

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

(21) **PI0618219-4 A2**

(22) Data de Depósito: 25/10/2006
(43) Data da Publicação: 23/08/2011
(RPI 2120)



★ B R P I 0 6 1 8 2 1 9 A 2 ★

(51) *Int.Cl.:*
B22D 11/06 2006.01

(54) Título: **MÉTODO E APARELHO PARA CONFINAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE METAL FUNDIDO EM SISTEMAS DE LINGOTAMENTO HORIZONTAL**

(30) Prioridade Unionista: 01/11/2005 US 11/264,212

(73) Titular(es): Alcoa INC

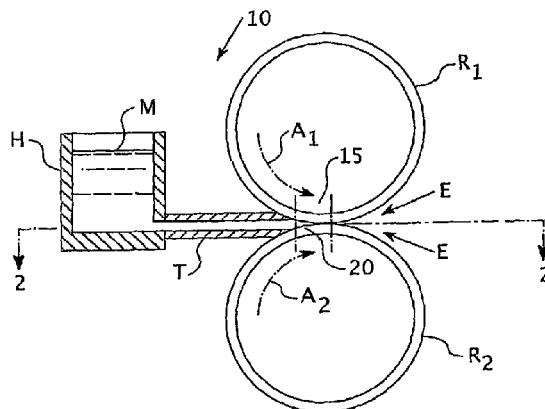
(72) Inventor(es): Ali Unal, David Allen Tomes, Jr., David Wayne Timmons, Gavin Frederick Wyatt-Mair

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2006060215 de 25/10/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/053808 de 10/05/2007

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA CONFINAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE METAL FUNDIDO EM SISTEMAS DE LINGOTAMENTO HORIZONTAL presente invenção refere-se a um aparelho para lingotamento contínuo de tiras de metal fundido incluindo um par de rolos de lingotamento R_1 , R_2 , adaptados para receber metal fundido M ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem; e um aparelho de contenção de borda eletromagnética 15 posicionado em cada lado da zona de moldagem tendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que os polos do elemento magnético são posicionados distais à parede lateral e alinhados com esta parede lateral plana dos rolos de lingotamento e a corrente fornece linhas de força magnética perpendiculares ao dito eixo geométrico horizontal que contém o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento sem aumentar substancialmente a temperatura do metal fundido.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO E APARELHO PARA CONFINAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE METAL FUNDIDO EM SISTEMAS DE LINGOTAMENTO HORIZONTAL"**.

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a lingotamento contínuo de tira de metal e, mais particularmente, a confinamento eletromagnético de metal fundido em um sistema de lingotamento contínuo.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

10 Lingotamento contínuo de metais é executado em fundidores de duplo-rolô e fundidores de cinto ou em combinações dos mesmos. Métodos estão disponíveis para lingotar tanto na direção horizontal quanto na vertical. Particularmente, a indústria siderúrgica desenvolveu recentemente fundidores de tira de duplo-rolô de alta velocidade que operam na direção vertical para baixo.

15 Até o presente, as barragens de borda mecânica têm sido empregadas para fornecer contenção do metal fundido na zona de lingotamento. Tais dispositivos têm incluído as barragens de borda do tipo lagarta que se deslocam com a tira (tal como nos fundidores Hazelett) ou barragens de borda fixa que são pressionadas contra a superfície dos rolos. A última é
20 usada na indústria de lingotamento contínuo de tiras de aço de duplo-rolô. Tais barragens de borda mecânica fixas têm uma pequena vida útil já que elas são desgastadas pelo contato com a parede lateral fria dos rolos. Além do mais, tais barragens de borda mecânica fornecem locais para a formação de cascões que têm uma tendência para ser cisalhados e assim entram na
25 tira lingotada e apresentam a microestrutura metalurgicamente indesejável. As barragens de borda do tipo lagarta, embora bem comprovadas para os lingotamentos de placas mais grossas (10 - 25 mm de espessura), se tornam impraticáveis para fundidores de tira fina ou para fundidores de duplo-cilindro da indústria siderúrgica onde a seção transversal a ser contida muda agu-
30 damente ao longo da zona de lingotamento.

Barragens de borda eletromagnética têm sido empregadas na técnica anterior no lingotamento contínuo de tiras de metais em sistemas de

lingotamento verticais de duplo-cilindro (rolo). Barragens de borda eletromagnética de um tipo de sistema magnético usam uma combinação de uma montagem de ímã e uma bobina AC para gerar forças de confinamento. As barragens de borda eletromagnética de um tipo de sistema de indução contam unicamente com uma bobina AC para gerar as forças de contenção.

As barragens de borda eletromagnética de sistema magnético usam um elemento magnético que compreende uma forquilha ou núcleo conectando duas faces de polo dispostas em um e outro lado da folga na qual o metal fundido é para ser confinado. O elemento magnético é feito de um material ferromagnético e é circundado sobre um dado comprimento da forquilha por um enrolamento carregando uma corrente CA. O fluxo magnético gerado pelo fluxo da corrente no enrolamento é transmitido para os polos do ímã através da forquilha e estabelece forças de contenção na superfície de metal na folga.

Tipicamente, em sistemas magnéticos, parte do elemento magnético é coberto com uma proteção condutiva eletricamente para minimizar vazamento de fluxo em uma direção para longe da folga. Tais sistemas de confinamento magnético têm a vantagem em que a corrente de confinamento não necessita ser tão alta quando comparada a daqueles sistemas usando unicamente um enrolamento de indução. Se um campo magnético mais intenso for exigido, ele pode ser alcançado com o mesmo nível de corrente pela redução da área das faces de polo para concentrar o campo. Entretanto, tais sistemas não são sem desvantagens. Por exemplo, tais sistemas tipicamente têm eficiência de operação inferior resultante de perdas de núcleo e de perdas por causa da histerese magnética quando um campo magnético alternado é aplicado ao material magnético. Adicionalmente, altas temperaturas são tipicamente geradas que necessitam ser dissipadas pelo resfriamento a fim de impedir danos ao sistema magnético.

Sistemas de confinamento por indução tipicamente empregam um indutor moldado posicionado próximo à folga na qual o metal fundido é para ser contido. A corrente CA fluindo no indutor gera correntes induzidas assim como um campo magnético variando no tempo na superfície do metal

fundido a ser contido. A interação entre a corrente e o campo magnético fornece forças de contenção. Para melhorar eficiência, um elemento magnético é construído em volta do indutor para focalizar a corrente na superfície de indutor voltada para o metal fundido. Sistemas de enrolamento de indução são de uma maneira geral mais simples em projeto do que sistemas magnéticos. Entretanto, sistemas de indução são desvantajosamente limitados em termos da cabeça metalostática máxima que pode ser contida pelo sistema. A cabeça metalostática máxima que pode ser suportada em sistemas de enrolamento de indução é limitada por causa de sistemas de enrolamento de indução exigirem correntes indutoras muito altas para fornecer forças de contenção adequadas, em que tais correntes altas são acompanhadas por aumento de geração de calor, o que por sua vez retarda ou torna mais lento o processo de solidificação durante o lingotamento.

Referindo-se à figura 1, em fundidores de duplo-rolo verticais a cabeça de metal fundido contra qual contenção deve ser fornecida tende a ser muito alta. Para condição de operação típica, a altura de cabeça de metal H_1 é torno de 65% do raio dos rolos de lingotamento. Portanto, o aparelho de barragem de borda eletromagnética usado em fundidores de duplo-rolo verticais deve fornecer um campo magnético forte o suficiente para conter um volume de metal tendo uma altura de cabeça H_1 que é 65% do raio dos rolos de lingotamento. Tais barragens de borda eletromagnética não têm sido comercializadas de forma bem-sucedida por dois motivos. Primeiro, a corrente alta exigida para conter o volume de metal fundido cria ondas estacionárias na superfície superior do volume de metal que são demasiadamente grandes em magnitude para o processo de lingotamento. Segundo, as grandes forças eletromagnéticas necessárias para conter a cabeça de metal fundido formada em cima de sistemas de fundidor de rolo vertical criam aquecimento por indução na parede lateral do volume de metal, o que interfere com o processo de solidificação.

A Patente U.S. Nº 4.936.374 descreve um sistema de lingotamento vertical e aparelho de confinamento eletromagnético tendo as desvantagens descritas anteriormente. Adicionalmente, a Patente U.S. Nº

4.936.374 descreve rolos de lingotamento tendo uma parte de borda, na qual o campo magnético de contenção é conduzido através da parte de borda do rolo de lingotamento. Além do aquecimento por indução e da geração de onda, as partes de borda dos rolos de lingotamento revelados na Patente U.S. Nº 4.936.374 produzem uma crista no produto lingotado e, portanto, falham no fornecimento de uma tira lingotada tendo paredes laterais uniformes (bordas). A crista formada na tira lingotada produzida usando-se o aparelho e método revelado na Patente U.S. Nº 4.936.374 deve ser usinada antes da laminação da tira lingotada. Usinagem adicional aumenta desvantajosamente o custo da produção.

Desta maneira, permanece uma necessidade de um método de lingotamento contínuo de alta velocidade de metais e ligas, o qual alcance uniformidade na superfície de tira lingotada, forneça boa contenção de metal fundido na zona de lingotamento, e que resulte em bordas de tira que possam ser enroladas sem necessitar ser usinadas para retificação.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção supera os obstáculos e desvantagens descritos anteriormente pelo fornecimento de um aparelho de confinamento eletromagnético incorporado em um aparelho de lingotamento horizontal, em que o posicionamento do aparelho de confinamento eletromagnético e um campo magnético que é produzido por uma corrente alternada fornecem uma tira de metal lingotada tendo bordas substancialmente uniformes (paredes laterais). A presente invenção fornece adicionalmente um método e aparelho para produzir uma tira de metal lingotada, o qual fornece um dispositivo para ajustar o perfil da parede lateral da tira de metal lingotada.

Em uma modalidade da presente invenção, a corrente aplicada através do aparelho de confinamento eletromagnético, assim como o posicionamento do aparelho de confinamento eletromagnético na zona de moldagem do aparelho de lingotamento horizontal, é selecionada para fornecer uma tira de metal lingotada tendo bordas substancialmente uniformes, na qual a parede lateral das bordas de tira de metal lingotada pode ser substancialmente plana, ou côncava ou convexa em relação à linha de centro da

tira de metal lingotada. As bordas substancialmente uniformes da tira de metal lingotada levam em conta a tira de metal lingotada a ser enrolada sem usinagem adicional. De uma maneira geral, uma modalidade de um aparelho da presente invenção compreende:

5 a) um par de rolos de lingotamento adaptados para receber metal fundido ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem;

10 b) um aparelho de contenção de borda eletromagnética posicionado em cada lado da zona de moldagem, compreendendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que o dito elemento magnético compreende um primeiro e segundo polo posicionados distais a uma parede lateral e alinhados com esta parede lateral do
15 dito par de rolos de lingotamento e a corrente fornece linhas de força magnética perpendiculares ao dito eixo geométrico horizontal que contêm o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento substancialmente sem nenhum aumento na temperatura do metal fundido; e

20 c) um dispositivo para fornecer o metal fundido para a zona de moldagem ao longo do dito eixo geométrico horizontal a partir de uma panela intermediária, ao mesmo tempo que assegurando que o dito metal fundido permanece substancialmente não oxidado, em que a panela intermediária é separada da zona de moldagem por uma distância para eliminar substancialmente geração de onda dentro da panela intermediária pelas linhas de força magnética.
25

Em uma outra modalidade do aparelho da presente invenção, um aparelho de lingotamento de rolo horizontal é fornecido no qual contenção do metal através do aparelho é fornecida pela combinação de uma barragem de borda mecânica e uma barragem de borda eletromagnética. De
30 uma maneira geral, o inventivo aparelho de lingotamento compreende:

a) um par de rolos de lingotamento adaptado para receber metal fundido ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância

vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem;

b) uma estrutura de entrega de ponta posicionada para fornecer o metal fundido para a zona de moldagem ao longo do dito eixo geométrico horizontal a partir de uma panela intermediária, ao mesmo tempo que assegurando que o dito metal fundido permanece substancialmente não oxidado; e

c) um aparelho de contenção de borda posicionado em cada lado da zona de moldagem, o dito aparelho de contenção de borda compreendendo:

uma barragem de borda mecânica posicionada sobrepondo pelo menos uma parte de extremidade da dita estrutura de entrega de ponta e se estendendo parcialmente na direção da dita zona de moldagem, e

uma barragem de borda eletromagnética compreendendo um primeiro e segundo polo magnético posicionados distais a uma parede lateral e alinhados com esta parede lateral do dito par de rolos de lingotamento e sobrepondo a uma parte da dita barragem de borda mecânica se estendendo parcialmente na direção da dita zona de moldagem, em que a dita barragem de borda eletromagnética fornece linhas de força magnética perpendiculares ao dito eixo geométrico horizontal que contêm o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento.

Em cada modalidade, a distância vertical separando o par de rolos de lingotamento dispostos horizontalmente fornece uma altura de cabeça de metal que leva em conta contenção do metal fundido por linhas de força magnética que são fornecidas por um dispositivo de contenção eletromagnética sem um aumento substancial na temperatura do metal fundido. Com os propósitos desta descrição, a expressão "posicionados distais a uma parede lateral e alinhados com esta parede lateral do dito par de rolos de lingotamento" é pretendida para indicar que os polos da barragem de borda eletromagnética não se estendem na direção da linha de centro dos aparelhos de lingotamento além de um plano definido pela parede lateral dos rolos de lingotamento, mas são posicionados dentro de proximidade exata o

suficiente com a parede lateral do rolo de lingotamento para fornecer um campo magnético suficiente para conter metal fundido dentro da zona de moldagem. Nota-se que os polos da barragem de borda eletromagnética podem ser ajustados de adjacentes à parede lateral de rolos de lingotamento para qualquer distância a partir da parede lateral, contanto que forças de contenção suficientes sejam fornecidas pelos polos para a zona de moldagem. Em uma modalidade, a parede lateral do rolo de lingotamento pode ser substancialmente plana. A expressão "substancialmente plana" com relação à parede lateral do rolo de lingotamento indica que o rolo de lingotamento não incorpora uma parte de beira. Em uma modalidade, as linhas eletromagnéticas de força são produzidas por uma corrente alternada tendo uma frequência variando de 40 Hz a 10.000 Hz através do dispositivo de contenção de borda eletromagnética.

Em uma outra modalidade da presente invenção, um sistema de lingotamento de cinto é fornecido que emprega contenção de borda eletromagnética e produz uma tira de metal tendo bordas substancialmente uniformes, em que as bordas substancialmente uniformes levam em consideração a tira de metal lingotada a ser enrolada sem usinagem adicional. De uma maneira geral, o inventivo sistema de lingotamento de cinto para lingotamento contínuo de tiras de metal fundido compreende:

a) um par de cintos de metal sem fim opostos, cada um do par de cintos de metal sem fim opostos passando sobre um rolo e tendo uma periferia substancialmente alinhada a uma periferia do rolo, o dito cada um dos ditos cintos de metal sem fim opostos tendo uma superfície para aceitar metal fundido, em que uma dimensão vertical separando o par de cintos de metal sem fim opostos define uma zona de moldagem;

b) um aparelho de contenção de borda eletromagnética posicionado em cada lado da zona de moldagem compreendendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que a corrente fornece linhas de força magnética que contêm o metal fundido dentro de uma largura e em contato com pelo menos uma parte do dito par

de cintos de metal sem fim opostos substancialmente sem nenhum aumento na temperatura do metal fundido; e

- c) um dispositivo para fornecer o dito metal fundido para a zona de moldagem ao longo de um eixo geométrico horizontal a partir de uma pa-
5 nela intermediária, a panela intermediária separada da dita zona de molda-
gem por uma distância para eliminar substancialmente geração de onda dentro da panela intermediária pelas linhas de força magnética.

Em um outro aspecto da presente invenção, é fornecida uma tira lingotada que pode ser formada pelo aparelho de lingotamento indicado an-
10 teriamente. De uma maneira geral, a tira lingotada compreende:

- a) uma primeira parte externa;
- b) uma segunda parte externa; e
- c) uma parte central entre a dita primeira parte externa e a dita
segunda parte externa,
15 a dita parte central compreendendo grãos tendo uma estrutura equiaxial, em que a dita tira de metal lingotada tem bordas de parede lateral sendo substancialmente uniformes.

Em um outro aspecto da presente invenção, é fornecido um método para lingotar uma tira de metal no qual um campo magnético é utilizado
20 para controlar a geometria da parede lateral da tira de metal. De uma maneira geral, o inventivo método compreende:

- fornecer metal fundido para uma zona de moldagem ao longo de um eixo geométrico horizontal;
- conter o dito metal fundido dentro da dita zona de moldagem
25 com um dispositivo de contenção magnética; e
- lingotar o dito metal fundido para uma tira de metal lingotada, em que a geometria de parede lateral da dita tira de metal lingotada é configurada pelo ajuste do dito dispositivo de contenção magnética.

O campo magnético pode ser ajustado para fornecer uma geo-
30 metria de parede lateral de tira lingotada de metal que seja plana ou seja côncava ou convexa em relação à linha de centro da tira de metal lingotada. Em uma modalidade, o dispositivo de contenção magnética pode incluir um

enrolamento de indução enrolado em volta de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente. O elemento magnético tendo um primeiro e segundo polo magnético posicionados distais e adjacentes à zona de moldagem.

5 As linhas de força magnética produzidas pelo dispositivo de contenção magnética podem ser ajustadas pelo aumento ou diminuição da corrente através do enrolamento de indução ou pela mudança do posicionamento do dispositivo de contenção magnética em relação à zona de moldagem. Posicionar os primeiro e segundo polos magnéticos do dispositivo de
10 contenção magnética adjacentes à zona de moldagem pode produzir uma tira de metal lingotada tendo uma parede lateral côncava e posicionar os primeiro e segundo polos magnéticos do dispositivo de contenção magnética distais da zona de moldagem pode produzir uma tira de metal lingotada tendo uma parede lateral convexa.

15 DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

 A figura 1 (vista seccional transversal lateral) é um esquema de uma parte de um aparelho de lingotamento de fundidor de rolo vertical representando uma cabeça de metal fundido e um par de rolos operados de acordo com a técnica anterior.

20 A figura 2a (vista seccional transversal lateral) é um esquema de uma modalidade de um aparelho de lingotamento horizontal tendo barragens de borda eletromagnética de acordo com a presente invenção.

 A figura 2b (vista seccional transversal lateral) representa uma modalidade de um fundidor de duplo-cinto equipado com um aparelho de
25 barragem de borda eletromagnética de acordo com a presente invenção.

 A figura 3 (vista seccional transversal lateral) representa a zona de moldagem do inventivo dispositivo de lingotamento horizontal.

 A figura 4 representa uma tabela resumindo a densidade de campo magnético que é exigida para conter um volume de alumínio fundido
30 em diferentes alturas de cabeça.

 A figura 5 representa um gráfico da intensidade de campo magnético produzida por um dispositivo de contenção eletromagnética de acordo

com a presente invenção variando-se correntes e distâncias, em que a distância é medida a partir da parede lateral do rolo de fundidor.

A figura 6 (vista seccional transversal lateral) representa uma vista seccional feita ao longo das linhas 2-2 na figura 2a, e ilustra o posicionamento das barragens de borda eletromagnética em relação à parede lateral dos fundidores de rolo.

As figuras 7a-7d fornecem uma vista seccional do aparelho de barragem de borda eletromagnética da presente invenção ilustrando o caminho das linhas de força magnética em relação aos fundidores de rolo do aparelho de lingotamento de fundidor de rolo horizontal.

As figuras 8a-c (vista lateral) ilustram diferentes ângulos e orientações de face de polo de acordo com a presente invenção.

A figura 9 ilustra uma modalidade exemplar da presente invenção em que um elemento magnético tem um projeto de núcleo dividido.

A figura 10 ilustra uma modalidade exemplar da presente invenção em que o elemento magnético tem um projeto laminado.

A figura 11 ilustra uma modalidade exemplar da presente invenção em que uma barragem de borda mecânica é usada em conjunto com uma barragem de borda eletromagnética.

A figura 12 representa uma tabela resumindo o impulso da barragem de borda eletromagnética.

As figuras 13a-c são representações ilustradas de parede lateral de uma tira lingotada.

As figuras 14a-b são representações fotográficas das bordas da tira feitas com uma alta força magnética na barragem eletromagnética.

A figura 15 é uma representação ilustrada de uma tira lingotada tendo um perfil de borda plana (borda reta).

A figura 16 é uma representação ilustrada de uma tira lingotada seguindo uma redução de 87% (grau aceitável de rachadura de borda).

30 DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES PREFERIDAS

A presente invenção fornece uma barragem de borda eletromagnética que confina metal fundido na zona de moldagem de um lingota-

mento de rolo disposto horizontalmente ou sistema de lingotamento de cinto com um campo magnético que é produzido por uma corrente AC menor do que a que foi possível anteriormente. Pelo fornecimento de dispositivo de contenção eletromagnética suficiente em correntes AC mais baixas, a presente invenção utiliza confinamento eletromagnético sem criar um aumento substancial na temperatura do metal fundido ou produzir efeitos de geração de onda.

Tal como discutido anteriormente, nos métodos de lingotamento vertical anteriores com maior altura de cabeça de metal fundido, maiores forças magnéticas são exigidas a fim de conter a maior pressão produzida pelo metal fundido, em que maiores forças magnéticas tipicamente exigem correntes mais altas que geram calor. Por exemplo, para conter alumínio fundido contra uma altura de 300 mm, como representativo de métodos de lingotamento vertical típicos, uma intensidade de campo magnético mínima de 0,24 T seria necessária. Na presente invenção, a altura de cabeça de metal é mantida baixa, tal como alcançado por um sistema de lingotamento disposto horizontalmente, de maneira que a contenção exigida pode ser satisfeita com densidade de campo magnético relativamente baixa. Por exemplo, uma altura de cabeça de 50 mm em um aparelho de lingotamento horizontal consistente com a presente invenção exige uma densidade de campo magnético de somente 0,055 T para conter alumínio fundido na posição horizontal durante o lingotamento. A presente invenção é agora discutida com mais detalhes referindo-se aos desenhos que acompanham o presente pedido. Nos desenhos anexos, elementos iguais e/ou correspondentes são referidos por números de referência iguais.

Referindo-se à figura 2a, em uma modalidade da presente invenção, um aparelho de lingotamento de rolo horizontal 10 é fornecido tendo uma barragem de borda eletromagnética 15 posicionada para fornecer linhas de força magnética para confinar o metal fundido M dentro da zona de moldagem 20 do aparelho 10, em que as linhas de força magnética se estendem ao longo de um plano perpendicular ao plano no qual o metal fundido é arrastado. O aparelho de lingotamento de rolo horizontal 10 é praticado u-

sando um par de rolos resfriados girando em sentidos contrários R_1 e R_2 , girando nas direções das setas A_1 e A_2 , respectivamente. Pelo termo horizontal significa indicar que a tira lingotada é produzida ao longo de um plano horizontal, no qual o plano horizontal é paralelo à linha de seção 2-2, ou em
5 um ângulo de mais ou menos cerca de 30° a partir do plano horizontal.

Referindo-se à figura 2b, em uma modalidade da presente invenção, um aparelho de lingotamento de cinto horizontal 10' é fornecido tendo uma barragem de borda eletromagnética 15 posicionada para fornecer linhas de força magnética para confinar o metal fundido M dentro da zona de
10 moldagem 20 do aparelho 10, em que as linhas de força magnética se estendem ao longo de um plano perpendicular ao plano 2-2 no qual o metal fundido é arrastado. O aparelho de lingotamento de cinto horizontal 10' é praticado usando um par de cintos girando em sentidos contrários B_1 e B_2 , girando nas direções das setas A_1 e A_2 , respectivamente. Deve ser notado
15 que embora as figuras seguintes estejam direcionadas para o fundidor de rolo horizontal 10 representado na figura 2a, a descrição a seguir é igualmente aplicável ao fundidor de cinto horizontal 10' revelado na figura 2b com a exceção de que em vez de o metal fundido entrar em contato com os fundidores de rolo R_1 , R_2 o metal fundido entra em contato com os cintos girando
20 em sentidos contrários B_1 , B_2 . Deve ser notado adicionalmente que diferenças adicionais entre o aparelho de lingotamento de rolo horizontal 10 e o aparelho de lingotamento de cinto 10' de acordo com a presente invenção estão anotadas quando relevantes por todas as partes seguintes da especificação.

25 Referindo-se à figura 3, o metal fundido M é transportado para a zona de moldagem 20 por uma ponta de alimentação T, a qual pode ser feita de um material cerâmico adequado. A ponta de alimentação T distribui o metal fundido M na direção da seta B diretamente para os rolos de lingotamento R_1 e R_2 girando na direção das setas A_1 e A_2 , respectivamente. As folgas G_1
30 e G_2 entre a ponta de alimentação T e os respectivos rolos R_1 e R_2 são mantidas tão pequenas quanto possível para impedir que o metal fundido vaze para fora e para minimizar a exposição do metal fundido para a atmosfera.

Uma dimensão adequada das folgas G_1 e G_2 é em torno de 0,01 polegada (0,25 milímetro). Um plano L através da linha de centro dos rolos R_1 e R_2 atravessa uma região de folga mínima entre os rolos R_1 e R_2 referida como o aperto de rolo N.

5 O metal fundido M entregue pela ponta de alimentação T entra em contato diretamente com os rolos resfriados R_1 e R_2 nas regiões 18 e 19, respectivamente. No contato com os rolos R_1 e R_2 o metal M começa a resfriar e a solidificar. O metal resfriando produz uma parte externa superior 16 de metal solidificado adjacente ao rolo R_1 e uma parte externa inferior 17 de
10 metal solidificado adjacente ao rolo R_2 . A espessura das partes externas 16 e 17 aumenta à medida que o metal M avança na direção do aperto N. Os dendritos grandes 21 de metal solidificado (não mostrados em escala) são produzidos nas interfaces entre cada uma das partes externas superior e inferior 16 e 17 e o metal fundido M. Os dendritos grandes 21 são quebrados
15 e arrastados para dentro de uma parte central 12 do fluxo de deslocamento mais lento do metal fundido M e são transportados no sentido das setas C_1 e C_2 .

A ação de arraste do fluxo pode fazer com que os dendritos grandes 21 sejam quebrados adicionalmente para os dendritos menores 22
20 (não mostrados em escala). Na parte central 12 a montante do aperto N o metal M está semi-sólido, incluindo um componente sólido incluindo os dendritos pequenos solidificados 22 e um componente de metal fundido. O metal M na região 23 tem uma consistência pastosa devido em parte à dispersão dos dendritos pequenos 22 no mesmo. No local do aperto N, parte do metal
25 fundido é apertada para trás em uma direção oposta às setas C_1 e C_2 . A rotação para frente dos rolos R_1 e R_2 no aperto N avança substancialmente somente a parte sólida do metal (as partes externas superior e inferior 16 e 17 e os dendritos pequenos 22 na parte central 12) ao mesmo tempo que forçando o metal fundido na parte central 12 a montante do aperto N de ma-
30 neira tal que o metal fica completamente sólido à medida que ele deixa o ponto do aperto N.

A jusante do aperto N a parte central 13 é uma camada central

sólida 13 contendo os dendritos pequenos 22 encaixados entre a parte externa superior 16 e a parte externa inferior 17. Na camada central 13, os dendritos pequenos 22 podem ser em torno de 20 a cerca de 50 microns em tamanho e ter uma forma de uma maneira geral equiaxial (globular), tal como o oposto a ter uma forma colunar. As três camadas, as partes externas superior e inferior 16 e 17 e a camada central solidificada 13, constituem uma tira lingotada sólida.

Os rolos R_1 e R_2 servem como redutores de aquecimento para o calor do metal fundido M. Na presente invenção, calor é transferido do metal fundido M para os rolos R_1 e R_2 em uma maneira uniforme para assegurar uniformidade na superfície da tira lingotada. As superfícies D_1 e D_2 dos respectivos rolos R_1 e R_2 podem ser feitas de um material de boa condutividade térmica tal como aço ou cobre ou de outros materiais metálicos e são com textura e incluem irregularidades de superfície (não mostradas) que entram em contato com o metal fundido M. As irregularidades de superfície podem servir para aumentar a transferência de calor a partir das superfícies D_1 e D_2 . Os rolos R_1 e R_2 podem ser revestidos com um material para aprimorar a separação da tira lingotada dos rolos R_1 e R_2 , tal como cromo ou níquel. Em uma modalidade preferida, os rolos R_1 e R_2 , incluindo as superfícies D_1 e D_2 , compreendem um material ferromagnético. Nas modalidades da presente invenção nas quais os rolos R_1 e R_2 não compreendem um material ferromagnético, as superfícies de lingotamento D_1 , D_2 do rolo assim como a parede lateral do rolo podem ser revestidas com um material ferromagnético.

O controle, manutenção e seleção da velocidade apropriada dos rolos R_1 e R_2 podem causar impacto na operabilidade da presente invenção. A velocidade de rolo determina a velocidade com a qual o metal fundido M avança na direção do aperto N. Se a velocidade for muito baixa, os dendritos grandes 21 não estarão sujeitos a forças suficientes para se tornar arrastados na parte central 12 e quebrados para os dendritos pequenos 22. Desta maneira, a presente invenção é apropriada para operação em velocidades altas tais como em torno de 0,127 a cerca de 2,032 metros por segundo (25 a cerca de 400 pés por minuto) ou em torno de 0,508 a cerca de 2,032 me-

tros por segundo (100 a cerca de 400 pés por minuto) ou em torno de 0,762 a cerca de 1,524 metros por segundo (150 a cerca de 300 pés por minuto). A velocidade linear na qual o alumínio fundido é entregue para os rolos R_1 e R_2 pode ser menor do que a velocidade dos rolos R_1 e R_2 ou cerca de um quarto da velocidade de rolo. Lingotamento contínuo de alta velocidade de acordo com a presente invenção pode ser alcançável em parte por causa de as superfícies com textura D_1 e D_2 assegurarem transferência de calor uniforme a partir do metal fundido M.

A força de separação de rolo pode ser um parâmetro na prática da presente invenção. A força de separação de rolo é a força presente entre os rolos por causa da presença da tira dentro da folga de rolo. A força de rolo é particularmente alta quando a tira está sendo deformada de forma plástica pelos rolos durante o lingotamento de rolo. Um benefício significativo da presente invenção é que a tira sólida não é produzida até que o metal alcance o aperto N. A espessura é determinada pela dimensão do aperto N entre os rolos R_1 e R_2 . A força de separação de rolo pode ser suficientemente grande para apertar o metal fundido a montante e para longe do aperto N. Metal fundido em excesso passando pelo aperto N pode fazer com que as camadas das partes externas superior e inferior 16 e 17 e da parte sólida central 13 reneguem umas às outras e se tornem desalinhadas. Metal fundido insuficiente alcançando o aperto N faz com que a tira se forme prematuramente tal como ocorre nos processos de lingotamento de rolo convencionais. Uma tira 20 formada prematuramente pode ser deformada pelos rolos R_1 e R_2 e experimentar segregação de linha de centro. Forças de separação de rolo adequadas são em torno de 4,38 KN/m a cerca de 52,53 KN/m (25 a cerca de 300 libras por polegada) de largura lingotada ou em torno de 17,51 KN/m (100 libras por polegada) de largura lingotada. Em geral, velocidades de lingotamento mais baixas podem ser necessárias durante o lingotamento de liga de alumínio de maior bitola a fim de remover o calor da liga espessa. Ao contrário do lingotamento de rolo convencional, tais velocidades de lingotamento mais baixas não resultam em forças de separação de rolo excessivas na presente invenção por causa de tira de alumínio inteiramente sólida

não ser produzida a montante do aperto.

Nas aplicações anteriores a força de separação de rolo tem sido um fator de limitação na produção de produto de tira de liga de alumínio de bitola baixa, mas a presente invenção não é assim limitada por causa de as
5 forças de separação de rolo serem na ordem de magnitudes menores do que nos processos convencionais. Tira de liga de alumínio pode ser produzida com espessuras de em torno de (0,1 polegada) 2,54 milímetros ou menos em velocidades de lingotamento de 0,127 a cerca de 2,032 metros por segundo (25 a cerca de 400 pés por minuto). Tira de liga de alumínio de maior
10 bitola também pode ser produzida usando-se o método da presente invenção, por exemplo, em uma espessura de cerca de 6,35 milímetros (1/4 de polegada).

A tira de liga de alumínio 20 lingotada continuamente de acordo com a presente invenção inclui uma primeira camada de uma liga de alumínio e uma segunda camada da liga de alumínio (correspondentes às partes
15 externas 16 e 17) com uma camada intermediária (a camada central solidificada 13) entre elas. Os grãos na tira de liga de alumínio da presente invenção são substancialmente não deformados por causa da força aplicada pelos rolos ser baixa 52,53 KN/m (300 libras por polegada de largura ou menos). A tira não é sólida até que ela alcance o aperto N; conseqüentemente
20 ela não é enrolada quente na maneira do lingotamento de duplo rolo convencional e não recebe tratamento termomecânico típico. Na ausência de laminação a quente convencional no fundidor, os grãos na tira 20 são substancialmente não deformados e retêm a sua estrutura inicial alcançada durante a solidificação, isto é, uma estrutura equiaxial, tal como globular.
25

Lingotamento contínuo de ligas de alumínio de acordo com a presente invenção é alcançado por inicialmente selecionar a dimensão desejada do aperto N correspondente à bitola desejada da tira S. A velocidade dos rolos R_1 e R_2 pode ser aumentada para uma taxa de produção desejada,
30 ou para uma velocidade que seja menor do que a velocidade na qual a força de separação de rolo aumenta para um nível que indica que deformação plástica da tira lingotada está ocorrendo entre os rolos R_1 e R_2 . Lingotamen-

to nas taxas consideradas pela presente invenção (isto é, em torno de 0,127 a cerca 2,032 metros por segundo (25 a cerca de 400 pés por minuto) solidifica a tira de liga de alumínio em cerca de 1.000 vezes mais rápido do que lingotamento de liga de alumínio como um lingotamento de lingote e aperfei-
5 çoa as propriedades da tira em relação a lingotamento de ligas de alumínio como um lingote.

O metal fundido M sendo entregue pela ponta de alimentação T fica confinado dentro da zona de moldagem 20 por pelo menos uma barragem de borda eletromagnética 15 que é posicionada para dirigir linhas de
10 força magnética perpendiculares ao plano 2-2 no qual o metal fundido está sendo arrastado. Em uma modalidade, uma barragem de borda eletromagnética 15 é posicionada em cada lado do aparelho de lingotamento. Em uma modalidade preferida, o metal fundido M é confinado dentro da zona de moldagem 20 durante o lingotamento por uma barragem de borda mecânica 55
15 em combinação com uma barragem de borda eletromagnética 15, em que a barragem de borda mecânica 55 é posicionada próxima da ponta de alimentação T e a barragem de borda eletromagnética 15 é posicionada sobrepondo a extremidade de terminação da barragem de borda mecânica 55 e fornece forças de confinamento ao longo do comprimento total da zona de moldagem 20, tal como representado nas figuras 6 e 11.

A corrente e/ou frequência utilizada pela barragem de borda eletromagnética 15 para manter o metal fundido M dentro da zona de moldagem 20 é substancialmente menor do que tipicamente exigido em aparelhos de lingotamento anteriores usando barragens de borda eletromagnética. No
25 aparelho de lingotamento anterior empregando barragens de borda eletromagnética, altos campos de força magnética eram exigidos para conter o metal fundido, o que resultava em aquecimento por indução dentro do metal fundido que desvantajosamente afetava o processo de solidificação. Na presente invenção, pela redução da magnitude da força eletromagnética exigida,
30 da, a corrente e/ou frequência conduzida através da barragem de borda eletromagnética também é reduzida, o que por sua vez reduz vantajosamente a incidência de aquecimento por indução na parede lateral do metal fundido na

zona de moldagem.

Sem desejar ser limite, mas no interesse de descrever adicionalmente a presente invenção, os requerentes acreditam que a redução na força eletromagnética que é exigida para conter o metal dentro da zona de moldagem está relacionada à altura de cabeça H_2 diminuída do metal fundido da ponta de alimentação T, tal como representado na figura 3, como o oposto à maior altura H_1 do volume de metal fundido disposto acima do fundidor de rolo em aparelhos de lingotamento vertical anteriores, tal como representado na figura 1. Tal como discutido anteriormente, a altura H_1 (ou profundidade) do volume fundido disposto verticalmente acima dos rolos de lingotamento é aproximadamente 65% da altura do rolo de lingotamento R_1 , R_2 e pode variar de 203,2 milímetros (8 polegadas) a 508 milímetros (20 polegadas), tal como representado na figura 1. Referindo-se à figura 3, na presente invenção, a altura H_2 do metal fundido tal como entregue pela ponta de alimentação T para a zona de moldagem 20 pode ser na ordem de cerca de 25,4 milímetros (1 polegada), e em alguns exemplos pode ser reduzida adicionalmente para 12,7 milímetros (0,5 polegada). Daqui por diante, a diferença entre a localização vertical do nível de metal na panela intermediária e aquela do centro da tira sendo lingotada é referida como uma "cabeça de metal fundido".

A relação entre a altura da cabeça de metal fundido H_2 e a densidade de campo magnético exigida para conter alumínio fundido em diferentes níveis de cabeça é melhor descrita pelas equações seguintes. Primeiro, a pressão exercida pela cabeça de metal fundido que o campo magnético deve conter dentro da zona de moldagem 20 é calculada por:

$$p = \rho g H_2$$

onde p é a pressão magnética em Pa, ρ é a densidade do metal, g é a aceleração da gravidade e H_2 é a altura da cabeça de metal fundido. A pressão produzida pela cabeça de metal fundido, por sua vez, determina a intensidade do campo magnético que deve ser produzido pelo dispositivo de contenção de borda eletromagnética 15 para conter a cabeça de metal fundido dentro da zona de moldagem 20. Na presente invenção, a altura da ca-

beça de metal fundido H_2 que está sendo entregue horizontalmente para a zona de moldagem 20 pela ponta de alimentação T pode ser tão baixa quanto 12,7 milímetros (0,5 polegada). A pressão que é produzida pela cabeça de metal fundido de altura variável H_2 , a partir da ponta de alimentação T do presente aparelho de lingotamento de rolo horizontal 10, foi determinada usando-se a equação anterior e está listada na tabela representada na figura 4. Para resumir, a pressão variou de cerca de 125 Pa para uma altura de cabeça de metal H_2 de aproximadamente 12,7 milímetros (0,5 polegada) a cerca de 2.492 Pa para uma altura de cabeça de metal H_2 de aproximadamente 254 milímetros (10 polegadas).

A pressão exigida para conter a cabeça de metal fundido H_2 dentro da zona de moldagem 20 é então usada na equação seguinte para determinar a densidade de campo magnético (B) exigida:

$$p = B^2/2 \mu_0$$

onde p é a pressão magnética em Pa (Pascal), B é a densidade de campo magnético em T (Tesla) e μ_0 é a permeabilidade do ar ($=4\pi \times 10^{-7}$ H/m). Referindo-se à figura 4, da equação exposta anteriormente é calculado que para uma altura de cabeça de metal fundido H_2 relativamente alta para a ponta de alimentação T entregar de aproximadamente 254 milímetros (10 polegadas), a densidade de campo magnético necessária é 0,079 T (790 Gauss) e para uma altura de cabeça de metal fundido H_2 de aproximadamente 12,7 milímetros (0,5 polegada), a densidade de campo magnético necessária é de aproximadamente 0,0177 T. Tal como ilustrado na figura 4, reduzir a altura de cabeça de metal fundido H_2 diminui a densidade de campo magnético que é necessária para conter o metal fundido M dentro da zona de moldagem 20. A densidade de campo magnético exigida para conter alturas de cabeça de metal consistentes com a presente invenção pode ser obtida com eletroímãs em níveis de corrente relativamente baixos. Em uma modalidade, a barragem de borda eletromagnética opera em aproximadamente 2.000 ampéres-espiras (isto é, um enrolamento de 10 espiras extraindo 200 A).

Em um outro aspecto da presente invenção, o posicionamento físico da barragem de borda eletromagnética, a altura de cabeça de metal

fundido e a intensidade do campo magnético podem variar para controlar o posicionamento da borda do metal fundido dentro da zona de moldagem com relação à parede lateral dos fundidores de rolo R_1 , R_2 . A intensidade do campo magnético em diferentes distâncias a partir da face (borda) dos fundidores de rolo pode ser calculada pela seguinte equação:

$$B_L = (\mu_0 n I / l) / \{ (2D/H) \operatorname{senoh}(L/l) + (w/l) \operatorname{cosenoh}(L/l) \}$$

onde:

B_L = intensidade de campo magnético em uma distância L (m) na folga a partir da face de rolo.

10 nI = espiras de enrolamento e corrente.

w = folga de rolo, $l = \sqrt{(\mu_r \delta w / 2)}$ em que μ_r = permeabilidade relativa do rolo de fundidor de aço (considerada como 600), δ = profundidade de revestimento para aço (material do rolo de fundidor), e w é a folga de rolo.

D = distância entre o polo de eletroímã e a face de rolo.

15 H = altura de polo de ímã.

Referindo-se à figura 5, usando-se a equação anterior, a intensidade de campo magnético foi calculada e representada graficamente como uma função da frequência da corrente (Hz) conduzida através da barragem de borda eletromagnética 15, em que a distância na qual a intensidade de campo magnético foi calculada variou de 10 mm a 80 mm para dentro a partir da parede lateral dos rolos de lingotamento de aço (linha de referência 1 = 10 mm, linha de referência 2 = 20 mm, linha de referência 3 = 30 mm, linha de referência 4 = 40 mm, linha de referência 5 = 60 mm, e linha de referência 6 = 80 mm). Em cada um dos cálculos, a altura (H) do polo magnético foi estabelecida em 8 mm, a distância (D) entre o polo eletromagnético e a face de rolo foi estabelecida em 4 mm, e a folga de rolo (w) foi estabelecida em 4 mm. Adicionalmente, as linhas de referência onde representadas graficamente para indicar o mínimo da intensidade de campo exigida para conter uma cabeça de metal tendo uma altura H_2 igual a 250 mm (linha de referência 7), 150 mm (linha de referência 8), 100 mm (linha de referência 9), e 50 mm (linha de referência 11). O gráfico representado na figura 5 ilustra que a densidade de campo de 0,079 T exigida para a cabeça de metal de 250 mm

8 pode ser criada por este eletroímã em distâncias de até 20 mm para dentro da folga de rolo.

A borda da tira lingotada pode, portanto, ser contida para dentro da face (parede lateral) do rolo de lingotamento R_1 , R_2 , se desejado, pelo
5 aumento da corrente na barragem de borda. Nota-se que a densidade de campo diminui rapidamente em maiores distâncias a partir da face de rolo e somente pequenas alturas de cabeça de metal, na ordem de 50 mm, podem ser contidas em distâncias iguais ou maiores que 40 mm pela operação desta barragem de borda em 2.000 ampéres-espiras. A faixa de contenção pode
10 ser estendida adicionalmente, se necessário, pelo aumento da força magnetomotriz (nl) na barragem de borda. Durante o aumento da força eletromagnética, uma consideração adequada necessita ser dada ao efeito de aquecimento da barragem de borda.

Nota-se adicionalmente que o gráfico representado na figura 5
15 também ilustra que a barragem de borda eletromagnética tal como utilizada na presente invenção operaria efetivamente em qualquer frequência escolhida. A perda em campo magnético se torna perceptível somente para operação em frequências maiores que 10 kHz.

Além da altura da cabeça de metal fundido e da densidade de
20 campo magnético, o posicionamento da barragem de borda eletromagnética com relação aos rolos de lingotamento também pode ser ajustado para fornecer linhas de força eletromagnética para confinar o metal fundido M dentro da zona de moldagem 20. Referindo-se à figura 6, a barragem de borda eletromagnética 15 pode ser posicionada no lugar em que os polos do elemento
25 magnético são alinhados às paredes laterais 13 dos rolos de lingotamento R_1 , R_2 . Em uma modalidade, a barragem de borda eletromagnética pode ser posicionada no lugar em que os polos do elemento magnético são distais das paredes laterais de cada rolo de lingotamento R_1 , R_2 . Nas modalidades da presente invenção nas quais um aparelho de lingotamento de cinto horizontal é empregado tal como representado na figura 2a, a barragem de bor-
30 da eletromagnética 15 pode ser posicionada no lugar em que cada polo do elemento magnético fica distal e alinhado à parede lateral adjacente dos cin-

tos de lingotamento B_1 , B_2 . Com os propósitos desta descrição, a expressão "distal e alinhado à parede lateral adjacente dos cintos de lingotamento" pretende indicar que os polos da barragem de borda eletromagnética não se estendem na direção da linha de centro dos aparelhos de lingotamento além
5 de um plano definido pela parede lateral dos cintos de lingotamento, mas que são posicionados em proximidade exata o suficiente com a parede lateral dos cintos de lingotamento para fornecer um campo magnético suficiente para conter o metal fundido dentro da zona de moldagem.

A inventiva barragem de borda eletromagnética também desempenhará em fundidores com rolos feitos de um material não-magnético (não-ferromagnético), tal como cobre. Entretanto, quando os roletes compreendem um material não-magnético, a penetração do campo magnético na folga de rolo pode ser limitada e assim a contenção tipicamente ocorrerá em um plano próximo à extremidade dos rolos. Pode ser possível obter penetra-
15 ção na folga pelo revestimento com um material ferromagnético (tal como ferro, níquel ou cobalto) das faces de extremidade e superfícies de lingotamento 200 de tais rolos para a profundidade de contenção exigida, tal como representado na figura 8d.

Nota-se que aparelhos de lingotamento anteriores tipicamente
20 formam os polos magnéticos dos dispositivos eletromagnéticos e os rolos de lingotamento para focalizar o campo magnético na direção da zona de moldagem. Em um exemplo, rolos de lingotamento anteriores empregam beiras se estendendo a partir da parede lateral de cada rolo e adicionalmente podem ter incluídos polos magnéticos tendo uma geometria correspondente às
25 beiras que se estendem dos rolos de lingotamento anteriores. Contrário aos aparelhos de lingotamento anteriores, a presente invenção não exige rolos de lingotamento especialmente configurados para facilitar a focalização do campo magnético produzido pela barragem de borda eletromagnética. Em uma modalidade da presente invenção, as paredes laterais 113 dos rolos de
30 lingotamento R_1 , R_2 podem ser substancialmente planas. Adicionalmente, a barragem de borda eletromagnética 15 da presente invenção pode ser posicionada de modo que a face do dispositivo de contenção de borda eletro-

magnética fique alinhada com a face da parede lateral plana 113 do rolo de lingotamento, no lugar em que a barragem de borda eletromagnética 15 fica nas proximidades dos rolos de lingotamento R_1 , R_2 . A barragem de borda eletromagnética 15 também pode ser posicionada distal da parede lateral 113 do rolo de lingotamento. Independentemente do posicionamento da barragem de borda eletromagnética 15, a barragem de borda eletromagnética 15 é posicionada para fornecer força eletromagnética suficiente para conter o metal fundido M dentro da zona de moldagem 20.

O posicionamento das barragens de borda 15 pode ser dependente da corrente ou frequência utilizada na barragem de borda. Por exemplo, correntes mais baixas podem fornecer linha de força eletromagnética de menor magnitude e, portanto, ser mais provável exigir que a barragem de borda 15 seja posicionada mais próxima da zona de moldagem 20. Quanto mais alta a corrente conduzida através da barragem de borda eletromagnética tanto maior a magnitude das linhas de força eletromagnética e consequentemente mais distantes as barragens de borda eletromagnética podem ser posicionadas da zona de moldagem.

Referindo-se às figuras 7a-7c, em uma modalidade, o posicionamento da barragem de borda eletromagnética 15 e a magnitude das linhas de força eletromagnética são selecionados para formar uma parede lateral substancialmente plana (figura 7a), uma parede lateral convexa (figura 7b), ou parede lateral côncava (figura 7c) no metal fundido M dentro da zona de moldagem 20. Em um exemplo, uma corrente de 2.200 ampéres/espiras produz uma tira lingotada tendo uma parede lateral côncava; uma corrente de 1.200 ampéres/espiras produz uma tira lingotada tendo uma parede lateral substancialmente plana ou reta; e uma corrente da ordem de 1.200 ampéres/espiras produz tira lingotada tendo uma parede lateral substancialmente convexa. Nota-se que os exemplos anteriores são fornecidos somente com propósitos ilustrativos e não pretendem limitar a presente invenção, já que qualquer corrente é aplicável à presente invenção, contanto que a corrente forneça forças de contenção suficientes para a zona de moldagem 20 e não resulte em aquecimento por indução excessivo. Em algumas das

modalidades preferidas da presente invenção, nas quais a parede lateral da tira lingotada é côncava ou convexa, a curvatura da parede lateral pode ser definida por um raio que é aproximadamente metade da altura de cabeça de metal fundido.

5 Em uma outra modalidade, a barragem de borda eletromagnética 15 pode ser configurada para fornecer metal fundido dentro da zona de moldagem tendo uma parede lateral convexa em relação à linha de centro do metal fundido M dentro da zona de moldagem 20. Preferivelmente, a parede lateral do metal fundido dentro da zona de moldagem é substancialmente alinhada com a superfície plana dos fundidores de rolo, tal como representado nas figuras 8a e 8c. Alternativamente, a barragem de borda eletromagnética 15 pode ser configurada para projetar linhas de força magnética além da parede lateral 113 dos rolos de lingotamento, onde o metal fundido é confinado interno à borda dos fundidores de rolo, tal como representado nas figuras 8b e 8d.

 A estrutura da barragem de borda eletromagnética 15 está ilustrada detalhadamente na figura 8a, representando uma vista seccional do aparelho de barragem de borda 15 ilustrado na figura 2a. Na modalidade preferida da invenção, a barragem de borda eletromagnética 15 é um tipo de ímã de sistema de confinamento e inclui um elemento magnético de uma maneira geral em forma de C. O elemento magnético 30 inclui assim um núcleo 32 tendo um braço ou polo superior 34 e um braço ou polo inferior 36 se estendendo deste para definir uma seção transversal de uma maneira geral em forma de C. O núcleo 32 inclui um enrolamento de bobina de indução 38 compreendendo um enrolamento em volta do núcleo 32 do elemento magnético 30 para estabelecer um enrolamento de indução. Assim, o enrolamento é composto de uma pluralidade de condutores enrolados em volta do núcleo 32 do elemento magnético 30. Os enrolamentos de núcleo 38 em volta do núcleo 32 pode ser feitos de metal sólido tais como arame de cobre.

30 Referindo-se ainda à figura 8a, o braço superior 34 termina em uma face de polo 42 tal como o braço inferior 36 termina em uma face de polo 44, respectivamente, com o metal fundido M sendo mantido entre elas.

As faces de polo 42 e 44 definem assim a superfície a partir da qual as linhas de força magnética geradas pelo elemento magnético 30 com o seu enrolamento de indução 38 passam de uma das faces de polo 42 para a outra face de polo 44, tal como ilustrado pelas linhas de força magnética 48.

5 As figuras 9a-9c ilustram diferentes ângulos e orientações de face de polo 44 de acordo com a presente invenção. Será percebido pelos versados na técnica que à medida que a folga entre faces de polo 43 aumenta, a intensidade do campo através da folga diminui. A figura 9a ilustra uma seção transversal de um elemento magnético 30 em que as faces de

10 polo 42 e 44 têm um ângulo negativo em relação ao plano vertical substancialmente perpendicular ao plano no qual o metal fundido está sendo arrasado. O ângulo negativo significa que a folga entre faces de polo 43 é menor na borda externa de cada polo do que na borda interna de cada face de polo. Como resultado, as forças de contenção criadas pelo elemento magnético

15 mostrado na figura 9c são de maior intensidade na borda externa de cada face de polo do que na borda interna de cada face de polo. A figura 9b ilustra uma seção transversal de um elemento magnético 30 em que as faces de polo 42 e 44 não têm ângulo em relação ao plano vertical substancialmente perpendicular ao plano no qual o metal fundido está sendo arrastado. O ângulo zero significa que a folga entre faces de polo 43 é a mesma na borda

20 interna de cada face de polo e na borda externa de cada face de polo. Como resultado, o campo magnético criado pelo elemento magnético mostrado na figura 9b é relativamente uniforme através de cada face de polo. A figura 9c ilustra uma seção transversal de um elemento magnético 30 tendo as faces

25 de polo 42 e 44 que são paralelas em parte e não paralelas em parte. A região interna das faces de polo 42 e 44 têm um ângulo negativo em relação à horizontal.

Em uma modalidade da presente invenção, o elemento magnético 30 é formado de um material ferromagnético tal como aço silício, e pode

30 ser formado de uma peça sólida de tal material ferromagnético. Alternativamente, o elemento magnético 30 pode ser formado de múltiplos materiais ferromagnéticos, tal como o projeto de núcleo dividido representado na figu-

ra 10. Em uma outra modalidade, o elemento magnético 30 pode ser formado de uma série de elementos laminados usinados e presos conjuntamente usando-se dispositivo mecânico, um adesivo ou dispositivo semelhante para produzir a configuração desejada, tal como representado na figura 11. Em
5 muitos casos, o uso de tais laminados é preferível porque laminados podem servir para distribuir mais uniformemente as linhas de fluxo no elemento magnético e reduzir perda por causa de saturação do elemento magnético. Além do mais, para um elemento magnético feito de material ferromagnético laminado, a energia elétrica dissipada como calor também é distribuída mais
10 uniformemente e removida mais facilmente, particularmente onde o adesivo empregado para prender os elementos laminados conjuntamente tem boa condutividade térmica.

Referindo-se de novo às figuras 8a-8d, circundando o elemento magnético 30 está uma proteção externa 50, a qual é preferivelmente feita
15 de um material, e de maior preferência um metal, tendo rigidez estrutural e condutividades elétrica e térmica extremamente altas. Preferivelmente, a proteção externa 50 é fabricada de cobre, embora outros metais tais como prata e ouro possam igualmente ser usados. A alta condutividade elétrica da proteção externa 50 ajuda a conter as linhas de força magnética dentro do
20 elemento magnético, enquanto que a boa condutividade térmica ajuda na dissipação de calor do aparelho total. Tal como deve ser percebido pelos versados na técnica, a proteção externa 50 pode ser fornecida com canais de resfriamento na mesma ou tubos soldados com solda forte sobre a mesma para distribuir fluido de resfriamento através da superfície da proteção
25 externa para ajudar adicionalmente na remoção de calor gerado pelo campo eletromagnético. Por exemplo, uma entrada pode ser empregada para passar um fluido de resfriamento através da proteção externa para remoção a partir de uma porta de descarga quando capacidade de resfriamento adicional é exigida. Assim, o fluido de resfriamento pode ser passado através de
30 um conduto dentro da proteção externa para remover calor gerado pelo campo eletromagnético.

A barragem de borda eletromagnética empregada na prática da

presente invenção também inclui uma proteção interna 56 dimensionada para se encaixar dentro da configuração em forma de C do elemento magnético 30. A proteção interna 56 igualmente serve para conter as linhas de força magnética geradas pelo enrolamento 38 do elemento magnético 30, assegurando que as linhas de força magnética são mantidas dentro do elemento magnético 30. Além do mais, também é possível, e algumas vezes desejável, incluir dentro da proteção interna dispositivo de conduto para a passagem de um fluido de resfriamento através dela onde for desejado para aumentar a capacidade de dissipar calor do ímã. Também é possível fazer em outro lugar com a proteção interna; especialmente assim quando se usa laminados de aço silício de grão orientado onde as linhas de campo preferem fluir dentro dos laminados.

O caminho do campo magnético da presente invenção é indicado nas figuras 8a a 8d. Na figura 8a, o campo magnético flui de um polo da barragem de borda para o outro em um plano essencialmente paralelo às faces laterais dos rolos. É aplicável a rolos metálicos que não são ferromagnéticos (tais como de cobre). O campo cria as forças de contenção nas faces de extremidade dos rolos. A figura 8b ilustra o caso quando o campo penetra na folga e contém o metal fundido para dentro das faces de rolo. Este será o caso para rolos ferromagnéticos e campos fortes. Ele também pode ser alcançado pela aplicação de um revestimento ferromagnético 200 de profundidade suficiente nas faces de extremidade e extremidade da superfície de lingotamento de um material de rolo não-ferromagnético, tal como representado na figura 8d.

No projeto do aparelho de contenção eletromagnética empregado na prática desta invenção, diversas técnicas diferentes podem ser usadas na dissipação de calor gerado pelo campo eletromagnético. Tal como mostrado na figura 8c, os enrolamentos 40 podem ser formados de um condutor anular tendo uma abertura central 41 se estendendo através dele. Assim, água resfriada pode ser passada através da abertura central dos enrolamentos 40 para ajudar na dissipação do calor gerado pelo campo eletromagnético. Tal como mostrado na figura 12, o núcleo 30 também pode ser equipado

com um conduto de resfriamento 47 se estendendo através dele; desse modo, um fluido de resfriamento pode passar através do conduto de resfriamento 47 para ajudar na dissipação do calor gerado pelo campo eletromagnético.

5 A figura 12 ilustra uma modalidade preferida da presente invenção, em que uma barragem de borda mecânica 55 é usada em conjunto com uma barragem de borda eletromagnética 15 tendo um elemento magnético 30. O elemento magnético 30 é precedido pela barragem de borda mecânica 55. A barragem de borda mecânica 55 mostrada idealmente deve ter uma
10 superfície menos cerâmica e compreender material magnético para reduzir a relutância na boca da zona de moldagem. Um material cerâmico também pode ser usado para fazer a barragem de borda mecânica 55 se condições de processo impedirem o uso de um material metálico. Em uma modalidade da presente invenção, a barragem de borda mecânica 55 é posicionada para
15 assegurar que o metal fundido é contido dentro do aparelho de lingotamento enquanto sendo entregue da panela intermediária H para a ponta de alimentação T. Uma vez que o metal fundido M alcança a ponta de alimentação T, forças de contenção são fornecidas pela barragem de borda eletromagnética 15. Neste arranjo, a vida útil da barragem de borda mecânica 55 é aumentada pela barragem de borda eletromagnética 15, uma vez que a barragem de
20 borda eletromagnética 15 é posicionada na parte mais hostil do aparelho de lingotamento.

Os exemplos a seguir são fornecidos para ilustrar adicionalmente a presente invenção e demonstrar algumas vantagens que aparecem desta. Não é pretendido que a invenção seja limitada aos exemplos específicos
25 revelados.

EXEMPLO 1 - CONFIRMAÇÃO DE IMPULSO ELETROMAGNÉTICO

A tira de alumínio foi lingotada de acordo com a presente invenção usando-se um fundidor com rolos de aço. A tira foi então testada de forma metalográfica para confirmar o efeito da força eletromagnética no metal
30 fundido dentro da zona de moldagem. Amostras de ensaio foram formadas usando-se um fundidor de rolo horizontal e uma combinação de barragens

de borda eletromagnética e mecânica consistente com a presente revelação. Tiras lingotadas de três espessuras diferentes (2,44 mm, 2,29 mm e 2,16 mm) foram então lingotadas operando-se a barragem de borda eletromagnética em 2.180 ampéres-espiras. Amostras foram então cortadas das bordas das tiras e foram preparadas para exame metalográfico. Foi observado que a parte central da tira lingotada foi empurrada para dentro quando comparada às superfícies externas da tira, tal como mostrado nas figuras 14a e 14b. Esta observação confirma o efeito de confinamento da barragem de borda eletromagnética durante o lingotamento, uma vez que a parte central da tira é a última a solidificar.

A profundidade do efeito de confinamento para dentro da folga de rolo foi estimada por primeiro medir a largura da tira lingotada na temperatura ambiente, em que a largura da tira lingotada foi de aproximadamente 400,5 mm. A partir desta medição a largura da tira dentro da zona de moldagem pode ser estimada como 406 mm pela adição da contração que ocorreu durante a solidificação e resfriamento para a temperatura ambiente.

Considerando que a largura do rolo de lingotamento é de aproximadamente 432 mm, é evidente que o campo magnético empurrou o centro de metal fundido da tira lingotada em uma distância de aproximadamente 13 mm ($13 \text{ mm} = (432(\text{largura do fundidor de rolo}) - 406)/2$) a partir da face de rolo de lingotamento em cada lado do rolo de lingotamento. Mais especificamente, pela subtração da largura calculada da tira lingotada na zona de moldagem da largura do rolo de lingotamento o deslocamento total produzido pelas barragens de borda eletromagnética é calculado. A quantidade de deslocamento produzido por uma única barragem de borda é calculada pelo número de barragens de borda empregadas, que neste experimento consistiu de duas barragens de borda eletromagnética posicionadas nas extremidades opostas dos rolos de lingotamento.

Efeitos de impulsos eletromagnéticos similares foram observados para todas as três diferentes espessuras de tira (bitolas de tira), tal como resumido na tabela representada na figura 13. O grau do impulso magnético foi medido como a profundidade da parte central da tira com relação às bor-

das. O impulso magnético foi um pouco mais alto para tira de menor bitola, uma vez que a folga de rolo mais estreita criaria uma densidade de campo mais alta em qualquer dada distância. Acredita-se que a diferença no impulso magnético entre os dois lados (lado de acionamento e lado de operador) dos rolos de fundidor, tal como resumido na figura 13, é atribuída às variações na localização dos eletroímãs e das barragens de borda mecânica.

EXEMPLO 2 - CONTROLE DE PERFIL DE BORDA DE TIRA LINGOTADA

O perfil de borda da tira tal como lingotada foi verificado por operação em diferentes níveis de força magnetomotriz no eletroímã. O perfil de borda obtido em operação de 2.180 ampéres-espiras mostrado na figura 14 foi considerado inadequado para subsequente laminação da tira a não ser que as bordas fossem aplainadas antes da laminação. A fim de fornecer tira lingotada tendo perfis de borda adequados para laminação sem usinagem adicional, a força magnetomotriz do eletroímã foi reduzida para diminuir o impulso na parte central da tira lingotada de maneira que o perfil de borda da tira fosse plano ou ligeiramente convexo.

Um perfil de borda plana foi obtido na tira lingotada em um nível de corrente de 180 A (ou 1.620 ampéres-espiras) sendo aplicado ao eletroímã. Para obter um perfil de borda plana o campo magnético deve ser selecionado para compensar exatamente a pressão produzida pelo metal fundido na zona de moldagem, a qual é produzida pela cabeça de metal com uma pequena pressão de rolo de menor contribuição. Referindo-se à figura 15, a borda da tira lingotada feita sob estas condições foi plana e altamente reta indicando que ela pode ser enrolada sem retificação das bordas da tira lingotada ou outra usinagem adicional.

Esta tira foi enrolada em linha de forma bem-sucedida por meio de quatro cadeiras de laminadores. A tira lingotada foi enrolada de uma espessura tal como lingotada de 2,7 milímetros (0,107 polegada) a uma espessura de aproximadamente 0,36 milímetro (0,014 polegada), o que correspondeu a uma redução de 87% na espessura. Referindo-se à figura 16, a lâmina feita por este método mostrou somente fissuras menores nas bordas, as quais podem ser removidas por retificação antes da bobinagem.

Seguindo ajuste apropriado da barragem de borda eletromagnética, bordas de alta qualidade são obtidas na tira tal como lingotada que permitem laminação para altas razões de redução economizando materiais e melhorando a eficiência do processo.

- 5 Embora a presente invenção tenha sido particularmente mostrada e descrita com relação às modalidades preferidas da mesma, deve ser entendido pelos versados na técnica que as anteriores e outras mudanças nas formas e detalhes podem ser feitas sem fugir do espírito e escopo da presente invenção. Portanto, pretende-se que a presente invenção não seja
- 10 limitada à forma e detalhes exatos descritos e ilustrados, mas aos que estejam incluídos no escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para lingotamento contínuo de tiras de metal fundido compreendendo:

5 a) um par de rolos de lingotamento adaptados para receber metal fundido ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem;

10 b) um aparelho de contenção de borda eletromagnética posicionado em cada lado da zona de moldagem, compreendendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que o dito elemento magnético compreende um primeiro e segundo polo posicionados distais a uma parede lateral e alinhados com esta parede lateral do dito par de rolos de lingotamento e a corrente fornece linhas de força magnética
15 perpendiculares ao dito eixo geométrico horizontal que contêm o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento substancialmente sem nenhum aumento na temperatura do metal fundido; e

c) um dispositivo para fornecer o metal fundido para a zona de moldagem ao longo do dito eixo geométrico horizontal a partir de uma panela intermediária, ao mesmo tempo que assegurando que o dito metal fundido
20 permanece substancialmente não oxidado, em que a panela intermediária é separada da zona de moldagem por uma distância para eliminar substancialmente geração de onda dentro da panela intermediária pelas linhas de força magnética.

25 2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que a dita corrente compreende uma corrente alternada tendo uma frequência variando de 40 Hz a 10.000 Hz.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que a dita corrente compreende menos que 2.000 ampéres-espiras.

30 4. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, o qual inclui dispositivo de proteção posicionado em volta do elemento magnético.

5. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que o elemen-

to magnético tem uma configuração de uma maneira geral em forma de C, incluindo uma parte de núcleo e polos paralelos integrais com a parte de núcleo e se estendendo desta.

5 6. Aparelho de acordo com a reivindicação 5, em que o enrolamento de indução é enrolado em volta do núcleo do elemento magnético, no qual o enrolamento de indução é enrolado de 1 a 100 vezes em volta do elemento magnético.

10 7. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que a distância vertical separando o par de rolos de lingotamento fornece uma altura de cabeça de metal que leva em conta contenção do metal fundido entre os rolos de lingotamento pelas linhas de força magnética na dita corrente sem um aumento substancial na temperatura do metal fundido resultante das linhas de força magnética.

15 8. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que a distância vertical separando o par de rolos de lingotamento é menor que 25,4 mm (1,0").

20 9. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que o elemento magnético é posicionado na zona de moldagem para posicionar as linhas de força magnética para produzir uma parede lateral convexa, uma parede lateral côncava, ou uma parede lateral substancialmente plana para o metal fundido dentro da zona de moldagem.

25 10. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que o elemento magnético é formado de um material ferromagnético de uma pilha de laminados colados ou ligados mecanicamente ou o elemento magnético é formado de um núcleo sólido de material ferromagnético.

30 11. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que o dito par de rolos de lingotamento compreende um material ferromagnético, material não-ferromagnético, ou um material não-ferromagnético que é pelo menos revestido com um material ferromagnético pelo menos nas superfícies de lingotamento e nas dita paredes laterais do dito par de rolos de lingotamento.

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, em que a dita parede lateral do dito par de rolos de lingotamento é substancialmente plana.

13. Aparelho para lingotamento contínuo de tiras de metal fundido compreendendo:

5 a) um par de cintos de metal sem-fim opostos, cada um do par de cintos de metal sem-fim opostos passando sobre um rolo e tendo uma periferia substancialmente alinhada a uma parede lateral do rolo, o dito cada um dos ditos cintos de metal sem fim opostos tendo uma superfície para aceitar metal fundido, em que uma dimensão vertical separando o par de cintos de metal sem-fim opostos define uma zona de moldagem;

10 b) um aparelho de contenção de borda eletromagnética posicionado em cada lado da zona de moldagem compreendendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que a corrente fornece linhas de força magnética que contêm o metal fundido dentro de uma largura e em contato com pelo menos uma parte do dito par
15 de cintos de metal sem-fim opostos substancialmente sem nenhum aumento na temperatura do metal fundido; e

c) um dispositivo para fornecer o dito metal fundido para a zona de moldagem ao longo de um eixo geométrico horizontal a partir de uma panela intermediária, a panela intermediária separada da dita zona de moldagem por uma distância para eliminar substancialmente geração de onda
20 dentro da panela intermediária pelas linhas de força magnética.

14. Aparelho de acordo com a reivindicação 13, em que o elemento magnético compreende um polo superior e um polo inferior, o enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte do elemento magnético
25 para gerar linhas de força magnética passando de um de os polos superior e inferior para o outro, com o elemento magnético sendo posicionado de maneira tal que os polos superior e inferior direcionam linhas de força magnética que estabelecem forças de contenção nas bordas do par de cintos de metal sem-fim opostos para conter o metal fundido entre elas.

30 15. Aparelho de acordo com a reivindicação 13, em que a distância vertical separando o par de cintos de metal sem-fim opostos fornece uma altura de cabeça de metal que leva em consideração contenção do me-

tal fundido entre o par de cintos de metal sem-fim opostos pelas linhas de força magnética na dita corrente sem um aumento substancial na temperatura do metal fundido resultante das linhas de força magnética.

5 16. Aparelho de acordo com a reivindicação 13, em que a distância vertical mínima separando o par de cintos de metal sem fim opostos, no aperto do fundidor, varia de cerca de 0,635 mm (0,025") a 6,35 mm (0,25").

10 17. Aparelho de acordo com a reivindicação 13, em que o elemento magnético é posicionado na zona de moldagem para posicionar as linhas de força magnética para produzir uma parede lateral convexa, parede lateral côncava ou parede lateral substancialmente plana para o metal fundido dentro da zona de moldagem.

15 18. Tira de metal lingotada compreendendo:
uma primeira parte externa;
uma segunda parte externa; e
uma parte central entre a dita primeira parte externa e a dita segunda parte externa, a dita parte central compreendendo grãos tendo uma estrutura equiaxial, em que a dita tira de metal lingotada tem bordas de parede lateral sendo substancialmente uniformes.

20 19. Tira de metal lingotada de acordo com a reivindicação 18, em que a dita primeira parte externa é uma parte externa superior e a dita segunda parte externa é uma parte externa inferior.

25 20. Tira de metal lingotada de acordo com a reivindicação 18, em que a dita tira de metal lingotada pode ser enrolada sem usinagem das ditas bordas de parede lateral.

21. Tira de metal lingotada de acordo com a reivindicação 18, compreendendo alumínio e outros metais leves tais como magnésio e zinco.

22. Tira de metal lingotada de acordo com a reivindicação 18, em que a dita estrutura equiaxial é substancialmente globular.

30 23. Aparelho de lingotamento compreendendo:

a) um par de rolos de lingotamento adaptados para receber metal fundido ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância

vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem;

5 b) uma estrutura de entrega de ponta posicionada para fornecer o metal fundido para a zona de moldagem ao longo do dito eixo geométrico horizontal a partir de uma panela intermediária, ao mesmo tempo que assegurando que o dito metal fundido permanece substancialmente não oxidado; e

10 c) um aparelho de contenção de borda posicionado em cada lado da zona de moldagem, o dito aparelho de contenção de borda compreendendo:

uma barragem de borda mecânica posicionada sobrepondo pelo menos uma parte de extremidade da dita estrutura de entrega de ponta e se estendendo parcialmente na direção da dita zona de moldagem, e

15 uma barragem de borda eletromagnética compreendendo um primeiro e segundo polo magnético posicionados distais a uma parede lateral e alinhados com esta parede lateral do dito par de rolos de lingotamento e sobrepondo uma parte da dita barragem de borda mecânica se estendendo parcialmente na direção da dita zona de moldagem, em que a dita barragem de borda eletromagnética fornece linhas de força magnética perpendi-
20 culares ao dito eixo geométrico horizontal que contêm o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento.

24. Aparelho de lingotamento de acordo com a reivindicação 23, em que a dita estrutura de entrega de ponta tem um comprimento que substancialmente elimina geração de onda dentro da panela intermediária pelas
25 linhas de força magnética.

25. Aparelho de lingotamento de acordo com a reivindicação 24, em que a dita barragem de borda eletromagnética compreende um enrolamento de indução enrolado em volta de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente.

30 26. Aparelho de lingotamento de acordo com a reivindicação 25, em que a dita corrente fornece linhas de força magnética que contêm o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento substancialmente sem

nenhum aumento na temperatura do metal fundido.

27. Método de formar uma tira de metal lingotada compreendendo:

5 fornecer metal fundido para uma zona de moldagem ao longo de um eixo geométrico horizontal;

 conter o dito metal fundido dentro da dita zona de moldagem com um dispositivo de contenção magnética; e

 lingotar o dito metal fundido para uma tira de metal lingotada, em que a geometria de parede lateral da dita tira de metal lingotada é configurada pelo ajuste do dito dispositivo de contenção magnética.

10 28. Método de acordo com a reivindicação 27, em que a dita geometria de parede lateral é plana ou é côncava ou convexa em relação a uma parte de linha central da dita tira de metal lingotada.

 29. Método de acordo com a reivindicação 28, em que o dito dispositivo de contenção magnética compreende um enrolamento de indução enrolado em volta de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, o dito elemento magnético tendo um primeiro e segundo polo magnético posicionados distais e adjacentes à dita zona de moldagem.

20 30. Método de acordo com a reivindicação 29, em que o dito ajuste do dito dispositivo de contenção magnética compreende aumentar ou diminuir a dita corrente através do dito enrolamento de indução.

 31. Método de acordo com a reivindicação 29, em que o dito ajuste do dito dispositivo de contenção magnética compreende deslocar os ditos primeiro e segundo polos magnéticos adjacentes ou distais à dita zona de moldagem.

25

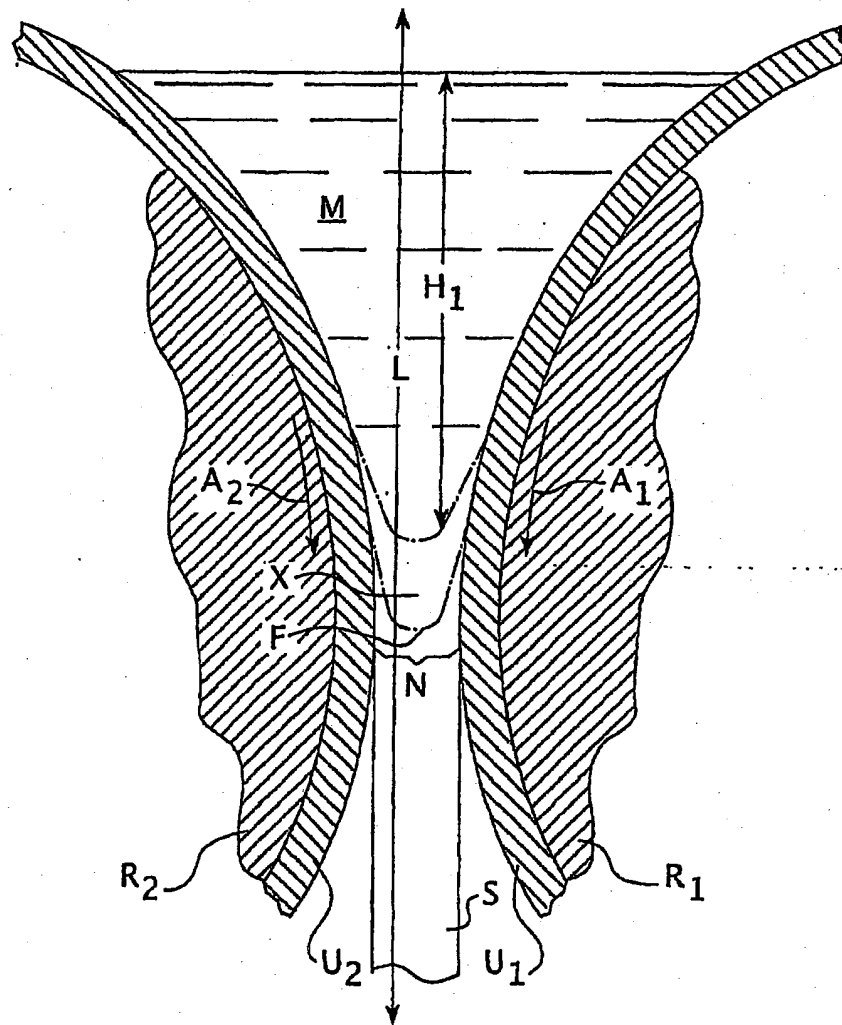


FIG. 1
Técnica Anterior

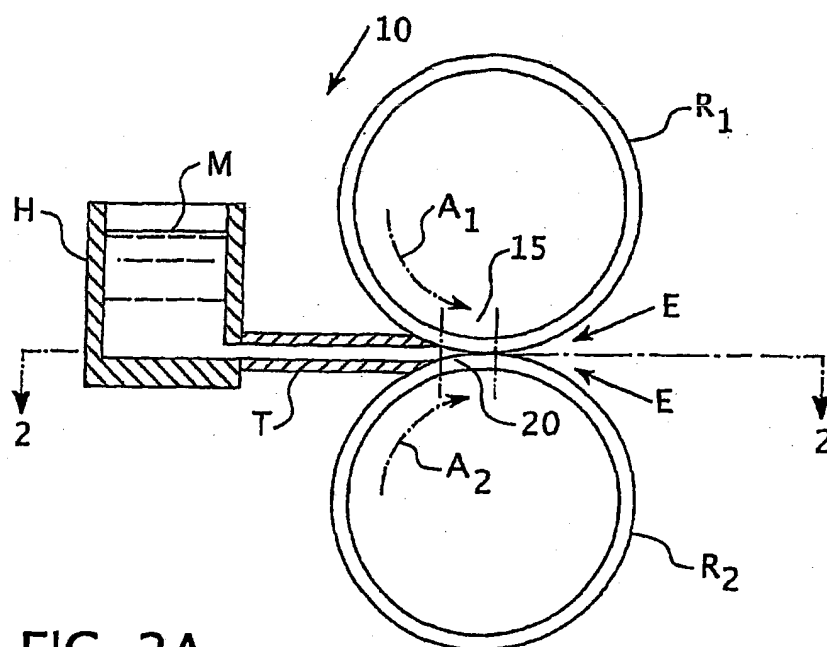


FIG. 2A

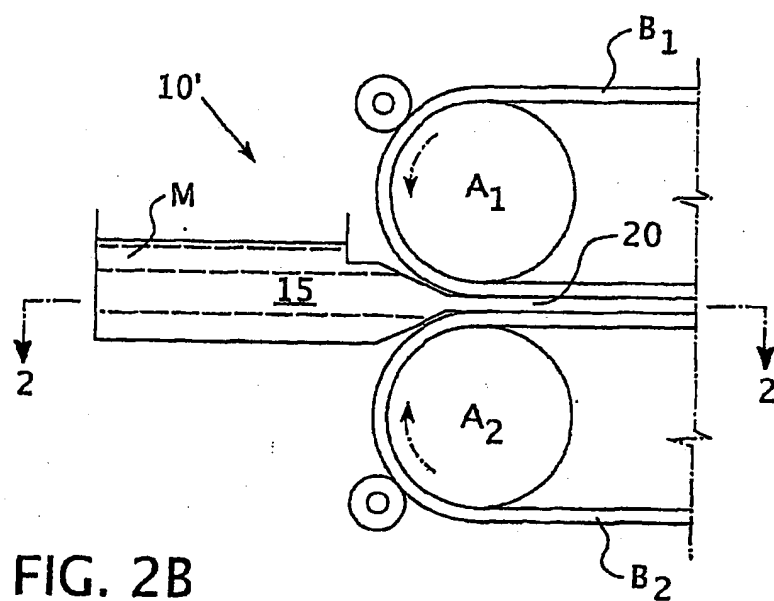


FIG. 2B

Densidade de Campo Magnético Exigida para Conter
Alumínio Fundido em Diferentes Níveis de Cabeça

Cabeça de Metal			Densidade de Campo Magnético Exigida, Tesla
Polegada	Milímetro	Pascal	
0.5	12.7	125	0.0177
1.0	25.4	249	0.0251
1.5	38.1	374	0.0307
2.0	50.8	498	0.0354
2.5	63.5	623	0.0396
3.0	76.2	748	0.0434
4.0	101.6	997	0.0501
6.0	152.4	1495	0.0614
10.0	254.0	2492	0.0792

FIG. 4

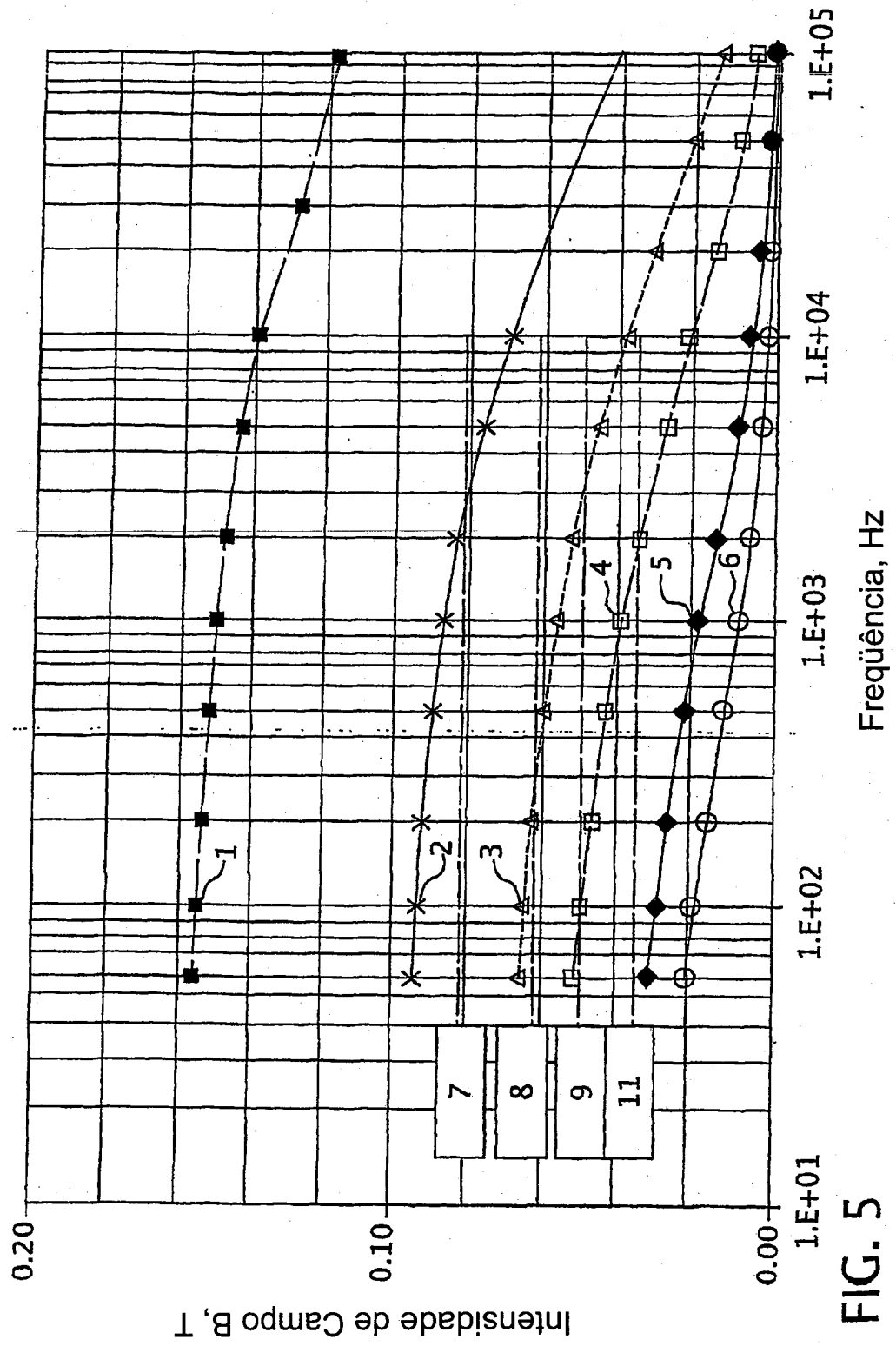


FIG. 5

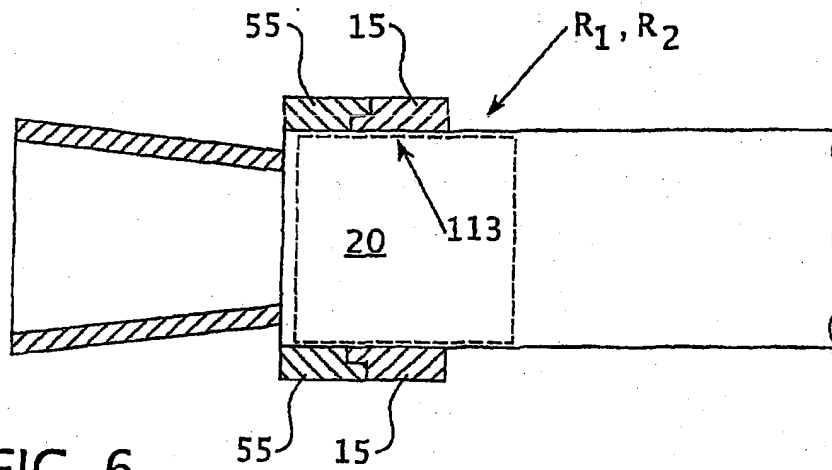


FIG. 6

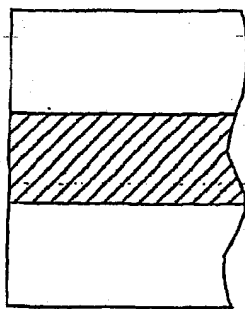


FIG. 7A

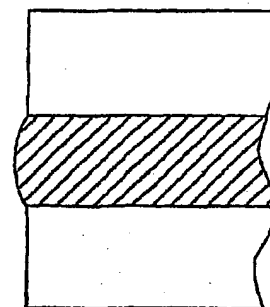


FIG. 7B

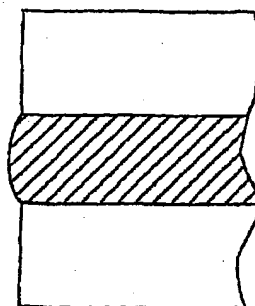


FIG. 7C

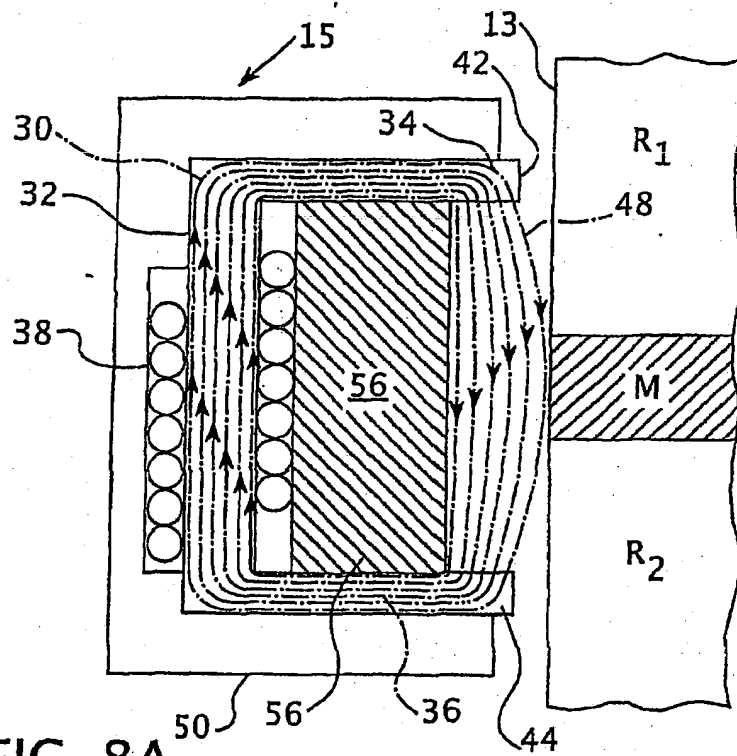


FIG. 8A

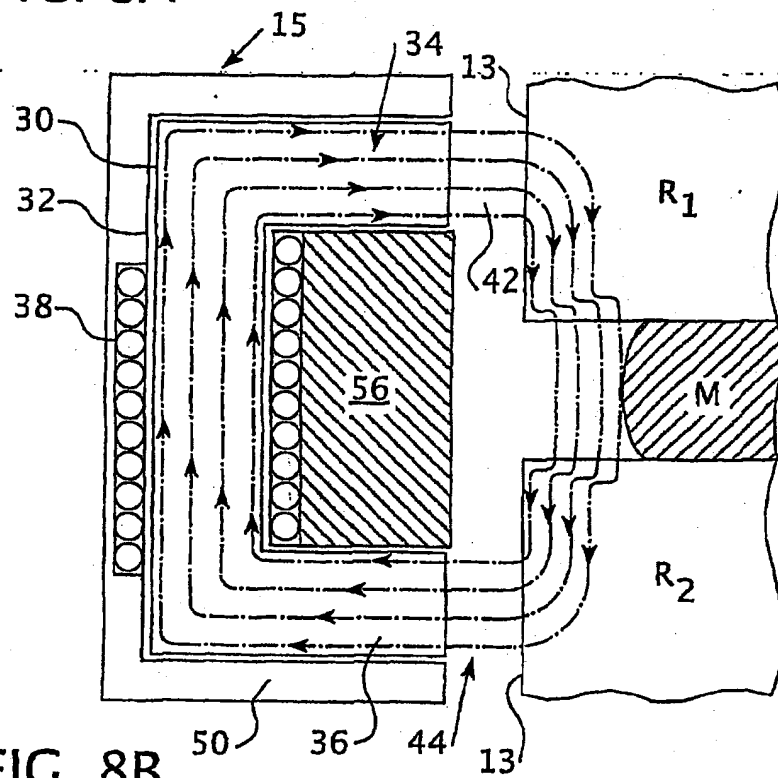
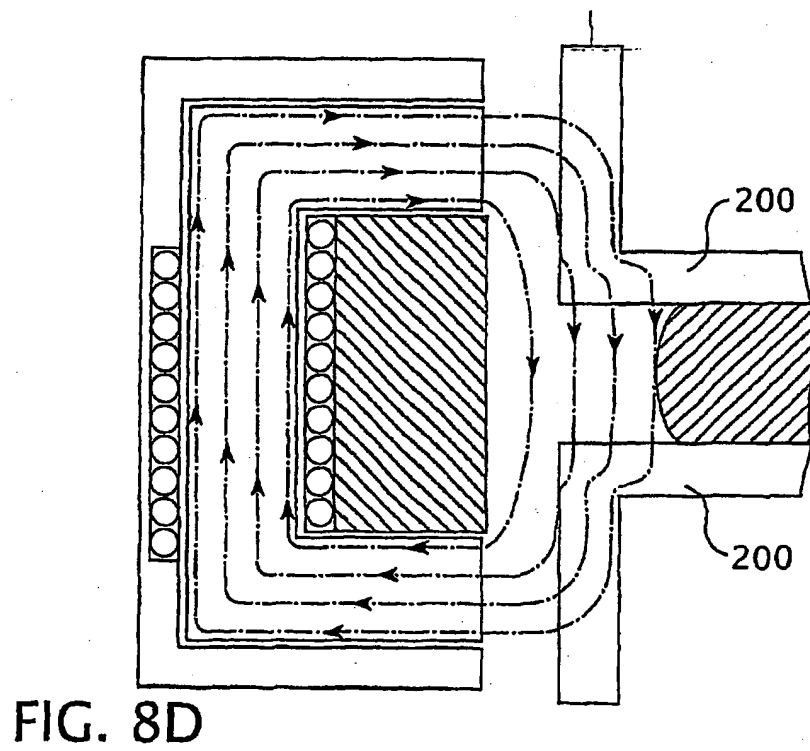
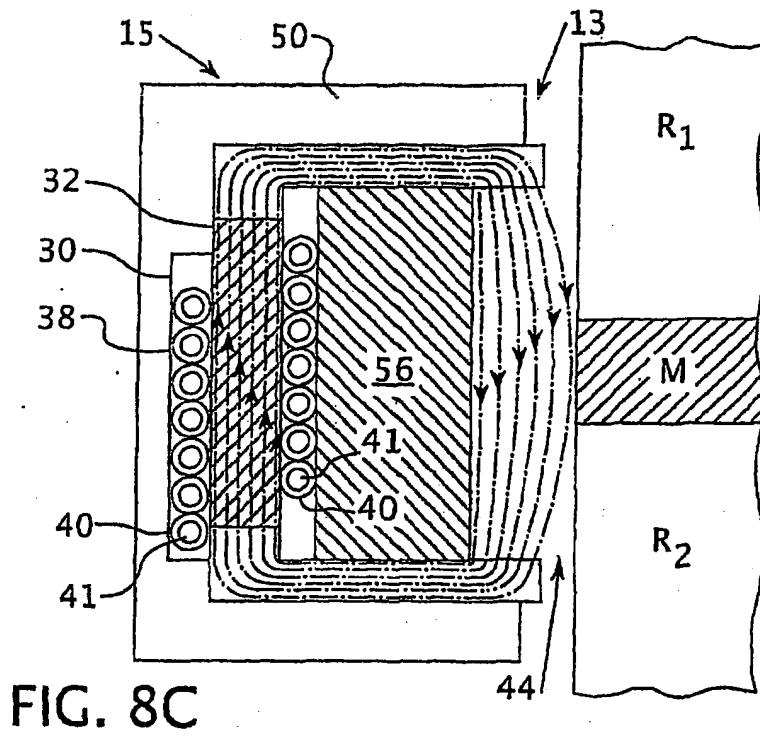


FIG. 8B



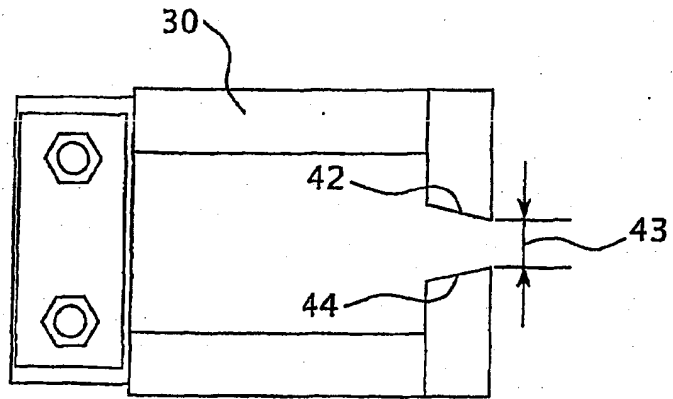


FIG. 9A

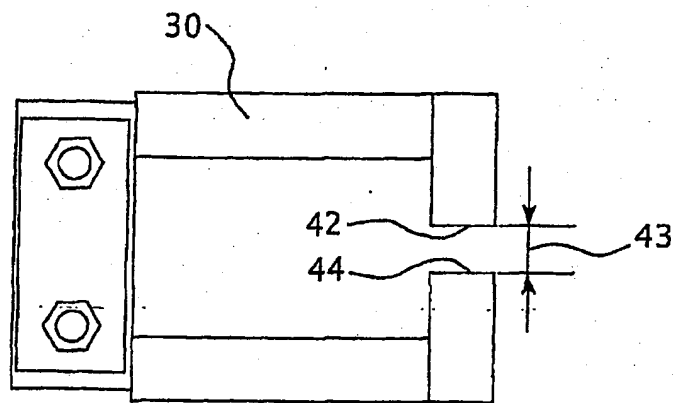


FIG. 9B

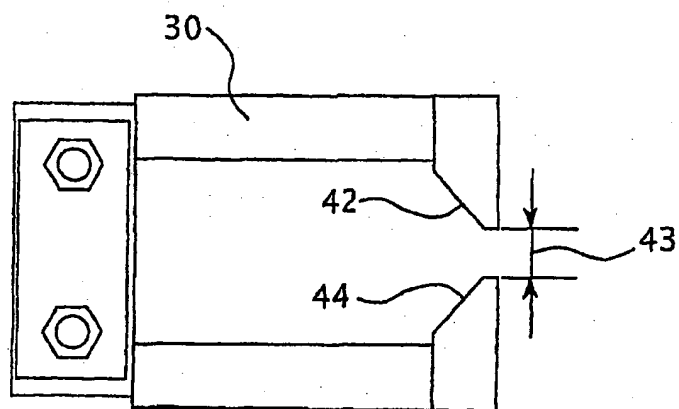


FIG. 9C

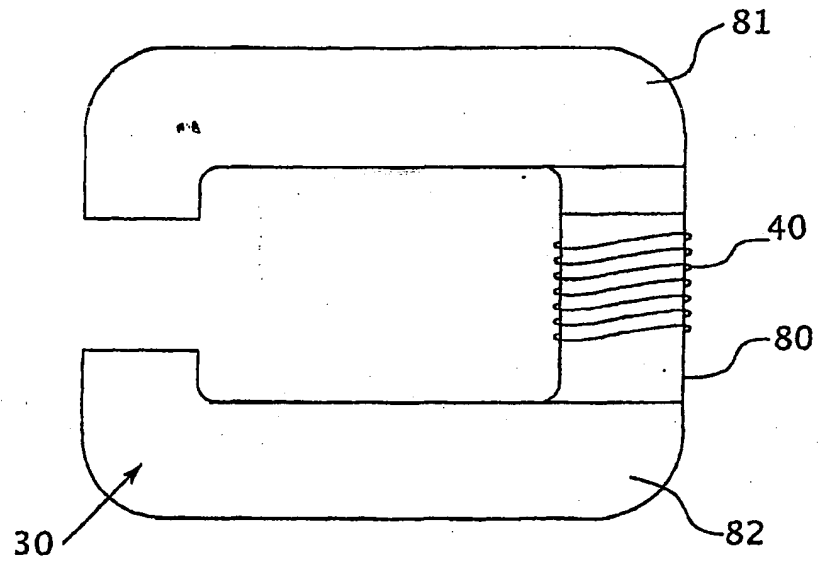


FIG. 10

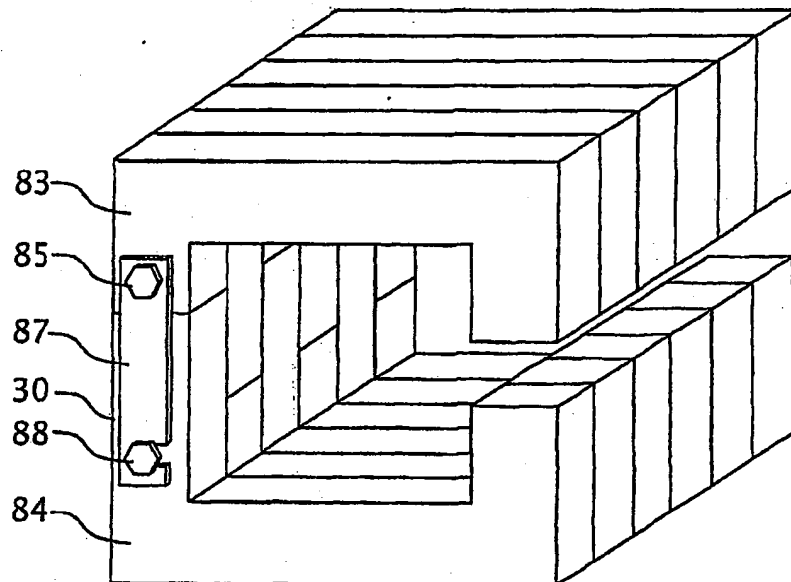


FIG. 11

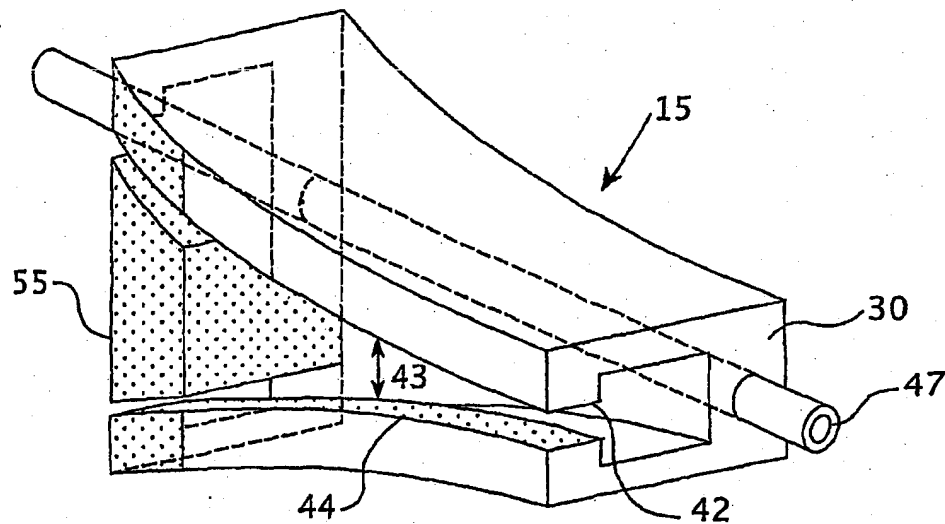


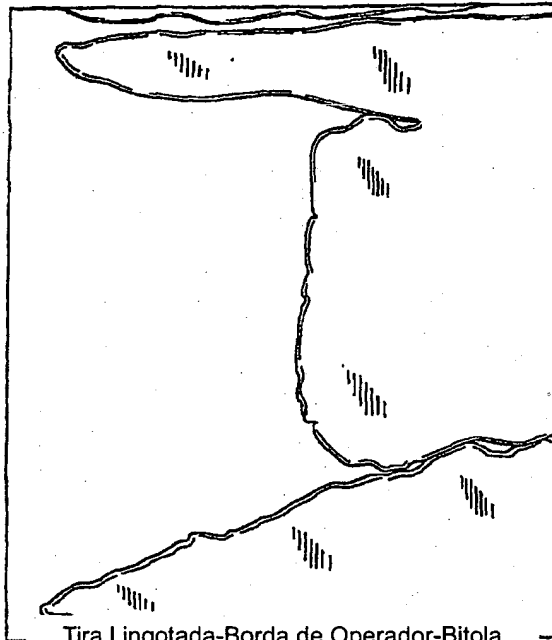
FIG. 12

Impulso da Barragem de Borda Eletromagnética Tal
Como Medido a Partir do Perfil de Tira
(Operação de 2.180 Amperes-Espiras em 3 kHz)

Impulso Magnético

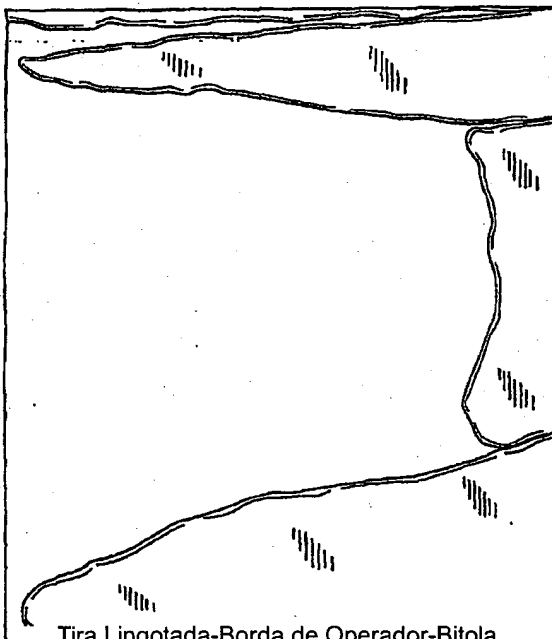
Bitola de Tira		Lado de Acionamento		Lado de Operador	
Polegada	Milímetro	Polegada	Milímetro	Polegada	Milímetro
0.096	2.44	0.076	1.93	0.046	1.17
0.090	2.29	0.077	1.96	0.043	1.09
0.085	2.16	0.084	2.13	0.056	1.42

FIG. 13



Tira Lingotada-Borda de Operador-Bitola
de Tira Lingotada de 0,090" (2,29 mm)– 285 Microns

FIG. 14A



Tira Lingotada-Borda de Operador-Bitola
de Tira Lingotada de 0,090" (2,29 mm)– 285 Microns

FIG. 14B

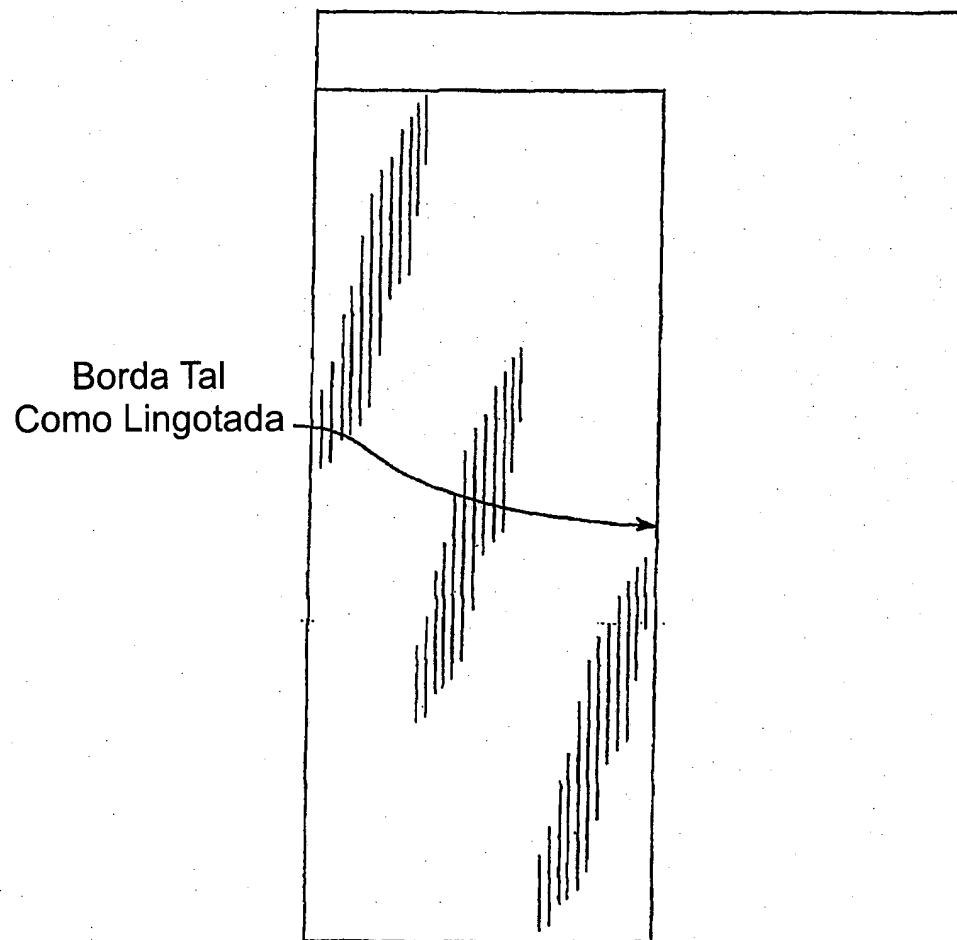


FIG. 15

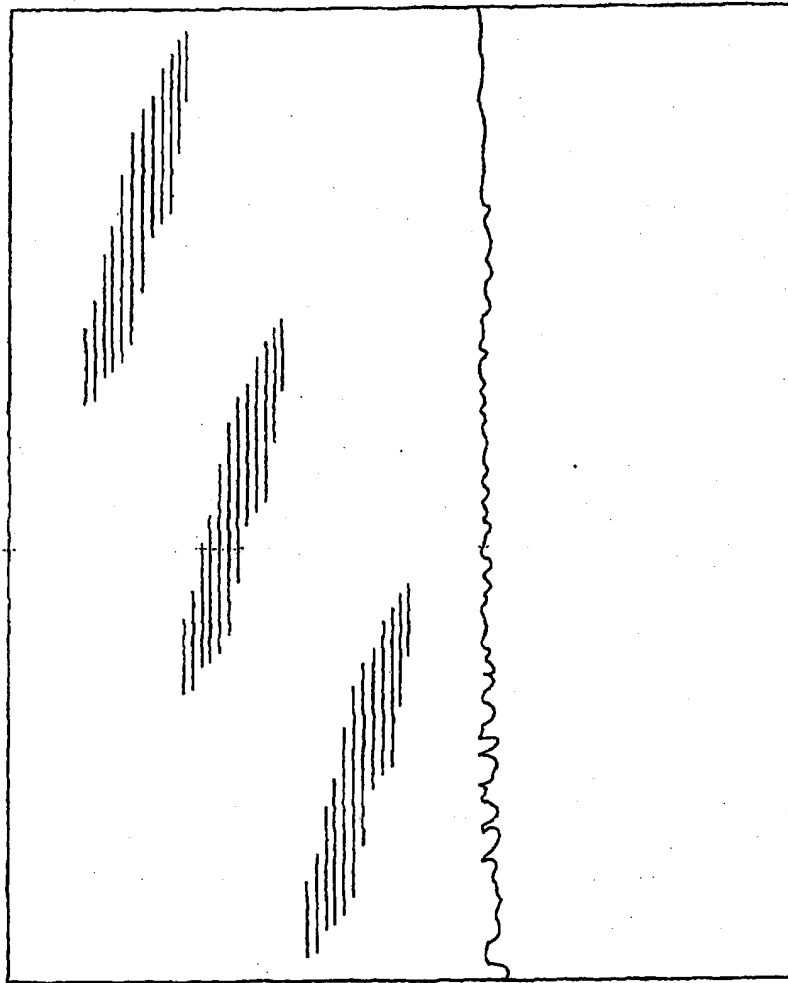


FIG. 16

RESUMO

Patente de Invenção: "MÉTODO E APARELHO PARA CONFINAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE METAL FUNDIDO EM SISTEMAS DE LINGOTAMENTO HORIZONTAL".

- 5 A presente invenção refere-se a um aparelho para lingotamento contínuo de tiras de metal fundido incluindo um par de rolos de lingotamento R_1 , R_2 , adaptados para receber metal fundido M ao longo de um eixo geométrico horizontal, em que uma distância vertical separando o par de rolos de lingotamento define uma zona de moldagem; e um aparelho de conten-
- 10 ção de borda eletromagnética 15 posicionado em cada lado da zona de moldagem tendo um enrolamento de indução enrolado em volta de uma parte de um elemento magnético para gerar linhas de força magnética durante aplicação de uma corrente, em que os polos do elemento magnético são
- 15 posicionados distais à parede lateral e alinhados com esta parede lateral plana dos rolos de lingotamento e a corrente fornece linhas de força magnética perpendiculares ao dito eixo geométrico horizontal que contém o metal fundido em contato com os rolos de lingotamento sem aumentar substancialmente a temperatura do metal fundido.