



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

(21) BR 112019011086-0 A2



(22) Data do Depósito: 30/11/2017

(43) Data da Publicação Nacional: 07/06/2018

(54) **Título:** MÉTODO E APARELHO PARA CONTROLAR AFUNILAMENTO DE TUBO DE VIDRO

(51) **Int. Cl.:** C03B 17/04.

(30) **Prioridade Unionista:** 30/11/2016 US 62/428.005.

(71) **Depositante(es):** CORNING INCORPORATED.

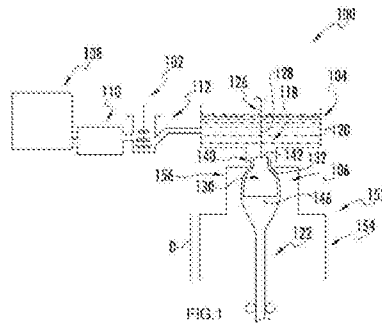
(72) **Inventor(es):** ADAM CHARLES BERKEY; ELIOT GEATHERS; DANIEL WARREN HAWTOF; DOUGLAS EDWARD MCELHENY; JIANDONG MENG; ELIAS PANIDES; GAOZHU PENG; RANDY LEE RHOADS; YURIY YURKOVSKYY; CHUNFENG ZHOU.

(86) **Pedido PCT:** PCT US2017063906 de 30/11/2017

(87) **Publicação PCT:** WO 2018/102531 de 07/06/2018

(85) **Data da Fase Nacional:** 29/05/2019

(57) **Resumo:** Trata-se de um aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricar tubulação de vidro que inclui um tanque de entrega de vidro com vidro fundido. O tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo. Uma campânula tem uma porção superior com um diâmetro externo localizado na abertura de fundo. Um aparelho de aquecimento é pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula. O aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento. Uma estrutura de mufla estendida inferior se estende para baixo a partir da porção de mufla. A estrutura de mufla estendida inferior se estende em torno de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.



**“MÉTODO E APARELHO PARA CONTROLAR AFUNILAMENTO
DE TUBO DE VIDRO”**

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] Este pedido reivindica o benefício de prioridade sob 35 U.S.C. § 120 do Pedido de Patente Provisório nº US 62/428.005, intitulado “Methods and Apparatuses for Controlling Glass Tube Taper”, depositado em 30 de novembro de 2016, cuja totalidade do mesmo está aqui incorporada a título de referência.

ANTECEDENTES

Campo

[0002] As modalidades aqui descritas se referem, em geral, a aparelhos para formação de tubulação de vidro e, mais especificamente, a métodos e aparelhos para controlar o afunilamento de tubo de vidro durante os processos de formação de tubulação de vidro.

Antecedentes da Técnica

[0003] O uso de tubulação de vidro para produzir artigos de vidro, como frascos, cartuchos e seringas, exige um alto nível de estabilidade dimensional na parede da tubulação de vidro. Por exemplo, frascos, cartuchos e seringas possuem requisitos dimensionais apertados que exigem concentricidade mínima e variação da espessura da parede. Os padrões industriais exigem que as variações da espessura da parede sejam inferiores a 5% da espessura da parede total do produto. No entanto, as variações dimensionais na tubulação de vidro a partir da qual os artigos de vidro são formados podem resultar em artigos de vidro com espessuras de parede que estão fora das tolerâncias aceitáveis. Tais variações dimensionais podem ser resultado de, por exemplo, processos ou variações nos processos de fabricação da tubulação de vidro.

[0004] Existem muitos fatores que podem afetar o diâmetro externo do tubo. Tais fatores podem ocorrer no estágio de formação de tubo e resultam em variações significativas no diâmetro externo e espessura

do tubo.

[0005] Em conformidade, existe uma necessidade de aparelhos de formação de tubulação de vidro alternativos que reduzam as variações dimensionais na tubulação de vidro formada a partir dos mesmos.

SUMÁRIO

[0006] As modalidades descritas no presente documento se referem a aparelhos de formação de tubos de vidro com estabilidade dimensional térmica aprimorada que fornece afinamento de tubo reduzido durante a produção da tubulação de vidro. Os aparelhos utilizam estruturas de mufla estendidas inferiores que controlam o fluxo de ar convectivo à medida que a tubulação de vidro flui de uma orientação vertical para uma orientação não vertical ou horizontal durante o processo de formação de vidro. O fluxo de ar do ambiente ou de convecção pode ser mais controlado nesses regimes de fluxo de ar diferentes, visto que a tubulação de vidro é formada para as dimensões desejadas.

[0007] De acordo com uma modalidade, um aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricar tubulação de vidro inclui um tanque de entrega de vidro com vidro fundido. O tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo. Uma campânula tem uma porção superior com um diâmetro externo localizado na abertura de fundo. Um aparelho de aquecimento é pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula. O aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento. Uma estrutura de mufla estendida inferior se estende para baixo a partir da porção de mufla, sendo que a estrutura de mufla estendida inferior se estende ao redor de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

[0008] De acordo com outra modalidade, é fornecido um método para a fabricação da tubulação de vidro. O método inclui fundir uma composição de vidro em um tanque de entrega de vidro e produzir vidro

fundido. O tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo com um diâmetro interno. O vidro fundido é estirado em torno de uma campânula, formando assim um tubo de vidro. A campânula tem uma porção superior com um diâmetro externo. O tubo de vidro se forma em um espaço entre o diâmetro interno da abertura de fundo e o diâmetro externo da campânula. Um aparelho de aquecimento é pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula. O aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento. O tubo de vidro é direcionado através de uma estrutura de mufla estendida inferior que se estende para baixo a partir da porção de mufla. A estrutura de mufla estendida inferior se estende em torno de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

[0009] De acordo com outra modalidade, um aparelho de aquecimento para um aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricação de tubulação de vidro inclui uma porção de aquecimento que compreende um elemento de aquecimento para aquecer vidro fundido à medida que o vidro fundido é estirado ao redor de uma campânula, formando assim um tubo de vidro. Uma porção de mufla recebe o tubo de vidro da porção de aquecimento. Uma estrutura de mufla estendida inferior se estende para baixo a partir da porção de mufla, sendo que a estrutura de mufla estendida inferior se estende ao redor de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

[0010] Recursos e vantagens adicionais dos aparelhos formadores de tubulação de vidro com estabilidade dimensional térmica aprimorada descritos no presente documento serão apresentados na descrição detalhada a seguir e, em parte, serão prontamente aparentes aos indivíduos versados na técnica a partir dessa descrição ou reconhecidos pela prática das modalidades descritas no presente documento, incluindo a descrição detalhada a seguir, as reivindicações, bem como os desenhos anexos.

[0011] Deve ser entendido que tanto a descrição geral

supracitada quanto a descrição detalhada a seguir descrevem várias modalidades e pretendem fornecer uma visão geral ou estrutura para entender a natureza e o caráter do objeto reivindicado. Os desenhos anexos são incluídos para fornecer uma compreensão adicional das várias modalidades, e são incorporados e constituem uma parte deste relatório descritivo. Os desenhos ilustram as várias modalidades aqui descritas, e juntamente com a descrição servem para explicar os princípios e operações do objeto reivindicado.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0012] A Figura 1 é um diagrama esquemático de um aparelho de fabricação de tubulação de vidro com um aparelho de aquecimento de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0013] A Figura 1A é um diagrama esquemático de uma região de campânula mostrada na Figura 1 que ilustra uma vista ampliada de uma campânula dentro de uma abertura de fundo de um tanque de entrega de vidro de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0014] A Figura 2A ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0015] A Figura 2B ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma porção de mufla estendida inferior que se estende para baixo abaixo da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0016] A Figura 2C ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma porção de mufla estendida inferior que se estende para baixo abaixo da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente

documento;

[0017] A Figura 3 é uma plotagem de variação de temperatura versus local da altura de estiramento X para cada dentre a Figura 2A, Figura 2B e Figura 2C;

[0018] A Figura 4A ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e porção de mufla estendida inferior com aproximadamente o mesmo diâmetro que a porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0019] A Figura 4B ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma porção de mufla estendida inferior que tem um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0020] A Figura 4C ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma porção de mufla estendida inferior que tem um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0021] A Figura 4D ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma porção de mufla estendida inferior que tem um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0022] A Figura 5 ilustra uma modalidade de uma estrutura de mufla multilateral estendida inferior de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0023] A Figura 6 ilustra um diagrama esquemático de outro aparelho de fabricação de tubulação de vidro com um aparelho de aquecimento e estrutura de mufla estendida inferior de acordo com uma ou

mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0024] A Figura 7 ilustra uma vista em corte da estrutura de mufla estendida inferior ao longo da linha 7-7 da Figura 6;

[0025] A Figura 8A ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0026] A Figura 8B ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma cobertura de fundo de mufla que tem uma abertura com um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0027] A Figura 8C ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma cobertura de fundo de mufla que tem uma abertura com um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0028] A Figura 8D ilustra uma modalidade de um aparelho de aquecimento incluindo uma porção de mufla e uma cobertura de fundo de mufla que tem uma abertura com um diâmetro menor que um diâmetro da porção de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0029] A Figura 9 ilustra uma plotagem de afunilamento de tubo de vidro médio versus vão entre a tubulação de vidro e o perímetro de uma abertura de uma cobertura de fundo de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0030] A Figura 10 é uma vista em perspectiva de fundo de um aparelho de aquecimento incluindo uma cobertura de fundo de mufla de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0031] A Figura 11 é uma vista de fundo de uma

cobertura de fundo de mufla em formato retangular de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0032] A Figura 12 é uma perspectiva lateral de um aparelho de aquecimento incluindo cobertura de fundo de mufla e uma estrutura de mufla estendida inferior de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0033] A Figura 13 é uma perspectiva lateral de um aparelho de aquecimento incluindo cobertura de fundo de mufla e uma estrutura de mufla estendida inferior com uma placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0034] A Figura 14 é uma vista em corte lateral do aparelho de aquecimento da Figura 13;

[0035] A Figura 15 é uma vista em perspectiva lateral de um aparelho de aquecimento incluindo estruturas de mufla estendidas inferiores e placas de cobertura de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento;

[0036] A Figura 16 é uma vista em corte lateral do aparelho de aquecimento da Figura 15 incluindo as estruturas de mufla estendidas inferiores e placas de cobertura; e

[0037] A Figura 17 é uma plotagem de diâmetro externo de tubulação de vidro ao longo do tempo, de acordo com uma ou mais modalidades mostradas e descritas no presente documento.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0038] Será feita agora referência em detalhes a vários aparelhos e métodos para formação de tubulação de vidro descritos no presente documento, sendo que exemplos desses são ilustrados nos desenhos anexos. Toda vez que possível, os mesmos números de referência serão usados em todos os desenhos para se referir às partes iguais ou semelhantes.

[0039] As modalidades descritas no presente documento

se referem a métodos e aparelhos para controlar o afinamento de tubo de vidro durante processos de formação de vidro. Os aparelhos utilizam uma campânula que é posicionada abaixo de um tanque de vidro fundido a fim de formar vidro fundido na tubulação de vidro, direcionando o vidro fundido ao longo da parte externa da campânula e aplicando um gás pressurizado, como ar, pela campânula até uma parte interna do vidro fundido para formar um diâmetro interno. A campânula também é posicionada pelo menos parcialmente dentro de um aparelho de aquecimento que aplica calor ao vidro fundido, à medida que o vidro fundido passa verticalmente pelo mesmo. O aparelho de aquecimento inclui uma porção de mufla que isola pelo menos parcialmente o vidro que se move da campânula do ambiente durante a formação de tubo de vidro. A estrutura de mufla estendida inferior pode ser fornecida adjacente à porção de mufla que cerca pelo menos parcialmente o tubo de vidro, à medida que se move a partir da porção de mufla do aparelho de aquecimento. A estrutura de mufla estendida inferior pode continuar para pelo menos isolar parcialmente o tubo de vidro do ambiente na mesma e controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma. A estrutura de mufla estendida inferior pode se estender ao longo e ao redor da tubulação de vidro, à medida que a tubulação de vidro transita de uma orientação vertical para uma orientação não vertical ou horizontal.

[0040] Os termos direcionais conforme usados no presente documento - por exemplo, para cima, para baixo, para a direita, para a esquerda, para frente, para trás, topo, fundo, vertical, horizontal - são feitos somente com referência às figuras como desenhadas e não pretendem implicar orientação absoluta a menos que expressamente declarado.

[0041] A menos que expressamente declarado de outra forma, não é de modo algum pretendido que qualquer método estabelecido no presente documento seja interpretado como exigindo que suas etapas sejam executadas em uma ordem específica, nem que sejam necessárias orientações específicas de aparelhos. Da mesma forma, quando uma reivindicação de

método não recita, de fato, uma ordem a ser seguida por suas etapas, ou que qualquer reivindicação de aparelho não recita uma ordem ou orientação a componentes individuais, ou não é especificamente declarada nas reivindicações ou descrição que a as etapas devem ser limitadas a uma ordem específica, ou que uma ordem específica ou orientação aos componentes de um aparelho não é recitada, não é de modo algum pretendido que uma ordem ou orientação seja inferida, sob qualquer aspecto. Isso vale para qualquer base não expressa possível para interpretação, incluindo: questões de lógica com relação à disposição das etapas, fluxo operacional, ordem dos componentes ou orientação dos componentes; significado simples derivado de organização gramatical ou pontuação, e; o número ou tipo de modalidades descritas no relatório descritivo.

[0042] Conforme usado no presente documento, as formas singulares “um”, “uma” e “o/a” incluem seus referentes plurais, exceto se o contexto expressar claramente o contrário. Assim, por exemplo, a referência ao componente “um” inclui aspectos que possuem dois ou mais componentes, a menos que o contexto indique claramente o contrário.

[0043] Sem desejar se ater à teoria, existem muitos fatores que podem impactar o diâmetro externo de tubulação de vidro durante o processo de formação. Um processo para a fabricação de tubulação de vidro é o processo Vello. O processo Vello forma um tubo de vidro, através de fluxo de vidro fundido, usando a gravidade, ao redor de um molde (também referido como uma “cabeça de campânula” ou “campânula”) de um diâmetro conhecido. Alguns fatores que podem afetar o diâmetro externo da tubulação de vidro incluem falta de homogeneidade no tanque, variação de pressão de ar na campânula, convecção natural e flutuação da temperatura ambiente. A convecção natural, por exemplo, pode induzir a instabilidade de fluxo de gás ao redor da tubulação durante o estágio de formação. Essa instabilidade de fluxo induzido pode resultar na flutuação da temperatura vítrea, que pode causar variações no diâmetro externo e espessura do diâmetro do tubo aprimorado ao

longo do comprimento da tubulação. Tal instabilidade de fluxo de ar pode ser particularmente aguda quando o tubo de vidro flui de um modo não axissimétrico de uma orientação vertical para uma orientação mais horizontal durante o processo de formação de vidro.

[0044] Como a temperatura do ar varia em torno da tubulação de vidro no estado de formação dentro da porção da mufla, a transferência de calor da tubulação de vidro para o ar varia, o que pode causar flutuações na temperatura do vidro. Em geral, a temperatura vítrea pode flutuar mais rapidamente a jusante da campânula e pode atingir o pico no meio da porção de mufla onde ocorre a formação ativo do tubo de vidro. Os efeitos da variação da viscosidade devido a flutuações de temperatura na dimensão do tubo de vidro (diâmetro externo) podem ser estimados. Para o fluxo da tubulação de extensão, a força de tração pode ser dada como

$$F = 3\mu(T) \frac{dU}{dZ} A,$$

onde F é a força de tração ao longo da tubulação de vidro, $\mu(T)$ é a viscosidade, dU/dZ é a taxa de atenuação e A é a área em seção transversal. A força de tração F é mantida constante durante o processo de formação do tubo. Quando a viscosidade vítrea flutua, a taxa de atenuação de tubo dU/dZ varia se a área em seção transversal A não for alterada no local da perturbação. Como resultado, o diâmetro e espessura da tubulação de vidro variam a jusante. Diferenças no diâmetro externo do tubo ao longo de um comprimento do tubo de vidro podem ser referidas como afunilamento.

[0045] A definição da indústria para calcular o afunilamento é o máximo do diâmetro externo máximo do corte transversal menos o mínimo do diâmetro externo máximo transversal ao longo de um comprimento do tubo de vidro (por exemplo, 1,6 m), de tal modo que as porções de tubo redondo não sejam consideradas. Em outras palavras, para um tubo redondo, o afunilamento é o diâmetro externo máximo menos o diâmetro externo mínimo ao longo de um comprimento predeterminado. A

estrutura de mufla estendida inferior fornece uma barreira entre o tubo de vidro e o ambiente e é dimensionada e configurada para controlar o fluxo de ar convectivo dentro da mesma, o que pode reduzir o afinilamento ao longo dos comprimentos do tubo de vidro, à medida que o tubo de vidro está sendo formado.

[0046] Referindo-se à Figura 1, um aparelho de fabricação de tubo de vidro exemplificador 100 para a formação de tubulação de vidro em um modo contínuo é esquematicamente descrito. O sistema de fabricação de tubo de vidro 100 inclui geralmente um sistema de entrega de tubo de vidro 102, um vaso de entrega 104 para receber vidro fundido e uma campânula 106. O sistema de entrega de tubo de vidro 102 inclui geralmente um vaso de fundição 108, um vaso de refinamento 110 e um vaso de mistura 112 acoplados ao vaso de entrega 104 do aparelho de fabricação de tubo de vidro 100. O vaso de entrega 104 pode incluir elementos de aquecimento (não mostrados) para aquecer e/ou manter o vidro em um estado fundido. O vaso de entrega 104 também pode conter misturar componentes para homogeneizar adicionalmente o vidro fundido no vaso de entrega 104. Em algumas modalidades, o vaso de entrega 104 pode resfriar e condicionar o vidro fundido a fim de aumentar a viscosidade do vidro antes de fornecer o vidro à campânula 106.

[0047] O vaso de entrega 104 pode incluir uma abertura 118 no fundo do mesmo. Em várias modalidades, a abertura 118 é circular, mas pode ser oval, elíptica ou poligonal, e é dimensionada para permitir que o vidro fundido 120 flua através da abertura 118 no vaso de entrega 104. O vidro fundido 120 pode fluir sobre a campânula 106 diretamente a partir da abertura 118 no vaso de entrega 104 para formar a tubulação de vidro 122.

[0048] Um suporte de campânula 126 é conectado à campânula 106 que é parte do aparelho de fabricação de tubo de vidro. O suporte de campânula 126 pode ter um canal de suprimento de fluido 128, tal como um cano, conduto ou dispositivo de entrega de fluido semelhante, que é

acoplado de maneira fluida a uma câmara interna 130 da campânula 106. O canal de suprimento de fluido 128 pode ser operado para entregar um suprimento de fluido pressurizado à câmara interna 130. Em algumas modalidades, o fluido pressurizado pode ser um gás pressurizado, especificamente ar ou um gás pressurizado inerte, incluindo, sem limitação, nitrogênio, hélio, argônio, criptônio, xenônio e semelhantes. O gás suporta o interior da tubulação de vidro 122 após fluir pela campânula 106 e não mais entra em contato com uma parede lateral 132 da campânula 106 como esquematicamente descrito na Figura 1. O aparelho de fabricação de tubo de vidro 100 inclui o vaso de entrega de vidro 104 para fornecer vidro fundido à campânula 106.

[0049] A campânula 106 pode ter uma porção de topo 140 com uma superfície de topo 142 e a parede lateral 132. A parede lateral 132 e uma borda de fundo 146 definem a câmara interna 130 da campânula 106. A superfície de topo 142 da porção de topo 140 tem um diâmetro externo 148 (Figura 1A). A campânula 106 pode ter uma variedade de formatos incluindo, sem limitação, um formato substancialmente cônico ou, alternativamente, um formato substancialmente parabólico. Em conformidade, deve ser entendido que a campânula 106 pode ser de qualquer formato e/ou configuração adequado para expandir e afinar um tubo de vidro aquecido (isto é, vidro fundido) estirado sobre a superfície da campânula. O material do qual a campânula 106 é formada é estável a temperaturas elevadas, de modo que a campânula não contamine o vidro aquecido estirado sobre a campânula 106. Exemplos de materiais de campânula adequados incluem, mas não se limitam a metais refratários e ligas dos mesmos, metais do grupo da platina, aços inoxidáveis, níquel, ligas à base de níquel e cerâmicas, como, por exemplo, zircônio ($ZrSiO_4$) e alumina (Al_2O_3).

[0050] Referindo-se brevemente à Figura 1A, o vaso de entrega de vidro 104 tem a abertura de fundo 118 com uma porção de fundo 150 que tem um diâmetro interno 153. A porção de fundo 150 tem uma borda

de fundo. O diâmetro externo 148 da porção de topo 140 pode ser menor que o diâmetro interno 153 da abertura de fundo 118. Uma folga CR entre a porção de topo 140 e a abertura de fundo 118 comanda, pelo menos em parte, a espessura da parede do tubo de vidro estirado sobre a campânula 106. Além disso, e visto que a campânula 106 é conformada em campânula ou parabolicamente conformada, o diâmetro externo da campânula 106 aumenta ao longo do comprimento da campânula 106 em uma direção para baixo. A posição da porção de topo 140 da campânula 106 em relação à abertura de fundo 118 pode ser ajustada para fornecer um fluxo uniforme do vidro fundido a partir do vaso de entrega de vidro 104 através da abertura de fundo 118 e ao longo da campânula 106.

[0051] Referindo-se novamente à Figura 1, um aparelho de aquecimento 152 (por exemplo, um forno) com elementos de aquecimento pode ser disposto ao redor da campânula 106. Em uma modalidade, o aparelho de aquecimento 152 pode incluir um aparelho de aquecimento infravermelho. No entanto, deve ser entendido que outros tipos de unidades de aquecimento podem ser usados incluindo, sem limitação, infravermelhos concentrados, resistivos, indutivos e/ou combinações dos mesmos. Ainda, deve ser entendido que, embora a Figura 1 descreva o aparelho de aquecimento como estando disposto ao redor da campânula 106, o aparelho de aquecimento 152 pode ser integrado à campânula 106, como quando o aparelho de aquecimento 152 é um aparelho de aquecimento resistivo.

[0052] Uma estrutura de mufla estendida inferior 154 se estende para baixo a partir do aparelho de aquecimento 152. Na modalidade ilustrada, a estrutura de mufla estendida inferior 154 é uma porção de mufla que é parte do aparelho de aquecimento 152. A estrutura de mufla estendida inferior 154 pode se estender sobre a tubulação de vidro 122 em todos os lados, 360 graus ao redor de uma periferia da tubulação de vidro 122 e para baixo a partir de uma porção de aquecimento 156 do aparelho de aquecimento 152 que contém os elementos de aquecimento. A estrutura de mufla estendida

inferior 154 pode se estender abaixo da porção de aquecimento 156 a uma distância predeterminada D (por exemplo, cerca de 80 mm ou mais, como cerca de 100 mm ou mais, como cerca de 200 mm ou mais, como cerca de 300 mm ou mais, como cerca de 400 mm ou mais, como cerca de 500 mm ou mais, como cerca de 600 mm ou mais, como cerca de 700 mm ou mais, como cerca de 800 mm ou mais, como entre cerca de 100 mm e cerca de 1,5 m, como entre cerca de 500 mm e cerca de 1 m). Em algumas modalidades, a estrutura de mufla estendida inferior pode ser conectada à porção de mufla, como será descrito em maiores detalhes abaixo.

[0053] Exemplo

[0054] Um modelo foi construído para testar o uso de uma estrutura de mufla estendida inferior 154 no afinamento da tubulação de vidro. O modelo foi baseado no software de dinâmica de fluidos computacional comercialmente disponível (CFD) ANSYS Fluent da ANSYS, Inc. O modelo é um modelo axissimétrico 2D que considera o fluxo do tubo de vidro na presença de convecção natural, transferência de calor radiativo e gravidade. O domínio de modelo é ilustrado pela Figura 2A. A altura de estiramento foi presumida como sendo de 1,6 m. Os campos de geometria e velocidade do domínio de vidro foram fixados e obtidos de um modelo COMSOL 2D da COMSOL Inc. O modelo não considerou a formação de vidro e focou na captura das interações térmicas e dos padrões de fluxo resultantes dentro da estrutura de mufla estendida inferior.

[0055] A temperatura de entrada de vidro na porção de mufla estendida inferior 154 foi especificada como sendo de 1.220 °C e a saída da porção de mufla estendida inferior 154 foi presumida como sendo adiabática. A superfície interna da tubulação de vidro também foi presumida como sendo adiabática. A transferência de calor da superfície externa da tubulação de vidro varia em resposta a interações térmicas e foi calculada pelo modelo. Condições limítrofes isotérmicas (temperatura constante) foram prescritas nas paredes da porção de mufla estendida inferior 154 para refletir

as medições reais de temperatura.

[0056] As Figuras 2A a C ilustram o efeito que o comprimento da estrutura de mufla estendida inferior 154 pode ter no fluxo de ar convectivo. Para casos (A) e (B) que têm porções de mufla relativamente pequenas 154a e 154b, instabilidades significativas em seus padrões de fluxo de ar são vistas nas porções de mufla 154a e 154b. Esses padrões de fluxo de ar instáveis são caracterizados pelas formações caóticas e aleatórias em vórtices toroidais, que resultam em falsas variações de temperatura na superfície da tubulação de vidro e podem afetar de modo adverso a qualidade do tubo. Esse padrão de fluxo de ar convectivo é semelhante à convecção de Rayleigh-Benard, onde existe uma dimensão de camada crítica para a qual o padrão de convecção se torna incondicionalmente instável. Uma diferença chave aqui, no entanto, é o efeito da radiação que normalmente não é considerada na convecção de Rayleigh-Benard e pode ter um efeito significativo na estabilidade do regime de fluxo de ar. O caso (C) que tem uma porção de mufla 154c relativamente longa tem um padrão de fluxo de ar mais estável em comparação com os casos (A) e (B) que proporcionam flutuações de temperatura mais baixas na superfície da tubulação de vidro, à medida que esfria e percorre a porção de mufla 154c.

[0057] Referindo à Figura 3, uma plotagem 160 da variação de temperatura versus local de altura de estiramento X é ilustrada para cada um dos casos (A), (B) e (C) das Figuras 2A a C. O local X é a distância da campânula, onde a temperatura vítrea é mantida constante e não muda ao longo do tempo. Essa variação de temperatura vítrea em locais X é medida ao longo do tempo. Como pode ser visto, a porção de mufla mais longa 154c tem um perfil de temperatura vítrea mais estável ao longo das distâncias X a partir da campânula (menos que 0,1 °C) em relação àquela das porções de mufla mais curtas 154a e 154b. De fato, a porção de mufla mais longa 154c tem uma variação de temperatura menor que cerca de 0,5 °C, como menos que 0,1 °C, enquanto que a porção de mufla mais curta 154a tem uma variação

de temperatura de mais de 0,5 °C.

[0058] As Figuras 4A a D ilustram o efeito que a largura ou diâmetro da estrutura de mufla estendida inferior pode ter no fluxo de ar convectivo. Para as Figuras 4A e 4B que têm estruturas de mufla estendidas inferiores relativamente largas 354a e 354b (por exemplo, 45,72 cm (18 polegadas) e 25,4 cm (10 polegadas) em diâmetro, respectivamente), tende a haver algum fluxo toroidal. Por exemplo, a Figura 4A mostra o fluxo toroidal abaixo da campânula, próximo a um início da formação de tubulação de vidro, enquanto a Figura 4B mostra fluxo toroidal dentro da estrutura de mufla estendida inferior 354b. Em qualquer um dos casos, a turbulência aumentada pode causar variações de temperatura ao longo dos comprimentos da tubulação de vidro. Compara-se as Figuras 4C e 4D, que ilustram estruturas de controle de fluxo relativamente estreito 354c e 354d (por exemplo, 12,7 cm (5 polegadas) e 5,08 cm (2 polegadas), respectivamente). As estruturas de mufla estendidas inferiores 354c e 354d tendem a produzir menos fluxo toroidal comparado às estruturas de mufla estendidas inferiores 354a e 354b, devido às suas dimensões estreitas e alongadas que controlam o fluxo de ar convectivo dentro das estruturas de controle de fluxo 354c e 354d, que podem reduzir a flutuação de temperatura ao longo de comprimentos da tubulação de vidro.

[0059] Referindo-se à Figura 5, uma estrutura de mufla estendida inferior exemplificadora 164 é ilustrada que confina uma porção de um comprimento de tubulação de vidro que flui de um aparelho de aquecimento. A estrutura de mufla estendida inferior 164 é geralmente uma estrutura de cinco lados que tem uma parede de topo 166 e paredes de quatro lados 168, 170, 172 e 174 que cercam a tubulação de vidro em todos os lados, à medida que a tubulação de vidro sai do aparelho de aquecimento. Em algumas modalidades, a estrutura de mufla estendida inferior 164 pode ser conectada à parede de topo 166 a uma porção de mufla do aparelho de aquecimento e localizada abaixo no mesmo para estender o confinamento fornecido apenas pela porção de mufla. Uma parede lateral 168 pode ser

inclinada para acomodar o fornecimento de uma catenária para a tubulação de vidro para alterar a orientação da tubulação de vidro da vertical para horizontal e também para isolar a porção a montante da tubulação de vidro de perturbações geradas durante o processo de estiramento ou outros processos a jusante, como corte de tubo de vidro. A estrutura de mufla estendida inferior 164 pode ser formada por qualquer material de alta temperatura adequada ou combinação de materiais, como metais, ligas de metal, cerâmicas, vidro, etc.

[0060] Referindo-se à Figura 6, outra modalidade de um aparelho de fabricação de tubo de vidro 200 inclui muitos dos componentes descritos acima com referência à Figura 1 incluindo sistema de entrega de tubo de vidro 102, vaso de entrega 104, campânula 106 e aparelho de aquecimento 152 que inclui porção de mufla 154. Nessa modalidade, uma estrutura de mufla estendida inferior 202 está na forma de um confinamento flexível (por exemplo, um cilindro ou tubo) que é conectado à porção de mufla 154 do aparelho de aquecimento 152. A estrutura de mufla estendida inferior 202 por ser um dispositivo termicamente projetado (TED) que é formado de qualquer material adequado, como metais (por exemplo, aço, ligas de alumínio), tecidos, como tecidos de alta temperatura de Kevlar, alumina, sílica e fibras de cerâmica.

[0061] Conforme acima, a estrutura de mufla estendida inferior 202 se estende para baixo a partir do aparelho de aquecimento 152. A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser conectada de maneira vedante à porção de mufla 154 do aparelho de aquecimento 152. Uma vedação 205 pode ser formada entre a estrutura de mufla estendida inferior 202 e o aparelho de aquecimento 152 para inibir a entrada de ar entre os mesmos. A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode se estender em torno da tubulação de vidro 122 em todos os lados, 360 graus ao redor da tubulação de vidro 122 e para baixo a partir da porção de mufla 154. A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode se estender abaixo da porção de aquecimento 156 e ao longo de um comprimento da tubulação de vidro 122 de um comprimento predeterminado L. Com a flexibilidade da estrutura de mufla estendida inferior

202, o formato da estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser ajustado para seguir e confinar a trajetória de fluxo desejada da tubulação de vidro 122. Conforme pode ser visto pela Figura 6, a tubulação de vidro 122 fica suspensa sobre uma catenária 204 e é estirada sobre um ou mais cilindros de tração 206, à medida que a tubulação de vidro 122 se desloca de uma orientação substancialmente vertical até uma orientação substancialmente horizontal, conforme a tubulação de vidro 122 percorre ao longo da trajetória de fluxo.

[0062] A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser qualquer formato em corte transversal adequado, como formato circular ou outro formato arredondado adequado, como oval ou outros formatos adequados como triangular ou retangular que confinam a tubulação de vidro 122 em todos os lados. O comprimento (ou a distância D) da estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser selecionado com base em vários fatores, como comprimento da tubulação de vidro quando cortada ou outro fator adequado. Como um exemplo, o comprimento da estrutura de mufla estendida inferior pode ser entre cerca de 100 mm a cerca de 1,5 m, como entre cerca de 0,5 m a cerca de 1 m de comprimento.

[0063] Com referência à Figura 7, é ilustrada uma vista em corte transversal da estrutura de mufla estendida inferior 202 com a tubulação de vidro 122. Como pode ser visto, a tubulação de vidro 122 percorre através da abertura oca 210 através da estrutura de mufla estendida inferior 202. A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode usar qualquer número de estruturas de suporte 212 que podem ser usadas para suportar a estrutura de mufla estendida inferior 202 em um formato e local desejados. Por exemplo, a estrutura de suporte 212 pode incluir um suporte com formato de arco ou um suporte de outro modo arredondado 212 que pode suportar a estrutura de mufla estendida inferior 202 em um formato em corte transversal arredondado separado da tubulação de vidro 122. Os cilindros 206 também podem estar situados na estrutura de mufla estendida inferior 202 e ser usados para estirar a tubulação de vidro 122 através da estrutura de mufla estendida inferior 202 e

ao longo da trajetória de fluxo.

[0064] A estrutura de mufla estendida inferior 202 tem uma largura W e uma altura H que, no caso de um corte transversal substancialmente circular, são um diâmetro. Em algumas modalidades, a largura W e/ou a altura H pode ser substancialmente igual à largura e/ou à altura da porção de mufla 154. Uma distância máxima D_r da tubulação de vidro 122 até a estrutura de mufla estendida inferior 202 é menor que a largura W e/ou a altura H da estrutura de mufla estendida inferior 202. Como exemplos, a largura W e/ou a altura H da estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser quase igual a um diâmetro de saída D_m da porção de mufla 154 (Figura 6). Por exemplo, o diâmetro de saída D_m e a largura W e/ou a altura H podem ser cerca de 45,7 cm (18 pol) e a distância máxima D_r pode ser cerca de 38,1 (15 pol). Em uma outra modalidade, a largura W e/ou a altura H pode ser entre cerca de 25,4 cm (10 pol) e o diâmetro de saída D_m cerca de 45,7 cm (18 pol) e a distância D_r pode ser cerca de 17,7 cm (7 pol). Em uma outra modalidade, a largura W e/ou a altura H pode ser entre cerca de 12,7 cm (5 pol) e cerca de 25,4 cm (10 pol) e D_r pode ser cerca de 5 cm (2 pol).

[0065] A estrutura de mufla estendida inferior 202 pode incluir inúmeros recursos que podem facilitar a remoção do tubo de vidro da estrutura de mufla estendida inferior 202, se necessário, e a formação de tubulação de vidro. Por exemplo, novamente com referência à Figura 6, a estrutura de mufla estendida inferior 202 pode incluir uma porção operável 222, como uma abertura refechável que é formada em uma parede externa 220 e pode ser fechada com o uso de qualquer plugue ou fecho refechável adequado. Em algumas modalidades, a estrutura de mufla estendida inferior 202 pode incluir uma vedação liberável que é conectada à porção de mufla 154, como uma vedação acionada por mola e/ou magnética. Como um outro exemplo, a parede externa 220 pode incluir uma seção de queima ou porção de outro modo separável que pode ser prontamente removida (por exemplo, química, mecânica, termicamente, etc.) sob certas condições. O fornecimento

de acesso interno de fora da estrutura de mufla estendida inferior 202 pode facilitar a remoção da tubulação de vidro em caso de quebra de linha ou outro evento em que a remoção de tubulação de vidro ou acesso geral ao interior da estrutura de mufla estendida inferior 202 é desejado.

[0066] A estabilização de correntes de ar de convecção na estrutura de mufla estendida inferior 202 pode aumentar a temperatura do ar e nisso comparado a não estabilização de correntes de ar de convecção com o uso da estrutura de mufla estendida inferior 202, que pode impactar atributos de tubulação de vidro. A Figura 6 também mostra uma modalidade do aparelho de fabricação de tubo de vidro 200 que inclui um sistema de resfriamento 226 que pode ser usado para resfriar a estrutura de mufla estendida inferior 202 e a abertura oca 210, removendo assim calor da tubulação de vidro 122 de maneira predeterminada. Por exemplo, o sistema de resfriamento 226 pode ser um sistema de resfriamento multifásico que tem vantagem de uma mudança de fase (de líquido para vapor), aproveitando assim o calor latente de vaporização. O sistema de resfriamento 226 pode incluir um componente evaporador 228 onde o líquido é convertido em vapor por meio da absorção de calor da estrutura de mufla estendida inferior 202, um conduto de vapor 230 que direciona o vapor para um componente condensador 232 que condensa o vapor de volta para um líquido e um conduto de líquido 234 que transporta o líquido e volta para o componente evaporador 228 para repetir o ciclo. Podem ser usados outros sistemas de resfriamento, como água de recirculação e resfriamento de ar forçado. Adicionalmente, a abertura oca 210 pode ser carregada com gases além de ar, como nitrogênio, hélio e argônio. Portas podem ser fornecidas na interface entre a estrutura de mufla estendida inferior 202 e a porção de mufla 154, em uma saída de extremidade 236 da estrutura de mufla estendida inferior 202 ou ambos. A parede externa 220 da estrutura de mufla estendida inferior 202 pode ser um modelo de peça única ou de múltiplas seções (por exemplo, uma concha).

[0067] Com referência às Figuras 8A a 8D, enquanto o

comprimento da estrutura de mufla estendida inferior pode afetar a estabilidade de fluxo de ar de convecção, uma cobertura de fundo de mufla 240 com abertura de diâmetro reduzida também pode suprimir a instabilidade de fluxo induzido de convecção natural. A Figura 8A ilustra um aparelho de aquecimento 242a com uma porção de mufla 244a com uma cobertura de fundo de mufla. Como um exemplo, uma abertura de saída 246a da porção de mufla 244a pode ser cerca de 45,7 cm (18 pol). Como pode ser visto, estão presentes vários padrões de fluxo de ar instável, que resultam em variações de temperatura falsas sobre a superfície da tubulação de vidro e podem afetar de maneira adversa a qualidade de tubo. As Figuras (B) e (C) ilustram algum aprimoramento na estabilidade de fluxo de ar de convecção através do uso de coberturas de fundo de mufla 240b e 240c que tem aberturas 246b e 246c. Por exemplo, a abertura 246b pode ser cerca de 22,8 cm (9 pol) e a abertura 246c pode ser cerca de 15,2 cm (6 pol), reduzindo assim distâncias entre a tubulação de vidro 248 e um perímetro 250b e 250c das coberturas de fundo de mufla 240b e 240c. A Figura (D) mostra a maior estabilidade do fluxo de ar de convecção e tem a menor abertura 246d. Por exemplo, a abertura 246d da cobertura de fundo de mufla 240d pode ser cerca de 7,6 cm (3 pol).

[0068] A Figura 9 mostra uma plotagem 252 de afunilamento médio de tubo de vidro versus vão entre a tubulação de vidro e o perímetro da abertura da cobertura de fundo de mufla. Como pode ser visto, a plotagem 252 ilustra um efeito não monotônico de tamanho de furo de abertura da cobertura de fundo de mufla sobre o afunilamento de diâmetro de tubo por meio do aumento de afunilamento de tubo na seção 254, diminuindo na seção 256 e, então, novamente aumentando na seção 258 até o ponto 260 com nenhuma cobertura de fundo de mufla.

[0069] Com referência à Figura 10, é ilustrada uma modalidade de uma cobertura de fundo de mufla 262 conectada a um fundo 264 de uma porção de mufla 266 de um aparelho de aquecimento 268. A cobertura de fundo de mufla 262 pode ser dotada de múltiplas seções 270 e

272, que podem ou não ser simétricas, em que cada uma inclui uma porção de uma abertura 278. O fornecimento de múltiplas seções 270 e 272 para a cobertura de fundo de mufla 262 pode facilitar a abertura e o fechamento da cobertura de fundo de mufla 262 durante o processo de formação de tubo, se necessário. A cobertura de fundo de mufla 262 pode ter formato similar à placa ou plano e se estender até uma periferia 274 da porção de mufla 266, cobrindo assim toda uma abertura de saída 276 da porção de mufla 266. Em outras modalidades, a cobertura de fundo de mufla pode ser uma seção similar à placa única. Enquanto a cobertura de fundo de mufla 262 é redonda ou circular para corresponder ao formato da porção de mufla 266, podem ser usados outros formatos para a cobertura de fundo de mufla, como retangular, conforme mostrado pela cobertura de fundo de mufla 280 da Figura 11. Também podem ser usados outros formatos para as aberturas 278, 282, como outros formatos redondos (por exemplo, elíptico), formatos retangulares ou formatos irregulares. As coberturas de fundo de mufla podem ser formadas de qualquer material adequado e podem se comportar como protetores de radiação, por exemplo, com o uso de quartzo opaco para reduzir a perda de calor para o ambiente.

[0070] Com referência à Figura 12, em uma outra modalidade, o aparelho de aquecimento 268 inclui a porção de mufla 266 que inclui a cobertura de fundo de mufla 262 conectada a isso. Nessa modalidade, uma estrutura de mufla estendida inferior 290 sob a forma de um tubo que tem um diâmetro externo que é dimensionado para estender-se através da abertura 278, estendendo assim a porção de mufla 266. A estrutura de mufla estendida inferior 290 pode estender-se para fora na porção de mufla 266 e, além disso, para fora de um lado oposto da porção de mufla 266 até uma extremidade 296. A estrutura de mufla estendida inferior 290 pode ser curva para corresponder ou acomodar a trajetória catenária da tubulação de vidro conforme a tubulação de vidro sai do aparelho de aquecimento 268. A estrutura de mufla estendida inferior 290 pode ser circular, elíptica ou qualquer outro formato em corte

transversal adequado.

[0071] As Figuras 13 e 14 ilustram o aparelho de aquecimento 268 e a cobertura de fundo de mufla 262 conectada à porção de mufla 160 do aparelho de aquecimento 268. Novamente, com referência à Figura 14, a cobertura de fundo de mufla 262 inclui a abertura 278 que, na modalidade ilustrada, fornece comunicação entre um interior 300 da porção de mufla 160 e um interior 302 de uma estrutura de mufla estendida inferior 304. Ao contrário da estrutura de mufla estendida inferior 290, a abertura 278 está situada no interior 302 da estrutura de mufla estendida inferior 304. A estrutura de mufla estendida inferior 304 pode ser curva para corresponder ou acomodar a trajetória catenária da tubulação de vidro conforme a tubulação de vidro sai do aparelho de aquecimento 268. Uma placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior 306 pode ser usada para cobrir uma extremidade inferior 308 da estrutura de mufla estendida inferior 304. Em outras modalidades, uma placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior pode não ser usada. Adicionalmente, a estrutura de mufla estendida inferior 304 pode ser flexível e incluir qualquer número de seções curvas ou retas. Adicionalmente, dispositivos de controle de temperatura (aquecimento e/ou resfriamento) podem ou não ser fornecidos no interior 302 da estrutura de mufla estendida inferior 304. Esses dispositivos de controle de temperatura podem ativamente controlar o equilíbrio de energia da tubulação de vidro para ajustar o comprimento catenário conforme as condições de processo mudam

[0072] As Figuras 15 e 16 ilustram uma outra variação do aparelho de aquecimento 268 e da cobertura de fundo de mufla 262 conectada à porção de mufla 160 do aparelho de aquecimento 268 que inclui a estrutura de mufla estendida inferior 304 conectada a isso como nas Figuras 13 e 14. Nesse exemplo, uma estrutura de mufla estendida inferior de afunilamento 312 é conectada à extremidade inferior 308 da estrutura de mufla estendida inferior 304. A estrutura de mufla estendida inferior de afunilamento 312 pode afunilar em dimensão (por exemplo, diâmetro interno) de uma extremidade de topo 314

que é conectada à extremidade inferior 308 da estrutura de mufla estendida inferior 304 a uma extremidade inferior 316, formando um formato de cone de alguma forma truncado. É ilustrada uma outra estrutura de mufla estendida inferior 320 conectada à extremidade inferior 316 da estrutura de mufla estendida inferior de afunilamento 312. Novamente, as estruturas de mufla estendidas inferiores 304 e 320 podem ser curvas para corresponder ou acomodar a trajetória catenária da tubulação de vidro conforme a tubulação de vidro sai do aparelho de aquecimento 168. Uma placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior 322 pode ser usada para cobrir uma extremidade inferior 324 da estrutura de mufla estendida inferior 320. A placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior 322 também pode incluir uma abertura 326 que tem um eixo geométrico central 328 através do qual está a um ângulo α (por exemplo, entre cerca de 175 graus a cerca de 90 graus) em relação a um eixo geométrico central 330 da abertura 278 da cobertura de fundo de mufla 262. Como acima, a placa de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior 322 pode controlar o arrasto de ar na estrutura de mufla estendida inferior 320 através da extremidade inferior 324.

[0073] Os métodos e aparelhos descritos acima incluem estruturas de mufla estendidas inferiores que são usadas para controle o fluxo de ar de convecção, que pode reduzir oscilações de temperatura durante a formação de tubo. A redução das oscilações de temperatura pode reduzir as diferenças de diâmetro externo ao longo de um comprimento da tubulação de vidro conforme o tubo está sendo formado. Com referência à Figura 17, por exemplo, uma plotagem de diâmetro externo de tubulação de vidro ao longo do tempo para um aparelho de formação de vidro com o uso de estruturas de mufla estendidas inferiores pode resultar em um afunilamento de tubo de 0,1 mm ou menos para tubulação de vidro que tem um diâmetro externo alvo de 16,75 mm em um comprimento de 1,6 m. Em algumas modalidades, o tubo de vidro pode ter um diâmetro externo predeterminado alvo de 20 mm ou menos e um afunilamento de vidro de no máximo cerca de 0,5 mm em um comprimento

de pelo menos cerca de 1 m. As estruturas de mufla estendidas inferiores podem ser integralmente formadas como parte da porção de mufla dos aparelhos de aquecimento, ou as estruturas de mufla estendidas inferiores podem ser formadas separadamente dos aparelhos de aquecimento e, então, conectadas à porção de mufla. Adicionalmente, as estruturas de mufla estendidas inferiores podem seguir uma trajetória de fluxo da tubulação de vidro de uma orientação substancialmente vertical para uma orientação não vertical ou horizontal conforme a tubulação de vidro é formada. Conforme descrito acima, o comprimento e a largura das estruturas de mufla estendidas inferiores têm um efeito sobre o fluxo de ar de convecção. Ademais, placas de cobertura de estrutura de mufla estendida inferior também podem ser usadas para controlar o arrasto de ar na estrutura de mufla estendida inferior e/ou a porção de mufla dos aparelhos de aquecimento.

[0074] Será evidente para os versados na técnica que várias modificações e variações podem ser realizadas às modalidades descritas sem se afastar do espírito e escopo. Assim, pretende-se que as modalidades descritas no presente documento abranjam quaisquer modificações e variações fornecidas desde que sejam abrangidas pelo escopo das reivindicações anexas e seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricar tubulação de vidro usando uma trajetória de fluxo não axissimétrica **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um tanque de entrega de vidro com vidro fundido, sendo que o tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo;

uma campânula que tem uma porção superior com um diâmetro externo localizado na abertura de fundo;

um aparelho de aquecimento pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula, em que o aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento; e

uma estrutura de mufla estendida inferior que se estende para baixo a partir da porção de mufla, em que a estrutura de mufla estendida inferior se estende ao redor de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

2. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é formada separadamente do aparelho de aquecimento e é conectada à porção de mufla.

3. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende um tecido.

4. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende uma pluralidade de lados que juntos circundam a tubulação de vidro.

5. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de

mufla estendida inferior fornece uma variação de temperatura vítrea versus distância da campânula de no máximo 0,5 °C ao longo do tempo.

6. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda uma placa de cobertura que é conectada à porção de mufla ou à estrutura de mufla estendida inferior, sendo que a placa de cobertura tem uma abertura através da qual a tubulação de vidro passa.

7. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da porção de mufla.

8. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da estrutura de mufla estendida inferior.

9. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é pelo menos cerca de 100 mm em comprimento.

10. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior tem uma largura interna que é menor que uma largura interna da porção de mufla.

11. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior afunila até uma largura interna reduzida.

12. Aparelho de fabricação de tubulação de vidro, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda um aparelho de resfriamento que remove calor da estrutura de mufla estendida inferior.

13. Método de fabricação da tubulação de vidro usando uma trajetória de fluxo não axissimétrica **caracterizado** pelo fato de que compreende:

fundir uma composição vítrea em um tanque de entrega de vidro e produzir vidro fundido, sendo que o tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo com um diâmetro interno;

estirar o vidro fundido ao redor de uma campânula, formando assim um tubo de vidro, em que a campânula tem uma porção superior com um diâmetro externo, sendo o tubo de vidro formado em um espaço entre o diâmetro interno da abertura de fundo e o diâmetro externo da campânula;

fornecer um aparelho de aquecimento pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula, sendo que o aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento; e

direcionar o tubo de vidro através de uma estrutura de mufla estendida inferior que se estende para baixo a partir da porção de mufla, em que a estrutura de mufla estendida inferior se estende ao redor de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é formada separadamente do aparelho de aquecimento e é conectada à porção de mufla.

15. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende um tecido.

16. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende uma pluralidade de lados que juntos circundam a tubulação de vidro.

17. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior fornece

uma variação de temperatura vítrea versus distância da campânula de no máximo 0,5 °C ao longo do tempo.

18. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que compreende conectar uma placa de cobertura à porção de mufla ou à estrutura de mufla estendida inferior, em que a placa de cobertura tem uma abertura através da qual a tubulação de vidro passa.

19. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da porção de mufla.

20. Método, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da estrutura de mufla estendida inferior.

21. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é pelo menos cerca de 100 mm em comprimento.

22. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior tem uma largura interna que é menor que uma largura interna da porção de mufla.

23. Método, de acordo com a reivindicação 22, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior afunila até uma largura interna reduzida.

24. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda remover calor da estrutura de mufla estendida inferior usando um aparelho de resfriamento.

25. Aparelho de aquecimento para um aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricação de tubulação de vidro usando uma trajetória de fluxo não axissimétrica, sendo que o aparelho de aquecimento é **caracterizado** pelo fato de que compreende:

uma porção de aquecimento que compreende um elemento de aquecimento para aquecer vidro fundido, à medida que o vidro

fundido é estirado ao redor de uma campânula, formando assim um tubo de vidro;

uma porção de mufla que recebe o tubo de vidro da porção de aquecimento; e

uma estrutura de mufla estendida inferior que se estende para baixo a partir da porção de mufla, em que a estrutura de mufla estendida inferior se estende ao redor de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.

26. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é formada separadamente do aparelho de aquecimento e é conectada à porção de mufla.

27. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende um tecido.

28. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior compreende uma pluralidade de lados que juntos circundam a tubulação de vidro.

29. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior fornece uma variação de temperatura vítrea versus distância da campânula de no máximo 0,5 °C ao longo do tempo.

30. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda uma placa de cobertura que é conectada à porção de mufla ou à estrutura de mufla estendida inferior, sendo que a placa de cobertura tem uma abertura através da qual a tubulação de vidro passa.

31. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da porção de mufla.

32. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizado** pelo fato de que a placa de cobertura cobre uma abertura de fundo da estrutura de mufla estendida inferior.

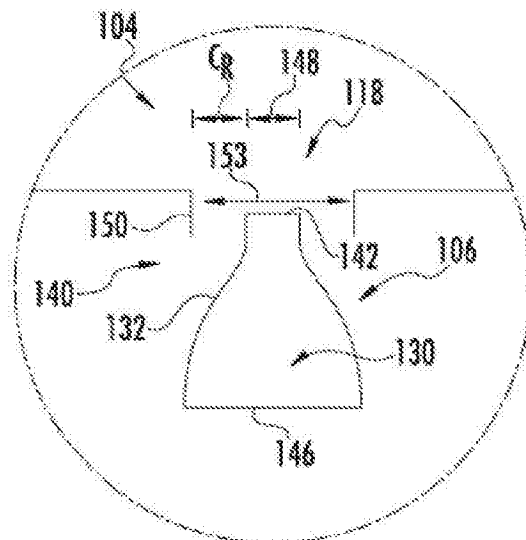
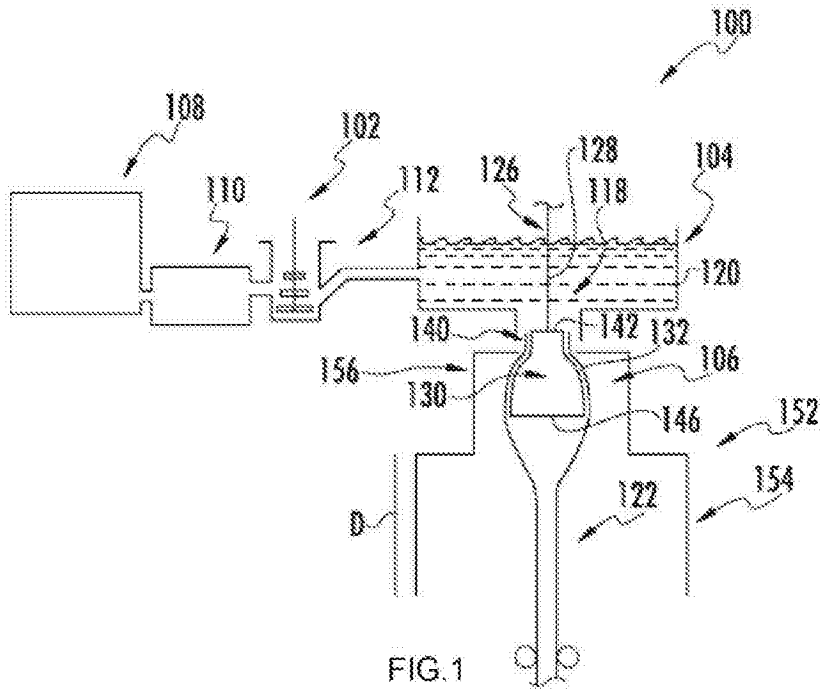
33. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior é pelo menos cerca de 100 mm em comprimento.

34. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 25, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior tem uma largura interna que é menor que uma largura interna da porção de mufla.

35. Aparelho de aquecimento, de acordo com a reivindicação 34, **caracterizado** pelo fato de que a estrutura de mufla estendida inferior afunila até uma largura interna reduzida.

36. Tubo de vidro formado usando um aparelho de fabricação de tubo de vidro de processo Vello usando uma trajetória de fluxo não axissimétrica, em que o tubo de vidro é **caracterizado** pelo fato de que compreende um diâmetro externo-alvo predeterminado de 20 mm ou menor e um afunilamento de vidro de no máximo cerca de 0,5 mm ao longo de um comprimento de pelo menos cerca de 1 m.

37. Tubo de vidro, de acordo com a reivindicação 36, **caracterizado** pelo fato de que compreende um diâmetro externo-alvo de 16,75 mm ou menos e um afunilamento de vidro de no máximo cerca de 0,1 mm ao longo de um comprimento de pelo menos cerca de 1,6 m.



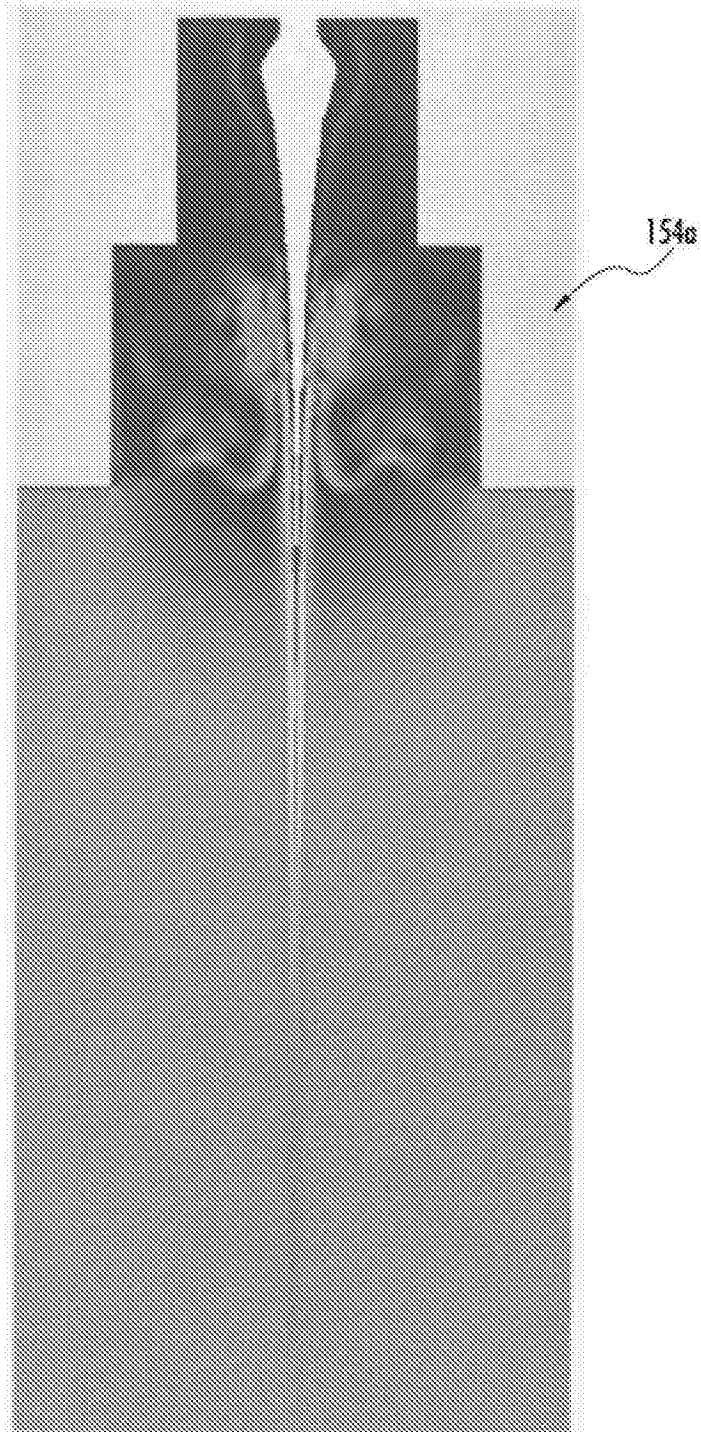


FIG. 2A

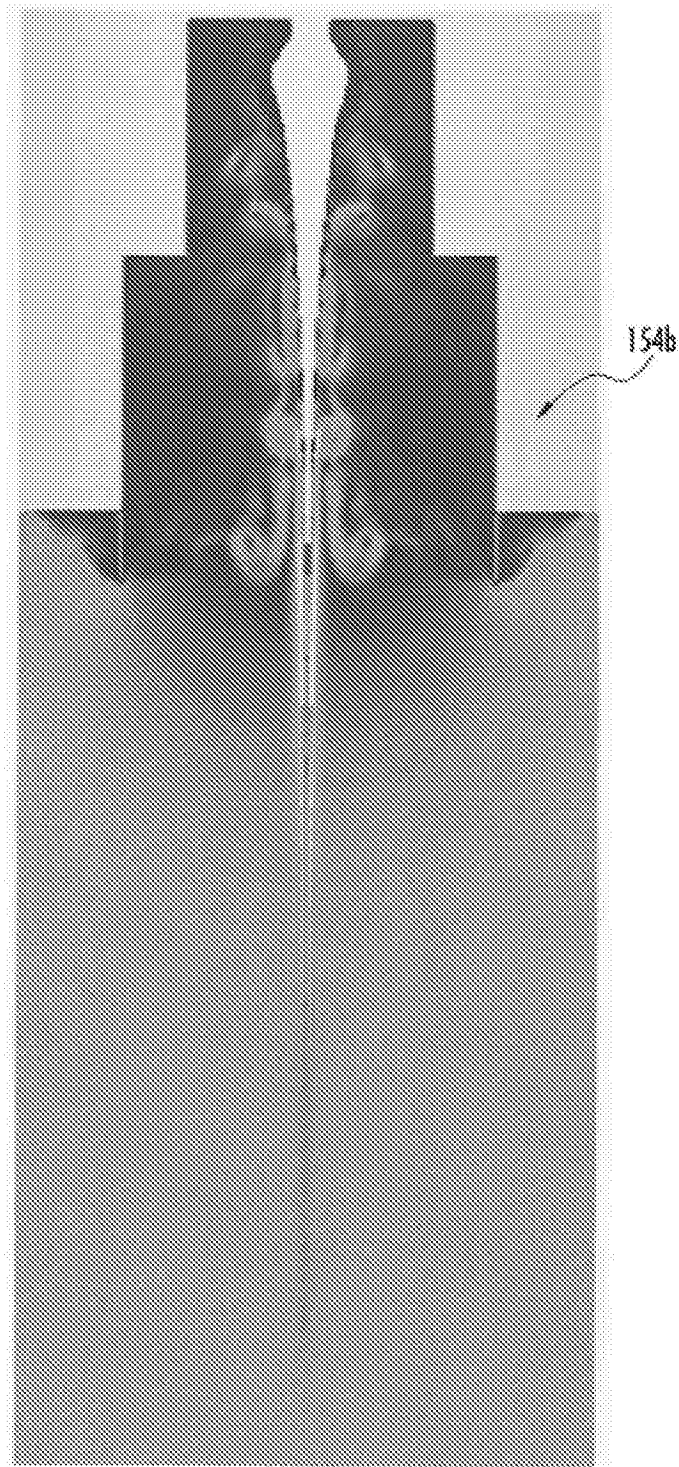


FIG. 2B

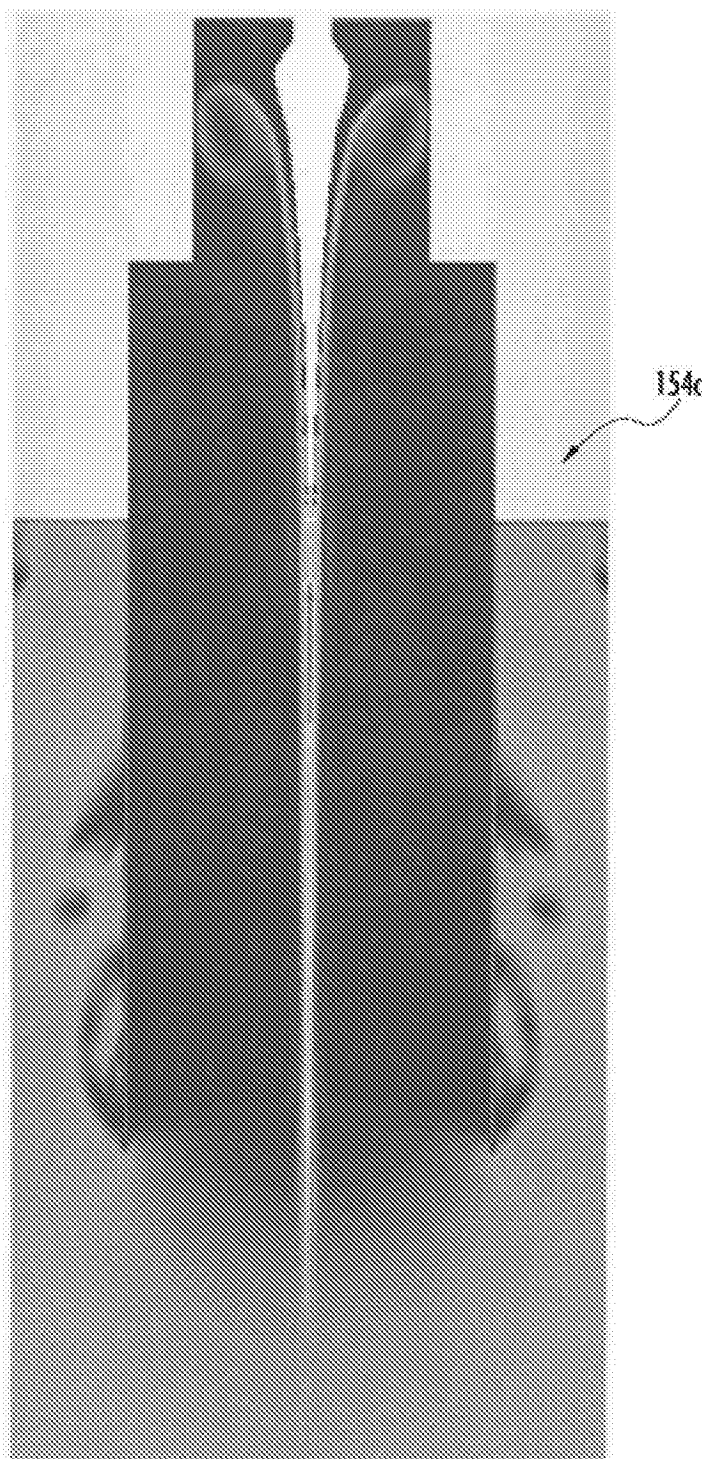


FIG.2C

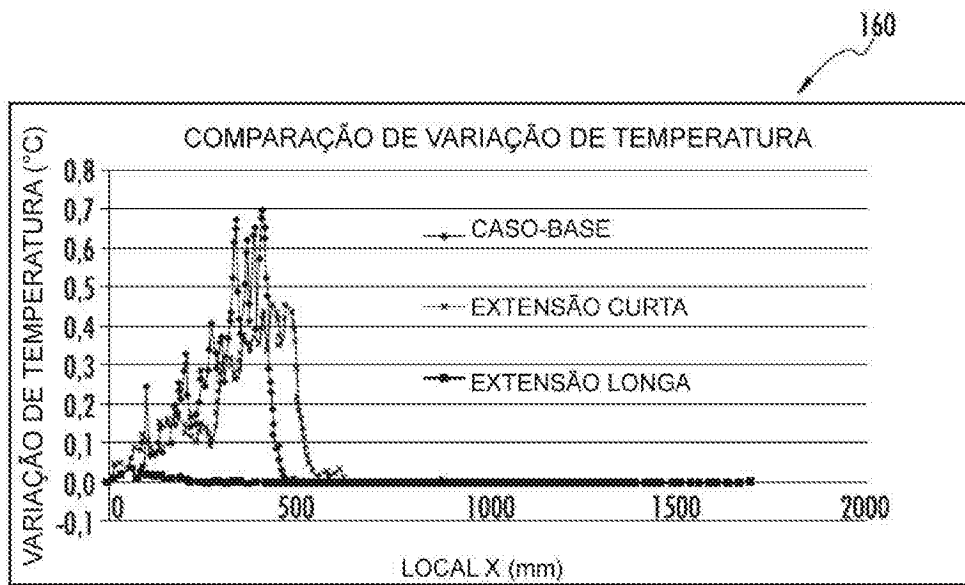


FIG.3

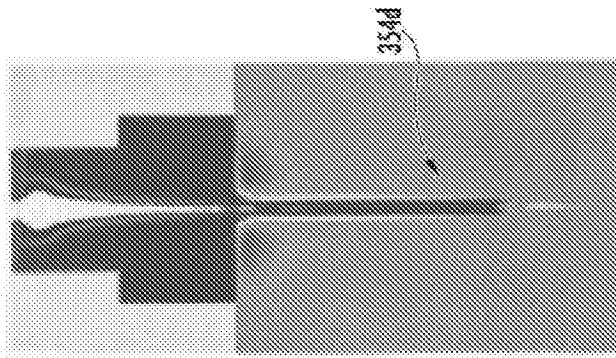


FIG. 4D

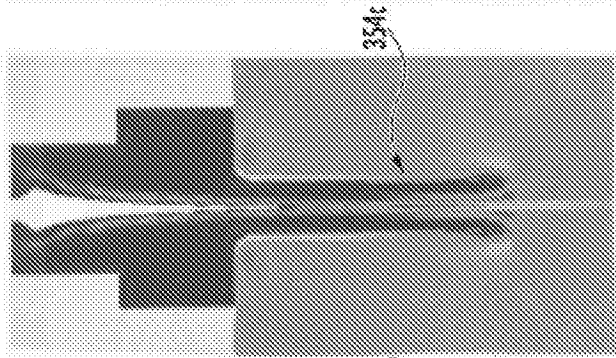


FIG. 4C

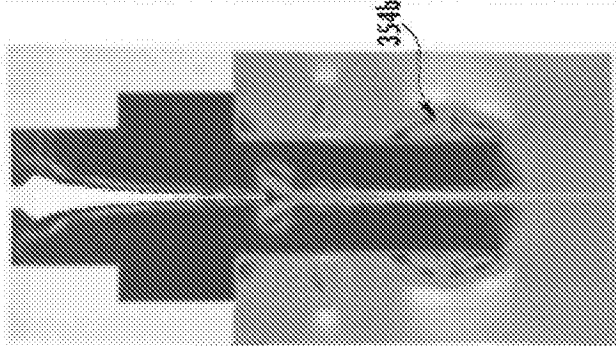


FIG. 4B

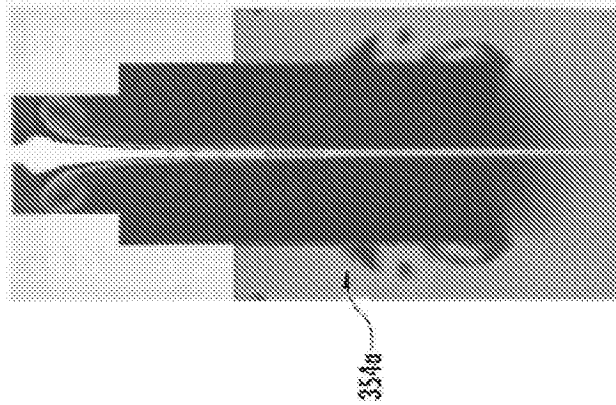


FIG. 4A

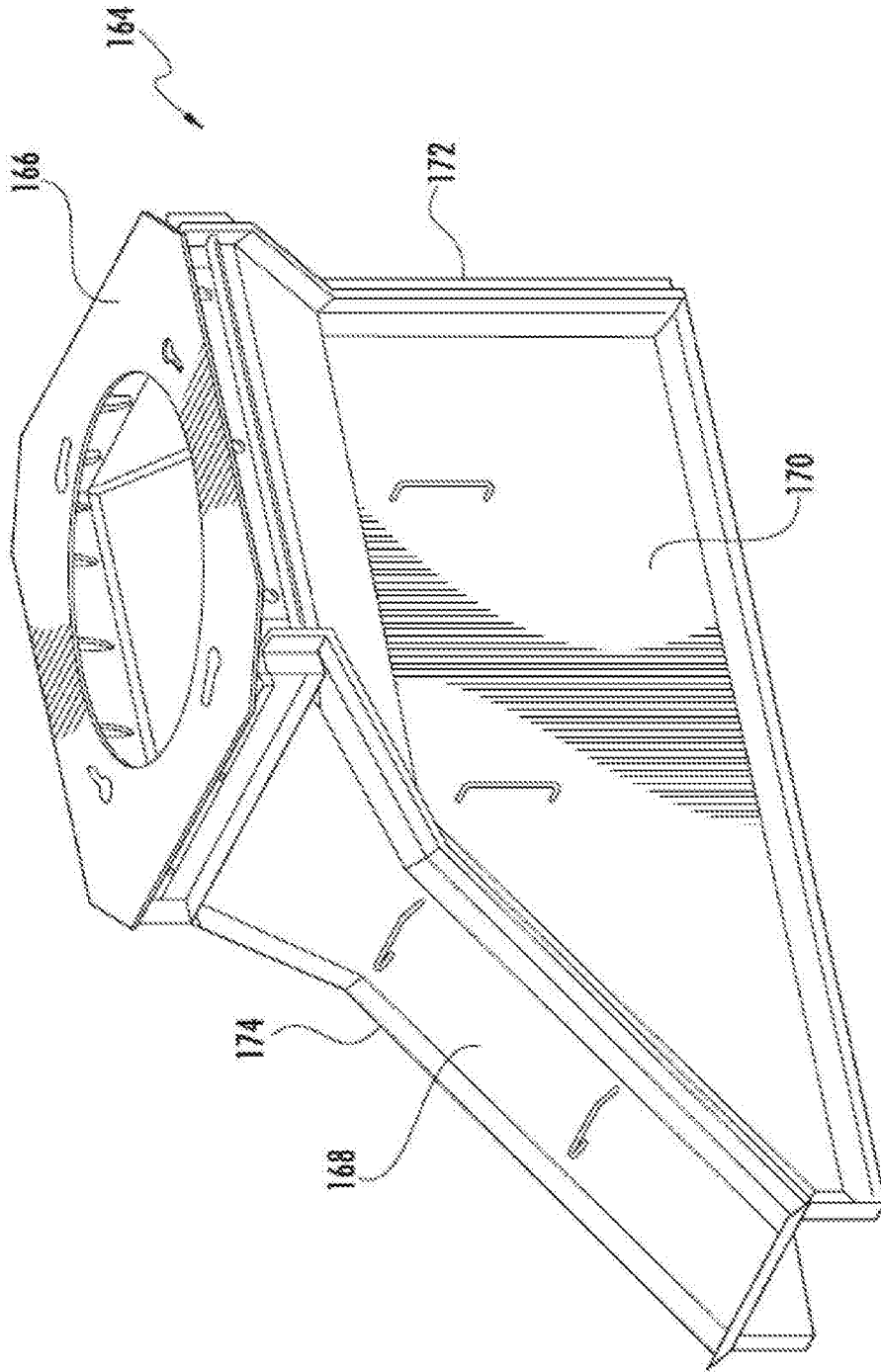


FIG.5

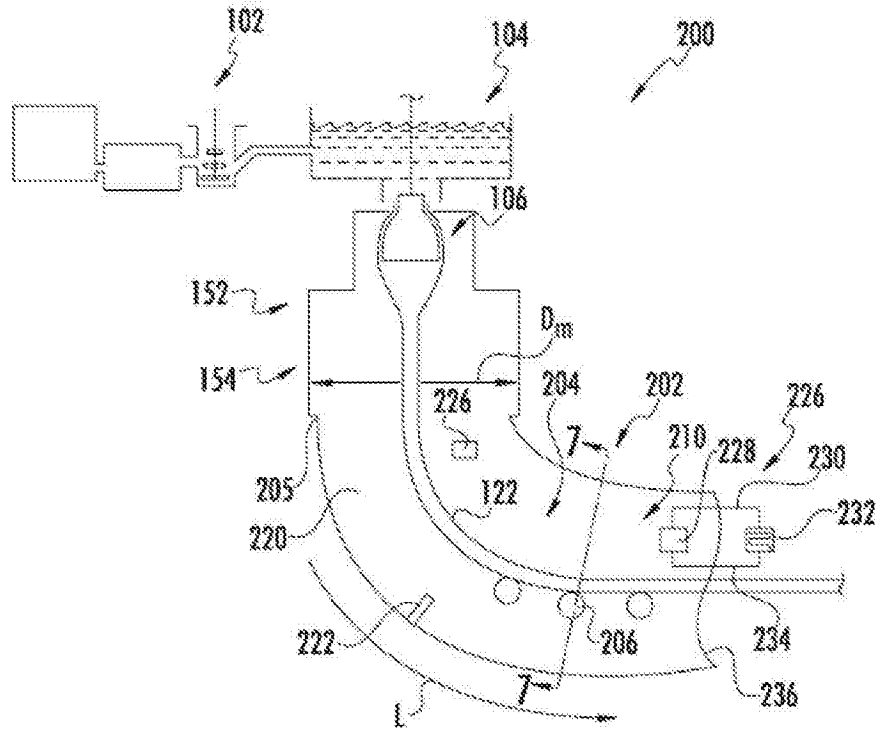


FIG. 6

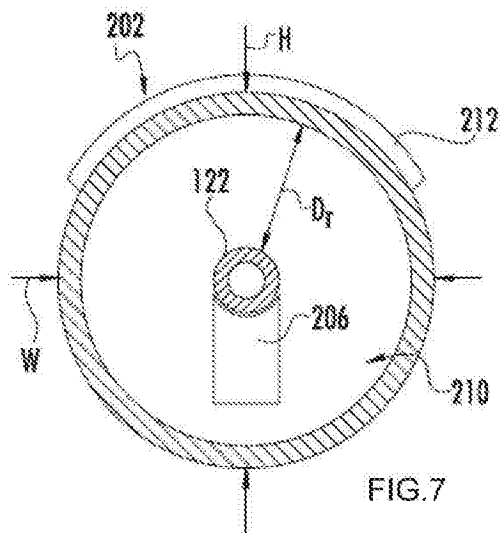


FIG. 7

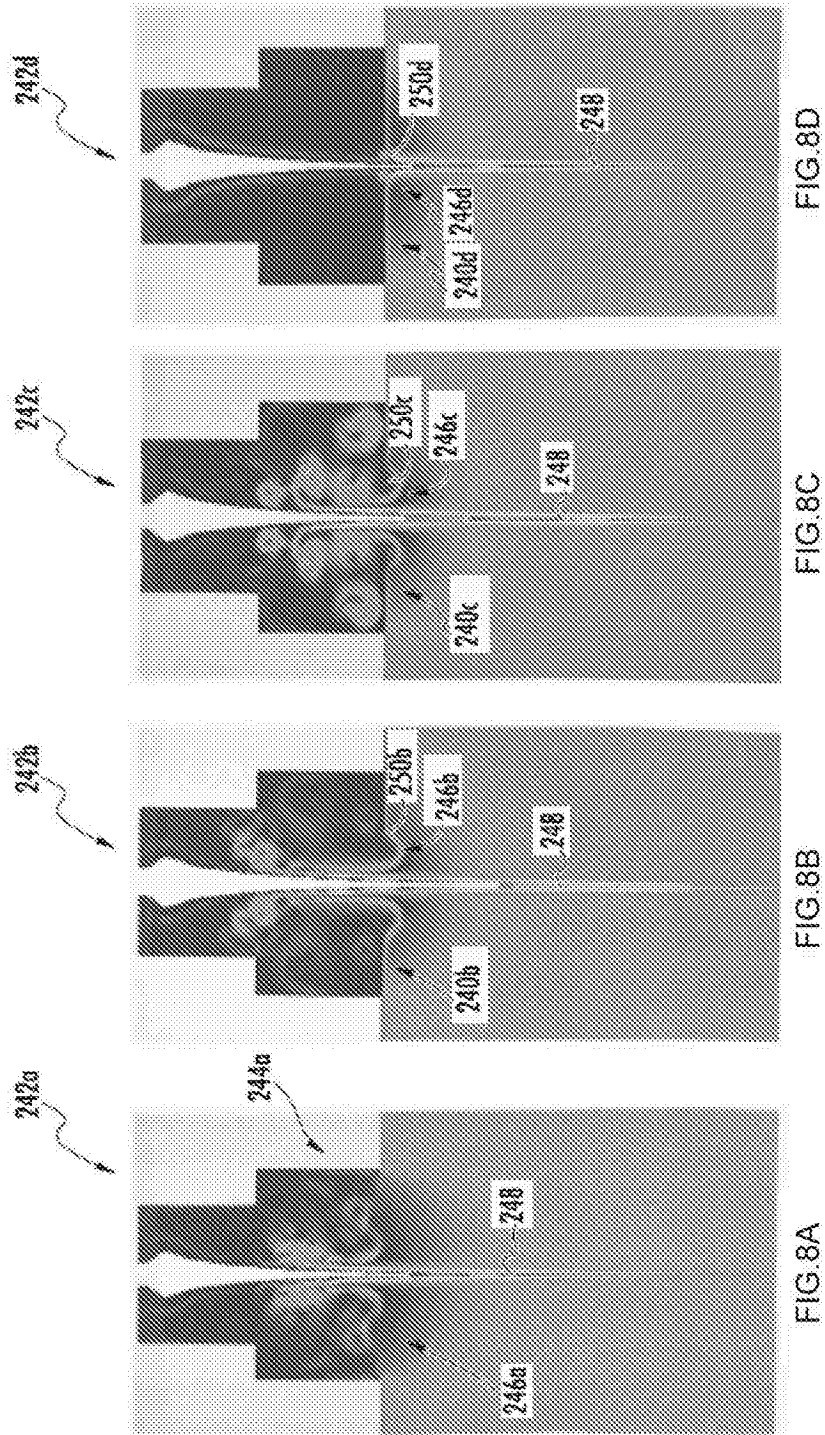


FIG. 8D

FIG. 8C

FIG. 8B

FIG. 8A

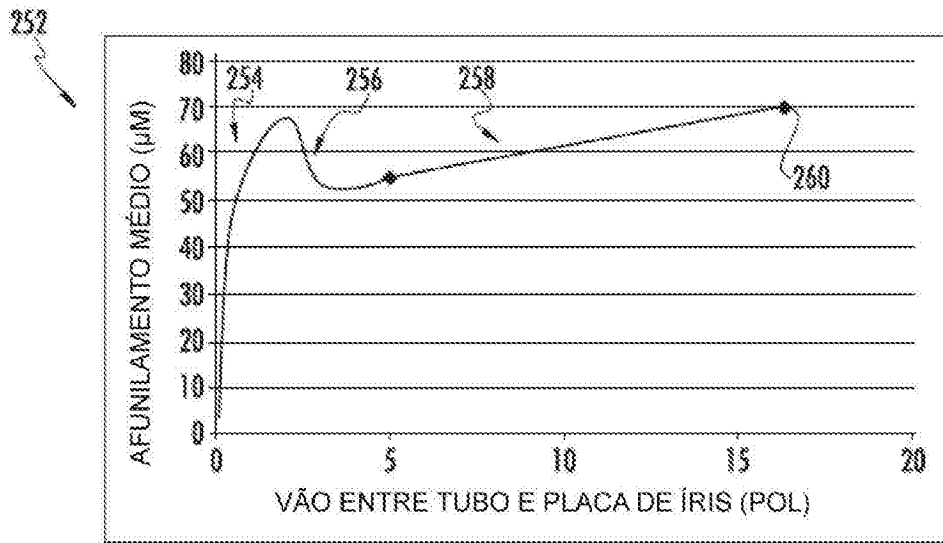
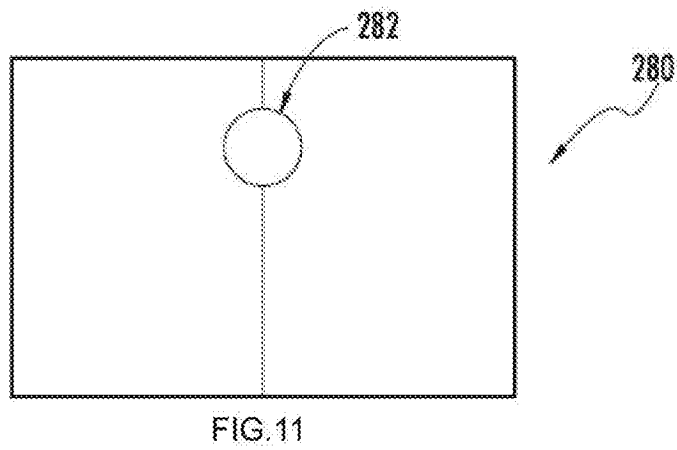
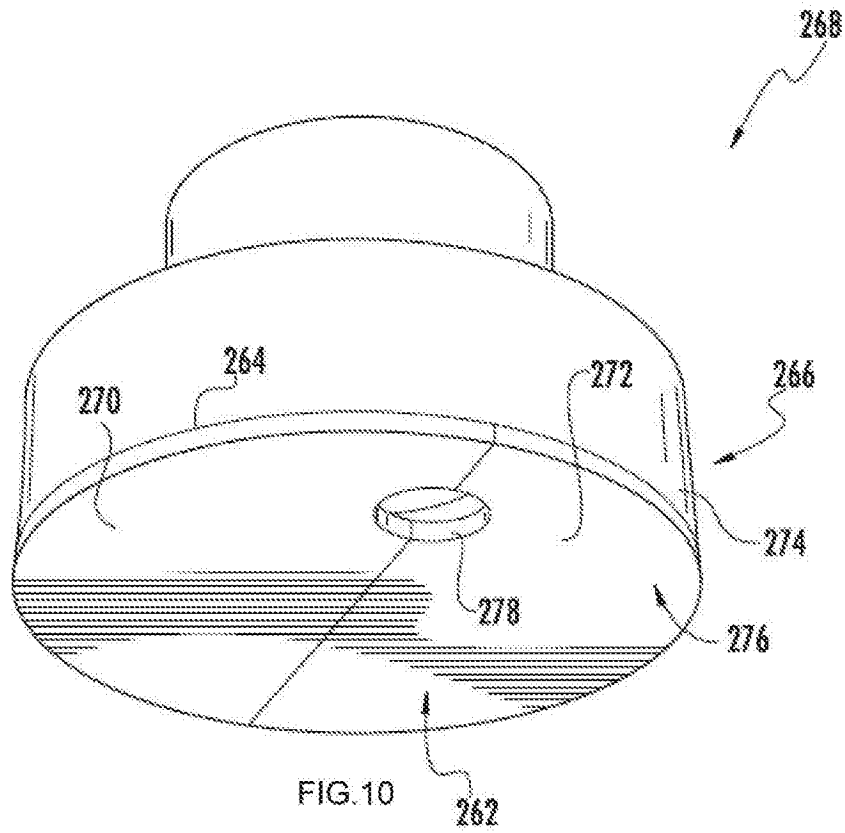


FIG.9



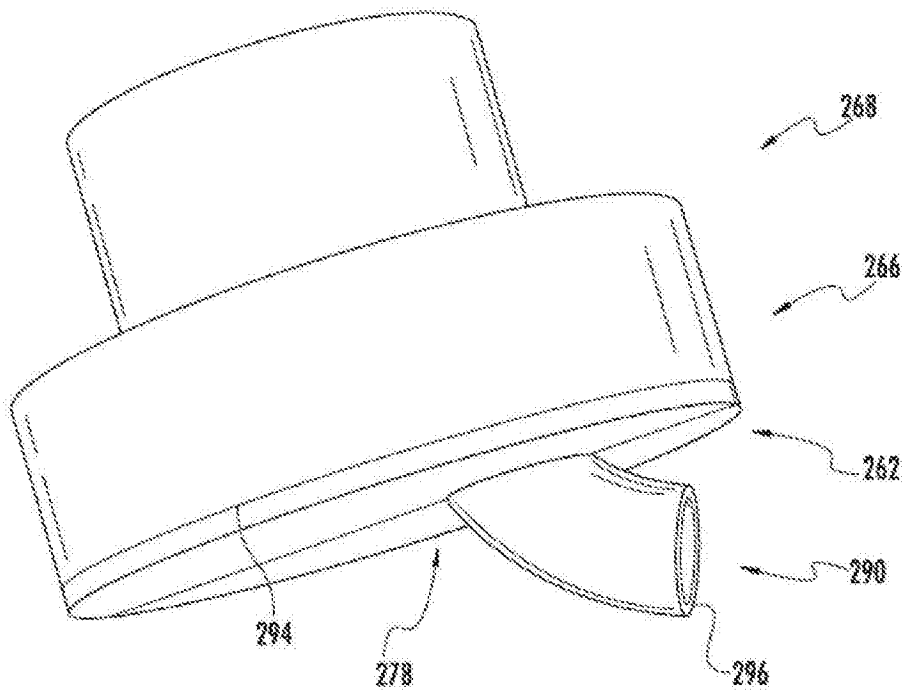


FIG. 12

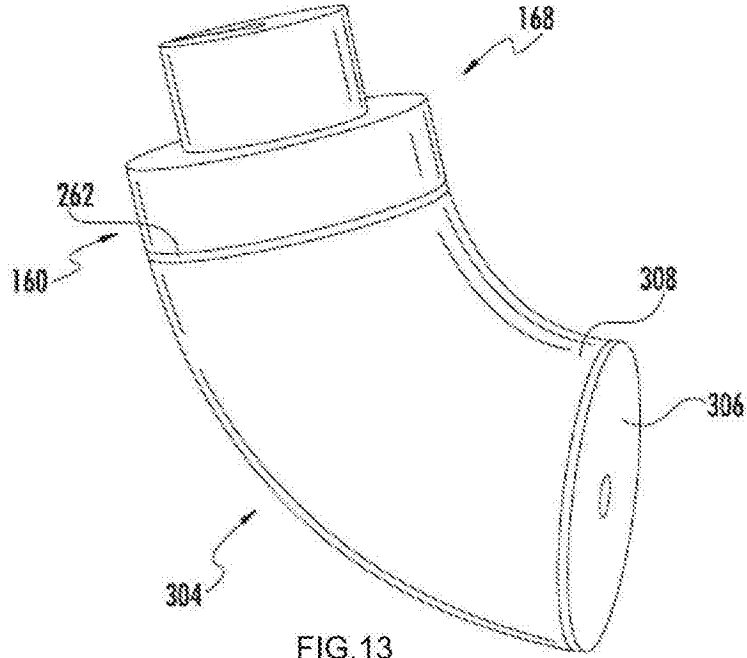


FIG. 13

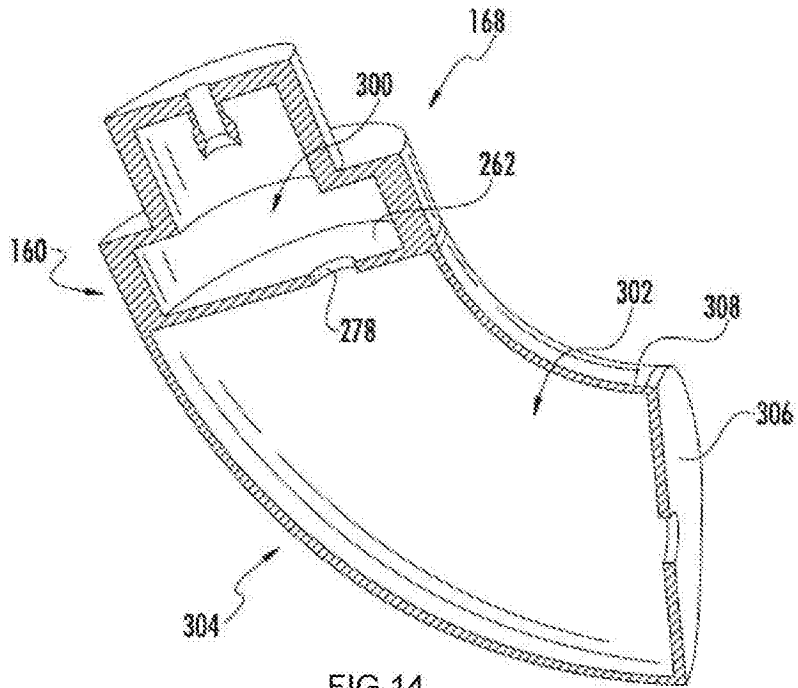
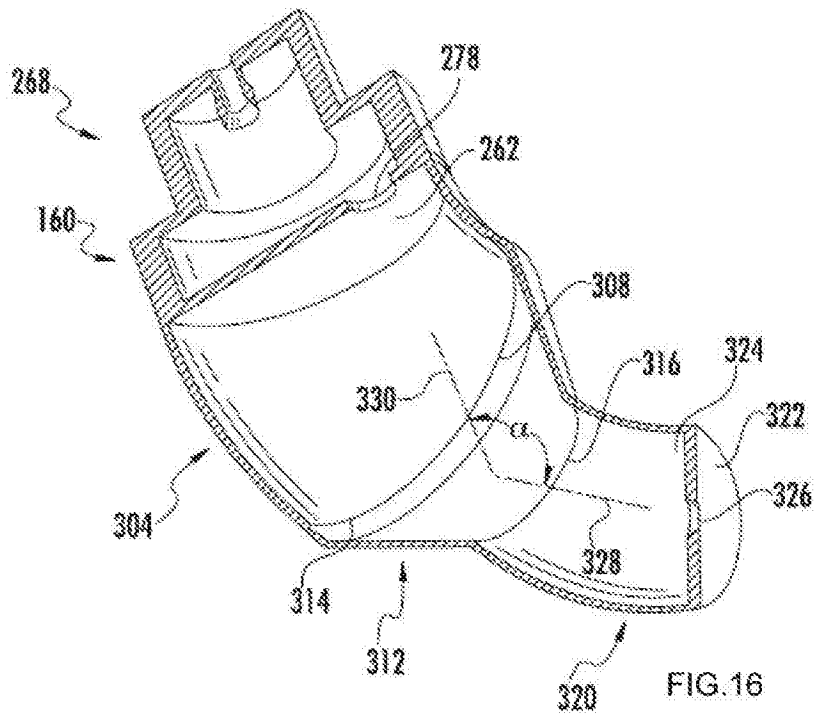
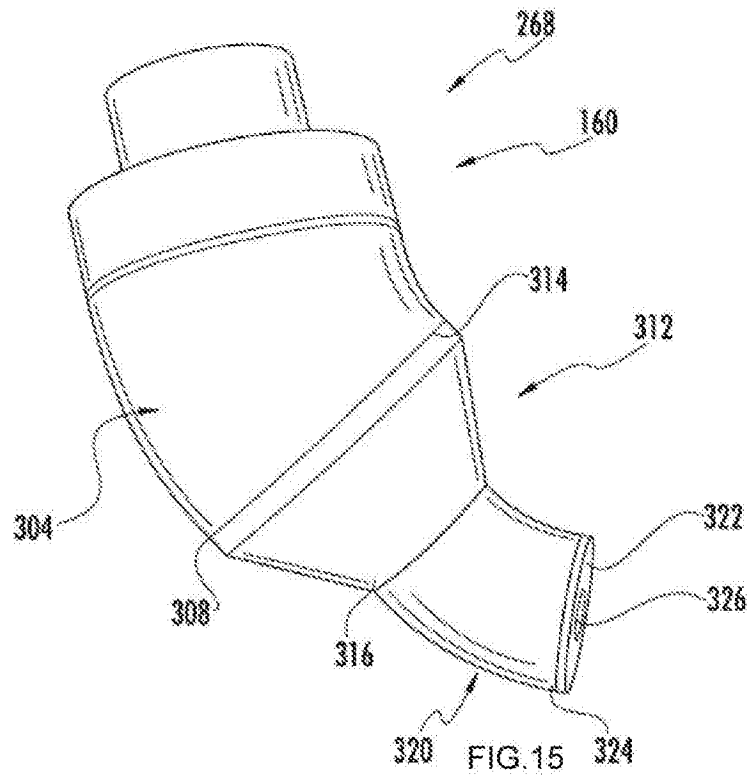


FIG. 14



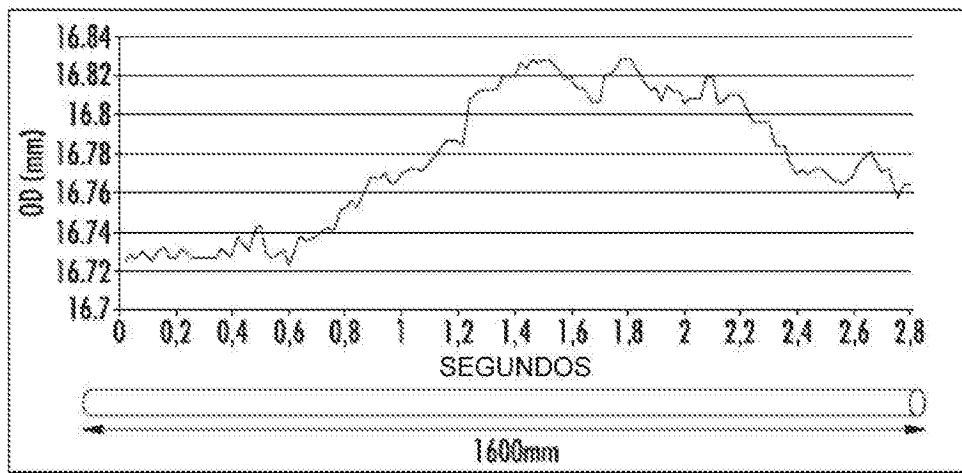


FIG.17

RESUMO**“MÉTODO E APARELHO PARA CONTROLAR AFUNILAMENTO
DE TUBO DE VIDRO”**

Trata-se de um aparelho de fabricação de tubo de vidro para fabricar tubulação de vidro que inclui um tanque de entrega de vidro com vidro fundido. O tanque de entrega de vidro tem uma abertura de fundo. Uma campânula tem uma porção superior com um diâmetro externo localizado na abertura de fundo. Um aparelho de aquecimento é pelo menos parcialmente disposto ao redor da campânula. O aparelho de aquecimento inclui uma porção de aquecimento e uma porção de mufla localizada abaixo da porção de aquecimento. Uma estrutura de mufla estendida inferior se estende para baixo a partir da porção de mufla. A estrutura de mufla estendida inferior se estende em torno de uma periferia da tubulação de vidro para controlar o fluxo de ar convectivo que passa pela mesma.