



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

(21) **PI0707959-1 A2**



(22) Data de Depósito: 20/02/2007  
(43) Data da Publicação: 17/05/2011  
(RPI 2106)

(51) *Int.Cl.:*  
B21B 37/32

(54) Título: **AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA CONTROLAR O APLANAMENTO DE CHAPA LAMINADA**

(30) Prioridade Unionista: 17/02/2006 US 60/774,974

(73) Titular(es): Alcoa INC.

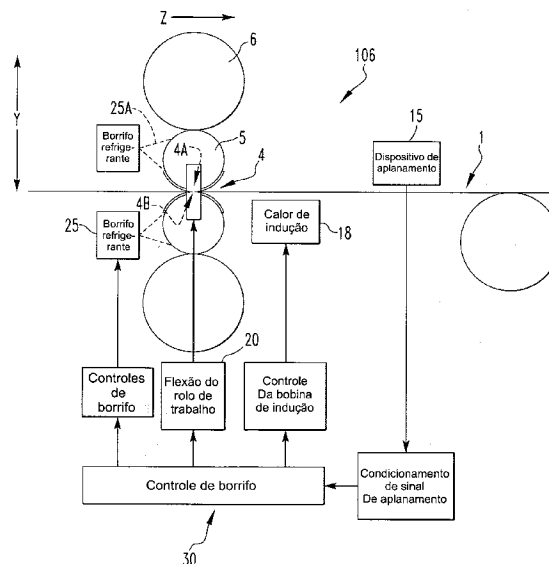
(72) Inventor(es): Frederic J. Schultheis, Mark E. Puda, Michael A. Globig, Michael A. Ringle, Neal R. Vernon, Srinivas S. Garimella, William J. Beck

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2007062440 de 20/02/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/095646 de 23/08/2007

(57) **Resumo:** AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA CONTROLAR O APLANAMENTO DE CHAPA LAMINADA. A presente invenção refere-se a um sistema para laminar chapa de metal (1) apresentando um aplanamento substancialmente uniforme, que inclui um laminador incluindo um par de roletes de trabalho (5) para reduzir a espessura de uma tira de metal, um aparelho de aquecimento por indução (10a) próximo a pelo menos um rolete (5), macacos de flexão corresponden- do a cada dos roletes (5), e um sistema de borrfio refrigerante (25) próximo aos roletes (5); um dispositivo de medição de aplanamento (15) posicionado para medir um diferencial no aplanamento da tira de metal; e uma interface de controle de laminador (30) conectada entre o dispositivo de medição de aplanamento (15) e os atuadores do laminador, a interface de controle de laminador (30) sendo configurada para acionar o aparelho de aquecimento de indução (10a), os macacos de flexão e o sistema de borrfio refrigerante (25) para substancialmente eliminar diferenciais de aplanamento no aplana- mento da tira de metal, O aparelho de aquecimento de bobina de indução (10a) é configurado para eliminar alta-tensão nas bordas da tira causada pelos gradientes de temperatura nos rolos de trabalho (5) nas bordas da tira de metal.





**PI0707959 - 1**

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**APLICAÇÃO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA CONTROLAR O APLANAMENTO DE CHAPA EM LAMINADORES A FRIO**".

Referência Cruzada aos Pedidos Relacionados

- 5 A presente invenção reivindica o benefício do Pedido de Patente Provisório Norte-americano 60/774.974, depositado em 17 de fevereiro de 2006, os conteúdos totais e a descrição do qual são aqui incorporados para referência, conforme integralmente explicado aqui.

Campo Da Invenção

- 10 Em uma concretização, a invenção refere-se à laminação a frio, e a um método de aperfeiçoar o aplanamento de chapa em chapas de metal laminadas a frio utilizando o aquecimento por indução.

Antecedentes da Invenção

- 15 Produtos em tira compostos de metal, tal como alumínio, são tipicamente laminados em cadeiras de laminador de quatro ou de seis rolos. Os métodos anteriores para formar tiras de alumínio não permitiam laminar a tira uniformemente sobre toda sua largura, e não permitiam prover produtos laminados livres de ondulações de aplanamento indesejáveis na área intermediária, na área de borda ou no quarto de área da tira. Esforços internos
- 20 irregularmente distribuídos resultantes do processamento do material com os métodos anteriores tipicamente resultam em rachadura de borda, onde as rachas de borda precisam ser descartadas, resultando na eliminação e no descarte de seções do produto laminado. A rachadura de borda no meio de uma bobina pode exigir o descarte de toda a bobina.

25 Sumário da Invenção

- Em geral, de acordo com a invenção, em uma concretização, é provido um método de formar chapa de metal que emprega o aquecimento por indução para termicamente expandir as porções do diâmetro de um rolo de trabalho singular em resposta às medições de aplanamento tomadas da
- 30 tira de metal a jusante do rolete de trabalho. O método inclui:

a laminação de uma chapa de metal entre um par de roletes de trabalho para formar um produto laminado;

a medição da distribuição de tensão do produto laminado de uma porção central do produto laminado para pelo menos uma porção de borda do produto laminado; e

o ajuste de uma temperatura em um rolete singular do par de roletes de trabalho para prover um diâmetro de borda do rolete singular que seja maior do que um diâmetro central do rolete de trabalho singular, quando a tensão de pelo menos uma porção de borda do produto laminado for maior do que a tensão da porção central do produto laminado.

Em uma concretização, o ajuste da temperatura do rolete singular inclui o aquecimento seletivo das porções de borda do rolete de trabalho para termicamente expandir as porções do rolete de trabalho correspondendo à borda longitudinal da tira de metal para ter um maior diâmetro do que a porção central do rolete de trabalho para prover um rolete de trabalho apresentando um diâmetro não-uniforme ao longo de sua largura. Em uma concretização, o aquecimento indutivo é empregado para ajustar a temperatura, o aquecimento indutivo sendo provido por bobinas de aquecimento por indução que aplicam calor às porções dos roletes de trabalho que correspondem à porção da superfície de contato entre o rolete de trabalho e borda longitudinal da tira de metal que é laminada. A superfície de contato entre o rolete de trabalho e a tira de metal é denominada de superfície de trabalho. Em uma concretização, o ajuste da temperatura no rolete singular inclui duas bobinas de aquecimento por indução posicionadas próximas ao rolete de trabalho singular, onde o calor aplicado por cada bobina de aquecimento por indução apresenta uma magnitude que ajusta a expansão térmica ao longo de um comprimento do eixo de um dos roletes de trabalho, de tal modo que o efeito sobre a abertura do rolo da coroa térmica em ambos os roletes seja compensado por completo.

Em uma concretização, as medições de tensão são providas por uma barra de aplanamento posicionada a jusante dos roletes de trabalho que estão em contato com pelo menos uma superfície do produto laminado depois de ser laminado pelos roletes de trabalho. A barra de aplanamento pode incluir uma pluralidade de varetas de prova que ficam em contato com

a superfície superior ou inferior da chapa de metal. Em outra concretização, as medições de tensão podem ser opticamente providas por métodos incluindo, mas não limitados a medições por varredura óptica ou a laser. Em uma concretização adicional, as medições de tensão podem ser providas acusticamente.

Em outra concretização, um método para formar uma chapa de metal inclui:

a laminação de uma chapa de metal entre um par de roletes de trabalho para formar um produto laminado;

a medição do aplanamento do produto laminado; e

o ajuste do diâmetro de uma porção de um único rolete de trabalho do par de roletes de trabalho correspondendo à borda longitudinal da chapa de metal em resposta ao aplanamento do produto laminado.

Em outro aspecto da invenção, é provido um sistema para laminar chapa de metal apresentando um aplanamento substancialmente uniforme. Em uma concretização, o sistema para laminar chapa de metal inclui:

um laminador com pelo menos um par de roletes de trabalho;

um aparelho de aquecimento por indução posicionado próximo a um rolete de trabalho singular do par de roletes de trabalho;

um dispositivo de medição de aplanamento posicionado a jusante do par de roletes de trabalho; e

uma interface de controle de laminador conectada entre o dispositivo de medição de aplanamento e o aparelho de aquecimento por indução, onde a interface de controle de laminador é configurada para receber medições de aplanamento do dispositivo de medição de aplanamento e para enviar sinais para acionar o aparelho de aquecimento por indução para prover um produto laminado apresentando uma distribuição de tensão substancialmente uniforme através da largura do produto laminado.

Em uma concretização, o aparelho de aquecimento por indução é configurado para eliminar a alta tensão nas bordas da tira que pode ser causada pelo gradiente de temperatura nos rolos de trabalho nas bordas da tira de metal. Em uma concretização, o aparelho de aquecimento por indu-

ção pode adicionalmente incluir macacos de flexão, mecanismos de deslizamento axial de rolo de trabalho e um sistema de esfriamento por borrifo, onde os macacos de flexão, o mecanismo de deslizamento axial e o sistema de esfriamento por borrifo podem também ser acionados pela interface de controle de laminador em resposta às medições de aplanamento.

#### Breve Descrição dos Desenhos

A seguinte descrição detalhada, fornecida por meio de exemplo e não destinada a limitar a invenção unicamente à mesma, será melhor apreciada em conjunção com os desenhos anexos, nos quais numerais de referência semelhantes indicam elementos e partes semelhantes, nos quais:

a Figura 1 é uma vista esquemática que ilustra uma concretização de um sistema para controlar o aplanamento na chapa laminada, de acordo com a invenção;

a Figura 2a é uma vista em perspectiva que ilustra uma concretização de um sistema para controlar o aplanamento na chapa laminada incluindo dois aquecedores a indução correspondendo a um rolete de trabalho singular, de acordo com a invenção;

a Figura 2b é uma vista em perspectiva que ilustra outra concretização de um sistema para controlar o aplanamento na chapa laminada incluindo quatro aquecedores a indução em uma disposição empilhada e correspondendo a um rolete de trabalho singular, de acordo com a invenção.

a Figura 2c é uma vista em perspectiva que ilustra outra concretização de um sistema para controlar o aplanamento em uma chapa laminada incluindo quatro aquecedores a indução em uma disposição de lado a lado e correspondendo a um rolete de trabalho singular, de acordo com a invenção;

a Figura 2d é uma vista em perspectiva que ilustra uma concretização de um laminador a frio, de acordo com a presente invenção;

a Figura 3 é um gráfico que ilustra uma concretização de um rolete de trabalho no qual as porções de borda foram termicamente expandidas para prover um rolete de trabalho apresentando um diâmetro não-uniforme ao longo da largura do rolete;

a Figura 4 é uma representação gráfica da distribuição de tensão de um produto laminado com aquecimento por indução nas porções de borda de um rolete de trabalho singular, de acordo com a presente invenção, em comparação a um produto laminado sem aquecimento por indução nas porções de borda de um rolete de trabalho;

a Figura 5 é uma representação gráfica da distribuição de tensão de um produto laminado com aquecimento por indução nas porções de borda de um rolete de trabalho singular, de acordo com a presente invenção, em comparação a um produto laminado sem aquecimento por indução nas porções de borda de um rolete de trabalho.

#### Descrição Detalhada das Concretizações Preferidas

Concretizações detalhadas da presente invenção são descritas aqui; contudo, deve ser entendido que estas são meramente ilustrativas da invenção, que pode ser concretizada em várias formas. Além disso, cada dos exemplos fornecidos em conexão com as várias concretizações da invenção se destina a ser ilustrativo e não restritivo. Além disso, as figuras não são necessariamente apresentadas em escala, algumas características podendo ser exageradas para mostrar detalhes de componentes específicos. Por isso, detalhes estruturais e funcionais específicos descritos aqui não devem ser interpretados como limitativos, mas meramente como uma base representativa para ensinar aquele versado na técnica a empregar a presente invenção de forma variada.

A Figura 1 é uma representação esquemática de um sistema de laminação a frio 100, onde o sistema de laminação a frio 100 inclui pelo menos dois rolos de trabalho 5, um aparelho de aquecimento por bobina de indução 10a, e um dispositivo de medição de aplanamento 15 configurado para medir o aplanamento da superfície de uma tira de metal 1 que é laminada pelos roletes de trabalho 5. Os roletes de trabalho 5 são dispostos opostos entre si, nos quais a abertura entre os roletes de trabalho 5 é denominada de abertura de rolo 4. Os roletes de trabalho 5 podem ser de aço ou de outro material metálico rígido. A chapa a ser laminada é inserida entre os roletes de trabalho 5, sendo laminada e estirada em uma direção da seta Z. Em

uma concretização, a tira de metal 1 é de alumínio ou de uma liga de alumínio. Em uma concretização, a tira de metal 1 apresenta uma espessura antes da laminação que varia de aproximadamente 10,16 mm (0,400") a aproximadamente 0,254 mm (0,010"). Em ainda outra concretização, a tira de metal é uma liga de alumínio que pode ser laminada tão fina quanto aproximadamente polegadas 0,2032 mm (0,008), mas é notado que mesmo espessuras menores são possíveis, onde a espessura do produto laminado pode depender da aplicação pretendida do produto laminado.

A laminação a frio indica um processamento de chapa de metal que foi esfriada a temperatura ambiente, mas, no curso de inúmeras passagens de laminação a frio da chapa de alumínio, a temperatura do material pode ser elevada para aproximadamente 165,5°C (330°F). Apesar de a seguinte descrição ser geralmente dirigida à laminação a frio, foi contemplado que o método e o aparelho seguintes podem ser também aplicados na laminação a quente, o que está dentro do escopo da presente invenção. A laminação a quente de chapa de alumínio é geralmente caracterizada por temperaturas de processamento que variam de aproximadamente 287,7°C (550°F) a aproximadamente 482,2°C (900°F). É notado que as temperaturas acima são providas para fins ilustrativos apenas, não se destinando a limitar a invenção às mesmas, visto que as temperaturas de processamento podem ser modificadas por várias condições de processamento, tais como a velocidade de laminação, o número de passagens de laminação a frio, e o grau de esfriamento entre as passagens de laminação.

Com referência às Figuras 1 e 2a-2d, durante as inconsistências de laminação entre o perfil da abertura de rolo 4 e a distribuição transversal de espessura da tira de metal 1 que entra nos roletes de trabalho 5, tipicamente resultam defeitos de aplanamento que podem ser visíveis como bordas onduladas ou porções centrais onduladas do produto laminado. A distribuição transversal de espessura da tira de metal 1 é definida pela espessura da tira de metal medida da superfície superior da tira de metal para a superfície inferior da tira de metal através da largura da tira de metal W1. O perfil de abertura de rolo pode ser definido como a dimensão que separa as su-

perfícies de trabalho opostas 4a, 4b dos roletes de trabalho 5, onde a dimensão que separa as superfícies de trabalho opostas 4a, 4b dos roletes de trabalho 5 durante a laminação pode não ser uniforme ao longo da largura dos roletes de trabalho 5. As diferenças entre a geometria da abertura de rolo 4 e a distribuição transversal de espessura da tira de metal 1 podem resultar em inconsistências no alongamento da tira de metal 1 através da largura da tira de metal W1 depois da laminação que podem se manifestar como defeitos de aplanamento no produto laminado.

A desarmonia ou as inconsistências do perfil da abertura de rolo 4 e da distribuição transversal de espessura da tira de metal 1 que tipicamente resultam em defeitos de aplanamento podem resultar de uma força exercida sobre os roletes de trabalho 5 pela tira de metal 1 que é laminada, o que pode ser denominado de deflexões por flexão. A desarmonia ou as inconsistências entre o perfil da abertura de rolo 4 e a distribuição transversal de espessura da tira de metal 1 que tipicamente resultam em defeitos de aplanamento podem também resultar da expansão térmica do rolete de trabalho 5, o que é pelo menos parcialmente atribuído ao calor de atrito do processo de laminação, o que cria um abaulamento térmico das superfícies do rolete de trabalho 5. A temperatura na qual cada dos roletes de trabalho 5 tipicamente chega ao pico no ponto intermediário M1 da largura W1 dos roletes de trabalho; por esta razão, a expansão térmica em cada dos roletes de trabalho 5 é tipicamente a maior no ponto intermediário M1 do rolete de trabalho e diminui na direção das bordas dos rolos, o que pode ser denominado de coroa térmica.

Durante a bobinagem, o produto laminado pode ser estirado sob tensão, onde os defeitos de aplanamento podem se manifestar como bordas repuxadas, que podem ser propensas à ruptura. A formação de bordas repuxadas na porção de borda da tira de metal que se encontra em uma tensão maior do que a porção central da tira de metal é tipicamente o fator limitante na velocidade de bobinagem dos métodos anteriores. É notado que, embora macacos de flexão, borrifos refrigerantes, coroas mecanicamente esmerilhadas nos roletes de trabalho, e mecanismos de deslocamento late-

ral de rolo de trabalho possam ter um efeito positivo sobre a redução de defeitos de aplanamento nas porções centrais do produto laminado, tais mecanismos não proporcionam uma redução substancial nos defeitos de aplanamento formados na porção de borda da tira de metal, tal como a formação de bordas repuxadas.

5 Em um aspecto da presente invenção, um aumento substancial na redução de bordas repuxadas foi realizado usando um aparelho de aquecimento por indução 10a, 10, 10c, 10d configurado para a expansão térmica das porções de um rolete de trabalho singular do par de roletes de trabalho que corresponde à borda 13a, 13b da tira de metal 1. O termo "distribuição de tensão substancialmente uniforme através da largura do produto laminado" indica que, quando a tensão externa for removida do produto laminado, o produto laminado for colocado em uma superfície plana, não haverá substancialmente nenhum desprendimento do produto laminado da superfície plana sobre a qual é colocado o produto laminado. O termo "substancialmente nenhum desprendimento" indica que a superfície inferior do produto laminado está totalmente em contato com a superfície plana sobre a qual é colocado o produto laminado. A tensão externa é a tensão que é imposta sobre a chapa durante a bobinagem depois da laminação. Em uma concretização, a fim de aplanar o produto laminado, as fibras longitudinais através da largura dos produtos laminados poderão ser substancialmente do mesmo comprimento na ausência de tensão externa.

15 Com referência às Figuras 1-2d, em uma concretização, a presente invenção mede o aplanamento e a existência de defeitos de aplanamento na tira de metal que é laminada, tais como bordas repuxadas, e, em resposta aos defeitos de aplanamento medidos, toma uma ação corretiva que inclui pelo menos aquecedores a indução que correspondem às porções de borda de um rolete de trabalho singular. Em uma concretização, as medições de aplanamento da tira de metal 1 são providas por um dispositivo de medição de aplanamento 15, que é posicionado a jusante dos roletes de trabalho 5 para medir o aplanamento do produto laminado. Em uma concretização, o dispositivo de medição de aplanamento 15 pode ser uma barra de

aplanamento configurada para medir uma distribuição de tensão do produto laminado da porção central do produto laminado para a porção de borda do produto laminado. O termo "medição de uma distribuição de tensão de uma porção central do produto laminado para uma porção de borda do produto laminado" indica que a tensão pode ser medida em incrementos do centro do produto laminado através da largura do produto laminado para a borda do produto laminado, onde cada incremento pode ser considerado uma senda que se estende longitudinalmente ao longo do comprimento na direção na qual pode ser laminado o produto laminado.

10 Em uma concretização, a pluralidade de rotores mede a distribuição transversal de tensão através da largura da tira de metal 1. A barra de aplanamento pode incluir uma pluralidade de varetas de prova que ficam em contato com a superfície da chapa de metal. Mais particularmente, o produto laminado é bobinado sob tensão, onde, antes da bobinagem, o produto laminado entra em contato com a barra de aplanamento sob a qual uma força é induzida na direção y sobre as partes da barra de aplanamento, conforme representado nas Figuras 2a-2c. Conforme discutido acima, em algumas concretizações, a tensão de bobinagem confere uma chapa que pode parecer ser visualmente chata, enquanto é bobinada, mas esta aplicação de tensão externa não irá corrigir as diferenças no alongamento que se manifestam como defeitos de aplanamento, quando a tensão externa for removida. Em resposta à aplicação de tensão externa durante a bobinagem, a distribuição de tensão é efetuada através da largura W2 do produto laminado, onde a distribuição de tensão no produto laminado está correlacionada à força induzida pela chapa em cada das varetas de prova da barra de aplanamento. Em uma concretização, a barra de aplanamento pode incluir uma pluralidade de rotores 15A, preferivelmente apresentando uma largura de 12,7 a 76,2 mm (0,5" a 3,0"), disposta ao longo de um eixo, onde cada dos rotores mede a força ao longo de uma senda que corresponde à tensão da tira de metal 1 que é laminada.

Em outra concretização, o aplanamento da chapa de metal 1 pode ser opticamente medido ou pode ser caracterizado usando lasers. Em

ainda outra concretização, o dispositivo de medição de aplanamento pode também incluir um sistema de não-contato que mede a distribuição de tensão da tira de metal usando medições acústicas. As medições acústicas podem ser providas por modulação senoidal de um vácuo sob a tira de metal 1.

5 É notado que os dispositivos de medição de aplanamento acima 15 são providos para fins ilustrativos e que a presente invenção não é considerada limitada aos mesmos, uma vez que pode ser utilizado qualquer dispositivo de medição de aplanamento que seja capaz de medir o aplanamento da tira de metal 1 que é laminada, ou determinar a distribuição transversal de tensão  
10 através da largura da tira de metal 1, estando dentro do escopo da invenção.

Com referência às Figuras 1-2c, o aparelho de aquecimento por indução 10 pode ser acionado em resposta a defeitos nos diferenciais de aplanamento e tensão na tira de metal 1. O aquecimento por indução é um método pelo qual os roletes de trabalho de aço são aquecidos por um método de não-contato de usar um campo magnético alternado. Em uma concretização, o aparelho de aquecimento por indução é composto de pelo menos uma fonte de energia que fornece uma saída de força na frequência da corrente elétrica exigida e uma montagem de bobina de indução. A fonte de energia aciona uma corrente elétrica alternada de alta frequência através da  
15 montagem de bobina de indução. O campo magnético alternado induz um fluxo de corrente no rolete de trabalho singular que pode ser denominado de correntes parasitas. O fluxo de corrente através do rolete de trabalho aumenta a temperatura no rolete de trabalho 5 através do aquecimento joule. Em uma concretização, cada bobina de indução 10 pode incluir um núcleo ferromagnético. O aparelho de aquecimento por bobina de indução 10 pode  
20 adicionalmente incluir pelo menos uma passagem de esfriamento para prover um líquido refrigerante ou pode não incluir passagens de esfriamento.

Em uma concretização, a corrente através da bobina eletricamente condutiva pode estar na ordem de cerca de 80 amps a cerca de 200  
30 amps. Em uma concretização, o suprimento de energia para os aquecedores a indução tem uma frequência de operação fixa, onde a frequência do sinal de corrente elétrica enviado para a bobina de aquecimento é de cerca de 20

KHz. A onda de corrente para o aquecedor a indução é senoidal com amplitude variada. A energia para os aquecedores a indução é ajustada com a mudança da amplitude da onda de corrente senoidal sobre um número ajustado de ciclos em um padrão de repetição. A duração do padrão de repetição é de cerca de 8 ciclos da forma de onda de operação. Na potência total, o sinal de corrente é uma onda senoidal de 20 KHz com amplitude constante. É notado que as correntes e as frequências acima são providas para fins ilustrativos e não se destinam a limitar a presente invenção, já que outras correntes e frequências foram contempladas e estão dentro do escopo da presente invenção. Além disso, outros modos de prover energia foram também contemplados e estão dentro do escopo da presente invenção.

Em uma concretização, o ajuste da temperatura do rolete de trabalho singular inclui bobinas de aquecimento por indução 10 para induzir o aquecimento nas porções do rolete de trabalho 5 adjacentes à superfície de trabalho correspondendo às bordas das tiras de metal 13a, 13b. Mais especificamente, as bobinas de aquecimento por indução 10a, 10b, 10c, 10d são alinhadas com a porção do rolete de trabalho que entra em contato com a borda longitudinal 13a, 13b da tira de metal que é laminada para prover o produto laminado, onde a borda longitudinal 13a, 13b se estende ao longo da direção de laminação. Com referência à Figura 2a, em uma concretização, o ajuste do calor gerado pelo aparelho de aquecimento por indução no rolete de trabalho singular inclui uma bobina de aquecimento por indução 10a, 10b posicionada em cada extremidade do rolete 5, onde cada bobina de aquecimento por indução 10a, 10b corresponde a cada borda da tira de metal 1. Em outra concretização, o ajuste do calor gerado pelo aparelho de aquecimento por indução no rolete de trabalho singular 5 inclui dois aquecedores a indução 10a, 10b que correspondem a cada borda 13a, 13b da tira de metal 1, onde o posicionamento das bobinas de indução estão em uma configuração empilhada que pode corresponder à circunferência do rolete de trabalho, conforme representado na Figura 2b. Em uma concretização adicional, o aparelho de aquecimento por indução pode incluir duas bobinas correspondendo a cada borda 13a, 13b da tira de metal 1, onde as bobinas

são posicionadas adjacentes entre si, conforme representado na Figura 2c.

Em uma concretização, cada bobina de indução 10 pode corresponder à porção do rolete de trabalho 5 adjacente à superfície de contato do rolete de trabalho na qual a tira de metal 1 está sendo laminada, que pode também ser denominada de superfície de trabalho. Em outra concretização, cada bobina de indução 10 pode ser disposta lateralmente em uma direção paralela ao eixo de rotação do rolete para reposicionar as bobinas nas bordas de cada tira ou próximo a estas. Com a provisão de bobinas de indução 10 que podem ser lateralmente dispostas, a posição das bobinas de indução pode ser posicionada para responder pelas diferentes larguras da tira de metal. Além de ser estabelecido que cada bobina de indução possa ser disposta lateralmente, as bobinas de indução podem também incluir um mecanismo para ajustar a abertura entre a bobina de indução e a superfície de trabalho do rolo de trabalho. Em uma concretização, um cilindro hidráulico com um controle de posição move a bobina de indução para frente até que o contato com o rolo seja formado e depois recua do rolo de trabalho em aproximadamente 3 mm. É notado que outras dimensões para a abertura que separa a bobina de indução do rolo de trabalho também foram contempladas e estão dentro do escopo da presente invenção, contanto que o grau de separação permita o acoplamento efetivo do campo magnético da bobina ao rolo, de modo que correntes parasitas sejam induzidas no rolo.

Em uma concretização, os aquecedores a indução 10a, 10b, 10c, 10d apresentam calor suficiente para termicamente expandir o diâmetro de um rolete de trabalho singular que corresponde à borda da tira de metal para ser maior do que o diâmetro de uma porção central do rolete singular. O termo "rolete de trabalho singular" indica um rolete de trabalho do par de roletes de trabalho 5, onde o rolete de trabalho singular pode ser ou o rolete de trabalho superior ou o rolete de trabalho inferior do par de roletes de trabalho. O termo "diâmetro de borda do rolete singular" indica o diâmetro da porção do rolete singular que corresponde à borda longitudinal 13a, 13b da chapa de metal. O termo "diâmetro central do rolete de trabalho singular" indica o diâmetro das porções do rolete entre cada diâmetro de borda do

rolete singular.

Nas concretizações da presente invenção nas quais as bobinas de indução por calor são posicionadas com relação a um rolete de trabalho singular do par de roletes de trabalho, a energia aplicada pelas bobinas de aquecimento por indução para aumentar a temperatura de superfície tem uma magnitude que pode prover uma maior expansão térmica na seção do rolete de trabalho adjacente às bordas da tira de metal 13a, 13b com relação à expansão da seção central do rolete de trabalho. A Figura 3 pictoricamente representa o efeito de aquecimento por indução sobre o rolete de trabalho singular 5 para aumentar o diâmetro de borda do rolete singular que corresponde à borda longitudinal 13a, 13b da tira de metal 1, onde a linha de referência 50 representa a expansão térmica através da largura W1 do rolete de trabalho singular que é aquecido por aquecimento por indução, de acordo com a presente invenção, e a linha de referência 51 representa a expansão térmica ao longo da largura W1 do rolete oposto que não é aquecido por aquecimento por indução. O grau de expansão térmica está diretamente correlacionado à temperatura do rolete, onde as porções do rolete apresentando temperaturas mais altas têm um maior grau de expansão térmica.

Em uma concretização, o grau de expansão térmica no rolete singular 50 é selecionado para compensar a expansão térmica 51 na laminação oposta que não inclui aquecedores a indução. Mais especificamente, conforme representado pela linha de referência 50, a maior expansão térmica nas seções do rolete de trabalho 5 que são adjacentes à borda longitudinal 13a, 13b da tira de metal no rolete de trabalho apresentando bobinas de indução desloca o aumento na expansão térmica nas seções do rolete de trabalho adjacentes à tira de metal do rolete de trabalho oposto que não apresenta bobinas de aquecimento por indução, onde o decréscimo na expansão térmica pode ser denominado de efeito de impressão. A combinação da maior expansão térmica na borda da tira no rolete de trabalho singular e da impressão normal no diâmetro de borda do rolete de trabalho oposto apresenta o equivalente de uma abertura de rolo uniforme à tira que é deformada através de sua largura e resulta em uma tira apresentando um apla-

namento uniforme substancialmente livre de bordas repuxadas na saída da cadeira de laminador. Mais especificamente, a expansão térmica no diâmetro de borda do rolete de trabalho singular é selecionada para compensar o rolete oposto que apresenta um maior diâmetro no centro do rolete oposto em comparação com o diâmetro de borda do rolete oposto. Em uma concretização, a mudança de dimensão no diâmetro de borda do rolete de trabalho singular pode ser da ordem de cerca de 0,0127 mm (0,0005 polegadas), na qual foram contemplados graus de expansão maiores e menores, uma vez que o grau de expansão térmica exigido para corrigir os defeitos de aplanamento pode ser efetuado pelas condições do processo que incluem, mas não são limitados à velocidade de laminação, à seleção de material do produto laminado, ao grau de aquecimento provido pelo aparelho de aquecimento por indução, bem como ao grau de refrigerante aplicado à porção central do rolete de trabalho.

Com referência à Figura 1, o laminador 100 pode também incluir um sistema de borrifo refrigerante 25 nas proximidades da porção do rolete de trabalho singular 5 que está em contato com a tira de metal 1 que é laminada. O sistema de borrifo refrigerante 25 pode borrar um líquido refrigerante 25A na porção do rolete de trabalho singular 5 que está em contato com a tira de metal 1, onde o líquido refrigerante remove uma porção do calor gerado pela laminação da tira de metal 1 nos roletes de trabalho 5. A remoção do calor gerado nos roletes de trabalho 5 pela laminação da tira de metal através dos sistemas de borrifo refrigerante não pode reduzir a formação de uma coroa térmica que contribui para defeitos de aplanamento e bordas repuxadas.

Com referência à Figura 1, além do ajuste do calor gerado no rolete de trabalho singular 5, o diferencial no aplanamento da chapa do produto laminado pode ser reduzido adicionalmente pela geração mecânica de uma força que flexiona os roletes de trabalho em uma direção oposta à flexão do rolo causado pela força gerada pela tira de metal 1 no rolete de trabalho 5 durante a laminação. Em uma concretização, os macacos de flexão de rolo 21 e/ou os mecanismos de deslocamento de rolo lateral podem ser

utilizados para gerar um ajuste para a abertura de rolo que compense os defeitos de flexão dos rolos resultantes da força gerada pela tira de metal no rolete de trabalho durante as operações de laminação.

Em uma concretização, os macacos de flexão são configurados para prover uma força oposta à flexão do rolo gerada pela tira de metal 1, podendo ser chamados de macacos de flexão positivos 21. Mais particularmente, os macacos de flexão 21 são configurados para compensar a força produzida pela tira de metal 1 contra a superfície do rolete de trabalho 5 que está em contato com tira de metal 1 durante a laminação, onde a tira de metal 1 produz forças sobre os roletes de trabalho superior e inferior que faz com que eles sejam flexionados e sejam curvados afastados da tira.

Em outra concretização, o laminador 100 pode adicionalmente incluir macacos de flexão 20 que correspondem a cada rolete de trabalho 5, onde o macaco de flexão 20 pode deslocar uma porção dos roletes de trabalho 5 ao longo do eixo y para substancialmente reduzir o efeito da coroa térmica na tira de metal 1 e para facilitar, juntamente com os borrifos refrigerantes do rolo 25, a formação de uma tira de metal 1 apresentando um aplanamento substancialmente uniforme através da porção central da tira, mas deixando as bordas externas da tira sob tensão. Estes macacos de flexão 20 podem ser denominados de macacos de flexão negativos, flexionando o rolete de trabalho em uma direção oposta aos macacos de flexão positivos 21.

A quantidade de força de macaco de flexão exigida e sua direção são determinadas pela combinação do grau de flexão do rolete de trabalho 5 causada pela força da tira, pela coroa esmerilhada no rolete de trabalho, e pela quantidade de expansão térmica no rolete de trabalho 5.

Em outra concretização, os roletes de trabalho 5 podem também incluir um mecanismo de deslocamento lateral de rolete de trabalho (não-mostrado) que é configurado para deslocar cada rolo 5 ao longo de um eixo substancialmente horizontal, tal como o eixo x, conforme representando nas Figuras 2a-2c. Em uma concretização, o diâmetro do rolo de cada dos roletes de trabalho opostos é esmerilhado para variar ao longo de seu eixo, onde o deslocamento axial dos vários rolos para manipular a abertura de rolo 4

apresenta um fator de correção que pode ser empregado em resposta a defeitos de aplanamento medidos. Mais particularmente, os roletes de trabalho opostos apresentando diâmetros variados, quando do deslocamento axial pelos mecanismos de deslocamento lateral de rolete de trabalho, apresentam outro meio para reduzir os efeitos de formação de coroas térmicas e de flexão do rolo provenientes da força da tira.

Em uma concretização, um par de roletes sobressalentes 6 pode ser empregado em conjunção com os roletes de trabalho 5 em uma configuração tipicamente denominada de uma cadeira de laminador de quatro rolos. Os rolos sobressalentes 6 são usados para sustentar os rolos de trabalho e minimizar sua flexão em resposta à força da tira. Em uma concretização adicional da presente invenção, um par de roletes intermediários 8 pode ser disposto entre os roletes sobressalentes 6 e os roletes de trabalho 5 em uma configuração tipicamente denominada de uma cadeira de laminador de seis rolos. Os roletes intermediários podem também incluir mecanismos de deslocamento lateral intermediários e macacos de flexão de rolo intermediários.

O sistema de laminação 100 também inclui uma interface de controle de laminador 30 conectada entre o dispositivo de medição de aplanamento 15 e os atuadores do laminador. A interface de controle de laminador 30 recebe um sinal do dispositivo de medição de aplanamento 15 representando as medições dos diferenciais no aplanamento de chapa da tira de metal 1 ou a distribuição de tensão através da largura da tira de metal 1. A interface de controle de laminador 30 processa e analisa então o sinal em comparação com um valor de aplanamento alvo predeterminado ou distribuição de tensão. Em uma concretização, a interface de controle de laminador processa os sinais medidos e formula as saídas de controle para os atuadores do laminador com base em um conjunto de algoritmos matemáticos. Em uma concretização, a interface de laminador 30 inclui um computador. A interface de controle de laminador 30 envia então sinais de atuação pelo menos para o sistema de borrião refrigerante 25, os macacos de flexão 20 ou as bobinas de aquecimento por indução 10 para compensar os diferenciais medidos no aplanamento da chapa ou na distribuição de tensão transversal da

tira de metal resultando em uma tira de metal 1 apresentando uma superfície substancialmente chata que é substancialmente isenta de bordas repuxadas e efeitos de coroa térmica.

Embora a invenção tenha sido descrita acima, de modo geral, os seguintes exemplos são providos para adicionalmente ilustrar a presente invenção e demonstrar algumas vantagens que surgem da mesma. É pretendido que a invenção seja limitada aos exemplos específicos descritos.

### Exemplos

A Figura 4 representa graficamente uma distribuição de tensão através do produto laminado que é provida por aquecedores a indução correspondendo ao diâmetro de borda de um rolete de trabalho singular, em comparação à distribuição de tensão provida por um produto laminado simi-  
10 larmente preparado sem aquecimento por indução. Com referência à Figura 4, o eixo vertical representa a tensão (libras por polegada quadrada) que é medida no produto laminado, e o eixo horizontal representa a largura do  
15 produto laminado, onde as medições de tensão foram incrementalmente registradas a partir de uma barra de aplanamento na qual cada zona da chapa correspondia à largura da chapa do produto laminado. A distribuição de tensão registrada na Figura 4 é normalizada na tensão de bobinagem nominal,  
20 que pode ser da ordem de 3000 Psi. A distribuição de tensão representada na Figura 4 foi produzida por uma tira de metal de liga de alumínio de série 3003, da Aluminum Association, laminada por um laminador a frio de cadeira única de uma espessura de aproximadamente 0,889 mm a 0,4318 mm  
(0,035" a 0,017") em uma velocidade de aproximadamente 190,5 m/min (625  
25 pés/min). A tira de metal que foi laminada pelo laminador a frio apresentou uma largura na ordem de cerca de 1320,8 mm (52").

A distribuição de tensão da tira de metal, processada de acordo com a presente invenção 61, inclui um controle térmico com aquecedores a indução posicionados correspondendo às porções de um rolete de trabalho  
30 singular que correspondem à borda de tira do rolete de trabalho singular e um sistema de borrifo refrigerante de rolo que corresponde pelo menos a uma porção da porção central do rolete de trabalho. A distribuição de tensão

da tira de metal, processada de acordo com a presente invenção, adicionalmente incluía macacos de flexão configurados para flexionar os roletes de trabalho em uma direção para se opor à flexão normal causada pela força produzida no rolete de trabalho pela tira de metal. Adicionalmente, a distribuição de tensão da tira de metal, processada de acordo com a presente invenção, adicionalmente incluía um dispositivo de medição de aplanamento e uma interface de controle de laminador, onde as medições de tensão tomadas do dispositivo de medição de aplanamento foram analisadas pela interface de controle de laminador e, em resposta aos fatores de correção de medição de tensão, foram acionadas nos macacos de flexão, no sistema de esfriamento de rolo, e nos aquecedores a indução. O exemplo comparativo 60 era uma tira de metal que tinha sido processada com macacos de flexão e esfriamento de rolo para aperfeiçoar o aplanamento medido, mas não incluía aquecedores a indução posicionados correspondendo a um rolete de trabalho singular e direcionados para termicamente expandir o diâmetro da borda do rolete de trabalho para ser maior do que o diâmetro central do rolete de trabalho.

No exemplo comparativo 60, um aumento na tensão além de 6,9 MPa (1000 psi) é medido nas porções de borda do produto laminado, conforme indicado pelas porções do dispositivo de medição de aplanamento correspondendo à zona 1 e à zona 20 da Figura 4, conseqüentemente indicando a incidência de bordas repuxadas no produto laminado. As porções centrais do produto laminado do exemplo comparativo 60, conforme indicado pelas zonas de 3 a 17, apresentam uma distribuição de tensão substancialmente uniforme que substancialmente não indica qualquer defeito de aplanamento na porção central do produto laminado. As zonas 2 e 19 apresentam uma baixa tensão, podendo ser denominadas de zonas relaxadas, que apresentam uma tensão registrada que é menor do que a tensão externamente aplicada, a tensão externamente aplicada incluindo, mas não sendo limitada à tensão de bobinagem. O exemplo comparativo 60 indica que, embora os macacos de flexão 20 e o sistema de borrifo refrigerante 25 reduzam o efeito da coroa térmica nas porções centrais dos roletes de trabalho 5, os

macacos de flexão e o sistema de borrifo refrigerante deixam de reduzir a incidência das bordas repuxadas e da zona relaxada adjacente.

Os efeitos da coroa térmica podem ser adicionalmente reduzidos em combinação com a eliminação substancial da incidência de bordas repuxadas com a utilização de bobinas de aquecimento por indução 10 para induzir calor para um rolete de trabalho singular 5 correspondendo às bordas longitudinais 13a, 13b da tira de metal 1, onde o calor induzido termicamente expande o diâmetro da borda do rolete de trabalho. Em comparação com o exemplo comparativo 60, a distribuição de tensão 60 correspondendo à tira de metal, processada usando o aquecimento por indução de acordo com a invenção, apresenta um decréscimo na tensão medida na borda longitudinal do produto laminado para aproximadamente 500 psi ou menos, conforme indicado pelas porções do dispositivo de medição de aplanamento correspondendo às zonas de 1 a 20 da Figura 4, substancialmente reduzindo a incidência das zonas relaxadas, tais como as zonas 2 e 19.

Com a redução da incidência de bordas repuxadas, em um aspecto da presente invenção, a velocidade de bobinagem pode ser aumentada sem resultar na ruptura da borda. A Figura 5 representa a distribuição de tensão 61 de um produto laminado, processado de acordo com a presente invenção, incluindo o controle térmico por aquecedores a indução, posicionados correspondendo às porções de um rolete de trabalho singular correspondendo à borda de tira, e um exemplo comparativo 60 não incluindo aquecedores a indução, no qual a velocidade de bobinagem de aproximadamente 1250 pés/min (381 m/min) do produto laminado, processado de acordo com a presente invenção, é duas vezes a velocidade de bobinagem do exemplo comparativo, que é de 625 pés/min (190,5 m/min). Cada dos produtos laminados representados na Figura 5 são compostos de uma liga de alumínio 6061, da Aluminum Association, e é processado através de um laminador a frio de duas cadeiras a partir de uma espessura de aproximadamente 0,125" (3,175 mm) a aproximadamente 0,0226" (0,57404 m).

Com referência à Figura 5, em um exemplo, o uso de aquecimento por indução para termicamente aquecer a porção do rolete singular

correspondendo à borda longitudinal do produto laminado apresenta uma distribuição de tensão 61 que, quando comparada a um produto laminado que não utiliza o aquecimento por indução de acordo com a presente invenção, permite um aumento de aproximadamente 381 m/min (1250 pés/min) sem aumentar a tensão de borda para um nível que resulte da bobinagem em 190,5 m/min (625 pés/min) sem aquecimento por indução. Mais particularmente, enquanto o exemplo comparativo bobinado em uma velocidade de aproximadamente 190,5 m/min (625 pés/min) resultou em uma tensão de borda da ordem de aproximadamente 2000 psi, a distribuição de tensão de um produto laminado, processado usando o aquecimento por indução de acordo com a presente invenção, permitiu uma velocidade de bobinagem de 381 m/min (1250 pés/min) enquanto apresentava uma tensão de borda medida de aproximadamente 750 psi ou menos.

Enquanto a presente invenção foi particularmente mostrada e descrita com respeito às concretizações preferidas da mesma, será entendido por aqueles versados na técnica que as mudanças anteriores e outras mudanças nas formas e nos detalhes podem ser feitas sem se afastar do espírito e escopo da presente invenção. Por isso, pretende-se que a presente invenção não seja limitada às formas e aos detalhes exatos descritos e ilustrados, mas que estejam dentro do escopo das reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para fabricar chapa de metal que compreende:  
a laminação de uma chapa de metal entre um par de roletes de trabalho para formar um produto laminado;  
5 a medição da distribuição de tensão do produto laminado de uma porção central do produto laminado para pelo menos uma porção de borda do produto laminado; e  
o ajuste de uma temperatura em um rolete singular do par de roletes de trabalho para prover um diâmetro de borda do rolete singular que  
10 será maior do que um diâmetro central do rolete de trabalho singular quando a tensão de pelo menos uma porção de borda do produto laminado for maior do que a tensão da porção central do produto laminado.
2. Método, de acordo com a reivindicação 1, que compreende a medição da distribuição de tensão com uma barra de aplanamento.
- 15 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, que compreende a medição óptica ou acústica da distribuição de tensão.
4. Método, de acordo com a reivindicação 2, que compreende uma barra de aplanamento para medir a distribuição de tensão da chapa a jusante a partir do par de roletes de trabalho.
- 20 5. Método, de acordo com a reivindicação 2, que compreende pelo menos uma bobina de indução próxima a uma porção do rolete de trabalho singular que corresponde à borda longitudinal da chapa de metal.
6. Método, de acordo com a reivindicação 4, no qual cada bobina de indução pode ser deslocada lateralmente ao longo de uma largura do  
25 rolete de trabalho singular.
7. Método, de acordo com a reivindicação 1, que adicionalmente compreende um sistema de borrifo refrigerante configurado para diminuir uma temperatura em pelo menos uma porção central do par de roletes de trabalho.
- 30 8. Método, de acordo com a reivindicação 1, que adicionalmente compreende macacos de flexão configurados para compensar uma força produzida pela tira de metal contra o rolete de trabalho durante a laminação.

9. Método para fabricar chapa de metal, que compreende:  
a laminação de uma chapa de metal entre um par de roletes de trabalho para formar um produto laminado;  
a medição do aplanamento do produto laminado; e  
5 o ajuste do diâmetro de uma porção de um único rolete de trabalho do par de roletes de trabalho que corresponde à borda longitudinal da chapa de metal, em resposta ao aplanamento do produto laminado.
10. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual o diâmetro da porção do único rolete de trabalho é ajustado para prover um produto laminado apresentando uma distribuição de tensão substancialmente uniforme através da largura do produto laminado.
11. Método, de acordo com a reivindicação 9, que compreende a medição da aplanamento com uma barra de aplanamento.
12. Método, de acordo com a reivindicação 9, que compreende a indução de um campo magnético que induz correntes parasitas no rolete de trabalho singular.
13. Método, de acordo com a reivindicação 9, que compreende o posicionamento de pelo menos uma bobina de indução alinhada com relação a uma borda longitudinal da chapa de metal.
- 20 14. Método, de acordo com a reivindicação 9, que compreende a atuação de um sistema de borrifo refrigerante em resposta ao aplanamento do produto laminado.
- 25 15. Método, de acordo com a reivindicação 9, que adicionalmente compreende a atuação de macacos de flexão em resposta ao aplanamento do produto laminado.
- 30 16. Sistema para laminar chapa de metal que compreende:  
um laminador com pelo menos um par de roletes de trabalho;  
um aparelho de aquecimento por indução posicionado próximo a um rolete de trabalho singular do par de roletes de trabalho;  
um dispositivo de medição de aplanamento posicionado a jusante do par de roletes de trabalho; e  
uma interface de controle de laminador conectada entre o dispo-

sitivo de medição de aplanamento e o aparelho de aquecimento por indução, onde a interface de controle de laminador é configurada para receber as medições de aplanamento do dispositivo de medição de aplanamento e para enviar sinais para acionar o aparelho de aquecimento por indução.

5                   17. Sistema, de acordo com a reivindicação 16, que adicionalmente compreende pelo menos os macacos de flexão, um sistema de borrifo refrigerante ou um mecanismo de deslocamento lateral de rolo para deslocar o par dos roletes de trabalho em direções opostas ao longo de seus eixos horizontais.

10                   18. Sistema, de acordo com a reivindicação 17, no qual a interface de controle de laminador recebe um sinal do dispositivo de medição de aplanamento, analisa o sinal, e aciona pelo menos um deslocador lateral do rolo de trabalho, os macacos de flexão, o aparelho de aquecimento por indução e o sistema de borrifo refrigerante para prover um produto laminado apresentando uma distribuição de tensão substancialmente uniforme através  
15 da largura do produto laminado.

                    19. Sistema, de acordo com a reivindicação 16, no qual o aparelho de aquecimento por indução é uma bobina de indução enrolada em torno de um núcleo ferromagnético.

20                   20. Sistema, de acordo com a reivindicação 20, no qual o laminador é um laminador a frio.

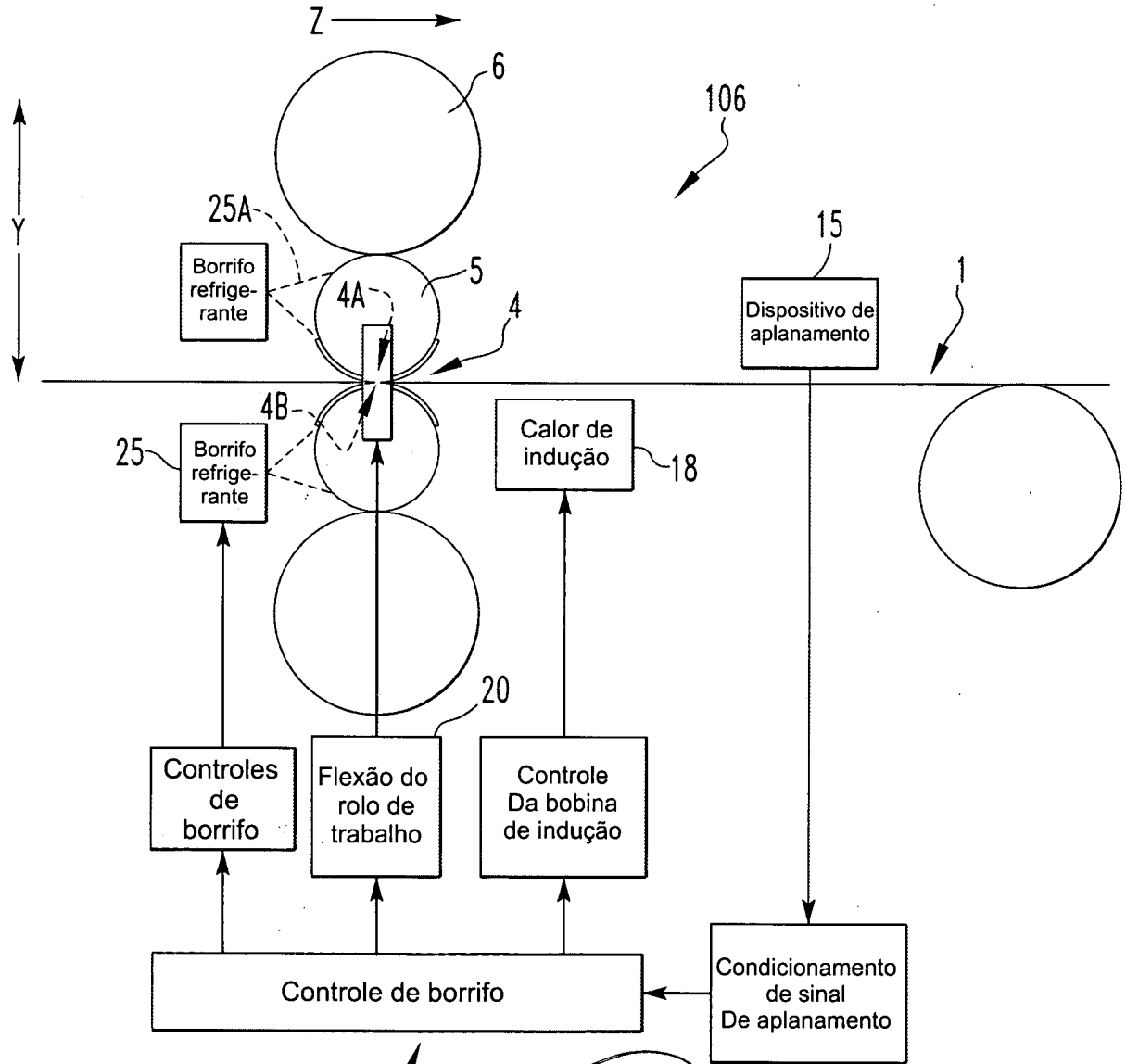
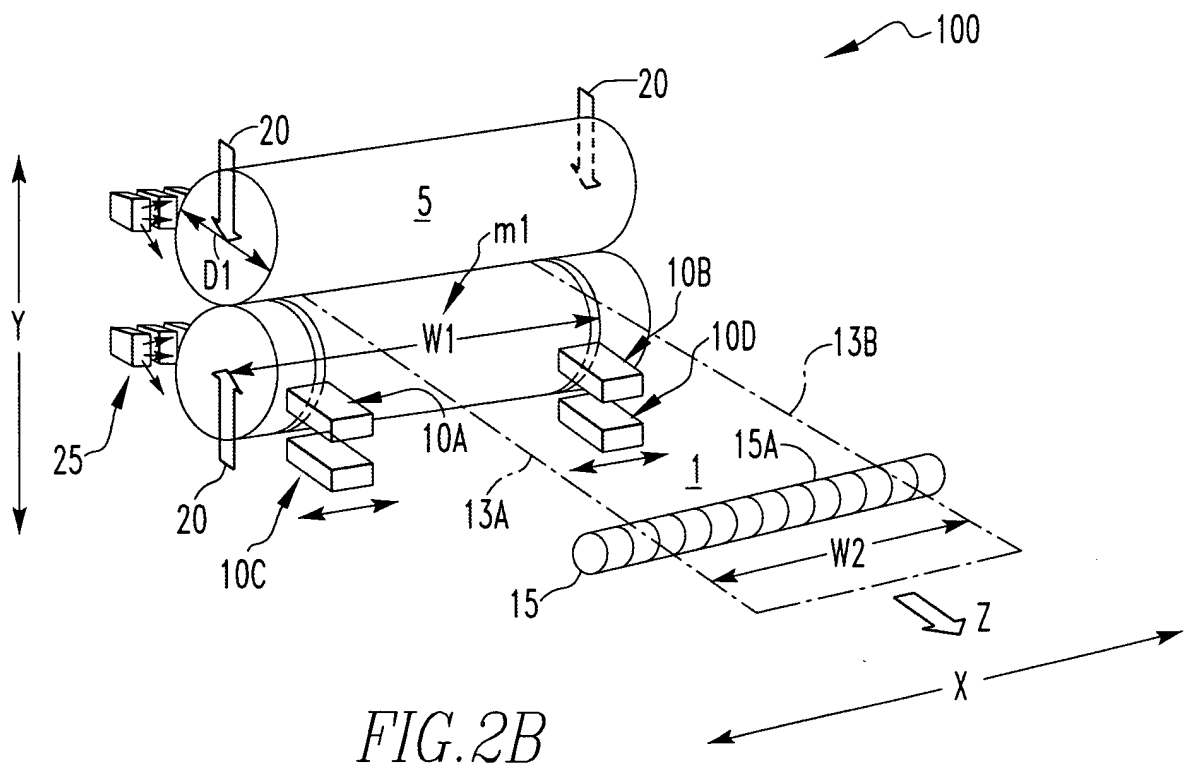
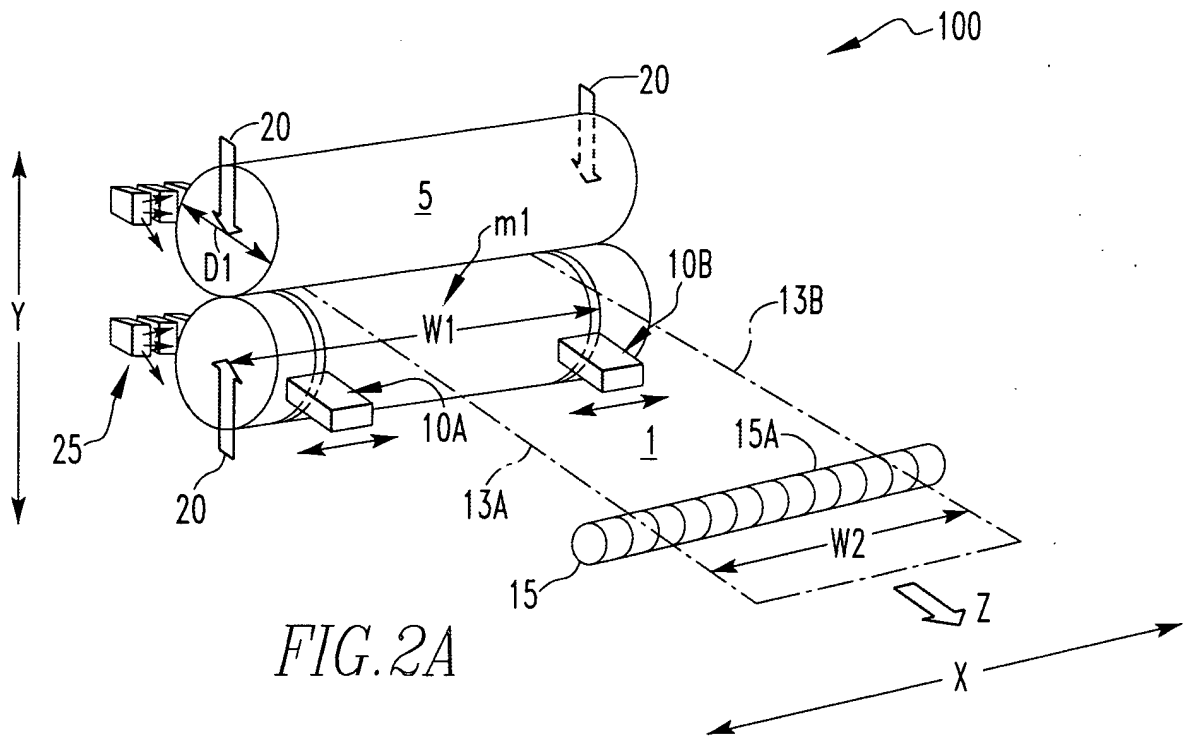
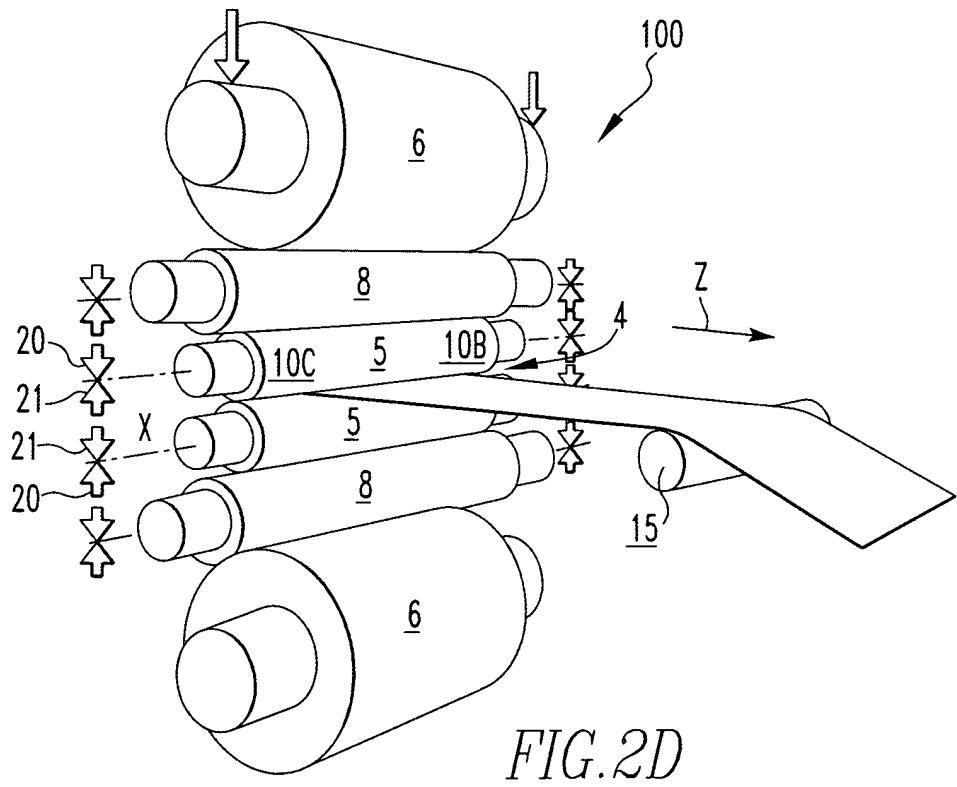
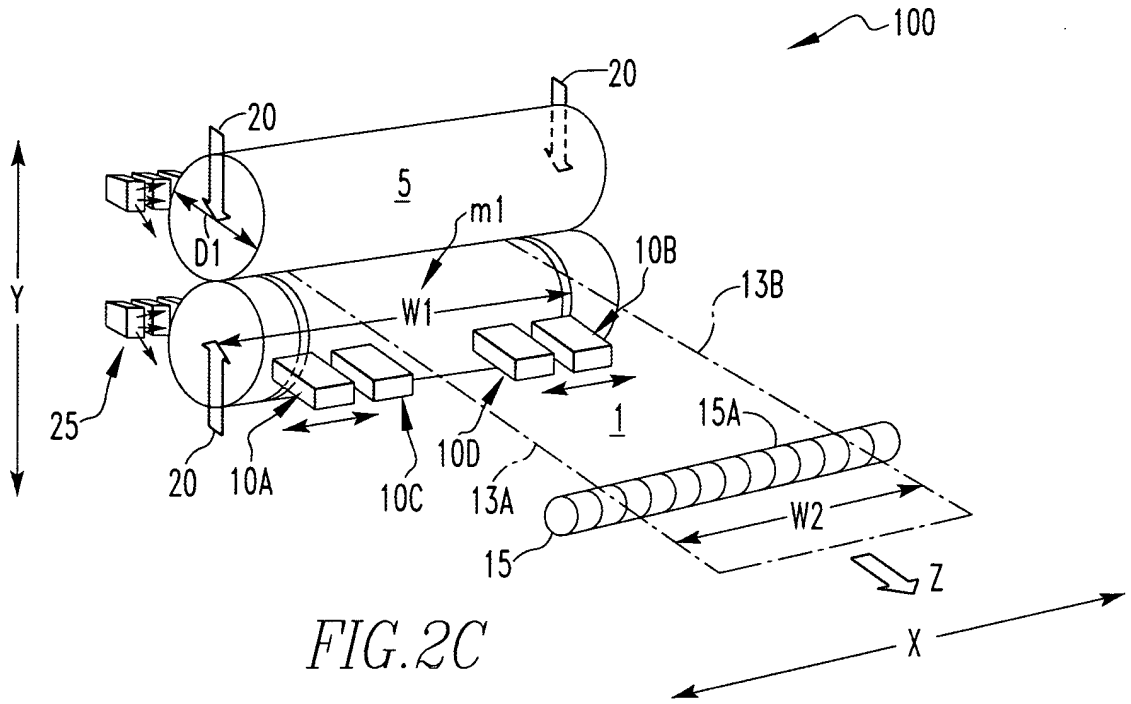


FIG.1





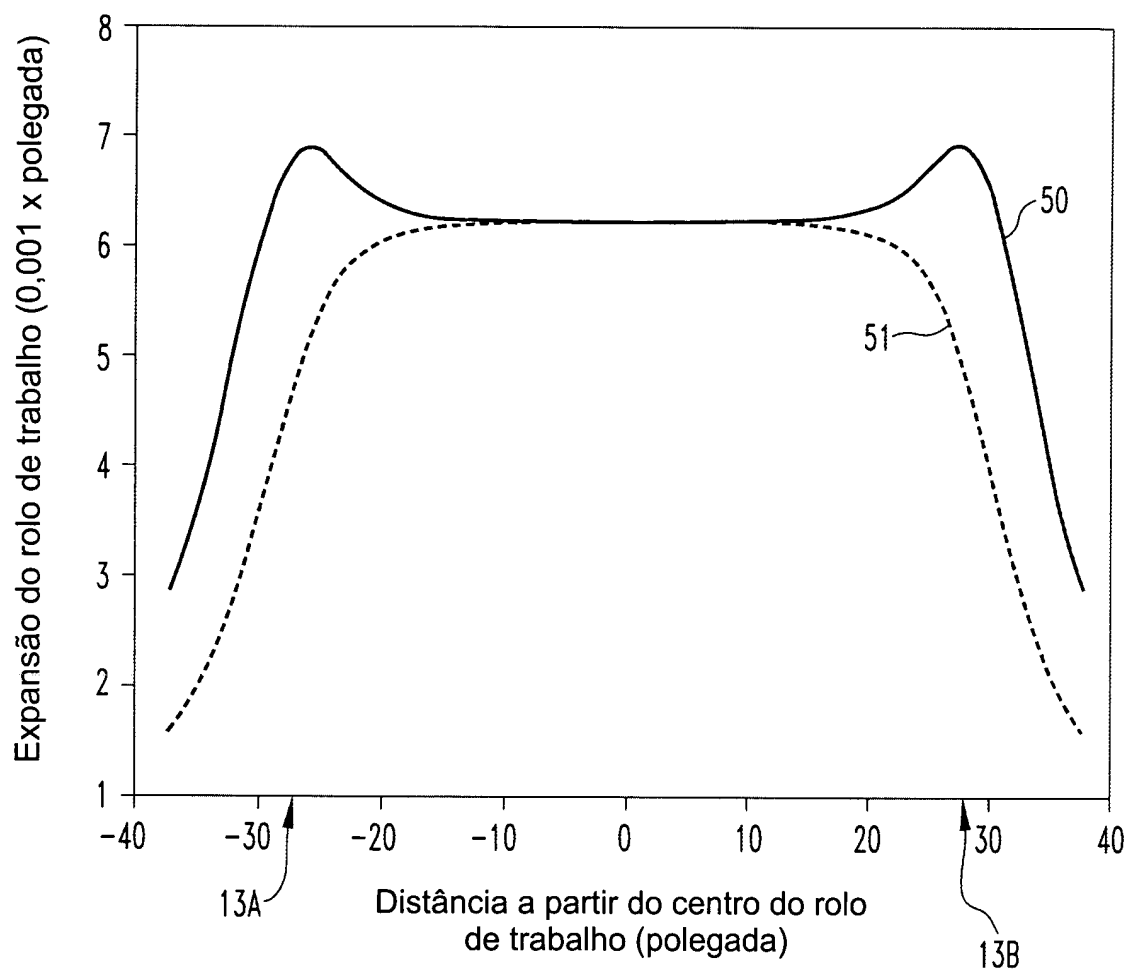
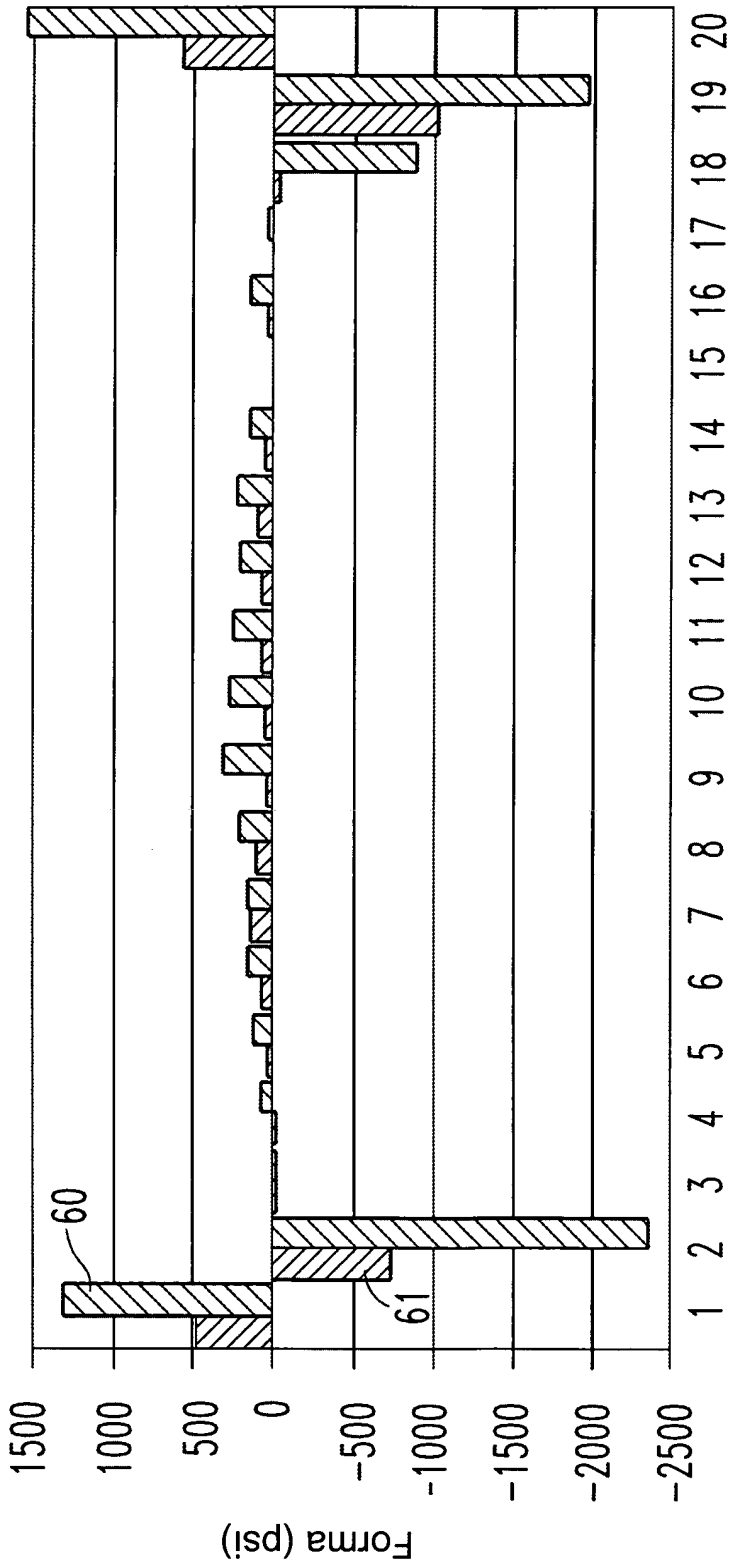
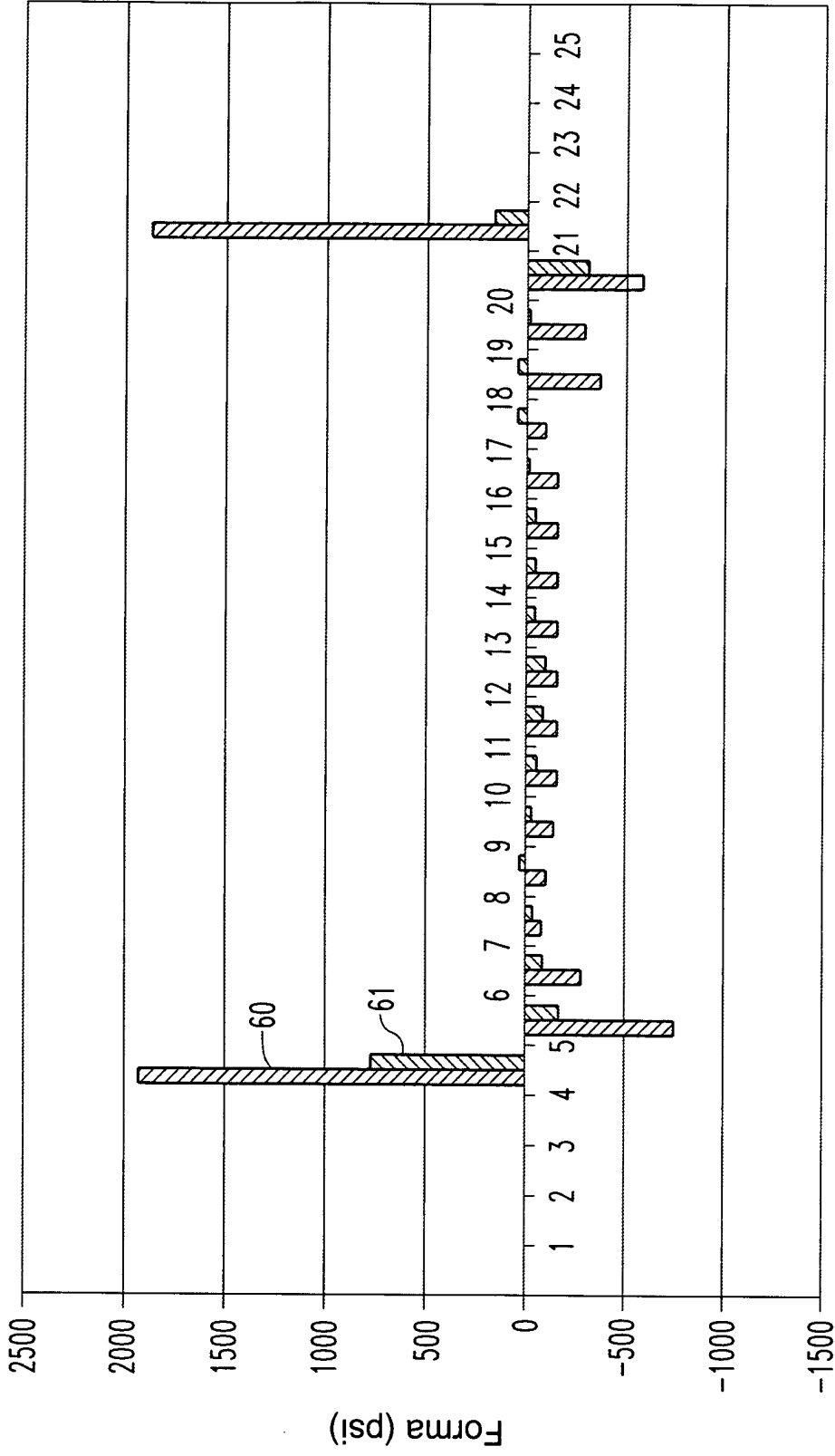


FIG. 3



Número da zona de aplanamento

FIG. 4



Zona

FIG.5

**RESUMO**

Patente de Invenção: **"AQUECIMENTO POR INDUÇÃO PARA CONTROLAR O APLANAMENTO DE CHAPA LAMINADA"**.

A presente invenção refere-se a um sistema para laminar chapa de metal (1) apresentando um aplanamento substancialmente uniforme, que inclui um laminador incluindo um par de roletes de trabalho (5) para reduzir a espessura de uma tira de metal, um aparelho de aquecimento por indução (10a) próximo a pelo menos um rolete (5), macacos de flexão correspondendo a cada dos roletes (5), e um sistema de borrifo refrigerante (25) próximo aos roletes (5); um dispositivo de medição de aplanamento (15) posicionado para medir um diferencial no aplanamento da tira de metal; e uma interface de controle de laminador (30) conectada entre o dispositivo de medição de aplanamento (15) e os atuadores do laminador, a interface de controle de laminador (30) sendo configurada para acionar o aparelho de aquecimento de indução (10a), os macacos de flexão e o sistema de borrifo refrigerante (25) para substancialmente eliminar diferenciais de aplanamento no aplanamento da tira de metal. O aparelho de aquecimento de bobina de indução (10a) é configurado para eliminar alta-tensão nas bordas da tira causada pelos gradientes de temperatura nos rolos de trabalho (5) nas bordas da tira de metal.