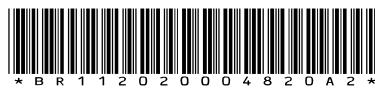




República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 112020004820-8 A2



(22) Data do Depósito: 11/09/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 15/09/2020

(54) Título: DIFUSOR DINAMICAMENTE POSICIONADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE METAL DURANTE UMA OPERAÇÃO DE FUNDIÇÃO

(51) Int. Cl.: B22D 11/049; B22D 11/18; B22D 41/56.

(30) Prioridade Unionista: 12/09/2017 US 15/701,536.

(71) Depositante(es): WAGSTAFF, INC..

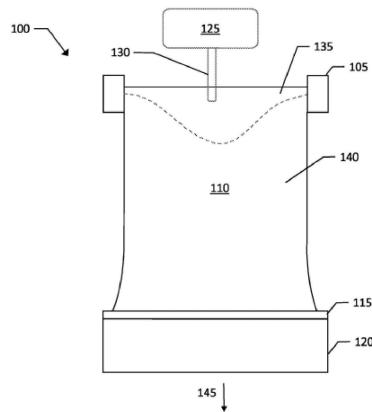
(72) Inventor(es): BIN ZHANG; CRAIG LEE SHABER; MIKE ANDERSON.

(86) Pedido PCT: PCT IB2018056947 de 11/09/2018

(87) Publicação PCT: WO 2019/053596 de 21/03/2019

(85) Data da Fase Nacional: 11/03/2020

(57) Resumo: São fornecidos aqui um aparelho e método para fundição contínua de metal e, mais particularmente, um aparelho e método para reduzir macrossegregação por meio de um mecanismo para controlar a posição de uma ponta ou um difusor de bico durante o processo de fundição para manter a ponta ou o difusor de bico próximo à frente de solidificação, localização da transição entre metal líquido e metal sólido na peça fundida. Um aparelho pode incluir: uma estrutura de molde suportando um molde definindo uma cavidade de molde; um difusor de líquido; e um atuador configurado para mover pelo menos uma da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro, em que o atuador é configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro em resposta a um sinal de pelo menos um sensor.



## **DIFUSOR DINAMICAMENTE POSICIONADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE METAL DURANTE UMA OPERAÇÃO DE FUNDIÇÃO**

### **CAMPO TECNOLÓGICO**

**[0001]** A presente invenção se refere a um sistema, aparelho e método para fundição contínua de metal e, mais particularmente, para reduzir macrossegregação por meio de um mecanismo para controlar a posição de uma ponta ou um difusor de bico durante o processo de fundição para manter a ponta ou o difusor de bico próximo à frente de solidificação, localização da transição entre metal líquido e metal sólido na peça fundida.

### **ANTECEDENTES**

**[0002]** Produtos de metal podem ser formados em uma variedade de maneiras; no entanto, numerosos métodos de formação exigem primeiro um lingote, tarugo ou outra peça fundida que possa servir como matéria-prima da qual um produto final de metal pode ser fabricado. Um método para fabricar um lingote ou tarugo é através de um processo de fundição semicontínua conhecido como fundição de refrigeração direta, pelo qual uma cavidade de molde orientada verticalmente está situada acima de uma plataforma que translada verticalmente por um poço de fundição. Um bloco de partida pode estar situado na plataforma e formar um fundo da cavidade de molde, pelo menos inicialmente, para iniciar o processo de fundição. O metal fundido é derramado na cavidade de molde, mediante o que o metal fundido esfria, tipicamente usando um fluido de resfriamento. A plataforma com o bloco de partida na mesma pode descer para o poço de fundição a uma velocidade pré-definida para permitir que o metal saindo da cavidade de molde e descendo com o bloco de partida solidifique. A plataforma continua a ser abaixada à medida que mais metal fundido entra na cavidade de molde e o metal sólido sai da cavidade de molde. Este processo de fundição contínua permite que lingotes e tarugos de metal sejam formados de acordo com o perfil da cavidade de molde e tendo um comprimento limitado

apenas pela profundidade do poço de fundição e pela plataforma atuada hidraulicamente se movendo no mesmo.

**[0003]** A distribuição de metal dentro da cavidade de molde e dentro da região ainda fundida de uma peça fundida saindo da cavidade de molde é complexa com perfis e gradientes de temperatura em mudança ao longo do processo de fundição. A física de solidificação exibe a formação de macrossegregação, pela qual a peça fundida pode ter uma composição química não uniforme através de uma dimensão da peça fundida. Macrossegregação formada de processo de fundição é irreversível durante o processamento da peça fundida, de modo que é imperativo minimizar a macrossegregação durante o processo de fundição.

#### BREVE SUMÁRIO

**[0004]** Modalidades da presente invenção geralmente se referem a um aparelho e método para fundição contínua de metal e, mais particularmente, para reduzir macrossegregação por meio de um mecanismo para controlar a posição de uma ponta ou um difusor de bico durante o processo de fundição para manter a ponta ou o difusor de bico próximo à frente de solidificação, localização da transição entre metal líquido e metal sólido na peça fundida. Modalidades podem fornecer um aparelho para distribuição de líquido para uma cavidade de molde, o aparelho incluindo: uma estrutura de molde suportando um molde definindo uma cavidade de molde; um difusor de líquido; e um atuador configurado para mover pelo menos uma da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro, em que o atuador é configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro em resposta a um sinal de pelo menos um sensor. O difusor de líquido pode incluir uma ponta e definir uma passagem de líquido através dela, onde o pelo menos um sensor pode incluir um termopar disposto próximo à ponta do difusor.

**[0005]** De acordo com algumas modalidades, o atuador inclui um atuador linear, em que um eixo é definido através da cavidade de molde ao longo do qual uma peça fundida pode ser extraída, e o atuador é configurado para mover pelo

menos um da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro ao longo do eixo. O líquido pode incluir metal, onde a ponta do difusor de líquido pode ser submersa em uma poça de metal líquido na cavidade de molde, onde o movimento relativo entre a estrutura de molde e o difusor de líquido pode resultar em movimento do difusor de líquido dentro da poça de metal líquido. O atuador linear, responsivo ao sinal do termopar, pode ser configurado para manter a ponta do difusor de líquido na poça de metal líquido em uma posição correspondente a uma faixa de temperatura pré-definida do metal líquido.

**[0006]** O atuador de algumas modalidades, responsivo ao sinal do termopar, pode ser configurado para manter a ponta do difusor de líquido em uma região da poça de metal líquido perto de um ponto de coerência de metal durante uma operação de fundição. Modalidades podem incluir um controlador, em que o controlador pode ser configurado para controlar o atuador e a posição relativa entre a estrutura de molde e o difusor de líquido, onde a posição entre a estrutura de molde e o difusor de líquido pode ser estabelecida com base, pelo menos em parte, no sinal do termopar e pelo menos uma propriedade de um líquido dispensado pelo difusor. A pelo menos uma propriedade de um líquido pode incluir uma temperatura liquidus do líquido sendo dispensado a uma dada pressão.

**[0007]** Modalidades da presente invenção podem fornecer um método incluindo: receber uma indicação de um material a ser fundido em uma cavidade de molde; estabelecer, a partir da indicação do tipo de material, um perfil de temperatura do tipo de material; dispensar o material em forma líquida através de um difusor para a cavidade do molde; detectar uma temperatura de uma ponta do difusor dentro da cavidade do molde; e mover pelo menos um do difusor ou do molde em relação ao outro responsivo à ponta do difusor para manter a ponta do difusor dentro de uma poça do material em forma líquida com base em uma faixa de temperatura pré-definida associada ao perfil de temperatura. Modalidades podem incluir controlar um fluxo do material através do difusor em resposta a uma ou mais propriedades da poça de material.

**[0008]** Métodos de modalidades de exemplo podem incluir opcionalmente: determinar, com base no tipo de material, uma posição inicial do difusor em relação à cavidade do molde; e mover pelo menos um do difusor ou do molde em relação ao outro para a posição inicial antes de dispensar material através do difusor. Métodos podem incluir mover pelo menos um do difusor ou do molde em relação ao outro da posição inicial para uma posição secundária com base em um algoritmo associado ao tipo de material após o material ter começado a ser dispensado do difusor e a fundição estar ocorrendo de maneira constante. Métodos podem opcionalmente incluir mover pelo menos um do difusor ou do molde de refrigeração direta em relação ao outro da posição secundária para uma posição terciária com base no algoritmo associado ao tipo de material em resposta a uma indicação de que a fundição está terminando. O molde pode ser um molde de refrigeração direta incluindo um bloco de partida, em que o método pode incluir mover o bloco de partida em relação à cavidade de molde e ao difusor.

**[0009]** Modalidades descritas neste documento podem fornecer um aparelho incluindo: uma estrutura; pelo menos uma cavidade de molde fixada à estrutura, a cavidade de molde definindo um eixo ao longo do qual um material fundido no molde sai do molde em um processo de fundição contínua; e um suporte de estrutura, em que a estrutura é fixada ao suporte de estrutura por um atuador configurado para mover a estrutura e a cavidade de molde em relação ao braço de suporte ao longo de um eixo paralelo ao eixo definido pela cavidade de molde. O atuador pode incluir pelo menos uma dentre uma engrenagem helicoidal, um atuador linear, um pistão hidráulico ou um parafuso esférico. O aparelho pode incluir um difusor de distribuição de líquido de fundição, onde o difusor de distribuição de líquido de fundição é mantido fixo em relação ao suporte de estrutura e onde o atuador é configurado para mover a cavidade de molde em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição.

**[0010]** De acordo com algumas modalidades, o aparelho pode incluir um termopar fixado ao difusor de distribuição de líquido de fundição, onde o atuador

move a estrutura em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição responsivo a um sinal do termopar. Modalidades podem incluir um controlador, onde o controlador é configurado para fazer com que o atuador move a estrutura em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição responsivo ao sinal do termopar de acordo com um perfil de temperatura de um líquido de fundição dispensado do difusor de distribuição de líquido de fundição.

**[0011]** Modalidades de um aparelho podem incluir uma memória configurada para armazenar uma pluralidade de perfis, cada perfil incluindo um material de fundição e uma configuração de molde e um controlador configurado para mover a estrutura e a cavidade de molde em relação ao braço de suporte com base em um perfil selecionado entre pelo menos duas posições diferentes durante uma operação de fundição. Modalidades podem incluir um difusor para dispensar líquido para a cavidade de molde e um termopar no difusor, onde o controlador é configurado para ajustar o perfil selecionado e mudar a posição da estrutura e da cavidade de molde em relação ao braço de suporte em resposta a um sinal recebido do termopar.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

**[0012]** Tendo, assim, descrito a invenção em termos gerais, agora será feita referência aos desenhos anexos, que não são necessariamente desenhados em escala, e em que:

**[0013]** FIG. 1 representa uma vista em seção transversal de fundição de refrigeração direta em processo de acordo com a técnica anterior;

**[0014]** FIG. 2 ilustra uma vista em seção transversal de fundição usando um difusor dinamicamente posicionável no início de um processo de fundição de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0015]** FIG. 3 ilustra uma vista em seção transversal de fundição usando um difusor dinamicamente posicionável durante a fase de partida de um processo de fundição de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0016]** FIG. 4 ilustra uma vista em seção transversal de fundição usando um difusor dinamicamente posicionável durante fundição de estado constante de um processo de fundição de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0017]** FIG. 5 ilustra uma vista em seção transversal de fundição usando um difusor dinamicamente posicionável no final de um processo de fundição de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0018]** FIG. 6 ilustra um gráfico das posições de bico ou difusor e poço coletor durante o processo de fundição de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0019]** FIG. 7 ilustra um gráfico da velocidade de ajuste de cilindro e estrutura de molde em relação ao comprimento de fundição total do lingote sendo derramado de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção;

**[0020]** FIG. 8 representa três difusores, cada um tendo uma forma diferente, de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção; e

**[0021]** FIG. 9 representa três difusores, cada um tendo um tamanho diferente, de acordo com uma modalidade de exemplo da presente invenção.

#### DESCRÍÇÃO DETALHADA

**[0022]** Modalidades exemplares da presente invenção serão agora descritas mais detalhadamente daqui em diante com referência aos desenhos anexos, nos quais são mostradas algumas, mas não todas as modalidades da invenção. De fato, a invenção pode ser configurada de várias formas diferentes e não deve ser interpretada como limitada às modalidades estabelecidas no presente documento; em vez disso, essas modalidades são fornecidas de modo que esta divulgação satisfaça requisitos legais aplicáveis. Números semelhantes se referem a elementos semelhantes em todo o relatório.

**[0023]** Modalidades da presente invenção geralmente se referem a um método, aparelho e sistema para distribuição de metal em uma cavidade de molde de fundição contínua. Modalidades aqui descritas podem ser

particularmente benéficas na fundição de refrigeração direta vertical; no entanto, modalidades podem ser usadas em uma variedade de aplicações de fundição diferentes. Fundição de refrigeração direta vertical é um processo usado para produzir lingotes ou tarugos que podem ter seções transversais grandes ou pequenas para uso em uma variedade de aplicações de fabricação. O processo de fundição de refrigeração direta vertical começa com uma mesa horizontal contendo uma ou mais cavidades de molde orientadas verticalmente dispostas na mesma. Cada uma das cavidades de molde é inicialmente fechada no fundo com um bloco de partida para vedar a cavidade de molde. Metal fundido é introduzido em cada cavidade de molde através de um sistema de distribuição de metal para preencher as cavidades de molde. Quando o metal fundido próximo ao fundo do molde, adjacente ao bloco de partida, solidifica o bloco de partida é movido verticalmente para baixo ao longo de um caminho linear. O movimento do bloco de partida pode ser causado por uma plataforma abaixada hidraulicamente à qual o bloco de partida está fixado. O movimento do bloco de partida verticalmente para baixo extrai o metal solidificado da cavidade de molde, enquanto metal fundido adicional é introduzido nas cavidades de molde. Uma vez iniciado, este processo se move em uma velocidade de estado relativamente estável para um processo de fundição semicontínua que forma um lingote de metal tendo um perfil definido pela cavidade de molde e uma altura definida pela profundidade até a qual a plataforma e o bloco de partida são movidos.

**[0024]** Durante o processo de fundição, refrigerante pode ser pulverizado próximo à saída da cavidade de molde para encorajar a solidificação da casca de metal quando o metal sai da cavidade de molde e o bloco de partida é avançado para baixo. O fluido de resfriamento é introduzido na superfície do metal próximo à cavidade de molde quando ele é fundido para extrair calor do lingote de metal fundido e solidificar o metal fundido dentro da casca agora solidificada do lingote. À medida que o bloco de partida é avançado para baixo, o fluido de resfriamento pode ser pulverizado diretamente no lingote para resfriar.

**[0025]** O processo fundição de refrigeração direta permite que lingotes sejam fundidos em uma ampla variedade de tamanhos e comprimentos, juntamente com várias formas de perfil. Embora o tarugo circular e lingote retangular sejam os mais comuns, outros formatos de perfil são possíveis.

**[0026]** Existem várias complexidades na fundição de peças de metal, particularmente em fundição contínua de refrigeração direta vertical, incluindo a maneira pela qual metal é distribuído dentro de uma cavidade de molde. Ligas de metal geralmente incluem elementos além de um componente de metal puro. Estes elementos são idealmente combinados uniformemente em solução para fornecer uma composição de liga de metal consistente através de um objeto de metal, tal como um lingote ou tarugo. Quando na forma sólida, os elementos estão em concentrações fixas que não migram.

**[0027]** Devido a uma combinação de efeitos da redistribuição de soluto e contração durante a solidificação de uma liga de metal de um líquido, convecção termo-solutal, fragmentação de dendrita e migração de grão ao longo de uma frente de solidificação, onde o líquido se torna sólido, pode produzir uma variação na química da superfície externa de um lingote ou tarugo para um centro do lingote ou tarugo. Esta variação na química é conhecida como macrosegregação. Esta macrosegregação é indesejável, pois a variação química entre porções do metal pode levar a propriedades insatisfatórias afetando a qualidade dos materiais produzidos do lingote ou tarugo.

**[0028]** Modalidades da presente invenção fornecem um método, aparelho e sistema para minimizar macrosegregação e melhorar a qualidade e consistência de um objeto de metal fundido, tal como um lingote ou tarugo. Modalidades descritas neste documento fornecem um sistema de distribuição de metal único desenvolvido para permitir alimentação de metal líquido perto do ponto de coerência de metal na região solidus (coloquialmente conhecido como “zona esponjosa”) de um objeto de metal, tal como um lingote ou tarugo, quando o objeto é fundido e durante todo o processo de fundição. A região limite entre 100% de líquido e a temperatura do ponto de coerência (o ponto no qual a

solidificação começa a ocorrer através da estrutura cristalina, os grãos começam a coalescer para desenvolver resistência) é comumente referida como “zona de pasta”. Modalidades aqui descritas reduzem a acumulação de grãos fragmentados no centro do lingote através da distribuição de metal no poço coletor para reduzir macrossegregação. Um sistema automatizado pode mover a estrutura de molde (incluindo a cavidade ou cavidades de molde) em relação ao bico de distribuição de metal para manter o bico na profundidade de metal correta (constante na frente de solidificação) da fase de início da fundição até a fase final da fundição. Um termopar disposto próximo à ponta do bico, que pode ser integrado ao bico, pode fornecer feedback a um controlador para determinar a posição apropriada da cavidade de molde e da poça de metal fundido na mesma em relação à ponta do bico. Esta posição apropriada pode variar dependendo do material sendo fundido, pois os perfis de temperatura podem variar substancialmente entre diferentes ligas ou metais.

**[0029]** Sistemas de modalidades de exemplo podem incluir uma faixa de difusores/distribuidores de metal únicos, descritos adicionalmente abaixo, para fornecer fluxo de metal ideal durante a distribuição no poço coletor, algoritmos de controle para criar as condições de fluxo ideais para manipular o campo de fluxo de metal típico e reduzir macrossegregação.

**[0030]** Sistemas de distribuição de metal típicos para um molde de fundição incluem um bico e saco de distribuição de metal de tecido cerâmico que alimenta metal logo abaixo da superfície do metal líquido em moldes de refrigeração direta, devido às restrições fixas típicas da posição do bico e do molde necessárias para a fase de início de fundição. Para qualquer lingote fundido de refrigeração direta, independentemente da forma, a alimentação de metal fundido a partir de um local próximo à superfície (por exemplo, dentro de cerca de seis polegadas da superfície), como com o sistema tradicional de bico e saco de distribuição de tecido cerâmico, pode resultar em algum grau de macrossegregação. Metal entrante é varrido em sua taxa mais alta ao longo da frente de solidificação (por exemplo, à temperatura de coerência) em direção ao

centro do lingote, fragmentando primeiro grãos em formação que são solutos pobres e despejando-os no fundo do poço coletor. Isto resulta em formação de segregação negativa no centro do lingote na fundição de refrigeração direta. Modalidades descritas neste documento fornecem um sistema de distribuição de metal com controle automatizado para alimentar o metal do distribuidor dentro da região de fundo de poço coletor para diminuir a velocidade nas células de convecção natural e reduzir a acumulação de grãos pobres em soluto no local do poço coletor, desse modo reduzindo macrossegregação.

**[0031]** FIG. 1 representa uma ilustração geral de uma seção transversal de um molde de fundição de refrigeração direta 100 durante o processo de fundição. O molde ilustrado poderia ser para um tarugo ou um lingote, por exemplo. Como mostrado, as paredes de molde 105 formam uma cavidade de molde a partir da qual a peça fundida 110 é formada. O processo de fundição começa com o bloco de partida 115 vedando o fundo da cavidade de molde contra as paredes de molde 105. Quando a plataforma 120 se move para baixo ao longo da seta 145 para um poço de fundição e a peça fundida começa a solidificar em suas bordas dentro das paredes de molde 105, a peça fundida 110 sai da cavidade de molde. Metal flui da calha de derramamento 125, a qual pode ser um reservatório aquecido ou um reservatório alimentado de um forno, por exemplo, através do bico 130 para a cavidade de molde. Como mostrado, o bico 130 é parcialmente submerso dentro de uma poça de metal fundido 135 para evitar oxidação do metal que ocorreria se alimentado de cima da poça de metal fundido 135. O metal solidificado 140 constitui a peça fundida formada, tal como um lingote. O fluxo através do bico 130 é controlado dentro da calha de derramamento 125, tal como por um acessório de bujão cônico dentro de um orifício conectando uma cavidade da calha de derramamento 125 com um canal de fluxo através do bico 130. Convencionalmente, a calha de derramamento 125, o bico 130 e a cavidade de molde/paredes de molde 105 são mantidos em uma relação fixa do início da operação de fundição até o final da operação de fundição. O fluxo de metal através do bico 130 continua à medida que a plataforma 120 continua descendo

ao longo da seta 145 para o poço de fundição. Quando a operação de fundição está para terminar, seja pela plataforma estando no fundo de seu deslocamento, o suprimento de metal passando baixo, ou pela peça fundida atingindo o tamanho completo, o fluxo de metal através do bico 130 para e o bico montado na calha é removido da poça de metal fundido 135 para permitir que a poça fundida solidifique e complete a peça fundida.

**[0032]** Utilizando o método ilustrado na FIG. 1, a formação de macrossegregação não é controlada e a peça fundida formada através da modalidade da FIG. 1 pode não ter uma consistência de composição satisfatória através da seção transversal ao longo da peça fundida. Modalidades aqui descritas minimizam macrossegregação e ajudam a assegurar a consistência da composição de metal através de uma peça fundida.

**[0033]** FIG. 2 ilustra uma modalidade de exemplo da presente invenção, incluindo um molde 105 posicionado usando atuadores 150, que podem ser atuadores lineares, engrenagens helicoidais, solenoides, rosca acme, parafusos esféricos, cabos, pistões hidráulicos ou qualquer outro tipo de mecanismo que possa ser usado para mover e reter o molde 105 em relação à calha 125 e ao bico 130. O molde 105 pode ser suportado por uma estrutura de molde (não mostrada), onde os atuadores podem ser fixados ao molde ou à estrutura de molde para controlar a localização relativa do molde. Um sistema de controle automatizado, tal como um controlador lógico programável (PLC) pode ser conectado ao atuador para posicionar a estrutura de molde e o molde 105 em relação à calha 125 e ao bico 130 com base em práticas pré-programadas e/ou mediante medições ativas da peça fundida quando ela é formada. As medições podem ser de temperatura de fundição, tal como temperatura do metal do bico 130 ou da peça fundida quando ela sai do molde 105, temperatura do metal em torno da ponta do bico dentro do poço coletor, velocidade na qual a plataforma 120 está descendo, a taxa de fluxo do metal através do bico 130 ou quaisquer outros parâmetros que influenciam o processo de fundição. A modalidade ilustrada da FIG. 2 inclui uma posição de partida onde

a ponta do bico 130 está posicionada próxima ao bloco de partida 115 que é suportado pela plataforma 120. Os atuadores 150 asseguram a localização durante a partida, onde a posição de partida pode ser uma posição pré-programada do bico 130 em relação ao bloco de partida 115 e ao molde 105 que pode ser dependente do material a ser fundido, do perfil do bloco de partida 115, do perfil do molde 105 ou semelhantes.

**[0034]** De acordo com uma modalidade de exemplo, o bico 130 pode incluir um ou mais termopares para determinar temperatura do bico 130 em um ou mais locais ao longo de seu comprimento e, em particular, na ponta do bico 130 onde o metal sai do bico 130 da calha 125. O termopar pode determinar a temperatura do metal líquido no local da ponta do bico 130 no poço coletor. Modalidades aqui descritas podem incluir distribuidores ou difusores de metal na ponta do bico 130, que podem ser configurados para incluir um ou mais termopares para fornecer uma temperatura do metal fluindo através do difusor/distribuidor e/ou a temperatura do metal em torno do difusor/distribuidor no poço coletor. O feedback de temperatura de próximo à ponta do bico 130 ou do difusor fixado pode permitir controle ativo da posição do bico ou difusor dentro da poça de metal fundido para se ajustar às mudanças em temperatura de metal, geração de óxido ou outras condições de fundição que possam exigir movimento não planejado do molde 105 em relação ao bico 130 para posicionar apropriadamente a ponta do bico ou do difusor dentro do poço coletor (por exemplo, a área de transição entre o metal fundido e o metal sólido). O bico 130 de modalidades de exemplo é de um comprimento que pode acomodar tais mudanças posicionais dentro da poça de metal fundido para permitir posicionamento da ponta próximo ao poço coletor, conforme considerado desejável.

**[0035]** O bocal 130 de modalidades de exemplo pode ser equipado com difusores especialmente definidos na ponta do bico para reduzir respingos de metal no início da fundição e otimizar distribuição de metal durante o processo de fundição. Estes difusores poderiam ser peças separadas montadas no bico

130. A geometria desses difusores poderia ser triangular, retangular ou outras formas irregulares para acomodar diferentes tamanhos de peças fundidas e direções e velocidades de alimentação de líquido fundido. Estes difusores podem ser feitos de quaisquer materiais refratários conhecidos, tal como tecido de fibra de vidro, cerâmica reforçada com fibra ou um dos vários tipos de cerâmica térmica ou superligas de temperatura elevada. Modalidades de exemplos de tais difusores são ilustradas e descritas abaixo.

**[0036]** De acordo com modalidades de exemplo aqui descritas, uma especificação de fundição pode ser inserida em um controlador lógico programável para controlar a posição de uma estrutura de molde (também conhecida como uma “mesa de molde”) à qual um ou mais moldes podem ser fixados. O controlador lógico programável é usado de acordo com modalidades de exemplo para controlar a posição da estrutura de molde (e os moldes retidos na mesma) em relação ao bico. Embora a modalidade de exemplo da FIG. 2 ilustre atuadores lineares que movem o molde 105 e a estrutura de molde em relação ao bico 130, modalidades de exemplo podem opcionalmente mover a calha de derramamento 125 e o bico 130 em relação ao molde 105. Ainda mais, o molde pode ser móvel dentro da estrutura de molde para permitir que o movimento entre o molde 105 e o bico 130 seja obtido em virtude da posição em mudança do molde 105 dentro da estrutura de molde. Independentemente de como o movimento é alcançado, as modalidades descritas neste documento fornecem um método para mover o bico 130 em relação ao molde 105 para alcançar os benefícios da invenção aqui descrita.

**[0037]** No início de uma fundição, o molde 105 e a estrutura de molde podem ser posicionados baixo o suficiente em relação ao bico 130 para limpar o bico do distribuidor de metal 130. FIG. 2 ilustra tal modalidade de exemplo do início de uma fundição. Quando a fundição é iniciada, a estrutura de molde elevará, enquanto a peça fundida é moldada para fora do fundo do molde. FIG. 3 ilustra tal modalidade em que o bloco de partida 115 está se movendo da cavidade de molde do molde 105. A estrutura de molde seguirá um movimento programado

específico para manter o bico 130 na posição desejada em relação à poça fundida em solidificação. Modalidades de exemplo podem incluir um termopar integrado ao bico de fundição para fornecer feedback ativo, de modo que ajuste automático do bico 130 em relação à poça fundida possa ser realizado, tal como quando o controle de temperatura de metal a montante (a montante da calha 125) é variável, o que pode resultar na ponta do bico 130 ou no distribuidor congelando no poço coletor ou em outras situações de emergência. FIG. 3 pode ser durante a fase de início de fundição durante a transição do início do processo de fundição, mas antes da fundição em estado estacionário, onde os perfis de temperatura do metal fundido e a velocidade da fundição se tornam constantes.

**[0038]** FIG. 4 ilustra a fase de estado de operação do processo de fundição, em que o molde 105 está posicionado próximo ao bico 130 para engatar na ponta do bico no poço coletor da poça fundida 135, onde a linha tracejada 137 define a transição entre o metal líquido 135 e o metal solidificado 140. No final da fundição, como mostrado na FIG. 5, os atuadores 150 movem o molde 105 em relação ao bico 130 para assegurar que a ponta do bico/difusor não fique congelada no metal fundido. O controlador lógico programável controla o sistema de acordo com uma especificação programada localizando o molde 105 e as posições da peça fundida em relação ao bico 130 para obter a velocidade relativa de fundição necessária para as porções de partida e operação da fundição, embora mantendo a posição do bico desejada em relação ao fundo da poça de líquido. Este equilíbrio único influencia positivamente a distribuição de metal e reduz macrosegregação.

**[0039]** FIG. 6 ilustra um gráfico de posição desejada de bico/difusor em relação à posição do poço coletor onde o material fundido está em transição de um líquido para um sólido com coerência. A posição do poço coletor é ilustrada como linha 210, enquanto a posição da ponta do bico é ilustrada como linha 220. Como mostrado, no início da fundição, onde o comprimento de fundição está próximo de zero, a posição do poço coletor é de aproximadamente 50 milímetros de profundidade em relação ao topo da poça de metal fundido. A ponta do

bico/difusor nesta fase está aproximadamente no mesmo nível que o topo do poço de metal fundido. Quando o processo de fundição começa e o comprimento da peça fundida cresce (mostrado no eixo x), a posição do poço coletor se torna mais profunda para a peça fundida, passando de cerca de 50 milímetros no início para cerca de 620 milímetros quando a peça fundida atingiu um comprimento de cerca de 1.000 milímetros ou 1 metro. De acordo com a modalidade ilustrada da FIG. 6, isto é onde a fundição de estado de operação começa e onde a profundidade do poço coletor permanece constante ou quase constante em cerca de 620 milímetros. A esta profundidade, a posição desejada da ponta do bico é de aproximadamente 580 milímetros, ou pairando 40 milímetros acima da posição do poço coletor onde o metal líquido é solidificado para sólido coerente. Métodos de fundição convencionais são incapazes de distribuir metal líquido a esta profundidade, muito menos mover o molde para posicionar a ponta do bico de acordo com a localização do poço coletor.

**[0040]** Quando que o processo de fundição se aproxima do final da operação de fundição, o poço coletor se torna mais raso e o molde se desloca para baixo tendo o efeito relativo de elevar o bico em relação ao molde. A posição da ponta do bico na poça fundida sobre consideravelmente no final do processo de fundição em relação ao poço coletor, quando o molde e o cilindro são abaixados. Derramamento do metal é cessado e o bico é retirado para permitir que o metal fundido solidifique. FIG. 6 ilustra uma modalidade de exemplo de uma posição de bico em relação a uma posição de poço coletor sobre uma peça fundida e é única para a liga sendo fundida, a velocidade de fundição e o tamanho e a forma do molde, dentre outras variáveis que influenciam o processo de fundição.

**[0041]** É determinado um algoritmo de controle especial que é único para cada combinação de liga e tamanho de peça fundida. O algoritmo pode ligar o equilíbrio térmico típico com os requisitos de posicionamento de bico para assegurar que o bico/distribuidor permaneça próximo da temperatura do ponto de coerência no fundo do poço coletor de um produto fundido pela duração da fundição. Uma ilustração de exemplo do algoritmo de controle é ilustrada na FIG.

7, que representa a velocidade da estrutura de molde como linha 230 e a “velocidade do cilindro” ou a velocidade de descida da plataforma que pode ser produzida pelo movimento de um cilindro hidráulico no poço de fundição. Como ilustrado, a velocidade do cilindro começa a uma taxa especificada e desacelera, antes de acelerar e, então, atingir uma velocidade de estado constante de aproximadamente 40 milímetros por minuto durante o estado estacionário neste exemplo. A taxa de estrutura de molde, ou a taxa na qual o bico é movido em relação ao molde, independentemente do mecanismo para fornecer o movimento relativo, é inicialmente semelhante àquela da velocidade do cilindro, mas uma vez que a fundição de estado constante é atingida, se torna uma velocidade de zero, quando o bico é mantido em uma posição constante em relação ao molde durante a fundição de estado estacionário da peça fundida, mostrada na FIG. 4. Próximo ao final da operação de fundição, o derramamento de metal fundido através do bico cessa e o molde é abaixado, permitindo que o bico se retire da poça fundida, enquanto a velocidade do cilindro aumenta, antes que ambos parem o movimento no final da fundição. Em certas aplicações deste processo, a velocidade do cilindro também pode ser diminuída no final da fundição para reduzir a cavidade de contração antes que o fim da fundição seja atingido.

**[0042]** Embora algoritmos de controle possam ser desenvolvidos para cada liga e tamanho de peça fundida, o termopar da ponta do bico/difusor pode fornecer feedback de temperaturas não antecipadas durante uma operação de fundição padrão ou ideal, ou para confirmar que a operação está prosseguindo como antecipado. Em tal modalidade, o algoritmo de controle pode usar o feedback de temperatura da ponta do bico para ajustar a posição do bico em relação ao poço coletor, conforme necessário, e para localizar a ponta do bico adequadamente, dadas as anomalias de temperatura observadas. Isto pode fornecer uma consistência confiável do material através da seção transversal do material, mesmo quando as condições de fundição não são ideais ou se houver

um problema encontrado durante a fundição que possa ser retificado reposicionando o molde e o poço coletor em relação à localização do bico.

**[0043]** O bico 130 e a ponta do bico descritos aqui e ilustrados acima fornecem um bico sem características geométricas específicas, modalidades aqui descritas podem incluir difusores na ponta do bico para promover fluxo de metal desejado dentro do poço coletor. Diferentes ligas de metal e diferentes tamanhos de fundição podem ter propriedades diferentes que se beneficiam de padrões de fluxo de metal distintos no poço coletor. FIG. 8 ilustra um difusor quadrado ou retangular 310, uma esfera oval ou parcial ou difusor em forma de poço coletor 320 e um difusor triangular 330. As setas representam as direções de alimentação de metal potenciais associadas a cada um dos difusores ilustrados. Cada uma destas configurações, além de vários outros difusores, pode ser usada em combinação com exemplos aqui descritos para mitigar macrossegregação fornecendo fluxo contracorrente.

**[0044]** Além de formas diferentes, o perfil, os orifícios de difusor (aberturas) e o tamanho dos difusores podem ser alterados conforme desejado para alcançar fluxo ideal de metal dentro do poço coletor. FIG. 9 ilustra três difusores retangulares de diferentes comprimentos, com um difusor curto 410, um difusor de comprimento médio 420 e um difusor longo 430. Além disso, cada um dos difusores da FIG. 9 poderia ter uma forma de perfil final, como ilustrado na FIG. 8, para promover fluxo conforme desejado. Os difusores podem ter inúmeros orifícios diferentes através dos quais o metal flui durante fundição. O tamanho do difusor e o número e os tamanhos de orifícios abertos podem variar de acordo com o tamanho da peça fundida e o tipo de liga. O conjunto do difusor de metal retangular pode incluir duas porções: uma porção superior que pode ser de duas peças de material cerâmico rígido fixado ao bico; e uma porção inferior tendo orifícios abertos localizados para otimizar o fluxo de metal. Vários materiais para a parte inferior podem ser utilizados, tal como tecido de fibra de vidro, cerâmica reforçada com fibra, cerâmica térmica ou superligas de temperatura elevada. No caso de tecido de fibra de vidro, o tecido pode ser fixado à parte superior em

uma ranhura usando grampos refratários e/ou peças ou fios de metal de alta temperatura, por exemplo.

**[0045]** Muitas modificações e outras modalidades das invenções estabelecidas no presente documento virão à mente dos versados na técnica à qual estas invenções pertencem tendo o benefício dos ensinamentos apresentados nas descrições anteriores e nos desenhos associados. Portanto, será entendido que as invenções não serão limitadas às modalidades específicas divulgadas e que modificações e outras modalidades se destinam a estar incluídas dentro do escopo das reivindicações anexas. Embora termos específicos sejam empregados no presente documento, os mesmos são usados apenas em um sentido genérico e descritivo e não com o propósito de limitação.

## REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para distribuição de metal líquido para uma cavidade de molde de fundição contínua, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma estrutura de molde de fundição contínua suportando um molde definindo uma cavidade de molde de fundição contínua;

um difusor de líquido compreendendo uma ponta; e

um atuador configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde de fundição contínua e do difusor de líquido em relação ao outro, em que a ponta do difusor de líquido está submersa em uma poça de metal líquido na cavidade de molde de fundição contínua,

em que o atuador é configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde de fundição contínua e do difusor de líquido em relação ao outro em resposta a um sinal de pelo menos um sensor.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o difusor de líquido define uma passagem de líquido através da mesma e em que o pelo menos um sensor compreende um termopar disposto próximo à ponta do difusor.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o atuador compreende um atuador linear, em que um eixo é definido através da cavidade de molde ao longo da qual uma peça fundida é extraída e em que o atuador é configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde de fundição contínua e do difusor de líquido em relação ao outro ao longo do eixo.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o movimento relativo entre a estrutura de molde de fundição contínua e o difusor de líquido resulta em movimento do difusor de líquido dentro da poça de metal líquido.

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o atuador linear, responsivo ao sinal do termopar, é configurado para manter a ponta do difusor de líquido na poça de metal líquido numa posição correspondente a uma faixa de temperatura pré-definida do metal líquido.
6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o atuador, responsivo ao sinal do termopar, é configurado para manter a ponta do difusor de líquido em uma região da poça de metal líquido perto de um ponto de coerência de metal durante uma operação de fundição.
7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que comprehende ainda um controlador, em que o controlador é configurado para controlar o atuador e a posição relativa entre a estrutura de molde e o difusor de líquido, em que a posição entre a estrutura de molde de fundição contínua e o difusor de líquido é estabelecida com base, pelo menos em parte, no sinal do termopar e pelo menos uma propriedade de um líquido sendo dispensado pelo difusor.
8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma propriedade de um líquido comprehende uma temperatura liquidus do líquido sendo dispensado a uma dada pressão.
9. Método, caracterizado pelo fato de que comprehende:  
receber uma indicação de um material a ser fundido em uma cavidade de um molde de fundição contínua;  
estabelecer, a partir da indicação do tipo de material, um perfil de temperatura do tipo de material;  
dispensar o material em forma líquida através de um difusor para a cavidade do molde;

detectar uma temperatura de uma ponta do difusor dentro da cavidade do molde de fundição contínua; e

mover pelo menos um do difusor ou do molde de fundição contínua em relação ao outro responsivo à temperatura da ponta do difusor para manter a ponta do difusor dentro de uma poça do material em forma líquida com base em uma faixa de temperatura pré-definida associada ao perfil de temperatura.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

controlar um fluxo do material através do difusor em resposta a uma ou mais propriedades da poça de material.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

determinar, com base no tipo de material, uma posição inicial do difusor em relação à cavidade do molde de fundição contínua; e

mover pelo menos um do difusor ou do molde de fundição contínua em relação ao outro para a posição inicial antes de dispensar material através do difusor.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

mover pelo menos um do difusor ou do molde de fundição contínua em relação ao outro da posição inicial para uma posição secundária com base em um algoritmo associado ao tipo de material após o material ter começado a ser dispensado do difusor e a fundição estar ocorrendo de maneira constante.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

mover pelo menos um do difusor ou do molde de fundição contínua em relação ao outro da posição secundária para uma posição terciária com base no algoritmo associado ao tipo de material em resposta a uma indicação de que a fundição está terminando.

14. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o molde é um molde de fundição contínua de refrigeração direta compreendendo um bloco de partida, o método compreendendo ainda:

mover o bloco de partida em relação à cavidade de molde de fundição contínua e ao difusor.

15. Aparelho, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma estrutura;

um molde de fundição contínua fixado à estrutura e definindo uma cavidade de molde de fundição contínua, a cavidade de molde de fundição contínua definindo um eixo ao longo do qual um material fundido no molde de fundição contínua sai do molde de fundição contínua em um processo de fundição contínua;

um suporte de estrutura, em que a estrutura é fixada ao suporte de estrutura por um atuador configurado para mover a estrutura e o molde de fundição contínua em relação ao braço de suporte ao longo de um eixo paralelo ao eixo definido pela cavidade do molde de fundição contínua;

um difusor de distribuição de líquido de fundição, em que o difusor de distribuição de líquido de fundição é mantido fixo em relação ao suporte de estrutura e em que o atuador é configurado para mover o molde de fundição contínua em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição; e

um termopar fixado ao difusor de distribuição de líquido de fundição, em que o atuador move a estrutura em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição responsivo a um sinal do termopar.

16. Aparelho, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o atuador comprehende pelo menos um de uma engrenagem helicoidal, atuador linear, pistão hidráulico ou parafuso esférico.
17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que comprehende ainda um controlador, em que o controlador é configurado para fazer com que o atuador move a estrutura em relação ao difusor de distribuição de líquido de fundição responsivo ao sinal do termopar de acordo com um perfil de temperatura de um líquido de fundição dispensado do difusor de distribuição de líquido de fundição.
18. Aparelho, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que comprehende adicionalmente:
  - uma memória configurada para armazenar uma pluralidade de perfis, cada perfil incluindo um material de fundição e uma configuração de molde; e
  - um controlador configurado para mover a estrutura e o molde de fundição contínua em relação ao braço de suporte com base em um perfil selecionado entre pelo menos duas posições diferentes durante uma operação de fundição.
19. Aparelho, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que o controlador é configurado para ajustar o perfil selecionado e mudar a posição da estrutura e do molde de fundição contínua em relação ao braço de suporte em resposta a um sinal recebido do termopar.

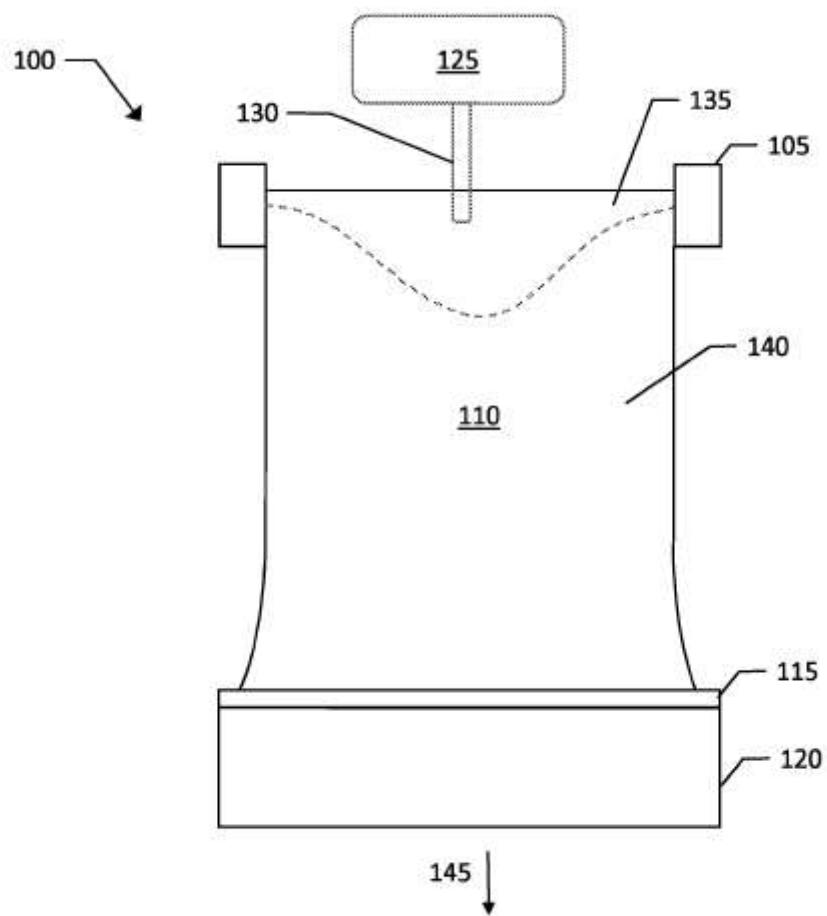


FIG. 1

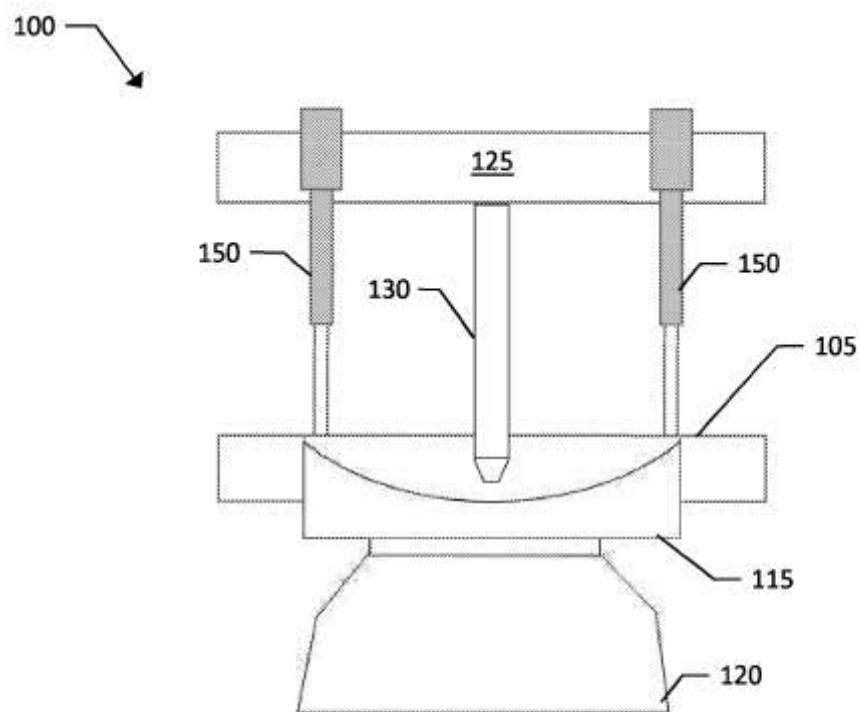


FIG. 2

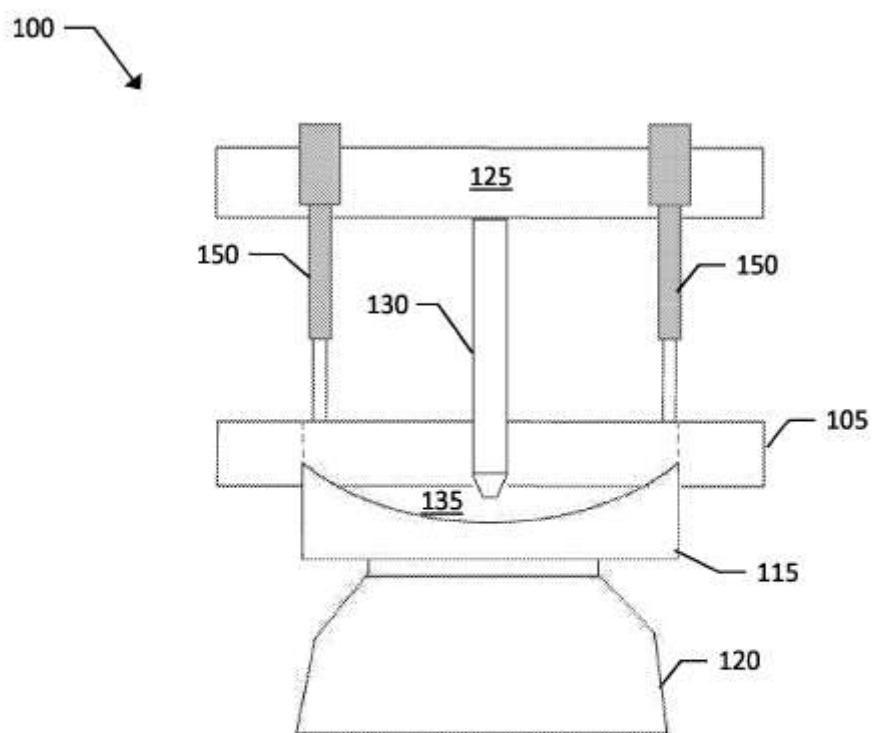


FIG. 3

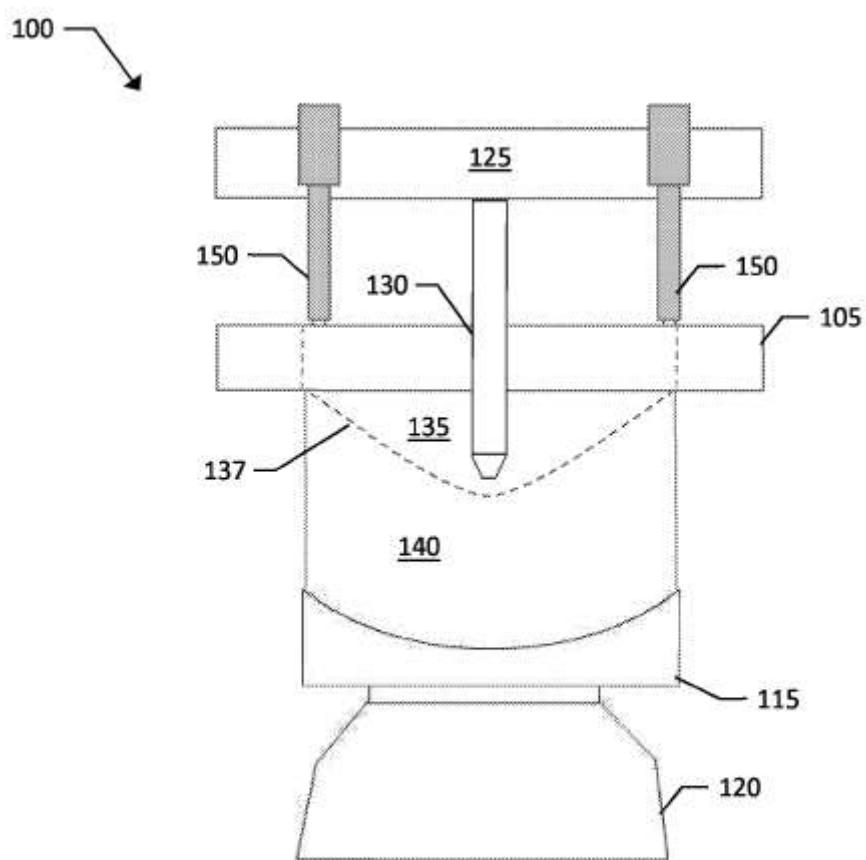


FIG. 4

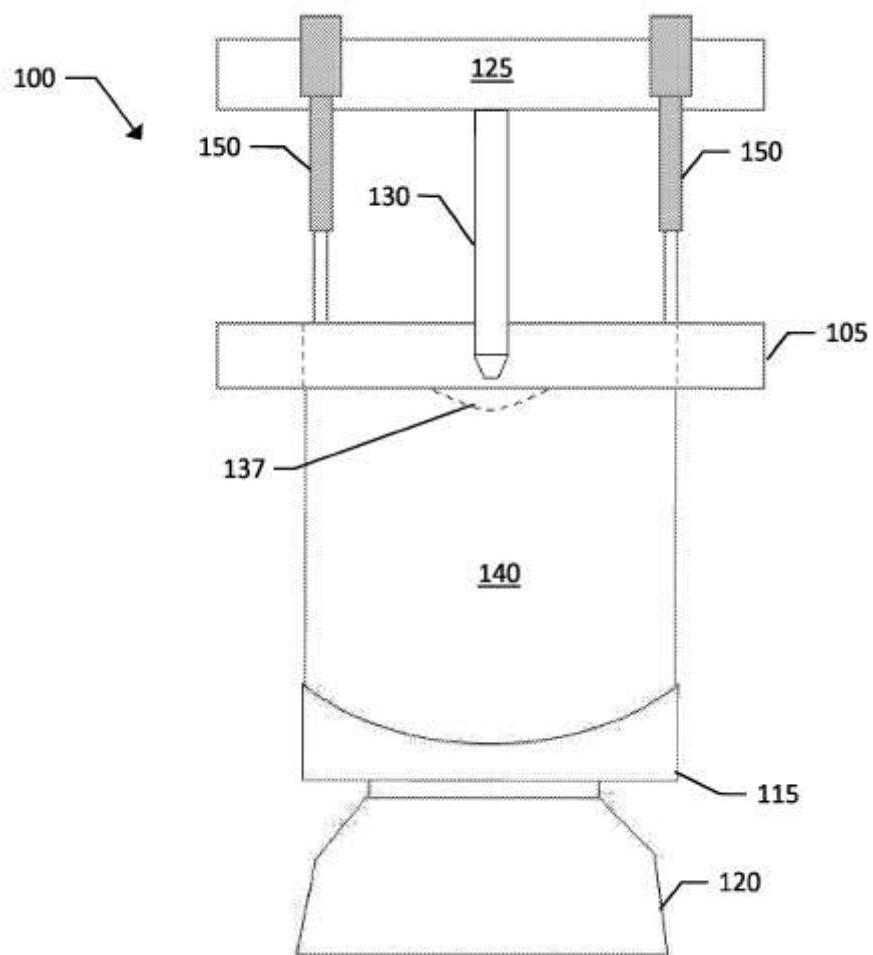
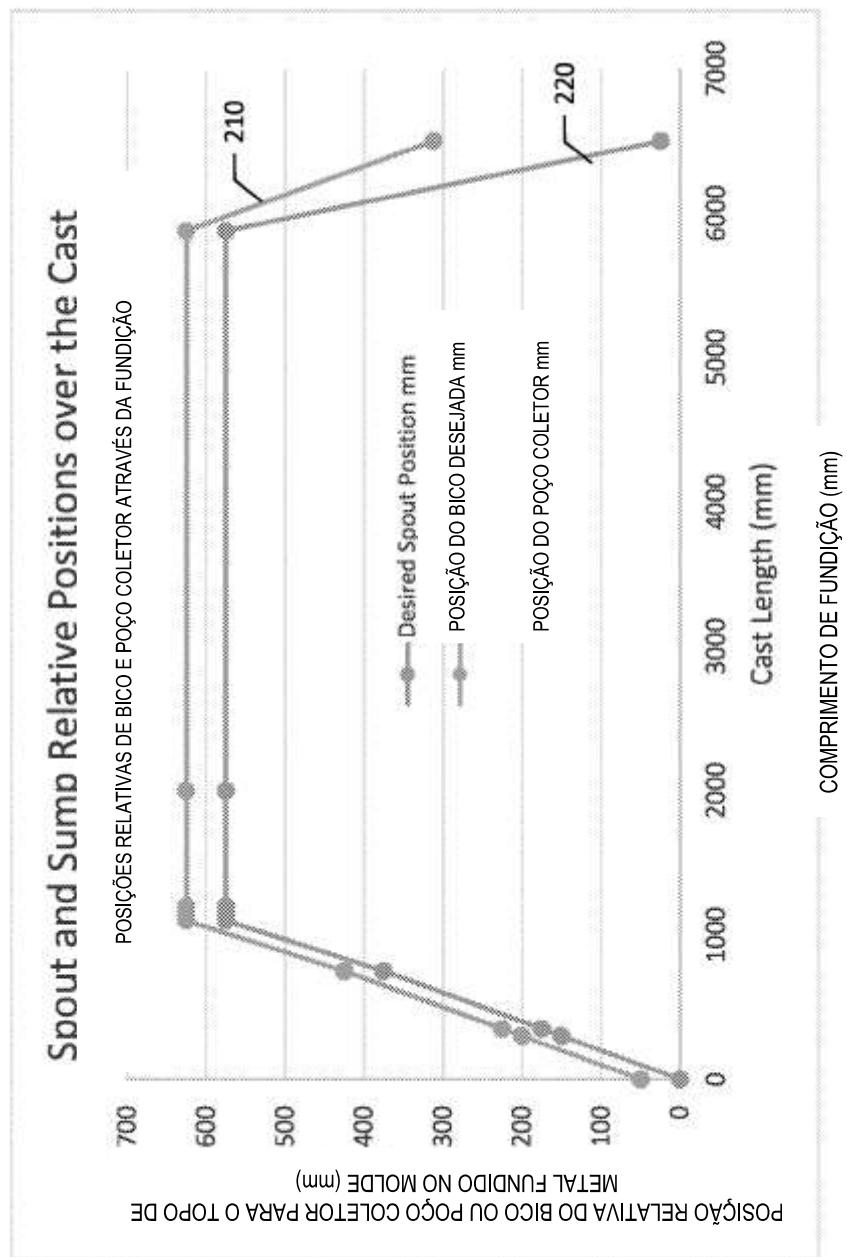
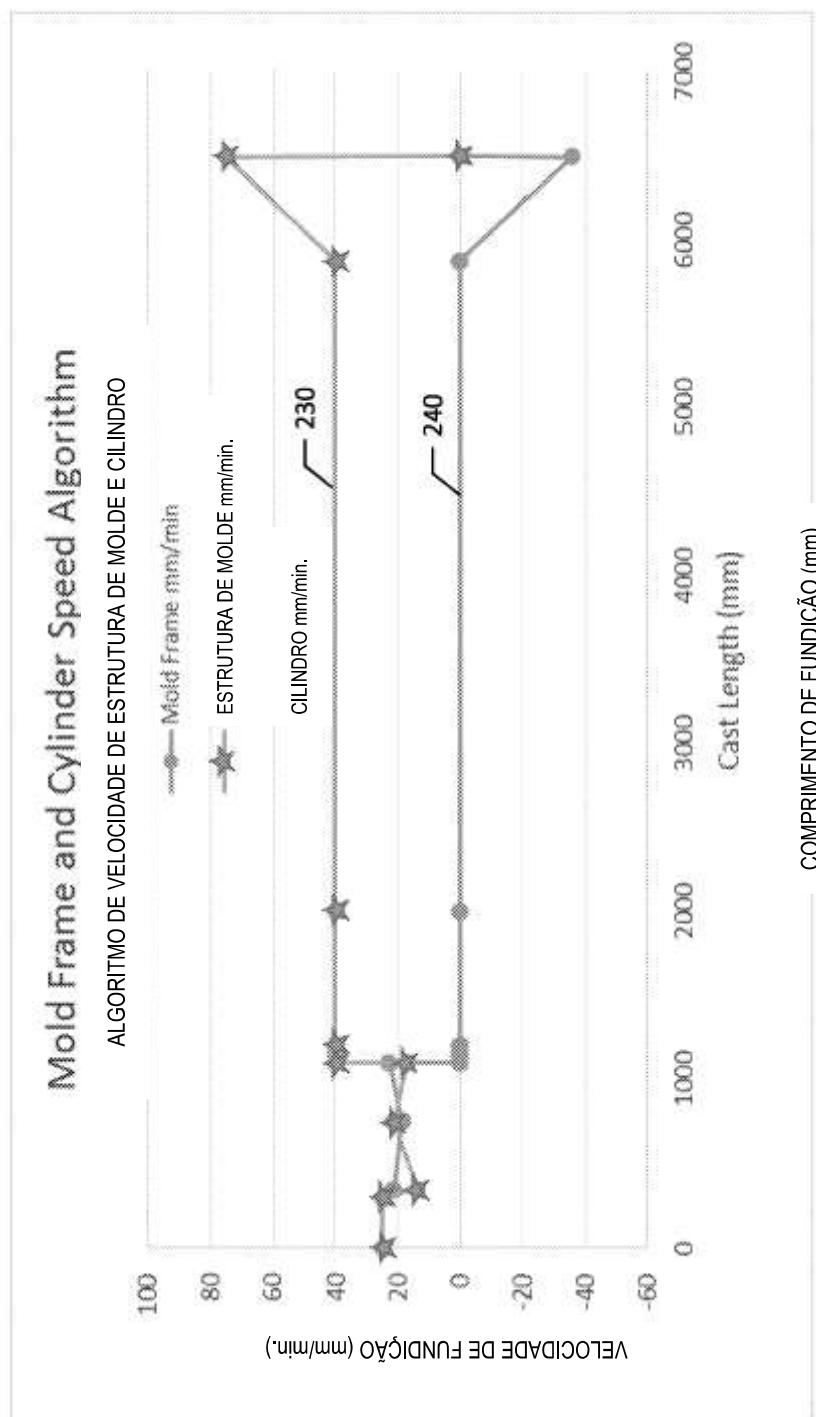


FIG. 5

**FIG. 6**

**FIG. 7**

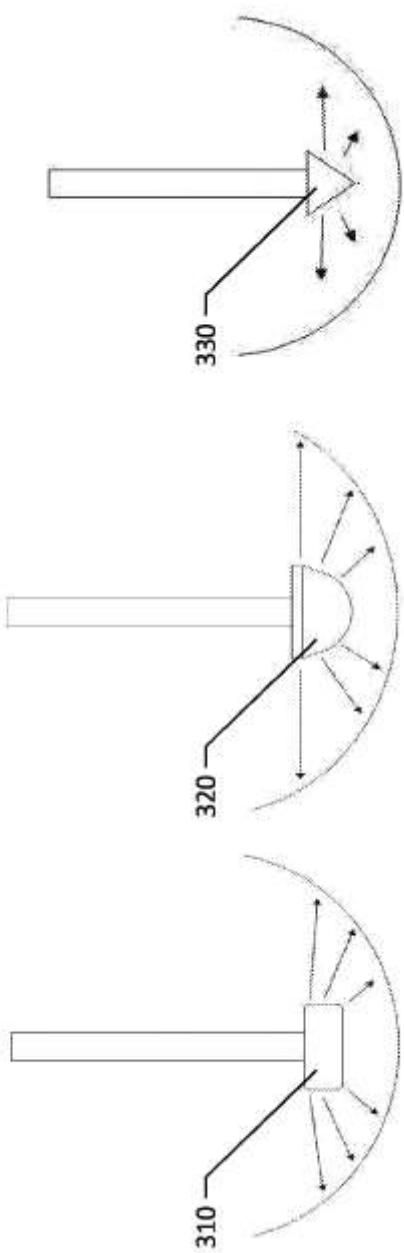


FIG. 8

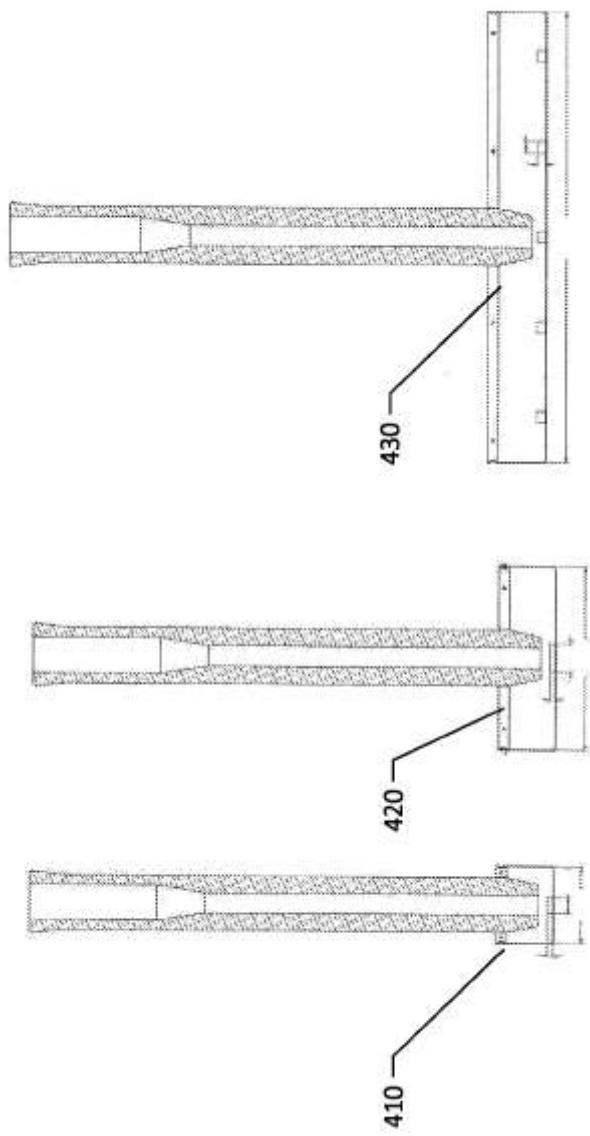


FIG. 9

**RESUMO****DIFUSOR DINAMICAMENTE POSICIONADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE  
METAL DURANTE UMA OPERAÇÃO DE FUNDIÇÃO**

São fornecidos aqui um aparelho e método para fundição contínua de metal e, mais particularmente, um aparelho e método para reduzir macrossegregação por meio de um mecanismo para controlar a posição de uma ponta ou um difusor de bico durante o processo de fundição para manter a ponta ou o difusor de bico próximo à frente de solidificação, localização da transição entre metal líquido e metal sólido na peça fundida. Um aparelho pode incluir: uma estrutura de molde suportando um molde definindo uma cavidade de molde; um difusor de líquido; e um atuador configurado para mover pelo menos uma da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro, em que o atuador é configurado para mover pelo menos um da estrutura de molde e do difusor de líquido em relação ao outro em resposta a um sinal de pelo menos um sensor.