil que podem ocorrer durante a laminação. O perfil de deformação por
15 laminação 350 é comparado a um perfil de tensão objetivo desejado 360 para formar a realimentação de deformação diferencial 261 (erro) que é realimentada ao modelo de controle 280.

A realimentação de deformação diferencial
20 261 a partir do modelo de realimentação de deformação diferencial 260 é usada pelo modelo de controle 280, juntamente com os vetores de sensibilidade de controle de perfil e lisura de acionador 241 para gerar um conjunto de sinais de controle 281-283 para o controlador
25 de flexão 250, o controlador de intervalo entre cilindros 255, e o controlador de refrigerante de realimentação 290. Os vetores de sensibilidade de controle de lisura 241 são usados para efetuar a operação de produ-

to de pontos matemáticos com a realimentação de deformação diferencial 261, cujo resultado compreende os erros de acionador escalar para os vários acionadores usados no esquema de controle. Quando os vetores de

5 sensibilidade de controle de lisura 241 não estão disponíveis a partir de cálculo em linha, então eles podem ser proporcionados a partir de uma fonte de tempo não real, tal como cálculo fora de linha ou aproximação manual alcançada por meio de observação experimental.

10 Independentemente da fonte dos vetores de sensibilidade de controle de lisura, os erros de acionador escalar resultantes são por sua vez usados pelos controladores de realimentação 370 e 380 para desempenharem a sua função. Dentro do modelo de controle 280, a capacidade

15 de controle de realimentação simétrica 370 e a capacidade de controle de realimentação assimétrica 380 são realizadas para gerarem os sinais de controle 281 e 282 para o controlador de flexão 250 e para o controlador de intervalos entre cilindros 255.

20 O potencial de uma região particular da tira nodular está relacionado às condições de esforço e deformação em uma área local da tira, em vez de com relação ao estado médio da tira. Portanto, detecção de ondulação local 390 também é realizada dentro do modelo de

25 controle 280 para gerar o sinal de controle 283 para o controle de refrigerante de realimentação 290. Os sinais de controle 281-283 e as referências de controle de alimentação de avanço 242 permitem que vários aspec-

tos do laminador 15 sejam controlados automaticamente a fim de se conseguir uma geometria de tira desejada (por exemplo, perfil e lisura) da tira de metal fora do laminador 15 sem experimentar problemas tais como ondulação
5 de tira.

Além disso, o controlador de flexão 250 pode ser ainda adaptado manualmente por uma capacidade de compensação de flexão induzida por operador 395, e o controlador de refrigerante 290 pode ser ainda adaptado
10 manualmente por uma capacidade de compensação de pulverização induzida por operador 399 suportada pela arquitetura de controle 200. De uma maneira geral, controle de realimentação que utiliza alimentadores de pulverização segmentados, flexão de cilindros, inclinação de ci-
15 lindros, e outros acionadores de manipulação de coroa de cilindro, conforme disponíveis, pode ser realizado para reduzir ao mínimo o erro no perfil de deformação por laminação observado.

O controlador de flexão 250, controlador
20 de intervalo 255, e controlador de refrigerante 290 proporcionam parâmetros de acionador de laminador 291-293 para o laminador em resposta aos sinais de controle 281-283, referências de controle de alimentação de avanços 242, e entradas de compensação de operador para conseguir o resultado de geometria de tira desejado. O contro-
25 lador de flexão 250 controla a flexão de cilindro dos cilindros laminadores 16A e 16B do laminador 15. O controlador de intervalo 255 controla um intervalo de cilin-

dros entre os cilindros laminadores 16A e 16B. O controlador de refrigerante 290 controla a quantidade de refrigerante que é proporcionada para os cilindros laminadores 16A e 16B.

5 Esta fundição em cilindros gêmeos contínua permite que a usina 100 com os recursos descritos responda às perturbações de processo principais e produza uma tira com um perfil de espessura de saída substancialmente aperfeiçoado dadas as condições de fundição de tira u-
10 suais, ao mesmo tempo em que evita a ondulação da tira na entrada ou saída da beliscadura de cilindros do laminador a quente. O uso da informação de perfil de espessura entrante e do uso correto da diferença entre a informação de perfil de espessura de entrada e de saída
15 representam uma etapa significativa avançada para a tecnologia de controle de perfil e lisura.

A Figura 4 é um fluxograma de uma concretização de um método 400 para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de a
20 laminador a quente 15. Na etapa 410, um perfil de espessura de entrada 211 de uma tira de metal entrante 12 é medido antes de a tira de metal 12 entrar no laminador a quente 15. Na etapa 420, um perfil de espessura objetivo 221 é calculado como uma função do perfil de espessura de entrada medido 211 enquanto satisfaz os
25 requisitos de operação de perfil e lisura. Na etapa 430, um perfil de espessura de saída 217A da tira de metal 12 é medido depois de a tira de metal 12 sair do

laminador a quente 15. Na etapa 440, a realimentação de deformação diferencial 261 é calculada a partir da tensão longitudinal na tira por comparação do perfil de espessura de saída 217A com o perfil de espessura objetivo 221 derivado do perfil de espessura de entrada medido. Na etapa 450, um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira 12 que emerge do laminador a quente 15 é controlado em resposta à realimentação de deformação diferencial 261, estado do laminador 15, e perfil de espessura entrante 211

No método 400 de controlar a geometria de tira em uma fundição de tira que é dotada de um laminador a quente 15, o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente pode ser qualquer um ou todos de um controlador de flexão 250, um controlador de intervalo 255, e um controlador de refrigerante 293.

O método 400 pode incluir ainda calcular um perfil de pressão do intervalo entre cilindros 231 a partir do perfil de espessura de entrada 211 e dimensões e características do laminador a quente, e calcular uma referência de controle de alimentação de avanço 242 e/ou um vetor de sensibilidade 241 como uma função de o perfil de espessura objetivo 221 e do perfil de pressão do intervalo entre cilindros 231 para permitir a compensação das flutuações de perfil e lisura na tira fundida 12. O dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente 15 pode ser ainda controlado em

resposta à referência de controle de alimentação de avanço calculada 242 e/ou ao vetor de sensibilidade calculado 241. Além disso, um vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável 271 pode ser gerado a partir do
5 perfil de espessura de saída medido e usado para calcular pelo menos um da referência de controle de alimentação de avanço 242 e do vetor de sensibilidade 241.

A Figura 5 é um fluxograma de um método
500 da produção de tira fundida fina com uma geometria
10 de tira controlada por fundição contínua. Na etapa 510, um fundidor de tira fina que é dotado de um par de cilindros de fundição é montado dotado de uma beliscadura entre eles. Na etapa 520, um sistema de distribuição de metal é montado de forma a ser capaz de formar
15 uma poça de fundição entre os cilindros de fundição acima da beliscadura, com represamentos laterais adjacentes às extremidades da beliscadura para confinar a poça de fundição. Na etapa 530, adjacente ao fundidor de tira fina, está montado um laminador a quente dotado de
20 cilindros laminadores com superfícies úteis que formam um intervalo de laminação entre elas, no qual a tira quente admitida é laminada, sendo os cilindros laminadores dotados de superfícies de laminação úteis referentes a uma forma desejada através dos cilindros laminadores.
25 Na etapa 540, é montado um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que sai do laminador a quente, em resposta a sinais de controle. Na etapa 550, está montado um sistema de controle capaz de gerar uma

realimentação de deformação diferencial, e capaz de gerar os sinais de controle em resposta à realimentação de deformação diferencial, estado do laminador, e perfil de espessura de entrada. Na etapa 560, o sistema de controle é conectado operacionalmente ao dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente. Na etapa 570, aço fundido é introduzido entre o par de cilindros de fundição para formar uma poça de fundição suportada nas superfícies de fundição dos cilindros de fundição confinada pelos representamentos laterais. Na etapa 580, os cilindros de fundição são levados a girar em contra-rotação para formarem cascas de metal solidificadas nas superfícies dos cilindros de fundição e tira de aço fina fundida através da beliscadura entre os cilindros de fundição a partir das cascas solidificadas. Na etapa 590, a tira fundida fina entrante é laminada entre os cilindros laminadores do laminador a quente e variação de pelo menos um intervalo de cilindros dos cilindros operacionais, flexão pelos cilindros operacionais, e um refrigerante proporcionado para os cilindros operacionais em resposta a pelo menos um dos sinais de controle, para afetar a geometria da tira quente que emerge do laminador a quente.

25 No método 500, o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que sai do laminador a quente (15?) pode ser um ou mais de um controlador de flexão 250, um controlador de intervalo 255, e um controlador

de refrigerante 290. O sistema de controle é ainda capaz de gerar a referência de controle de alimentação de avanço 242 e um vetor de sensibilidade 241, e ainda capaz de gerar os sinais de controle 281-283 em resposta
5 à realimentação de deformação diferencial 261, a referência de controle de alimentação de avanço 242, e o vetor de sensibilidade 241. A realimentação de deformação diferencial 261 é calculada a partir da tensão longitudinal na tira 12 por comparação de um perfil de
10 espessura de saída medido 217A com um perfil de espessura objetivo calculado 221 derivado de um perfil de espessura de entrada medido 211. A referência de controle de alimentação de avanço 242 e o vetor de sensibilidade 241 são calculados como uma função de um perfil
15 de espessura objetivo 221, derivado de um perfil de espessura de entrada medido 211, e um perfil de pressão do intervalo entre cilindros 231 para permitir a compensação de flutuações do perfil e lisura na tira fundida 12.

20 O controlador de flexão 250, controlador de intervalo 255, controlador de refrigerante 290, e outro dispositivo adequado que influencie o intervalo entre cilindros de trabalho carregados pode ser considerado como sendo parte da arquitetura de controle 200.
25 Alternativamente, o controlador de flexão 250, controlador de intervalo 255, controlador de refrigerante 290, e outros dispositivos adequados que possam influenciar o intervalo entre cilindros de trabalho carrega-

dos podem ser considerados como sendo parte do laminador 15. De uma forma assemelhada, de acordo com determinadas concretizações da presente invenção, vários aspectos da arquitetura de controle 200 podem ser considerados como sendo uma parte de um modelo ou de outro modelo da arquitetura de controle 200. Por exemplo, o controlador de flexão 250, controlador de intervalo 255, e controlador de refrigerante 290 podem ser considerados como sendo parte do modelo de controle 280 da arquitetura de controle 200.

Em resumo, expõe-se um método e aparelho para controlar geometria de tira em um fundidor contínuo de cilindros gêmeos que é dotado de um laminador a quente, com uma arquitetura de controle que utiliza alimentação de avanço e realimentação para controlar a geometria da tira fundida que emerge do laminador a quente ao mesmo tempo em que impede a ondulação da tira fundida.

Muito embora a invenção fosse descrita com referência a determinadas concretizações, será compreendido por aqueles versados na técnica que várias alterações podem ser realizadas e equivalentes podem ser substituídos sem com isso escaparem do escopo da invenção exposta.

Além disso, muitas modificações podem ser realizadas para se adaptar uma situação ou material particular aos ensinamentos da invenção, sem com isso escaparem do seu escopo.

Conseqüentemente, pretende-se que a invenção não fique limitada à concretizações particulares expostas, mas que a invenção incluirá todas as concretizações que incidirem dentro do escopo das reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1 - Método para controlar geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente, **caracterizado** pelo fato de que o dito
5 método compreende:

- medir um perfil de espessura de entrada de uma tira de metal entrante antes de a tira de metal entrar no laminador a quente;

- calcular um perfil de espessura objetivo
10 como uma função do perfil de espessura de entrada medido enquanto satisfaz requisitos operacionais de perfil e lisura;

- medir um perfil de espessura de saída da tira de metal, depois de a tira de metal sair do laminador a quente;

- 15 - calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura objetivo derivado a partir do perfil de espessura de entrada medido; e

- 20 - controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta a pelo menos a dita realimentação de deformação diferencial.

2 - Método, de acordo com a reivindicação 1,
25 **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo e um con-

trolador de refrigerante.

3 - Método, de acordo com a reivindicação 1 ou reivindicação 2, **caracterizado** por compreender ainda:

- calcular um perfil de pressão do intervalo
5 entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente;

- calcular a referência de controle de alimentação de avanço e um vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de pressão do
10 intervalo entre cilindros para permitir a compensação de flutuações de perfil e lisura na tira fundida; e

- controlar ainda o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta à dita referência de controle de ali-
15 mentação de avanço calculado e dito vetor de sensibilidade calculado.

4 - Método, de acordo com a reivindicação 1 ou reivindicação 2, **caracterizado** por compreender ainda:

- calcular a perfil de pressão do intervalo
20 entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente;

- calcular a referência de controle de alimentação de avanço como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de pressão do intervalo entre cilin-
25 dros para permitir a compensação de flutuações de perfil e lisura na tira fundida; e

- controlar ainda o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do lamina-

dor a quente em resposta à dita referência de controle de alimentação de avanço calculada.

5 - Método, de acordo com a reivindicação 1 ou reivindicação 2, **caracterizado** por compreender ainda:

5 - calcular um perfil de pressão do intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente;

 - calcular um vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e o perfil
10 de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a compensação para flutuações de perfil e lisura na tira fundida; e

 - controlar ainda o dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a
15 quente em resposta ao dito vetor de sensibilidade calculado.

6 - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** por compreender ainda gerar um vetor de erro de intervalo entre ci-
20 lindros adaptável a partir do perfil de espessura de saída medido e utilizar o vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável para calcular pelo menos um da referência de controle de alimentação de avanço e do vetor de sensibilidade.

25 7 - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** por calcular o dito perfil de espessura objetivo incluir a realização de pelo menos uma de filtragem de tempo

e filtragem de frequência espacial.

8 - Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a dita etapa de controle inclui a realização de controle de realimentação simétrica e controle de realimentação assimétrica do controlador de flexão e do controlador de intervalo.

9 - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que a dita etapa de controle inclui a subtração de erros sistemáticos da dita realimentação de deformação diferencial quando o laminador está engranzado, sendo os ditos erros sistemáticos gerados através de comparação do perfil de espessuras de entrada e saída quando o laminador é desengranzado.

10 - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que a dita etapa de controle incluir realizar compensação de temperatura e detecção de ondulação.

11 - Método para controlar a geometria de tira na fundição de tira que é dotada de um laminador a quente, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a dita etapa de controle inclui realizar pelo menos uma de compensação de refrigerante induzida por operador e compensação de flexão induzida por operador.

12 - Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que o dito perfil de espessura objetivo inibi a ondulação de

tira.

13 - Arquitetura de controle para controlar a geometria de tira em uma usina de fundição de tira que é dotada de um laminador a quente, **caracterizada**
5 pelo fato de que a dita arquitetura de controle compreende:

- um aparelho de aferição de entrada capaz de medir um perfil de espessura de entrada de uma tira de metal entrante, antes de a dita tira de metal entrar no dito laminador;
10

- um modelo de perfil de espessura objetivo capaz de calcular um perfil de espessura objetivo como uma função do dito perfil de espessura de entrada medido, ao mesmo tempo em que satisfaz os requisitos operacionais de perfil e lisura;
15

- um aparelho de aferição de saída capaz de medir um perfil de espessura de saída na dita tira de metal depois de a dita tira de metal sair do dito laminador;

20 - um modelo de realimentação de deformação diferencial capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura objetivo derivado do perfil de espessura de entrada medido; e
25

- um modelo de controle capaz de controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta a pelo menos a dita

realimentação de deformação diferencial.

14 - Arquitetura de controle, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizada** pelo fato do dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo, e um controlador de refrigerante.

15 10 14 - Arquitetura de controle, de acordo com a reivindicação 13 ou reivindicação 14, **caracterizada** por compreender ainda:

- um modelo de intervalo entre cilindros capaz de calcular um perfil de pressão de intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente;

15 e

- um modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço capaz de calcular a referência de controle de alimentação de avanço e um vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e o perfil de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a compensação de flutuações de perfil e de lisura em uma tira fundida.

20

16 - Arquitetura de controle, de acordo com a reivindicação 13 ou reivindicação 14, **caracterizada** por compreender ainda:

25

- um modelo de intervalo entre cilindros capaz de calcular um perfil de pressão do intervalo entre ci-

lindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente; e

um modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço capaz de calcular uma referência de controle de alimentação de avanço como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a compensação das flutuações de perfil e lisura na tira fundida.

17 - Arquitetura de controle para controlar a geometria de tira na fundição de tira que é dotada de um laminador a quente, de acordo com a reivindicação 13 ou reivindicação 14, **caracterizada** por compreender ainda:

- um modelo de intervalo entre cilindros capaz de calcular a perfil de pressão do intervalo entre cilindros a partir do perfil de espessura de entrada e dimensões e características do laminador a quente; e

- um modelo de deflexão de pilha de cilindros de alimentação de avanço capaz de calcular a vetor de sensibilidade como uma função do perfil de espessura objetivo e do perfil de pressão de intervalo entre cilindros para permitir a compensação e3 flutuações de perfil e lisura na tira fundida.

18 - Arquitetura de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 17, **caracterizada** por compreender ainda um modelo de deflexão de pilha de cilindros adaptável capaz de gerar um vetor de erro de intervalo entre cilindros adaptável a partir do perfil de espessura de saída medido e utilizar o vetor de erro de intervalo entre

cilindros adaptável para calcular pelo menos um da referência de controle de alimentação de avanço e do vetor de sensibilidade.

19 - Arquitetura de controle, de acordo com
5 qualquer uma das reivindicações 13 a 18, **caracterizada** pelo fato de que o dito modelo de perfil de espessura objetivo incluir ainda pelo menos um de capacidade de filtragem de tempo e capacidade de filtragem de frequência espacial como parte do cálculo do dito perfil de espessura objetivo.

10 20 - Arquitetura de controle, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizada** pelo fato de que o dito modelo de controle inclui uma capacidade de realimentação simétrica e uma capacidade de realimentação assimétrica para controlar o controlador de flexão e o controlador de intervalo.
15

21 - Arquitetura de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 20, **caracterizada** pelo fato de que o dito modelo de realimentação de deformação diferencial inclui uma capacidade de anulação automática capaz de subtrair erros sistemáticos da dita realimentação de deformação diferencial quando o laminador é engranzado, sendo os ditos erros sistemáticos gerados através da comparação dos perfis de espessura de entrada e saída quando o laminador é desengranizado.
20

22 - Arquitetura de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 21, **caracterizada** pelo fato de que o dito modelo de realimentação de deformação diferencial inclui a capacidade de compensação de
25

temperatura e a capacidade de detecção de ondulação.

23 - Arquitetura de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 22, **caracterizada** pelo fato de que a dita arquitetura de controle
5 suportar pelo menos um de compensação de refrigerante induzida por operador e compensação de flexão induzida por operador.

24 - Arquitetura de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 23, **caracterizada**
10 pelo fato de que o dito modelo de perfil de espessura objetivo inibi a dita ondulação de tira.

25 - Método para produzir tira fundida fina com uma geometria de tira controlada por fundição contínua, **caracterizado** pelo fato de que o dito método compreende:

15 (a) montar um fundidor de tira fina que é dotado de um par de cilindros de fundição que são dotados de uma beliscadura entre eles;

(b) montar um sistema de distribuição de metal capaz de formar uma poça de fundição entre os cilindros
20 de fundição acima da beliscadura com represamentos laterais adjacentes às extremidades da beliscadura para confinarem a poça de fundição;

(c) montar, adjacente ao fundidor de tira fina, um laminador a quente que é dotado de cilindros laminadores com superfícies úteis que formam um intervalo
25 de laminação entre eles, através do qual é laminada tira quente entrante, sendo os cilindros laminadores dota-

dos de superfícies de cilindro operacionais referentes a uma forma desejada através dos cilindros laminadores;

(d) montar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta a sinais de controle;

(e) montar um sistema de controle capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir da tensão longitudinal na tira por comparação de um perfil de espessura de saída com um perfil de espessura objetivo derivado de um perfil de espessura de entrada medido, e gerar sinais de controle em resposta à realimentação de deformação diferencial calculada;

(f) conectar o sistema de controle ao dispositivo capaz de afetar a geometria da tira que emerge do laminador a quente em resposta aos sinais de controle gerados provenientes do sistema de controle.

26 - Método, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que o dito dispositivo capaz de afetar a geometria da referida tira que emerge do referido laminador a quente ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo, e um controlador de refrigerante.

27 - Método, de acordo com a reivindicação 25 ou reivindicação 26, **caracterizado** pelo fato do dito sistema de controle ser ainda capaz de calcular a referência de controle de alimentação de avanço e um vetor de sensibilidade, e capaz ainda de gerar sinais de con-

trole em resposta à dita realimentação de deformação diferencial, dita referência de controle de alimentação de avanço, e dito vetor de sensibilidade.

28 - Método, de acordo com a reivindicação
5 25 e reivindicação 26, **caracterizado** pelo fato do dito sistema de controle ser ainda capaz de calcular a referência de controle de alimentação de avanço, e capaz ainda de gerar sinais de controle em resposta à dita realimentação de deformação diferencial e dita referên-
10 cia de controle de alimentação de avanço.

29 - Método, de acordo com a reivindicação
25 ou reivindicação 26, **caracterizado** pelo fato do dito sistema de controle ser ainda capaz de calcular um vetor de sensibilidade, e capaz ainda de gerar sinais de
15 controle em resposta à dita realimentação de deformação diferencial e dito vetor de sensibilidade.

30 - Método, de acordo com a reivindicação
27, **caracterizado** pelo fato da dita referência de controle de alimentação de avanço e dito vetor de sensibi-
20 lidade serem calculados como uma função um perfil de espessura objetivo, derivada de um perfil de espessura de entrada medido, e um perfil de pressão do intervalo entre cilindros para permitir a compensação para flutuações de perfil e lisura na tira fundida.

25 31 - Usina de fundição de tira fina para produzir tira fundida fina com uma geometria de tira controlada por fundição contínua, **caracterizada** pelo fato de que a dita usina de tira fundida fina compreen-

de:

(a) um fundidor de tira fina que é dotado de um par de cilindros de fundição que têm uma beliscadura formada entre eles;

5 (b) um sistema de distribuição de metal capaz de formar uma poça de fundição entre os cilindros de fundição acima da beliscadura com represamentos laterais adjacentes às extremidades da beliscadura para confinarem a poça de fundição;

10 (c) um acionamento capaz de promover a contra-rotação dos cilindros de fundição para formar cascas de metal solidificadas nas superfícies dos cilindros de fundição e tira de aço fina fundida através da beliscadura entre os cilindros de fundição a partir das cascas so-
15 lidificadas;

(d) um laminador a quente que é dotado de cilindros laminadores com superfícies de trabalho que formam um intervalo de laminação entre elas, através do qual pode ser laminada tira fundida proveniente do fundidor de
20 tira fina;

(e) um dispositivo conectado ao laminador a quente capaz de afetar a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta a sinais de controle; e

25 (f) um sistema de controle capaz de calcular uma realimentação de deformação diferencial a partir de tensão longitudinal na tira por comparação de um perfil de espessura de saída com um perfil de espessura

objetivo derivado de um perfil de espessura de entrada medido, capaz de gerar os sinais de controle em resposta à realimentação de deformação diferencial, e conectado ao dispositivo para fazer com que o afete a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta aos sinais de controle.

32 - Usina de fundição de tira fina, de acordo com a reivindicação 31, **caracterizada** pelo fato do dito dispositivo capaz de afetar a geometria da dita tira processada pelo laminador a quente ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, um controlador de intervalo e um controlador de refrigerante.

33 - Usina de fundição de tira fina, de acordo com a reivindicação 31 ou reivindicação 32, **caracterizada** pelo fato do dito sistema de controle ser capaz ainda de calcular uma referência de controle de alimentação de avanço e um vetor de sensibilidade, e ainda capaz de gerar sinais de controle em resposta à dita referência de controle de alimentação de avanço e dito vetor de sensibilidade para fazer com que o dito dispositivo afete a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta aos ditos sinais de controle.

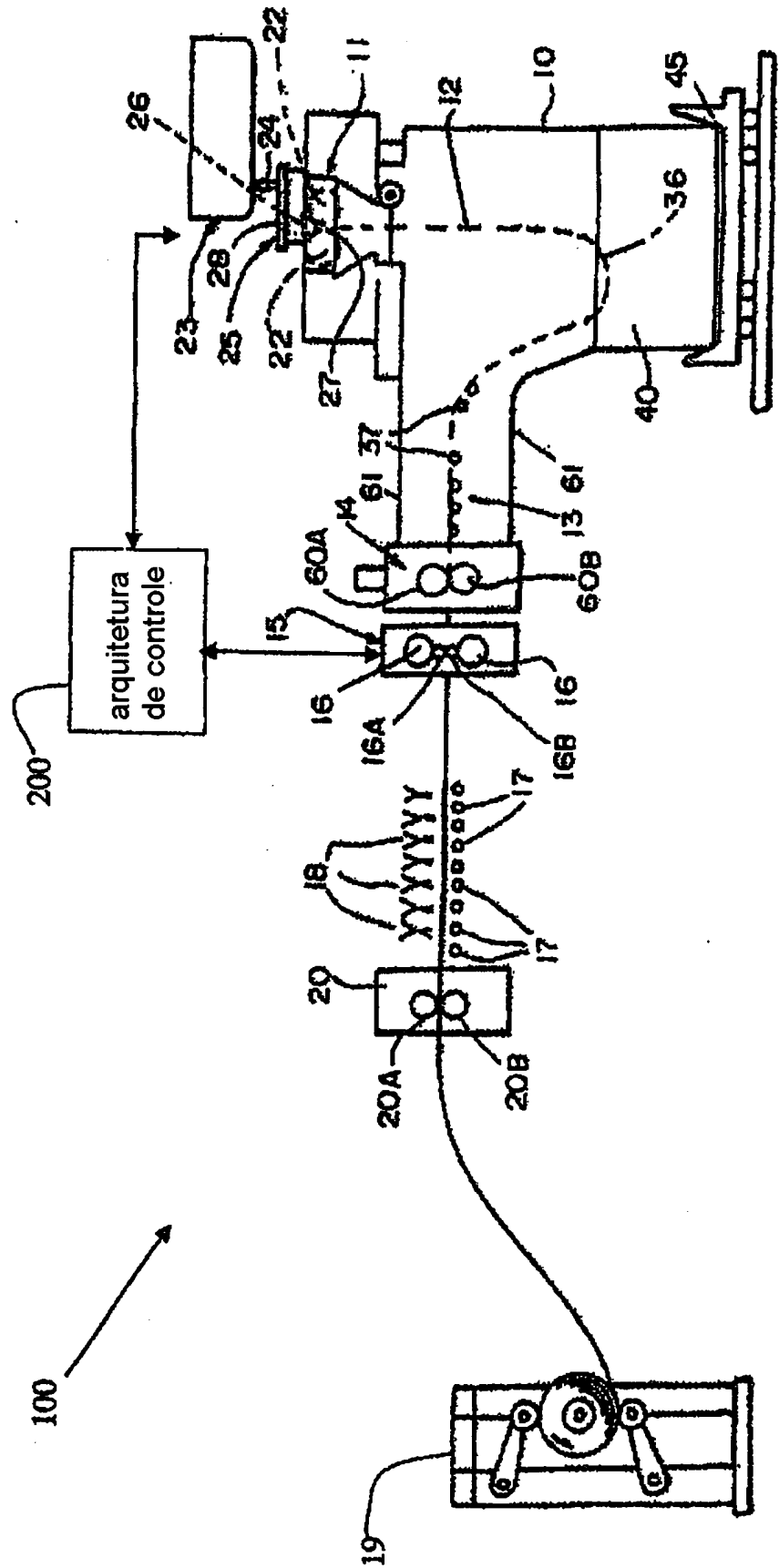
34 - Usina de fundição de tira fina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 31 a 33, **caracterizada** pelo fato do dito sistema de controle ser ainda capaz de calcular a referência de controle de alimentação de

avanço, e capaz ainda de gerar sinais de controle em resposta à dita referência de controle de alimentação de avanço para fazer com que o dito dispositivo altere a geometria de tira processada pelo laminador a quente em
5 resposta aos ditos sinais de controle.

35 - Usina de fundição de tira fina, de acordo com qualquer uma das reivindicações 31 a 34, **caracterizada** pelo fato do dito sistema de controle ser ainda capaz de calcular um vetor de sensibilidade, e capaz ainda
10 de gerar sinais de controle em resposta ao dito vetor de sensibilidade para fazer com que o dito dispositivo altere a geometria da tira processada pelo laminador a quente em resposta aos ditos sinais de controle.

36 - Usina de fundição de tira fina, de acordo com a reivindicação 33, **caracterizada** pelo fato da dita referência de controle de alimentação de avanço e dito vetor de sensibilidade serem calculados como uma função de um perfil de espessura objetivo, derivado de um perfil de espessura de entrada medido, e um perfil de
15 pressão do intervalo entre cilindros para permitir compensação para flutuações de perfil e lisura na tira fundida.
20

FIG. 1



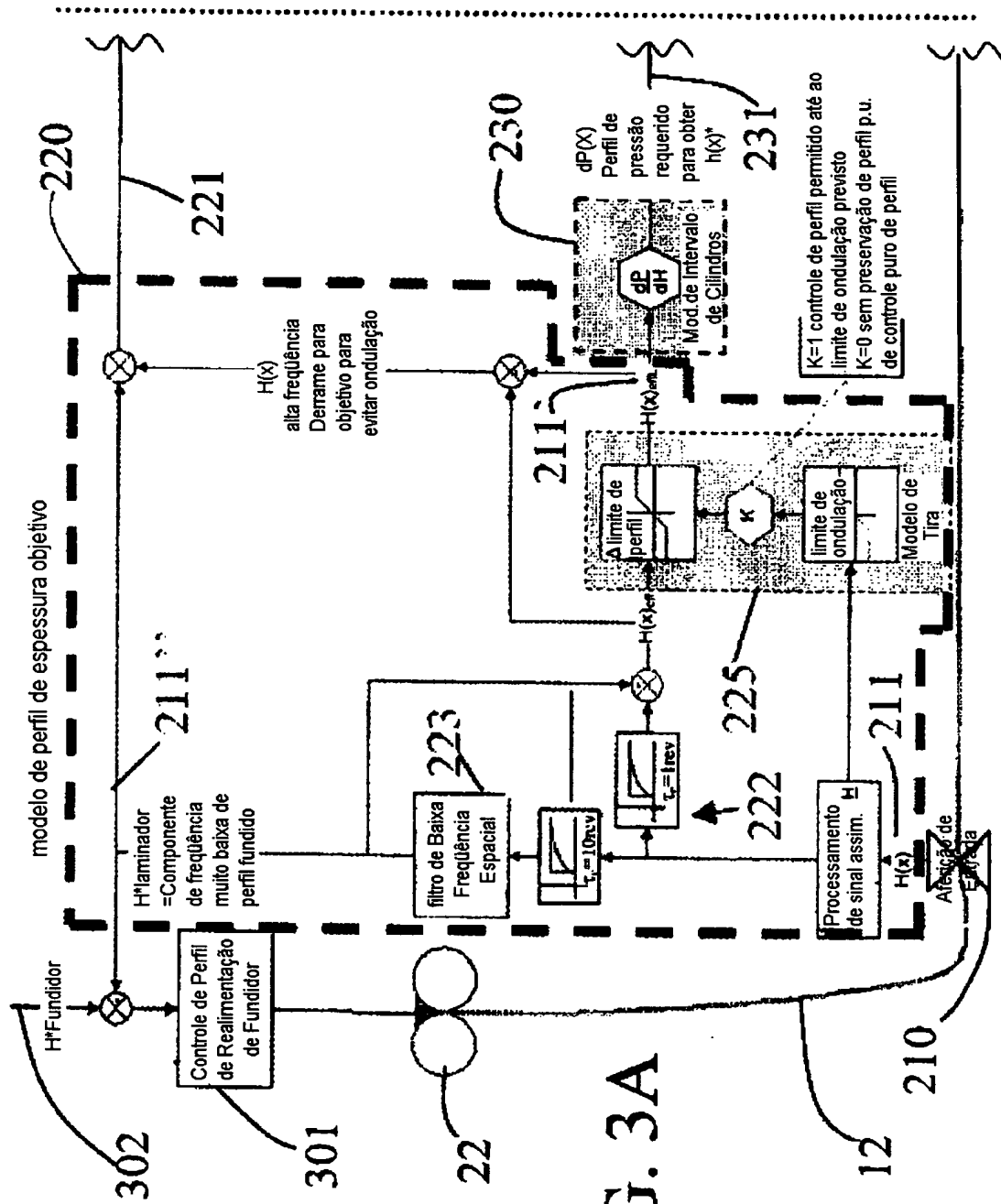


FIG. 3A



Fig. 4

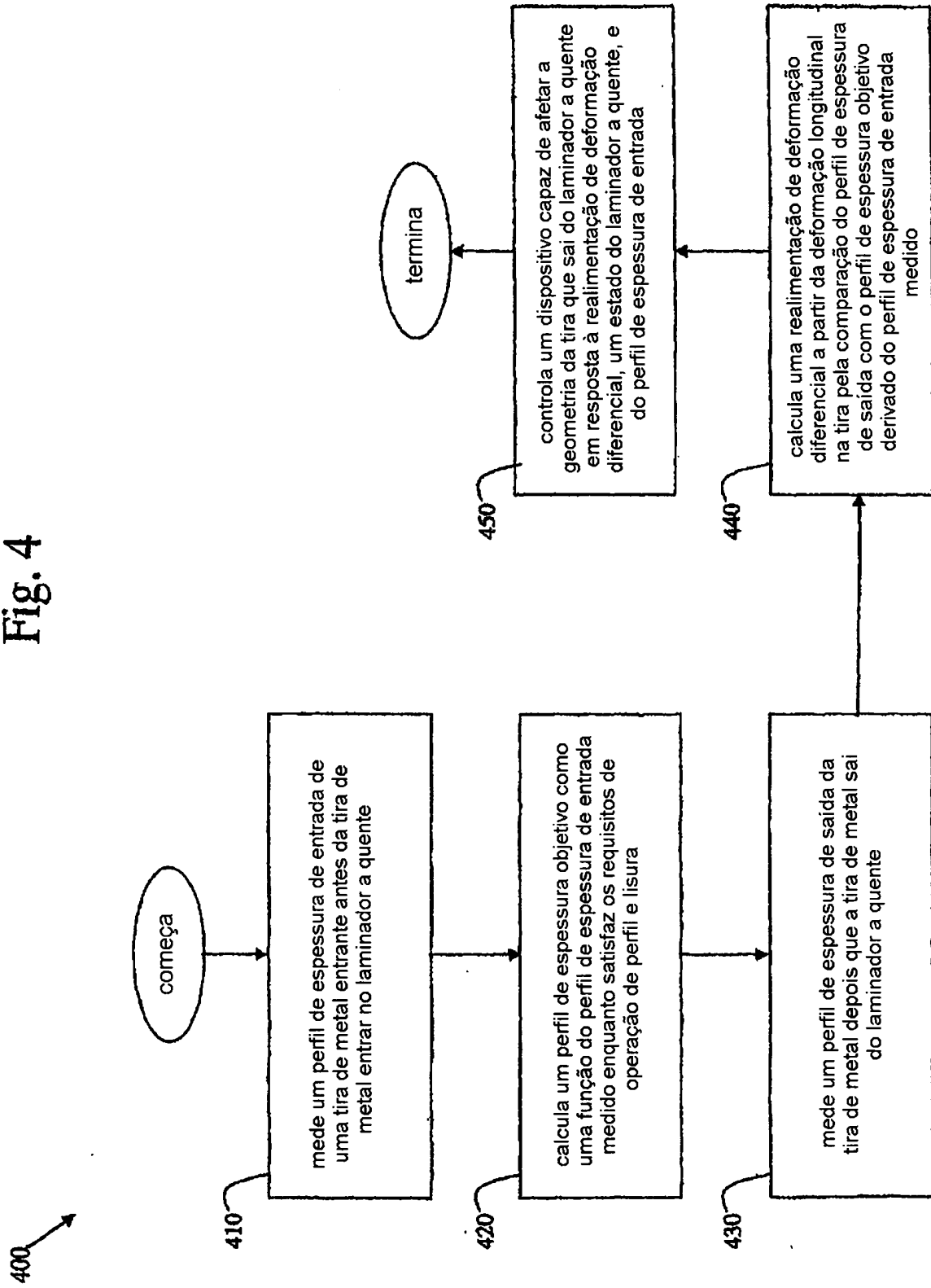
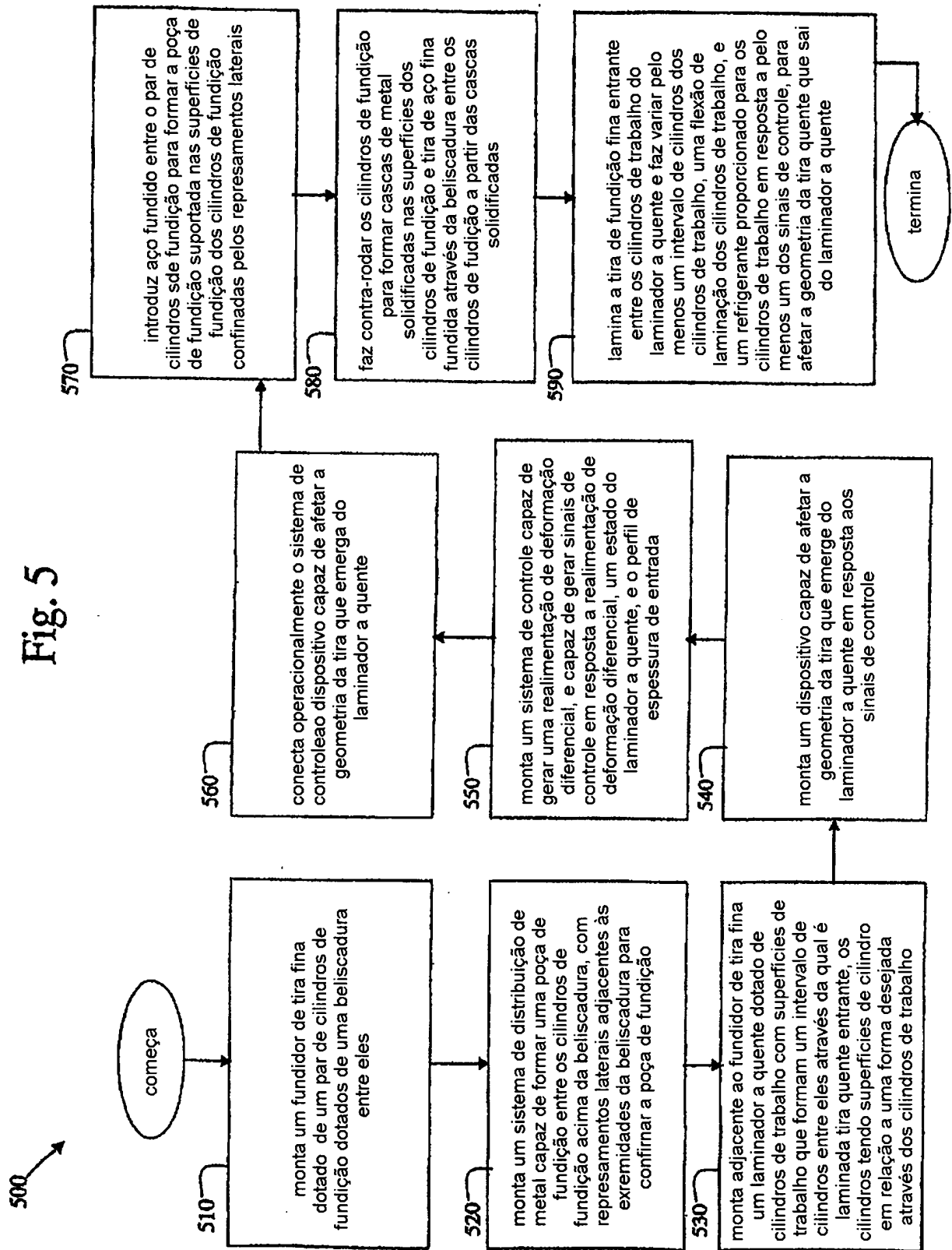


Fig. 5



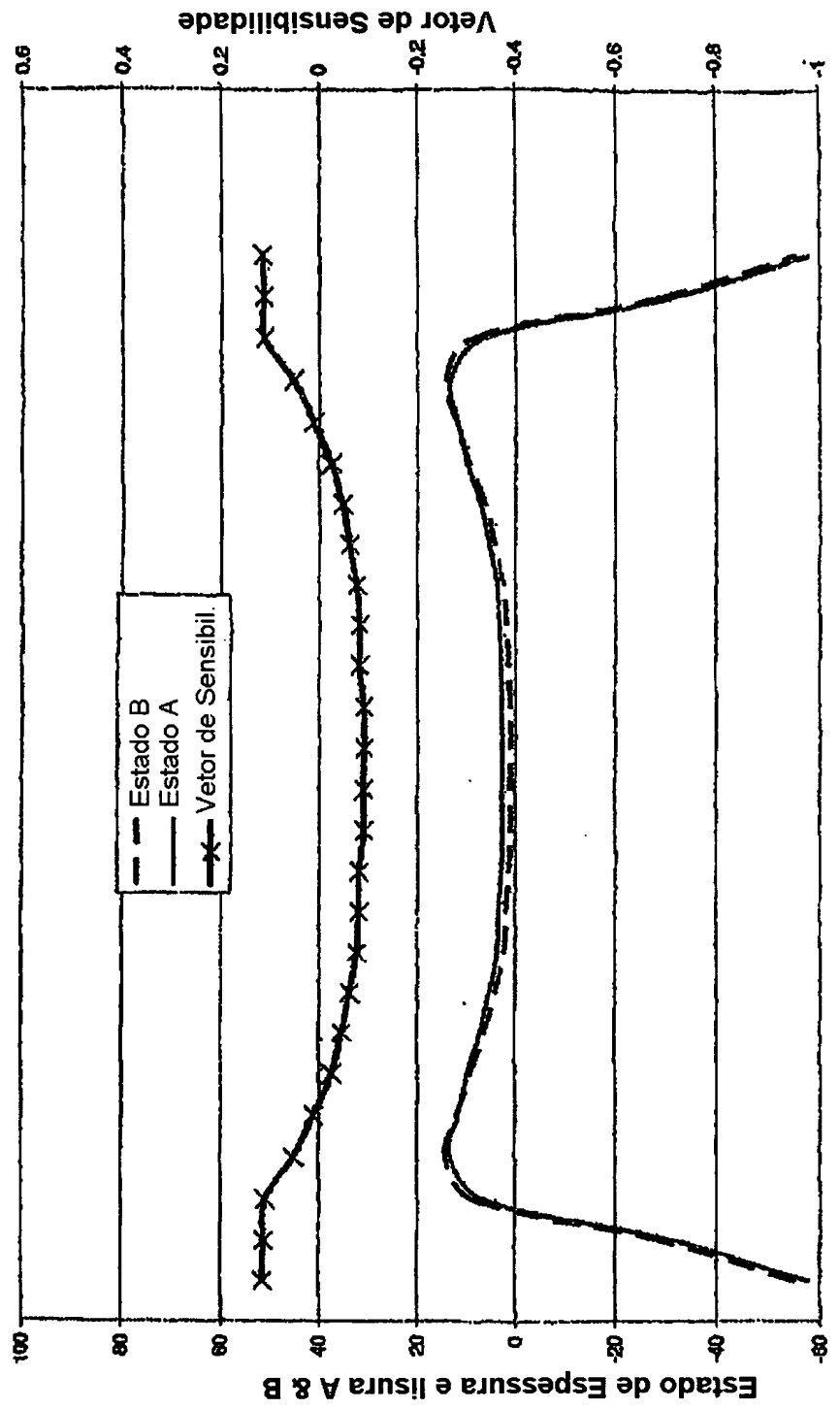


Fig. 6

600

RESUMO

MÉTODO PARA CONTROLAR GEOMETRIA DE TIRA EM UMA USINA DE
FUNDIÇÃO DE TIRA, ARQUITETURA DE CONTROLE PARA CONTRO-
LAR A GEOMETRIA DE TIRA E MÉTODO PARA PRODUZIR TIRA
FUNDIDA FINA

5 Expõe-se um aparelho e método para controlar geometria de tira em uma usina de fundição que é dotada de um laminador. Um perfil de espessura visado é calculado como uma função do perfil de espessura de entrada medida da tira enquanto satisfaz requisitos operacionais de perfil e lisura. Uma realimentação de tensão diferencial proveniente da tensão longitudinal na tira é calculada por um sistema de controle pela comparação do perfil de espessura de saída com o perfil de espessura visado, e um sinal de controle é gerado para controlar um dispositivo capaz de afetar a geometria da tira processada pela usina de laminação. Uma referência de controle de alimentação de avanço e/ou vetor de sensibilidade pode ser também calculado como uma função do perfil de espessura visado, e usada na geração do sinal de controle enviado para o dispositivo de controle. O dispositivo de controle pode ser selecionado a partir de um ou mais do grupo que consiste de um controlador de flexão, controlador de distância intercalar (flexão) e controlador de refrigerante.

10

15

20

25