



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

(21) **PI0708261-4 A2**



(22) Data de Depósito: 28/02/2007
(43) Data da Publicação: 24/05/2011
(RPI 2107)

(51) *Int.Cl.:*
B22D 7/02 2006.01
B22D 15/04 2006.01
B22D 21/04 2006.01
B22D 7/12 2006.01
B22D 9/00 2006.01

(54) Título: **APARELHO E MÉTODO PARA LINGOTAR UM LINGOTE DE METAL COMPÓSITO E MÉTODO PARA LINGOTAR UMA CAMADA INTERNA FEITA DE UM METAL E PELO MENOS UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METÁLICO DE UM OUTRO METAL**

(30) Prioridade Unionista: 01/03/2006 US 60/777914

(73) Titular(es): NOVELIS INC.

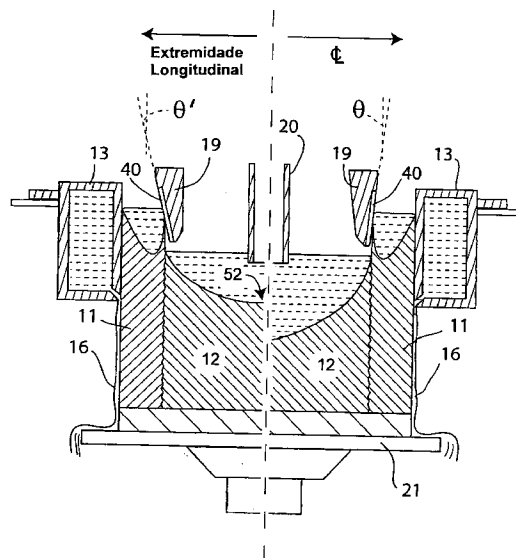
(72) Inventor(es): Robert Bruce Wagstaff

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT CA2007000309 de 28/02/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/098583de 07/09/2007

(57) Resumo: APARELHO E METODO PARA LINGOTAR UM LINGOTE DE METAL COMPÓSITO E METODO PARA LINGOTAR UMA CAMADA INTERNA FEITA DE UM METAL E PELO MENOS UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METALICO DE UM OUTRO METAL. São descritos um método e aparelho para lingotar metais em um molde CC para formar um lingote com pelo menos duas camadas formadas por solidificação seqüencial. O aparelho tem pelo menos uma parede divisória resfriada na região de extremidade de entrada do molde para dividir a região de extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de alimentação. Metal é alimentado nas câmaras para formar uma camada interna e pelo menos uma camada externa. A parede divisória tem uma superfície de contato com metal para entrar em contato com o metal para pelo menos uma camada externa, a superfície sendo arranjada em um ângulo com a vertical que inclina para fora do metal para a camada externa em uma direção descendente. O ângulo aumenta em posições na parede divisória espaçada de uma seção central da parede que se aproxima de cada extremidade longitudinal da mesma. O aparelho é adequado para lingotar um metal com um alto coeficiente de contração como uma camada interna ou um lingote de núcleo.



“APARELHO E MÉTODO PARA LINGOTAR UM LINGOTE DE METAL COMPÓSITO E MÉTODO PARA LINGOTAR UMA CAMADA INTERNA FEITA DE UM METAL E PELO MENOS UMA CAMADA DE REVESTIMENTO METÁLICO DE UM OUTRO METAL”

5 Campo Técnico

Esta invenção diz respeito ao lingotamento de metais, particularmente alumínio e ligas de alumínio, por técnicas de lingotamento com resfriamento direto (CC). Mais particularmente, a invenção diz respeito ao co-lingotamento de camadas de metal por lingotamento com resfriamento
10 direto envolvendo solidificação seqüencial.

Fundamentos da Invenção

Lingotes de metais são normalmente produzidos por lingotamento com resfriamento direto de metais fundidos. Isto envolve vaziar um metal fundido em um molde que tem paredes resfriadas, uma extremidade
15 superior aberta (depois da partida) e uma extremidade inferior aberta. O metal emerge pela extremidade inferior do molde como um lingote de metal que desce à medida que a operação de lingotamento continua. Em outros casos, o lingotamento ocorre horizontalmente, mas o procedimento é essencialmente o mesmo. Tais técnicas de lingotamento são particularmente adequadas para o
20 lingotamento de alumínio e ligas de alumínio, mas podem ser empregadas para outros metais também.

Técnicas de lingotamento deste tipo são extensivamente discutidas na patente U.S. 6.260.602 de Wagstaff, que diz respeito exclusivamente ao lingotamento de lingotes monolíticos, isto é, lingotes feitos
25 inteiramente do mesmo metal e lingotados como uma única camada. A máquina e métodos para lingotar estruturas em camadas por técnicas de solidificação seqüencial são revelados na publicação de patente U.S. 2005/0011630 A1 de Anderson et al. Solidificação seqüencial envolve o lingotamento de uma primeira camada (por exemplo, uma camada para ser

uma camada interna, ou núcleo) e em seguida, subseqüentemente, mas na mesma operação de lingotamento, lingotar uma ou mais camadas de outros metais na primeira camada uma vez que ela tenha atingido um grau adequado de solidificação.

5 Embora essas técnicas sejam efetivas e bem sucedidas, dificuldades podem ser encontradas quando se tenta empregar a técnica de solidificação seqüencial com uma ou mais ligas que têm altos coeficientes de contração mediante solidificação e resfriamento. Em particular, quando se emprega um metal como esse como a camada interna de formação de um
10 substrato para uma camada externa de um outro metal, observou-se que a camada interna pode ter uma tendência de se desprender por cisalhamento da camada externa (ou apresentar fraca adesão) durante a operação de lingotamento, especialmente nas extremidades extremas de um lingote retangular lingotado com uma estrutura em camadas, e especialmente durante
15 o estágio inicial de formação do lingote.

 Sabe-se que a adição de outros elementos ao alumínio puro muda seu coeficiente de contração em um grau maior ou menor. Alguns elementos aumentam o coeficiente de contração, enquanto outros reduzem-no. Elementos tais como magnésio e zinco aumentam o coeficiente, comparado
20 com alumínio puro, ao passo que elementos tais como cobre, ferro, silício e níquel reduzem o coeficiente. O grau no qual o coeficiente muda em geral varia de uma maneira aproximadamente linear com a porcentagem do elemento adicionado ao alumínio.

 As dificuldades supra-referidas, embora potencialmente
25 observadas com todas estruturas metálicas lingotadas seqüencialmente, tendem ser mais fortes quando uma camada interna é feita de uma liga de alumínio que tem um alto coeficiente de contração e, especialmente, um maior coeficiente que o próprio alumínio, particularmente uma liga de alumínio contendo magnésio e/ou zinco, especialmente quanto tais elementos

são contidos em concentrações relativamente altas, por exemplo, Mg em quantidades acima de cerca de 2,5% em peso. Entretanto, problemas similares podem ser encontrados quando o coeficiente de contração de um metal de uma camada não é particularmente alto, mas existe uma grande diferença entre os coeficientes de duas camadas adjacentes, por exemplo, uma liga contendo quantidades significativas de níquel em uma camada e uma liga contendo cobre em uma camada adjacente. Embora ambos esses elementos causem uma redução do coeficiente, comparado com alumínio puro, níquel tem um efeito mais negativo no coeficiente do que o cobre, de forma que, dependendo das concentrações relativas desses elementos, a diferença nos respectivos coeficientes pode ser bastante grande.

Portanto, existe uma necessidade de equipamento e técnicas de lingotamento melhoradas para co-lingotamento de metais desses tipos.

Revelação da Invenção

Uma modalidade exemplar da invenção fornece máquina para lingotar um lingote de metal compósito. A máquina inclui uma cavidade do molde no geral retangular com extremidade aberta com uma região de extremidade de entrada, uma abertura de extremidade de descarga, e um bloco inferior móvel adaptado para se encaixar na extremidade de descarga e mover-se axialmente do molde durante o lingotamento. A máquina também tem pelo menos uma parede divisora resfriada na região de extremidade de entrada e que termina acima da abertura da extremidade de descarga para dividir a porção da extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de alimentação, e dispositivo para alimentar metal para uma camada interna a uma das câmaras de alimentação e pelo menos um dispositivo para alimentar um outro metal para pelo menos uma camada externa a uma outra das câmaras de alimentação. Toda e qualquer parede divisória tem uma superfície de contato de metal para entrar em contato com metal pelo menos na camada externa, a superfície sendo arranjada em um ângulo com a vertical que se

inclina para fora do metal para a camada externa em uma direção descendente, e o ângulo aumentando em posições na pelo menos uma parede divisória espaçada de uma seção central da parede divisória para cada extremidade longitudinal da mesma.

5 Uma outra modalidade exemplar fornece um método de lingotar um lingote compósito. O método inclui prover uma máquina para lingotar um lingote de metal compósito, com uma cavidade do molde no geral retangular com extremidade aberta provido com uma região de extremidade de entrada, uma abertura de extremidade de descarga, um bloco inferior

10 móvel adaptado para se encaixar na extremidade de descarga e mover-se axialmente do molde durante o lingotamento, e pelo menos uma parede divisória resfriada na região de extremidade de entrada do molde e terminando acima da abertura da extremidade de descarga para dividir a região de extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de

15 alimentação para lingotar uma camada interna e pelo menos uma camada externa, a pelo menos uma parede divisória tendo uma superfície de contato com metal para entrar em contato com metal introduzido para a pelo menos uma camada externa. A superfície fica arranjada em um ângulo com a vertical que inclina para fora do metal para a camada externa em uma direção

20 descendente, e o ângulo aumenta em posições que se aproximam de cada extremidade longitudinal da parede. O método inclui adicionalmente alimentar metal para uma camada interna a uma das pelo menos duas câmaras de alimentação, alimentar um outro metal para pelo menos uma camada externa a pelo menos uma outra das câmaras de alimentação, e mover o bloco

25 inferior axialmente do molde para permitir que o lingote saia pela abertura da extremidade de descarga da máquina.

Também, uma outra modalidade exemplar fornece, em um método de lingotar uma camada interna feita de um metal e pelo menos uma camada de revestimento metálico de um outro metal em uma máquina de

lingotamento com resfriamento direto que tem pelo menos uma parede divisória que forma pelo menos duas câmaras na máquina, em que o metal para a camada interna tem um maior coeficiente de contração do que o metal para a camada externa, a melhoria que compreende angular a pelo menos uma
5 parede divisória em um ângulo com a vertical para entrar em contato mas inclinando-se para fora em uma direção descendente do metal suprido para a pelo menos uma camada externa, e aumentando o ângulo em posições que se aproximam das extremidades longitudinais da parede divisória.

Deve-se perceber que o termo "retangular" na forma usada
10 nesta especificação deve incluir o termo "quadrado".

Descrição Resumida dos Desenhos

A figura 1 é uma elevação em seção transversal vertical parcial mostrando uma máquina de lingotamento com parede divisória simples;

A figura 2 é uma ilustração esquemática de uma região de
15 contato entre ligas metálicas na máquina da figura 1;

A figura 3 é uma elevação de parte da máquina de lingotamento da figura 1 mostrando um exemplo de curvatura de topo produzido durante o lingotamento;

A figura 4 é uma representação tridimensional de uma parte de
20 extremidade de uma camada interna durante o lingotamento, mostrando as linhas de solidificação do metal e as forças de contração;

A figura 5 é uma vista plana da parte de extremidade da camada interna da figura 4, mostrando forças que agem no metal;

A figura 6 é uma vista plana de uma camada interna (lingote
25 de núcleo), mostrando, de forma exagerada, distorções da forma retangular ideal causadas por forças que agem no metal;

As figuras 7A a 7D são desenhos que ilustram uma forma de uma parede divisória usada na máquina da figura 9 em perspectiva e seções transversais ilustrativas;

A figura 8 é uma modalidade exemplar alternativa de uma parede divisória de acordo com a presente invenção; e

A figura 9 é uma seção transversal vertical de uma máquina de lingotamento configurada de acordo com uma modalidade exemplar da presente invenção.

Melhor Maneira de Realizar a Invenção

A presente invenção pode empregar máquina de lingotamento do tipo descrito, por exemplo, na publicação de patente U.S. 2005/0011630, publicada em 20 de janeiro de 2005 em nome de Anderson et al. (cuja 10 revelação está aqui incorporada pela referência). Esta máquina possibilita lingotar metais por solidificação seqüencial para formar pelo menos uma camada externa (por exemplo, uma camada de revestimento) em uma camada interna (por exemplo, um lingote de núcleo). A invenção também se estende a técnicas reveladas na patente U.S. 6.260.602 de Wagstaff (cuja revelação está 15 também aqui incorporada pela referência).

Deve-se explicar que os termos "externa" e "interna" são aqui usados de forma bem abrangente. Por exemplo, em uma estrutura de duas camadas, estritamente falando, pode não haver camada externa ou camada interna, mas uma camada externa é uma que é normalmente destinada a ficar 20 exposta à atmosfera, ao tempo ou ao olho, quando fabricada em um produto final. Também, a camada "externa" é geralmente mais fina que a camada "interna", normalmente de forma considerável, e é assim provida como uma camada de revestimento fina na camada "interna" subjacente ou lingote de núcleo. No caso de lingotes para laminação a quente e/ou a frio para formar 25 artigos de chapa fina, é geralmente desejável revestir ambas as faces principais (laminação) do lingote, caso este em que existem certas camadas "interna" e "externa" certamente perceptíveis. Em tais circunstâncias, a camada interna é geralmente referida como um "núcleo" ou "lingote de núcleo", e as camadas externas são referidas como "revestimento" ou

"camadas de revestimento".

A figura 1 mostra uma versão 10 da máquina de Anderson et al. usada para lingotar uma camada externa 11 em ambas superfícies principais (faces de laminação) de uma camada interna retangular ou lingote de núcleo 12. Nota-se que, nesta versão da máquina, as camadas de revestimento são solidificadas primeiro (pelo menos parcialmente) durante o lingotamento e em seguida a camada de núcleo é lingotada em contato com as camadas externas. Este arranjo é típico durante o lingotamento de uma liga com um alto coeficiente de contração (por exemplo, uma liga de alto Mg) como a camada de núcleo 12. A máquina inclui um conjunto de molde de lingotamento retangular 13 que tem paredes do molde 14 formando parte de uma camisa de água 15 da qual uma corrente 16 de água de resfriamento é dispensada em um lingote emergente 17. Lingotes lingotados desta maneira geralmente têm seção transversal retangular e têm um tamanho de até 70 polegadas por 35 polegadas. Eles são normalmente usados para laminação em chapa de revestimento, por exemplo, chapa de brasagem, em um laminador por procedimentos de laminação a quente e a frio convencional.

A porção da extremidade de entrada 18 do molde é separada pelas paredes divisórias 19 (algumas vezes referidas como "coquilhas" ou "paredes coquilhadas") em três câmaras de alimentação, uma para cada camada da estrutura do lingote. As paredes divisórias 19, que são geralmente feitas de cobre para boa condutibilidade térmica, são mantidas frias por meio do equipamento de resfriamento refrigerado a água (não mostrado) que entra em contato com as paredes divisórias acima dos níveis de metal fundido. Conseqüentemente, as paredes divisórias resfriam e solidificam o metal fundido que entra em contato com elas. Conforme indicado pelas setas A, cada uma das três câmaras é suprida com metal fundido até um nível desejado por meio de um bico de distribuição de metal fundido separado 20 equipado com um estrangulador ajustável (não mostrado). O metal escolhido para as

camadas externas 11 é normalmente diferente do metal do núcleo 12 (este sendo um metal com um alto coeficiente de contração nesta modalidade exemplar). Uma unidade de bloqueio inferior verticalmente móvel 21 inicialmente fecha a extremidade inferior aberta 22 do molde e em seguida é abaixada durante o lingotamento (indicado pela seta B), suportando ainda o lingote compósito embriônico à medida que ele emerge do molde.

A figura 2 é uma ampliação da região da máquina da figura 1 adjacente à parede divisória do lado esquerdo 19 onde o metal fundido 23 da camada de núcleo 12 e o metal fundido 24 da camada de revestimento do lado esquerdo 11 entra em contato mútuo no molde. Ligas metálicas, durante o resfriamento de fluido para sólido, passam por um estado semi-sólido intermediário, ou "pastoso", quando a temperatura do metal está entre a temperatura do liquidus e a temperatura do solidus do metal. O metal 24 que forma a camada de revestimento 11 tem uma região de reservatório fundida 25, uma zona semi-sólida ou pastosa 26 no geral abaixo do reservatório fundido, e uma região completamente sólida 27 no geral abaixo da zona pastosa, mas essas regiões são contornadas da maneira mostrada, por causa dos efeitos do resfriamento da parede do molde 14 e a parede divisória 19. A superfície interna 28 da camada de revestimento 11 imediatamente abaixo da parede divisória resfriada 19 é sólida, mas a casca do metal sólido é bastante fina quanto ela envolve a zona pastoso 26 e o reservatório fundido 25. Esta superfície faz contato com o metal fundido 23 da camada de núcleo 12 um pouco abaixo da extremidade inferior da parede divisória, e calor do metal fundido re-funde uma porção da superfície sólida 28 da camada de revestimento em uma região rasa 29 da casca. Esta ré-fusão proporciona boa adesão entre as camadas nas suas interfaces quando elas solidificam. Abaixo desta região 29, o metal da camada de núcleo cai abaixo de sua temperatura do liquidus e uma zona pastosa 30 é formada com metal sólido 31 ainda mais abaixo. Entretanto, à medida que o metal da camada de núcleo torna-se

completamente sólido, ela contrai fortemente na direção das setas 32, isto é, para dentro em direção ao centro do lingote, por causa de seu alto coeficiente de contração. Isto arrasta o metal da camada de revestimento 11 junto com ele, e assim empurra toda a superfície interna 28 da camada de revestimento para dentro. O movimento da camada de revestimento desta maneira é mantido de volta para sua extremidade superior pelo seu contato com a parede divisória 19, e o metal da camada de revestimento pode formar uma fratura 33 adjacente à extremidade inferior da parede divisória, conforme mostrado. Se ocorrer uma fratura como esta, o procedimento de lingotamento tem que ser terminado, em virtude de o metal fundido da camada de núcleo e da camada de revestimento se misturarem e a interface não ser mais intacta.

Fratura deste tipo é mais provável de ocorrer durante o estágio inicial de formação do lingote, isto é, durante a emergência das primeiras 12 a 30 polegadas (305 a 762 milímetros) do lingote do molde. Isto se dá em virtude das tensões extras impostas no lingote neste momento pelo fenômeno bem conhecido de "curvatura de topo", que é encontrado no início do processo de lingotamento. Este fenômeno está ilustrado de forma esquemática simplificada e exagerada na figura 3, que mostra uma região de uma base do lingote emergente 17 em uma extremidade longitudinal do mesmo, olhando para uma das faces de revestimento. Na mesma base 34 do lingote, o metal faz contato com o bloco inferior 21, que tem uma capacidade térmica substancial, e assim resfria rapidamente o lingote na sua extremidade inferior. Nesta região, o lingote é portanto resfriado tanto pela base quanto pelos lados (pelo resfriamento primário das superfícies do molde resfriada e o resfriamento secundário por uma aspensão ou jato de água 16 que faz contato com o lingote imediatamente abaixo do molde). À medida que o lingote emerge ainda mais e cresce de comprimento, a influência do resfriamento no bloco inferior diminui, em virtude da maior distância, e o resfriamento então ocorre basicamente pelos lados do lingote. A combinação do resfriamento

pela base e do resfriamento pelos lados torna a região inicial do lingote curva da maneira mostrada. As extremidades inferiores do lingote sofrem a influência de um torque τ_1 que levanta as quinas do lingote e faz com que a parede do lingote arqueie para dentro em 35. Percebe-se que a tensão vertical resultante imposta no lingote nesses locais em combinação com a tensão horizontal imposta pela contração do metal do núcleo aumenta substancialmente o risco de fratura das camadas de revestimento.

Em geral é também o caso em que o estágio inicial do lingotamento é realizado a uma maior vazão do que ocorre no lingotamento depois do estágio inicial. Isto pode criar reservatórios mais profundos de metal fundido nas várias camadas, e isto, por sua vez, aumenta a força de contração gerada pelo metal do núcleo (as forças sendo geradas ao longo da superfície de solidificação, conforme será explicado mais detalhadamente a seguir). Por este motivo também fratura é mais provável durante o estágio inicial do lingotamento do que no processo.

Igualmente sendo mais provável de ocorrer durante o estágio inicial de lingotamento, a fratura ou falha de metal indicada torna-se mais provável nas regiões nas extremidades longitudinais do lingote do que no centro do lingote. O motivo para isto pode ser explicado como se segue. A figura 4 é uma representação diagramática de uma extremidade longitudinal de um lingote retangular 17 (mostrando apenas a camada interna 12, por questão de simplificação) à medida que ele é lingotado em uma máquina do tipo mostrado na figura 1. A linha tracejada 50 é a linha de transição de líquido para sólido no lingote – a assim chamada linha de convergência térmica (mais precisamente referida como uma superfície). Percebe-se que a linha é bastante profunda em direção ao centro longitudinal do lingote onde o metal está próximo da válvula de alimentação de metal fundido 20 (figura 1), e torna-se mais rasa e chapa em direção à extremidade longitudinal extrema do lingote. Entretanto, no ponto 52, a linha de convergência térmica bifurca e

estende-se para cima até cada quina do lingote. Isto se dá em virtude de o resfriamento ocorrer pela superfície da extremidade 54 do lingote, bem como pelas superfícies laterais 56 e 58. À medida que o metal se solidifica na linha de convergência térmica, ocorre contração paralela às superfícies de solidificação, conforme mostrado pelas setas A, B e C. Nas posições no lingote mais centrais do que o ponto de bifurcação 52, o lingote está sendo resfriado, e assim se contrai, em geral igualmente por cada superfície lateral, mas, além do ponto de bifurcação em direção à extremidade do lingote, o resfriamento (perda de calor) e contração pela superfície de extremidade 54 torna-se mais afetado à medida que se aproxima da superfície de extremidade. Isto faz com que o lingote enrosque ou sofra a ação de torque para dentro nas extremidades das superfícies laterais, conforme explicado com mais detalhes a seguir.

As forças que agem na extremidade superior do lingote estão mostradas na figura 5. Na parte do lingote além do ponto de bifurcação 52 em direção à superfície de extremidade 54, o topo do lingote sofre a ação de forças (representadas pelas setas de duplo sentido 62) que agem tanto para fora de uma linha central 60 em direção a uma superfície lateral, por exemplo, a superfície lateral 56 (forças X) quanto forças que agem para dentro em direção à linha central 60 (forças Y). À medida que a superfície de extremidade se aproxima, a força direcionada para fora X torna-se progressivamente menor que a força direcionada para dentro Y, em virtude de a mudança de direção da força ocorrer ao longo das bifurcações da linha de convergência térmica 50. Isto faz com que uma rotação em torção, ou torque, T₂, conforme mostrado na figura 5, aja em uma quina do lingote, tendendo assim virar a quina em direção ao centro do lado menor 54. Em decorrência disto, o lingote toma uma forma ilustrada de maneira bastante exagerada na figura 6 estabelecida contra uma forma retangular "ideal" 59. Pode-se ver que as superfícies externas 56 e 58 assim curvem para dentro nas extremidades

extremas do lingote e acredita-se que esta curvatura aumenta as tensões impostas nas camadas de revestimento e aumenta a tendência de as camadas se separarem nesta região à medida que o lingote é lingotado. Pelos motivos anteriormente explicados, a camada de metal externa (não mostrada), à medida que faz contato com a camada ou lingote interno, não pode seguir facilmente esta volta, já que ela retida pela parede divisória 19. A probabilidade de fratura é portanto aumentada nas regiões de extremidade.

As modalidades exemplares superam este problema afinando ou angulando as paredes divisórias 19 na superfície 40 que faz contato com o metal da(s) camada(s) de revestimento, e aumentando o ângulo de conicidade (inclinação da superfície) das paredes divisórias em pontos entre o centro e as extremidades longitudinais do lingote de forma a acomodar tanto a contração do lingote quanto as forças adicionais produzidas pela curvatura de topo e curvatura para dentro do lingote do núcleo nas suas extremidades longitudinais. Por exemplo, para a máquina de lingotamento do tipo mostrado na figura 1, a parede divisória 19 pode ser cônica ou angulada em relação à vertical em um ângulo que é preferivelmente na faixa de 0 a 2 °, mas preferivelmente 1 a 2 °. Isto significa que a superfície 40 da parede divisória 19 que faz contato e restringe o metal da camada externa ou revestimento inclina-se para dentro em direção à camada de núcleo do topo para a base da parede divisória. Além disso, o ângulo de conicidade da parede divisória é aumentado nas extremidades longitudinais do molde, por exemplo, para uma faixa de 3 a 7 °, ou mais, preferivelmente 3 a 4 °, para um lingote de tamanho convencional. Os ângulos selecionados podem depender do coeficiente de contração do metal da camada interna (normalmente, quanto mais alto o coeficiente, maior deve ser o ângulo de conicidade exigido em ambas as extremidades central e longitudinal). Para comparação, durante o lingotamento de um lingote monolítico de um metal que não tem alto coeficiente de contração, o ângulo de conicidade da parede divisória pode ser

cerca de $1,5^\circ$ e permaneceria o mesmo por todo o comprimento da parede divisória.

O aumento na conicidade das paredes divisórias em direção às suas respectivas extremidades está ilustrado esquematicamente nas figuras 7A a 7D, nas quais o ângulo de conicidade no centro está representado como o ângulo θ , e o ângulo de conicidade nas extremidades longitudinais está representado pelo ângulo θ' . O ângulo θ' nas extremidades é preferivelmente pelo menos o dobro do ângulo θ no centro, mas isto pode depender das ligas particulares empregadas. Qualquer grau de aumento no ângulo de conicidade em direção às extremidades da parede divisória é geralmente considerado benéfico, mas a duplicação preferida ou mais dá melhorias significativas. O ângulo mais preferido para qualquer conjunto particular de circunstâncias pode ser facilmente determinado empiricamente realizando operações de lingotamento de teste usando diferentes ângulos e observando os resultados.

Ao contrário da angulação das paredes divisórias, a parede do molde 11 pode ser vertical ou pode ser em si cônica, isto é, inclinando para fora em direção à base do molde (caso este em que o ângulo de conicidade normalmente seria até cerca de 1°). Quando uma conicidade deste tipo é empregada para a parede do molde 11, entretanto, ele é geralmente mantido o mesmo por todo o comprimento do molde.

O aumento no ângulo de conicidade da superfície 40 da parede divisória 19 pode ocorrer gradualmente e linearmente ao longo do comprimento da parede divisória do centro para as extremidades longitudinais em cada lado longitudinal. Entretanto, não é sempre necessário aumentar o ângulo de conicidade desta maneira. Observou-se que, em uma região da parede divisória do centro do molde até o ponto em linha com o início da bifurcação 52 dentro do lingote, pode haver a necessidade de pouco ou nenhum aumento no ângulo de conicidade. Portanto, o ângulo de conicidade pode permanecer constante em uma região central alongada e pode então

aumentar em regiões de extremidade espadas ao longo da parede divisória a partir do centro do molde. Nas regiões de extremidade, o aumento pode ocorrer gradualmente, que é preferido, ou o ângulo de conicidade pode aumentar rapidamente até o ângulo de conicidade máximo por uma curta distância no início da região e em seguida permanecer constante por todo o resto da região até as extremidades da parede divisória. Como uma aproximação geral, nas modalidades exemplares, as posições onde o ângulo de conicidade começa a aumentar em cada lado do centro podem ocorrer como pontos de um quarto do comprimento do lingote. Ou seja, a região central de conicidade constante (mínima) estende-se através da região central (o segundo e terceiro quarto) até aproximadamente os pontos de um quarto e três quartos ao longo da parede divisória, e em seguida o ângulo de conicidade aumenta nos primeiro e quarto quartos mais distantes. Uma parede divisória cônica desta maneira está mostrada na figura 8.

Além de ser cônica em um ângulo crescente ao longo de seu comprimento, a parede divisória 19 pode também ser arqueada para fora (da maneira mostrada na figura 7 da U.S. 2005/0011630) para acomodar a contração das faces laterais maiores 56 e 58 do lingote durante o resfriamento e solidificação. Isto compensará o "arqueamento" dessas faces, da maneira mostrada na figura 6 e produzirá superfícies laterais mais próximas da forma plana ideal que é desejável para laminação em artigos de chapas finas.

A figura 9 é uma similar à da figura 1, mostrando uma máquina de lingotamento de acordo com uma modalidade exemplar da invenção. A figura é dividida verticalmente para baixo até o centro da máquina de lingotamento. O lado direito mostra a máquina em seção transversal vertical no ponto central longitudinal do lingote, e o lado esquerdo mostra o molde de lingotamento em uma posição voltada para uma extremidade longitudinal do lingote. O ponto de bifurcação térmica 52 está indicado, mas o lado esquerdo do desenho está realmente mostrado como ele

aparece um pouco além deste ponto ainda mais em direção à extremidade do lingote. As duas metades do desenho mostram os diferentes ângulos (θ e θ') das paredes divisórias 19 dessas diferentes posições, bem como a variação na altura do ponto de solidificação central do metal da camada interna desses pontos. Percebe-se que o ângulo de conicidade θ' em direção à extremidade do lingote é muito maior que no centro (ângulo θ).

Na presente invenção, a liga usada para lingotar a camada interna pode ser um metal com um alto coeficiente de contração, por exemplo, uma liga de alumínio alto Mg ou alto Zn, por exemplo, uma liga de alumínio contendo pelo menos 2,5% em peso de Mg, mais preferivelmente 2,5 a 15% em peso, mais preferivelmente 2,5 a 9% em peso, e ainda mais preferivelmente 2,5 a 7% em peso de Mg. Exemplos de ligas adequadas são geralmente escolhidas da série AA5xxx e incluem ligas AA 5083, 5086, 5454, 5182 e 5754.

A liga usada para a camada de revestimento pode ser uma que não tem um alto coeficiente de contração, por exemplo, uma liga de alumínio que não contém absolutamente nenhum Mg ou Zn, ou uma que não tem uma concentração muito alta de Mg ou Zn, por exemplo, uma liga de alumínio contendo 2 a 3% em peso de Mg ou menos.

Entretanto, deve-se notar que a invenção é também benéfica em casos onde existe uma diferença significativa no coeficiente de contração entre os metais da camada interna e externa, mesmo se os metais em si não tiverem coeficientes de contração térmica particularmente altos, em virtude de tais combinações poderem também apresentar uma tendência de separação das camadas. Com os propósitos desta invenção, a diferença de coeficiente de contração é significativa se for grande o bastante para resultar em ocorrências de separação de camadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para lingotar um lingote de metal compósito, caracterizado pelo fato de que compreende:

5 uma cavidade de molde no geral aberta em uma extremidade com uma região de extremidade de entrada, uma abertura de extremidade de descarga, e um bloco inferior móvel adaptado para se encaixar na extremidade de descarga e mover-se axialmente no molde durante o lingotamento;

10 pelo menos uma parede divisória resfriada na porção da extremidade de entrada do molde terminando acima da dita abertura da extremidade de descarga para dividir a região de extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de alimentação; e

15 dispositivo para alimentar metal para uma camada interna a uma das ditas pelo menos duas câmaras de alimentação e pelo menos um dispositivo para alimentar um outro metal para pelo menos uma camada externa a pelo menos uma outra das ditas câmaras de alimentação;

20 em que a dita pelo menos uma parede divisória tem uma superfície de contato com metal para fazer contato com o dito metal para a dita pelo menos uma camada externa, a dita superfície sendo arranjada em um ângulo com a vertical que se inclina para fora do dito metal para a dita camada externa em uma direção descendente, o dito ângulo aumentando em posições na dita pelo menos uma parede divisória que se aproxima de cada extremidade longitudinal da mesma.

25 2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito pelo menos um dispositivo para alimentar o dito um outro metal para a dita pelo menos uma camada externa fica posicionado para introduzir o dito metal para a dita camada externa no dito molde em uma posição no dito molde mais alta que o dito dispositivo para alimentar o dito metal para a dita camada interna.

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o dito ângulo da dita pelo menos uma parede divisória nas ditas extremidades longitudinais é pelo menos o dobro do dito ângulo em um centro desta.

4. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito ângulo da dita pelo menos uma parede divisória é pelo menos 3° nas ditas extremidades longitudinais e não mais que 2° em seu centro.

5. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dito ângulo da dita pelo menos uma parede divisória é na faixa de 3 a 7 ° nas ditas extremidades longitudinais e na faixa de 1 a 2 ° no seu centro.

6. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a dita parede divisória tem uma seção central alongada, e em que o dito ângulo permanece constante dentro da dita região central e em seguida aumenta além da dita região central.

7. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui um suprimento de metal fundido com um maior coeficiente de contração do que o alumínio puro conectado no dito dispositivo para alimentar metal para a dita camada interna.

8. Aparelho de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o dito suprimento de metal fundido é um suprimento de uma liga de alumínio-magnésio contendo pelo menos 2,5% em peso de Mg.

9. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui um suprimento de metal fundido conectado no dito dispositivo para alimentar o dito pelo menos um outro metal, o dito metal fundido sendo um metal com um menor coeficiente de contração do que o dito metal alimentado na dita camada interna.

10. Método para lingotar um lingote compósito, caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

prover uma máquina para lingotar um lingote de metal compósito, incluindo uma cavidade de molde no geral retangular com extremidade aberta que tem uma região de extremidade de entrada, uma abertura de extremidade de descarga, um bloco inferior móvel para se encaixar na extremidade de descarga e mover-se axialmente do molde durante lingotamento, e pelo menos uma parede divisória resfriada na região de extremidade de entrada do molde e que termina acima da dita abertura de extremidade de descarga para dividir a região de extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de alimentação para lingotar uma camada interna e pelo menos uma camada externa, a dita pelo menos uma parede divisória tendo uma superfície de contato com metal para entrar em contato com o metal introduzido para a dita pelo menos uma camada externa, a dita superfície sendo arranjada em um ângulo com a vertical que se inclina para fora do dito metal para a dita camada externa em uma direção descendente, e o dito ângulo aumentando em posições na dita pelo menos uma parede divisória espaçada de uma seção central da dita pelo menos uma parede divisória para cada extremidade longitudinal desta;

alimentar metal para uma camada interna a uma das ditas pelo menos duas câmaras de alimentação;

alimentar um outro metal para pelo menos uma camada externa a pelo menos uma outra das ditas câmaras de alimentação; e

mover o dito bloco inferior axialmente do dito molde para permitir que um lingote saia pela dita abertura de extremidade de descarga da dita máquina.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o dito metal para a dita camada interna é um metal com um maior coeficiente de contração do que o alumínio puro.

12. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o dito metal para a dita camada interna e o dito metal para a

dita pelo menos uma camada externa têm uma diferença significativa nos seus respectivos coeficientes de contração.

5 13. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o dito um outro metal para a dita pelo menos uma camada externa é introduzido no dito molde em uma posição no dito molde mais alta que a posição escolhida para introduzir o dito metal para a dita camada interna.

10 14. Método para lingotar uma camada interna feita de um metal e pelo menos uma camada de revestimento metálico de um outro metal em um aparelho de lingotamento com resfriamento direto que tem pelo menos uma parede divisória que forma pelo menos duas câmaras na dita máquina, em que o metal para a camada interna tem um maior coeficiente de contração do que o metal da dita pelo menos uma camada externa, caracterizado pelo fato de que compreende angular a dita pelo menos uma parede divisória em 15 um ângulo com a vertical para contato, mas inclinando para fora em uma direção descendente do metal suprido para a dita pelo menos uma camada externa, e aumentando o dito ângulo em posições espaçadas de uma seção central da dita pelo menos uma parede divisória para as suas extremidades longitudinais.

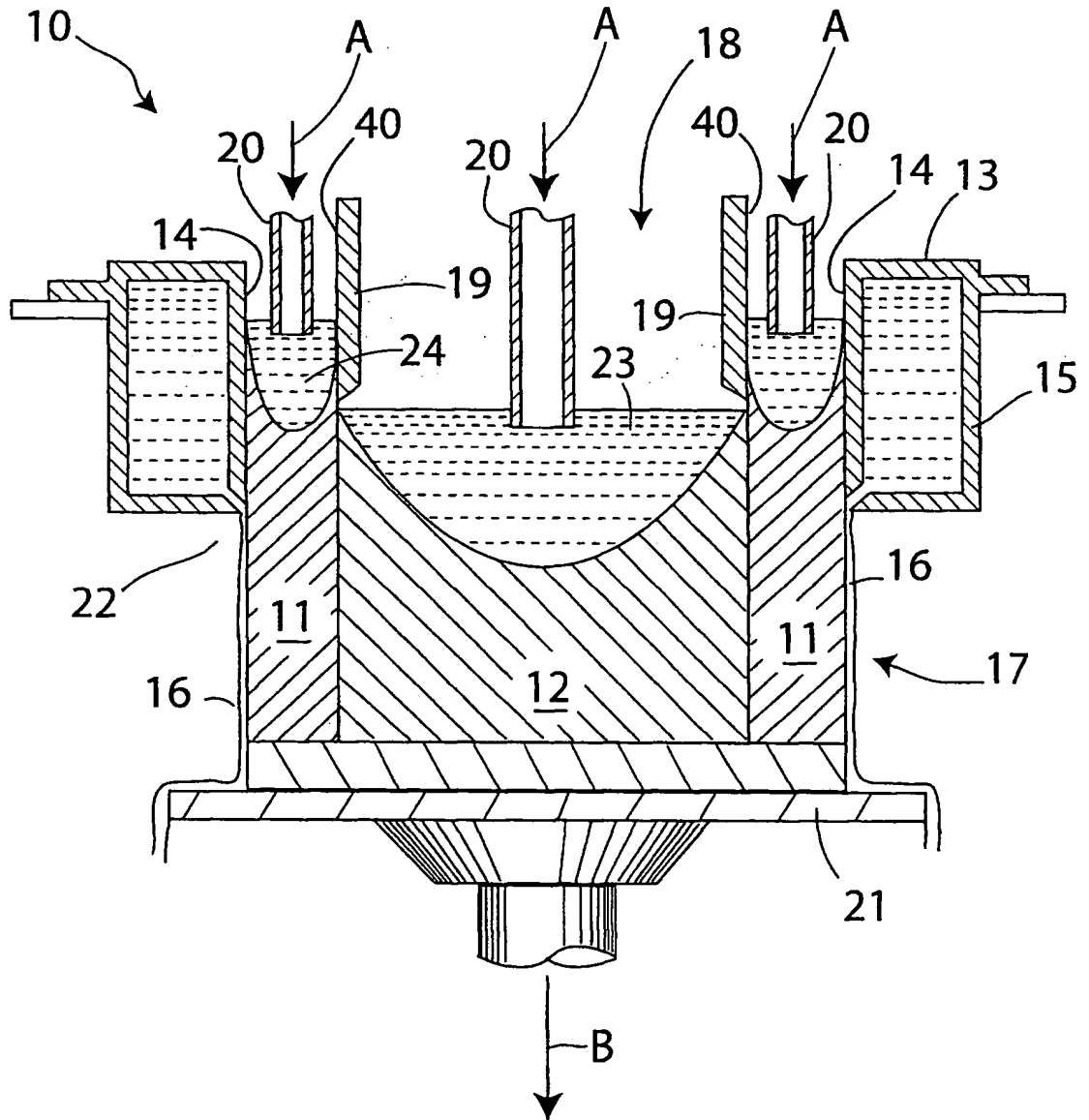


Fig. 1

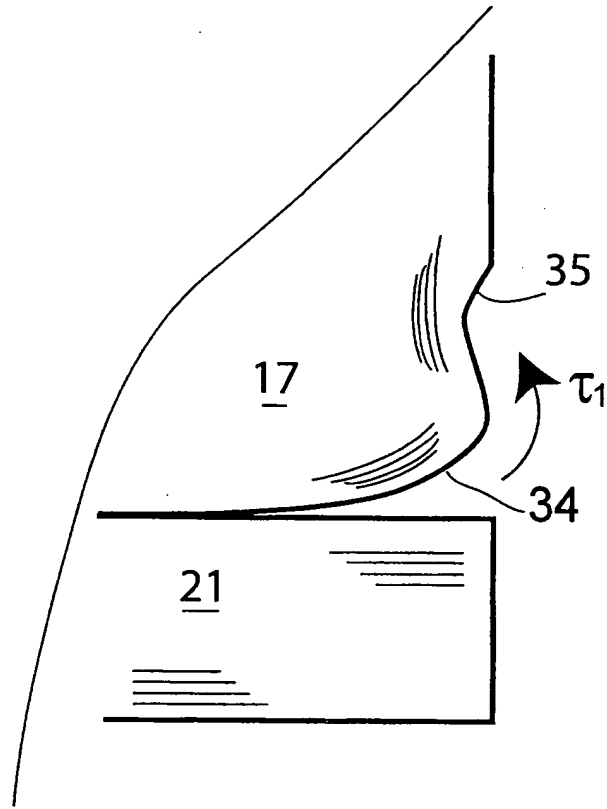


Fig. 3

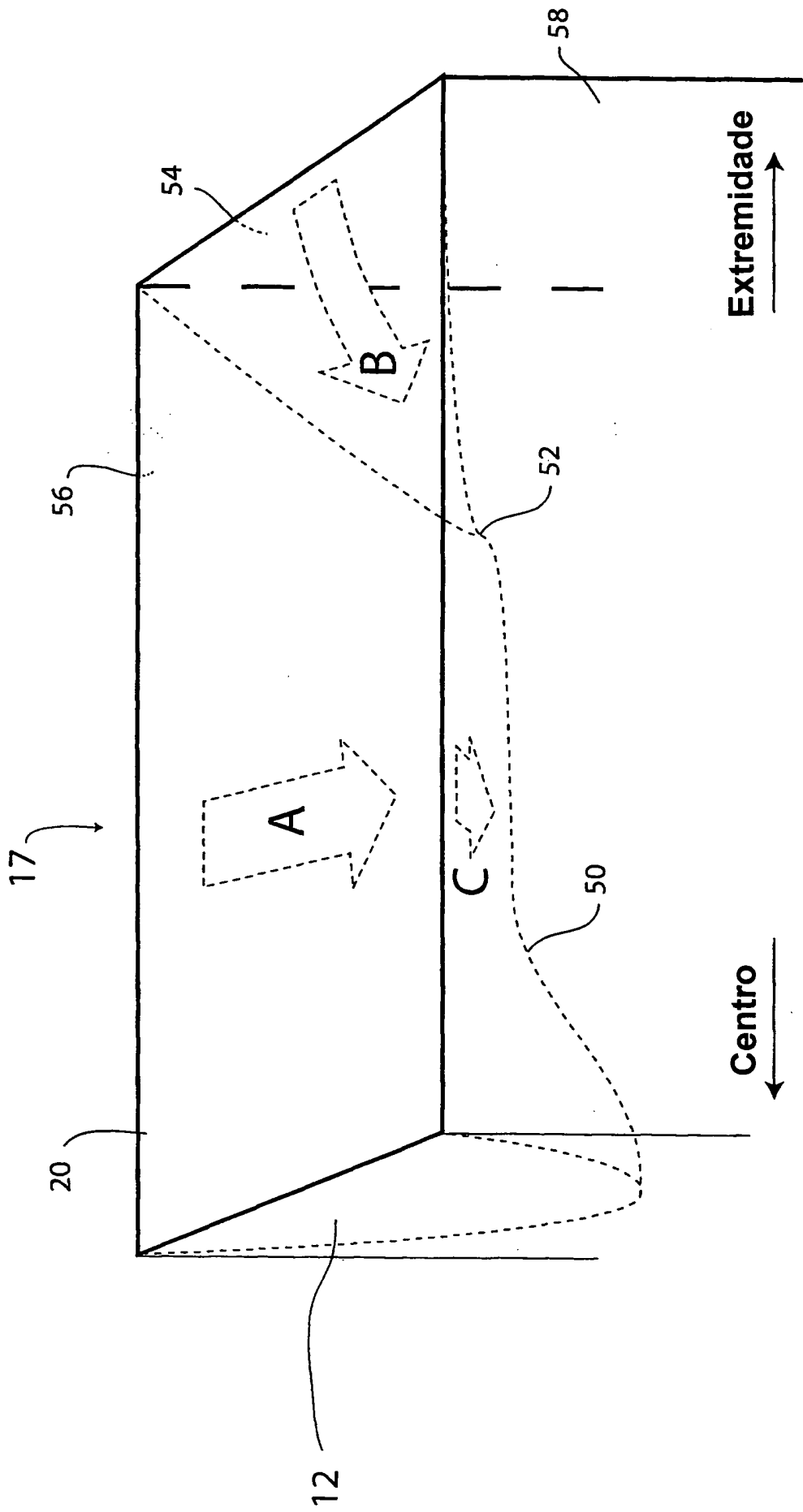


Fig.4

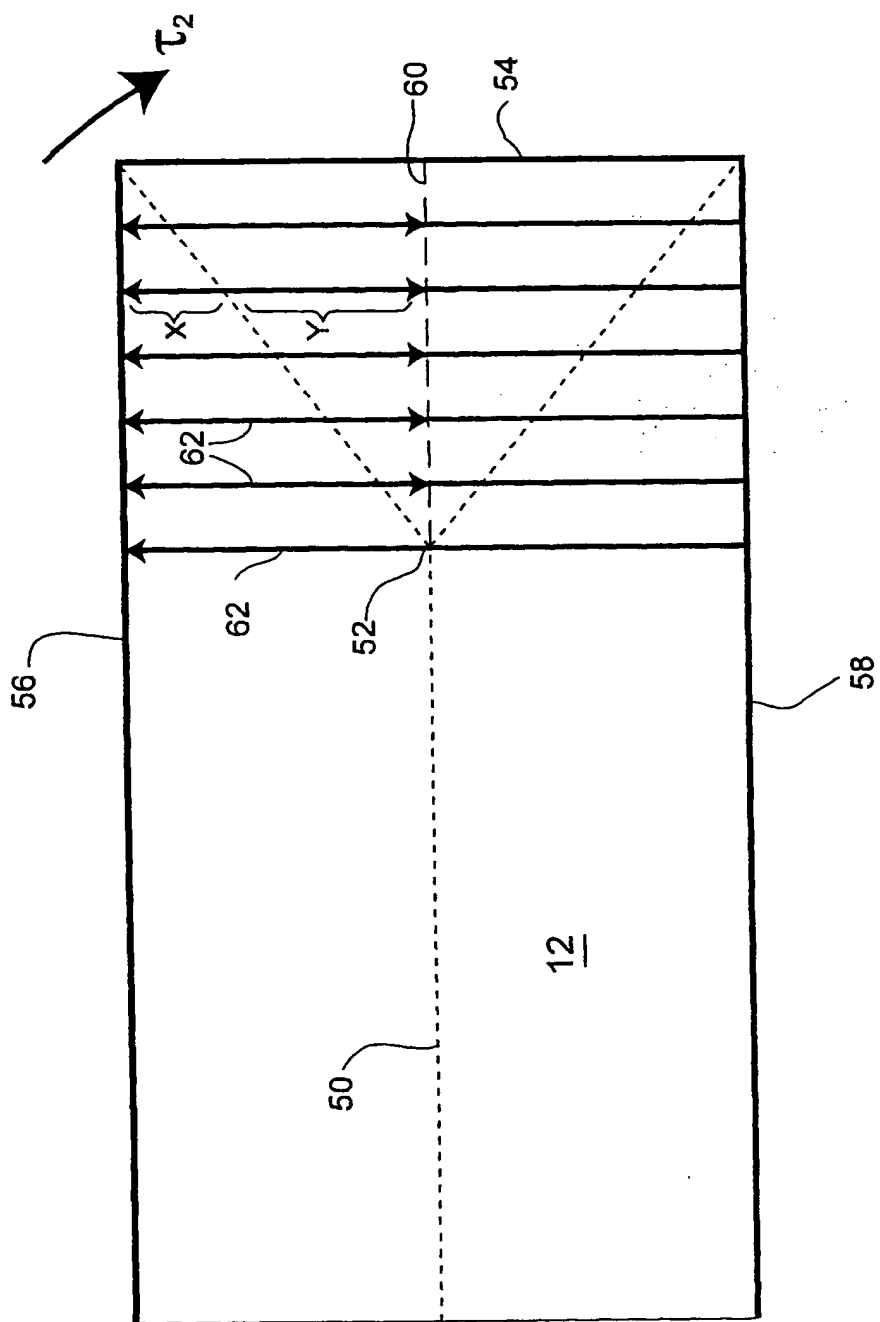


Fig. 5

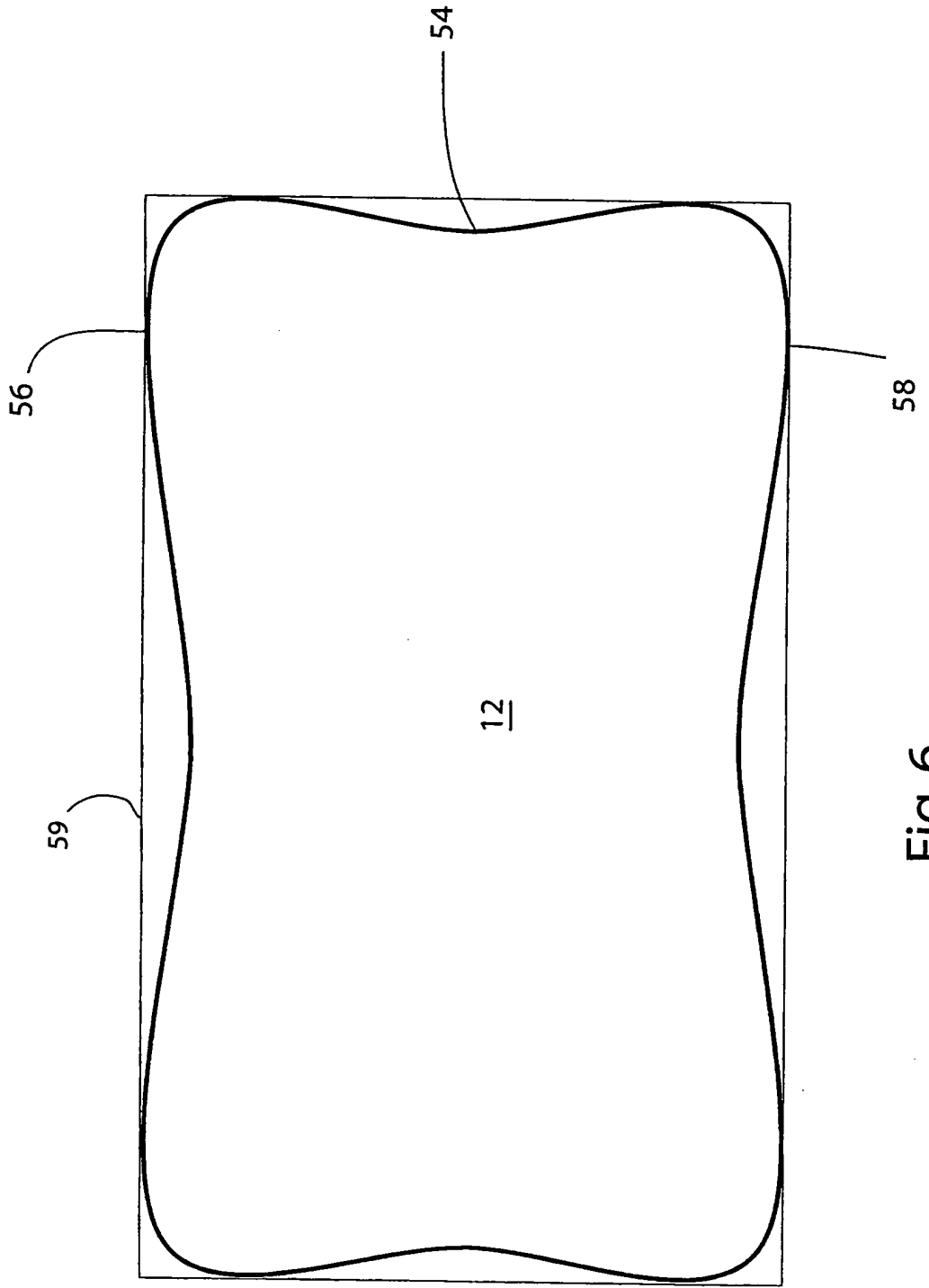


Fig. 6

Fig. 7A

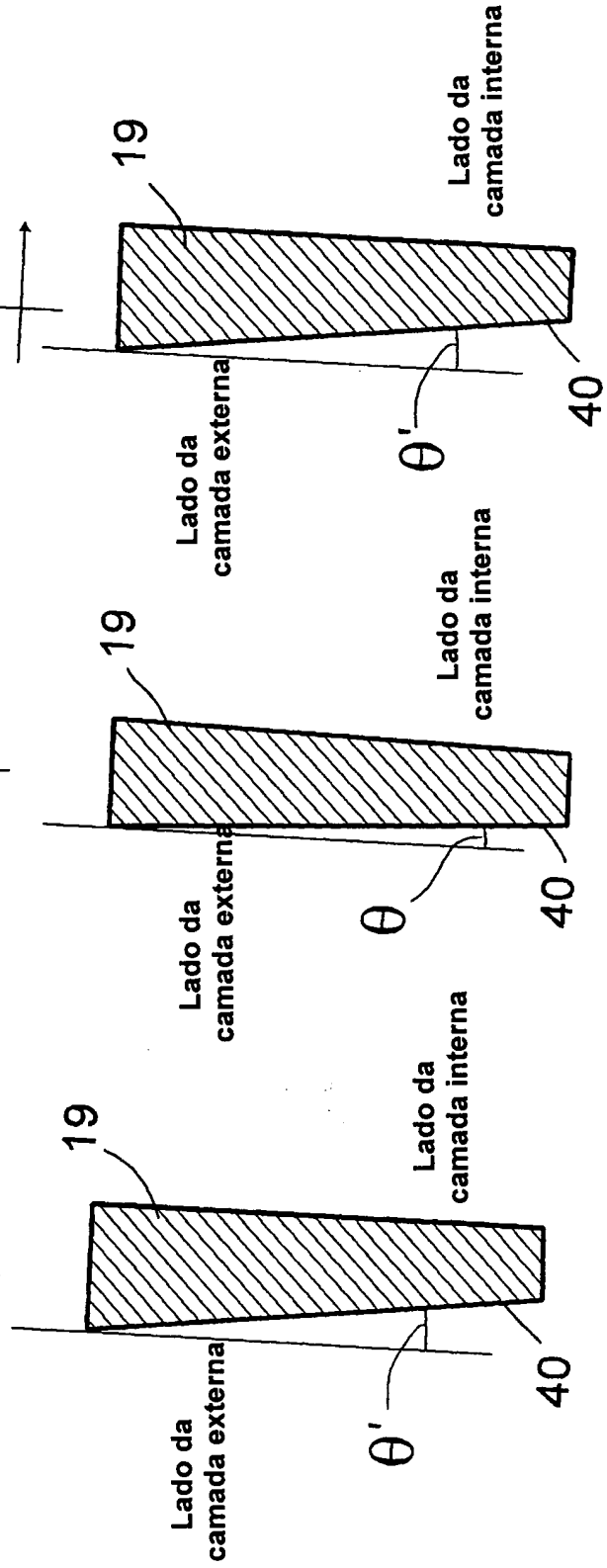
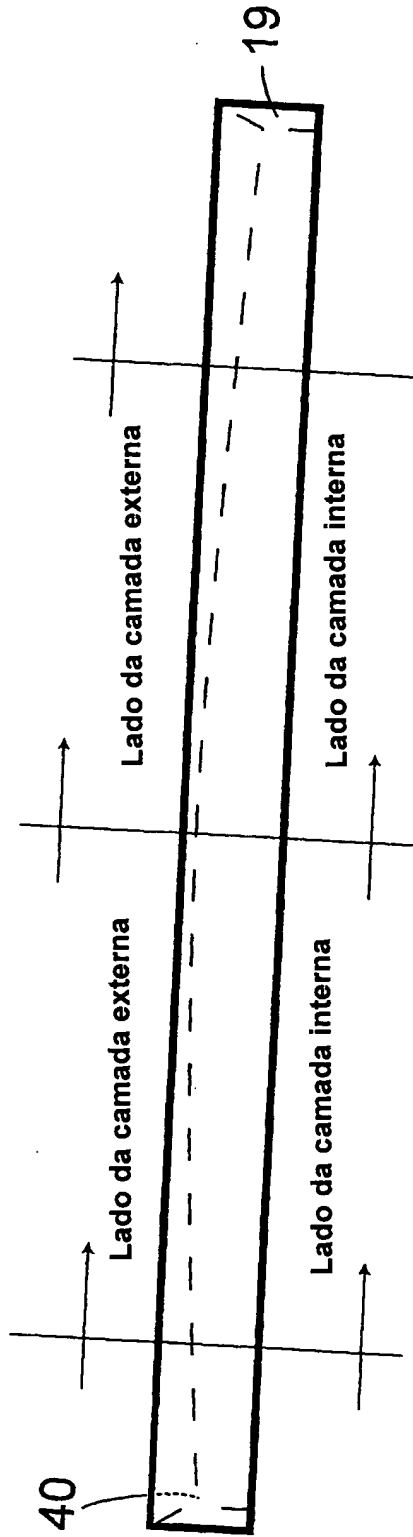
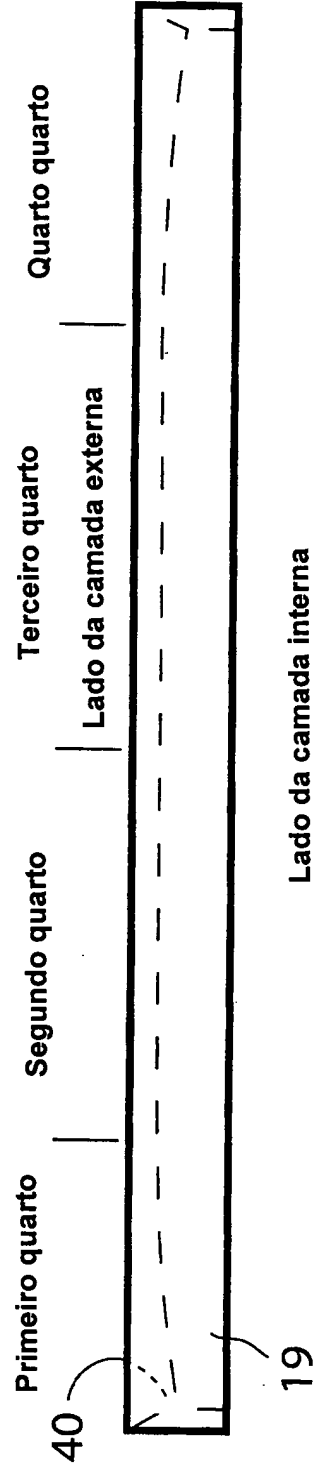


Fig. 7B

Fig. 7C

Fig. 7D

Fig. 8



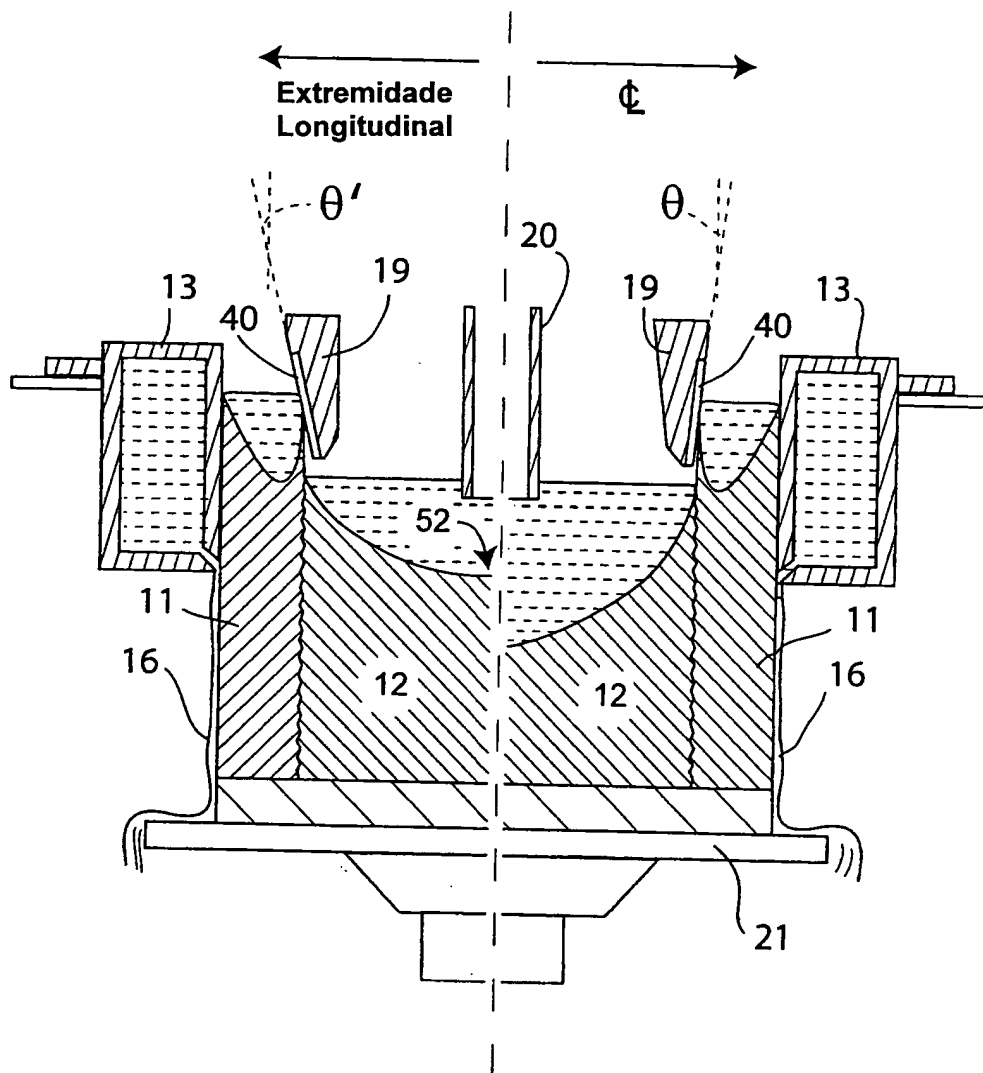


Fig. 9

RESUMO

“APARELHO E MÉTODO PARA LINGOTAR UM LINGOTE DE METAL
COMPÓSITO E MÉTODO PARA LINGOTAR UMA CAMADA INTERNA
FEITA DE UM METAL E PELO MENOS UMA CAMADA DE
5 REVESTIMENTO METÁLICO DE UM OUTRO METAL”

São descritos um método e aparelho para lingotar metais em
um molde CC para formar um lingote com pelo menos duas camadas
formadas por solidificação seqüencial. O aparelho tem pelo menos uma
parede divisória resfriada na região de extremidade de entrada do molde para
10 dividir a região de extremidade de entrada em pelo menos duas câmaras de
alimentação. Metal é alimentado nas câmaras para formar uma camada
interna e pelo menos uma camada externa. A parede divisória tem uma
superfície de contato com metal para entrar em contato com o metal para pelo
menos uma camada externa, a superfície sendo arranjada em um ângulo com
15 a vertical que inclina para fora do metal para a camada externa em uma
direção descendente. O ângulo aumenta em posições na parede divisória
espaçada de uma seção central da parede que se aproxima de cada
extremidade longitudinal da mesma. O aparelho é adequado para lingotar um
metal com um alto coeficiente de contração como uma camada interna ou um
20 lingote de núcleo.