



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

(11) BR 112012016997-1 B1



(22) Data do Depósito: 11/01/2011

(45) Data de Concessão: 26/05/2020

(54) Título: MÉTODO PARA FORMAR UM RECIPIENTE DE METAL DE FORMA E DE DIMENSÕES LATERAIS DEFINIDAS

(51) Int.Cl.: B21D 26/02; B21D 51/26.

(30) Prioridade Unionista: 12/01/2010 US 61/335,936.

(73) Titular(es): NOVELIS INC.; MONTEBELLO PACKAGING, A DIVISION OF GREAT PACIFIC ENTERPRISES, LP.

(72) Inventor(es): ROBERT MALLORY; YIHAI SHI.

(86) Pedido PCT: PCT CA2011000020 de 11/01/2011

(87) Publicação PCT: WO 2011/085472 de 21/07/2011

(85) Data do Início da Fase Nacional: 10/07/2012

(57) Resumo: MÉTODOS PARA FORMAR UM RECIPIENTE DE METAL E UM ARTIGO DE METAL OCO DE FORMA DE DIMENSÕES LATERAIS DEFINIDAS. Um método para formar um recipiente de metal em forma de garrafa ou contorno fornecendo uma pré-forma de metal oca tendo uma extremidade fechada e uma espessura de parede que diminui progressivamente em uma direção longe da extremidade fechada, e submeter a pré-forma a pressão de fluido interno para fazer com que a pré-forma expanda contra a parede de uma cavidade da matriz definindo a forma de recipiente desejada. O método pode ser empregado em procedimentos de formação por êmbolo de pressão em que uma punção é avançada por meio de um êmbolo de apoio na cavidade de matriz para deslocar e deformar a extremidade fechada da pré-forma.

“MÉTODO PARA FORMAR UM RECIPIENTE DE METAL DE FORMA E DE DIMENSÕES LATERAIS DEFINIDAS”

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção diz respeito, em termos gerais, a métodos de produção de recipientes de metal ou de semelhantes por intermédio de uma conformação através de pressão de uma pré-forma de metal oca. Num aspecto específico e importante, a presente invenção é dirigida a métodos de formação de êmbolo por pressão de alumínio, ou de outros recipientes de metal, dotados de uma forma contornada, tal como uma forma de garrafa, com características assimétricas.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Latas de metal são bem conhecidas e amplamente usadas para bebidas. Corpos de latas de bebidas convencionais têm, geralmente, paredes laterais cilíndricas verticais simples. É algumas vezes desejado, entretanto, por razões de estética, apelo do consumidor e/ou identificação do produto, para transmitir uma forma diferente e mais complexa à parede lateral e/ou fundo de um recipiente de bebida de metal e, em particular, para fornecer um recipiente de metal com a forma de uma garrafa ao invés de uma forma de lata cilíndrica ordinária.

Métodos têm então sido propostos para produzir tais artigos de pré-formas ocas mediante conformação por pressão, a saber, ao colocar a pré-forma dentro de uma matriz e sujeitar a pré-forma à pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora para contato com a matriz. Como descrito, por exemplo, nas patentes U.S. No. 6.802.196 e U.S. No. 7.107.804, cujas divulgações na íntegra são aqui incorporadas a título de referência, técnicas de formação de êmbolo por pressão (PRF) proporcionam métodos convenientes e eficazes para formar peças de trabalho em formas de garrafa ou outras formas complexas. Tais procedimentos são capazes de conformar formas de recipiente contornadas que não são radialmente simétricas, para intensificar a variedade

de projetos obteníveis.

Em um método PRF para formar um recipiente de metal de forma e dimensões laterais definidas, uma pré-forma de metal oca tendo uma extremidade fechada é disposta em uma cavidade de matriz lateralmente incluída por uma parede de matriz definindo a forma e dimensões laterais, com uma punção localizada em uma extremidade da cavidade e transladável na cavidade, a extremidade fechada de pré-forma sendo posicionada em relação de faceamento próximo à punção e pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro a partir da parede da matriz. A pré-forma é sujeita a pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora em contato substancialmente total com a parede da matriz, assim para transmitir a forma e dimensões laterais definidas à pré-forma, a pressão de fluido exercendo força, na extremidade fechada de pré-forma, direcionada na direção da acima mencionada uma extremidade da cavidade. Tanto antes ou após a pré-forma começar a expandir mas antes da expansão da pré-forma ser completa, a punção é transladada na cavidade para engatar e deslocar a extremidade fechada da pré-forma em uma direção oposta à direção da força exercida pela pressão de fluido da mesma, deformando a extremidade fechada da pré-forma. Translação da punção é efetuada por um êmbolo que é capaz de aplicar força suficiente à punção para deslocar e deformar a pré-forma. Este método é referido como formação de êmbolo por pressão porque o recipiente é formado tanto aplicando pressão de fluido interna e translacionando a punção pelo êmbolo.

A pré-forma é uma peça de trabalho unitária tipicamente tendo uma extremidade aberta oposta à sua extremidade fechada e uma parede geralmente cilíndrica. A punção tem uma superfície contornada (p.ex. abobadada), e a extremidade fechada da pré-forma é deformada de modo a conformar com ela. A forma definida, na qual o recipiente é formado, pode ser uma forma de garrafa incluindo uma porção de gargalo e uma porção de

corpo maior nas dimensões laterais que a porção de gargalo, a cavidade de matriz tendo um eixo geométrico longo, a pré-forma tendo um eixo geométrico longo e sendo disposto substancialmente coaxialmente dentro da cavidade, e a punção sendo transladada ao longo do eixo geométrico da

5 cavidade.

Também, vantajosamente e preferencialmente, a parede da matriz compreende uma matriz dividida separável para remoção do recipiente formado, p.ex. uma matriz composta de dois ou mais segmentos que casam em torno da periferia da cavidade da matriz. Com uma matriz dividida, a

10 forma definida pode ser assimétrica em torno do eixo geométrico longo da cavidade.

A operação de PRF é desejavelmente realizada com a pré-forma em uma temperatura elevada. Além disso, tem até agora sido proposto induzir um gradiente de temperatura na pré-forma, por exemplo adicionando

15 aquecedores separados para induzir um gradiente de temperatura na pré-forma a partir da extremidade aberta até a extremidade fechada. Tal um gradiente de temperatura na pré-forma ajuda controle do início da expansão da pré-forma (abaulamento) quando pressão de fluido interna é aplicada à pré-forma dentro da matriz. Especificamente, um gradiente de pressão de extremidade aberta-a-

20 fechada causa expansão progressiva em que a porção da pré-forma adjacente à extremidade aberta, estando em uma temperatura relativamente mais alta, protraí para fora até ficar em contato com a matriz, assim travando a pré-forma na cavidade de matriz conforme a expansão move na direção da extremidade fechada, enquanto o êmbolo de apoio empurra a punção na

25 direção e mantém contato com a extremidade fechada da pré-forma para formar o perfil de extremidade fechada (base do recipiente). Em particular, expansão progressiva previne ruptura permitindo o êmbolo a mover a punção em contato com a extremidade fechada e formar o recipiente base antes da parte adjacente da pré-forma engatar a parede da matriz.

É difícil controlar um gradiente de temperatura na pré-forma, entretanto, porque o gradiente pode ser adversamente afetado por variáveis tais como velocidade de produção, tamanho da pré-forma e ajuste da ferramenta. Assim, seria vantajoso alcançar os benefícios da expansão progressiva a partir da extremidade aberta para extremidade fechada sem necessidade de estabelecer e manter um gradiente de temperatura eficaz para este fim.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Em modalidades particulares, a presente invenção engloba métodos de formação de um artigo de metal oco tal como um recipiente de forma e dimensões laterais definidas, compreendendo as etapas de dispor uma pré-forma de metal oca tendo uma parede, uma extremidade fechada e uma extremidade aberta em uma cavidade de matriz lateralmente incluída por uma parede de matriz definindo a forma e dimensões laterais acima mencionadas, a extremidade fechada de pré-forma sendo posicionada em relação faceando a uma extremidade da cavidade e pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro da parede da matriz, e sujeitando a pré-forma a pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora em contato substancialmente total com a parede da matriz, assim para transmitir a forma e dimensões laterais definidas à pré-forma, a pressão de fluido exercendo força, na extremidade fechada, direcionada na direção da uma extremidade acima mencionada da cavidade, em que a pré-forma como disposta na cavidade de matriz tem um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura da parede da pré-forma diminui progressivamente da extremidade fechada na direção da extremidade aberta.

A presente invenção em um aspecto importante amplamente contempla a provisão de um método de formação de um recipiente de metal de forma e dimensões definidas, compreendendo dispor uma pré-forma de metal oca tendo uma parede, uma extremidade fechada e uma extremidade

aberta em uma cavidade de matriz lateralmente incluída por uma parede de matriz definindo que forma e dimensões laterais, com uma punção localizada em uma extremidade da cavidade e translacionável na cavidade, a extremidade fechada da pré-forma sendo posicionada em uma relação de faceamento próxima à punção e pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro da parede da matriz; sujeitando a pré-forma a pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora em contato substancialmente total com a parede da matriz, assim para transmitir a forma e dimensões laterais definidas acima mencionadas à pré-forma, a pressão de fluido exercendo força, na extremidade fechada, direcionada na direção de uma extremidade da cavidade, e transladando a punção na cavidade para engatar e deslocar a extremidade fechada da pré-forma em uma direção oposta à direção da força exercida pela pressão do fluido na mesma, deformando a extremidade fechada da pré-forma, em que a pré-forma como disposta na cavidade tem um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede da pré-forma diminui progressivamente da extremidade fechada na direção da extremidade aberta da pré-forma.

O método pode incluir uma etapa inicial de fornecer uma pré-forma de metal oca tendo uma parede, uma extremidade fechada, uma extremidade aberta e um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede da pré-forma diminui progressivamente da extremidade fechada na direção da extremidade aberta da pré-forma.

Em modalidades particulares, a pré-forma pode ser produzida desenhando e alisando uma matriz de chapa de metal, com a alisamento realizada usando uma punção afilada que causa a parede da pré-forma a ser tornar progressivamente mais fina na direção da extremidade aberta da pré-forma.

Devido ao gradiente de espessura da parede, quando a pré-forma é sujeita a pressão de fluido interna, expansão para fora começa em sua

extremidade aberta e move para baixo para sua extremidade fechada, p.ex., a porção da pré-forma na extremidade aberta protraí para fora primeiro porque sua parede é relativamente mais fina que a parede na extremidade fechada. Isto é essencialmente o mesmo efeito de expansão progressiva que é alcançado aquecendo a pré-forma de espessura de parede constante na cavidade da matriz para induzir um gradiente de temperatura de extremidade aberta a extremidade fechada, mas evita as dificuldades associadas com um gradiente de temperatura. Em outras palavras, o gradiente de espessura de parede da pré-forma é preferencialmente tal que durante a etapa de sujeitar a pré-forma a pressão de fluido interna, expansão para fora da pré-forma começa em uma região adjacente à extremidade aberta, onde a espessura de parede da pré-forma é menor, e progride em uma direção na direção da extremidade fechada, onde a espessura de parede é maior.

O gradiente de espessura de parede de pré-forma permite outros benefícios também. Embora o calibre de parede do recipiente produzido seja mais fino que aquele da pré-forma que é formado, o gradiente tende a ser preservado, especialmente em recipientes de parede reta, com o resultado que o recipiente tem uma porção de fundo relativamente mais forte, mais fina (como desejado para ajudar o fundo tipicamente abobadado a resistir a pressões internas p.ex. de um produto aerossol) e uma porção de topo relativamente mais fina (como desejado para fácil formação em um flange ou curva como necessário para um fechamento).

Enquanto um gradiente de temperatura é preferencialmente não fornecido no método PRF da presente invenção, aquecimento geral da pré-forma antes e/ou durante a operação de formação é benéfico, especialmente para aumentar a quantidade da expansão da parede lateral total que é possível sem causar uma ruptura.

Em uma modalidade adicional preferida, a invenção fornece um método de formar um recipiente de metal de forma e dimensões laterais

definidas, compreendendo as etapas de (a) dispor uma pré-forma de metal oca tendo uma parede, uma extremidade fechada e uma extremidade aberta em uma cavidade de matriz lateralmente incluída por uma parede definido a forma e dimensões laterais, a extremidade fechada da pré-forma sendo
5 posicionada em relação faceando a uma extremidade da cavidade e pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro da parede de matriz, e (b) sujeitar a pré-forma a pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora em contato substancialmente total com a parede da matriz, assim transmitindo a forma e dimensões laterais definidas à
10 pré-forma, a pressão de fluido exercendo força, na extremidade fechada, direcionada na direção de uma extremidade da cavidade, em que a pré-forma como disposta na cavidade tem um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede da pré-forma diminui progressivamente da extremidade fechada na direção da extremidade aberta.

15 Neste método, etapa (b) preferencialmente compreende aplicar simultaneamente pressão de fluido positiva interna e pressão de fluido positiva externa à pré-forma na cavidade, a pressão de fluido positiva interna sendo maior que a pressão de fluido positiva externa, e incluindo taxa de cisalhamento de controle na pré-forma controlando independentemente as
20 pressões de fluido positivas interna e externa na qual a pré-forma é simultaneamente sujeita para variar o diferencial entre a pressão de fluido positiva interna e a pressão de fluido positiva externa.

O recipiente é preferencialmente um recipiente de alumínio, e o método preferencialmente ainda inclui a etapa de fazer a pré-forma de chapa
25 de alumínio tendo uma microestrutura recoberta ou recristalizada com um calibre na faixa de cerca de 0,25 a cerca de 1,5 mm, antes da realização da etapa (a).

O recipiente é preferencialmente um recipiente de alumínio e a forma definida é preferencialmente uma forma de garrafa incluindo uma

porção de gargalo e uma porção de corpo maior nas dimensões laterais que a porção de gargalo, a cavidade de matriz tendo um eixo geométrico longo, a pré-forma tendo um eixo geométrico longo e sendo disposta substancialmente coaxialmente com a cavidade na etapa (a); em que a pré-forma é uma peça de trabalho geralmente inicialmente cilíndrica e alongada tendo a extremidade aberta oposta à extremidade fechada e é substancialmente igual em diâmetro à porção de gargalo da forma de garrafa; e incluindo etapas preliminares da colocação da peça de trabalho em uma cavidade de matriz menor que a primeira cavidade de matriz mencionada e sujeitar a peça de trabalho nela para pressão de fluido interna para expandir a peça de trabalho a um tamanho intermediário e forma menor que a forma e dimensões laterais definidas, antes de realizar as etapas (a) e (b).

Outra modalidade da invenção fornece um método para formar um artigo de metal oco de forma e dimensões laterais definidas, compreendendo (a) dispor uma pré-forma de metal oca tendo uma parede, uma extremidade fechada e uma extremidade aberta em uma cavidade de matriz lateralmente incluída por uma parede de matriz definindo a forma e dimensões laterais, a extremidade fechada da pré-forma sendo posicionada faceando em relação a uma extremidade da cavidade e pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro da parede de matriz; e (b) sujeitar a pré-forma à pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora em contato substancialmente total com a parede da matriz, assim para transmitir a forma e dimensões laterais definidas à pré-forma, a pressão de fluido exercendo força, na extremidade fechada, direcionada na direção de uma extremidade da cavidade; em que a pré-forma como disposta na cavidade de matriz tem um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede de pré-forma diminui progressivamente da extremidade fechada na direção da extremidade aberta.

Neste método, etapa (b) preferencialmente compreende aplicar

simultaneamente pressão de fluido positiva interna e pressão de fluido positiva externa para a pré-forma na cavidade, a pressão de fluido positiva interna sendo maior que a pressão de fluido positiva externa, e incluindo controlar taxa de tensão na pré-forma controlando independentemente as pressões de fluido positivas externa e interna a qual a pré-forma é simultaneamente sujeita variando o diferencial entre a pressão de fluido positiva interna e a pressão de fluido positiva externa.

O método preferencialmente ainda inclui a etapa de fazer a pré-forma de chapa de alumínio tendo uma microestrutura recristalizada ou recoberta com um calibre em uma faixa de cerca de 0,25 a cerca de 1,5 mm, antes da realização da etapa (a).

Quando o artigo é um artigo de alumínio oco, a forma definida é preferencialmente uma forma de garrafa incluindo uma porção de gargalo e uma porção de corpo maior nas dimensões laterais que a porção de gargalo, a cavidade de matriz tendo um eixo geométrico longo, a pré-forma tendo um eixo geométrico longo e sendo disposta substancialmente coaxialmente com a cavidade na etapa (a); em que a pré-forma é uma peça de trabalho geralmente inicialmente cilíndrica e alongada tendo a extremidade aberta oposta à extremidade fechada e é substancialmente igual em diâmetro à porção de gargalo da forma de garrafa; e incluindo etapas preliminares da colocação da peça de trabalho em uma cavidade de matriz menor que a primeira cavidade de matriz mencionada e sujeitar a peça de trabalho nela para pressão de fluido interna para expandir a peça de trabalho a um tamanho intermediário e forma menor que a forma e dimensões laterais definidas, antes de realizar as etapas (a) e (b).

Características adicionais e vantagens da invenção serão aparentes agora a partir da descrição detalhada a seguir estabelecida, junta com os desenhos que acompanham.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

FIG. 1 é uma vista em perspectiva esquemática de algum modo e simplificada de ferramentas para formação por êmbolo de pressão;

FIGS. 2A e 2B são vistas similares à FIG. 1 de estágios sequenciais na realização de um método PRF;

5 FIG. 3 é um gráfico de pressão interna (hidroformação de carga de pressão) e deslocamento do êmbolo como função do tempo, usando ar como meio fluido, ilustrando o tempo de relação entre as etapas de sujeitar a pré-forma a pressão de fluido interna e transladas a punção no método representada nas FIGS. 2A e 2B;

10 FIGS. 4A, 4B, 4C e 4D são vistas similares à FIG. 1 dos estágios sequenciais no desempenho de um método PRF modificado;

 FIGS. 5A e 5B são, respectivamente, uma vista similar à FIG. 1 e uma vista em perspectiva esquemática, simplificada de uma etapa de formação de firo, ilustrando estágios sequenciais na realização de outro método PRF modificado;

 FIGS. 6A, 6B, 6C e 6D são vistas elevacionais esquemáticas geradas por computador de sucessivos estágios em um método PRF;

 FIG. 7 é um gráfico de histórico de pressão durante formação (variação de pressão sobre tempo usando unidades de tempo arbitrárias) ilustrando a característica de aplicar simultaneamente independentemente pressões de fluido positivas externa e interna controláveis à pré-forma na cavidade de matriz e comparar entre elas variação de pressão interna (como na FIG. 3) na ausência de pressão positiva externa;

20 FIG. 8 é um gráfico de variação de tensão durante formação sobre tempo, derivada de análise de elemento finita, mostrando tensão para uma posição particular (elemento) sob as duas condições de pressão diferentes (com ou sem pressão de retorno, BP) comparado na FIG. 7.

 FIG. 9 é um gráfico similar à FIG. 7 do histórico de pressão durante formação (com taxa de tensão dependente da propriedade do material)

ilustrando um mecanismo de controle particular que pode ser usado no processo de formação quando pressões de fluido positivas interna e externa são simultaneamente aplicadas à pré-forma na cavidade de matriz;

FIG. 10 é uma vista seccional elevacional de uma modalidade
5 ilustrativa de aparelho para uso na realização de um método PRF;

FIG. 11 é uma vista em perspectiva, parcialmente explodida, do aparelho da FIG. 10;

FIGS. 12A, 12B e 12C são vistas em perspectiva de uma metade da matriz dividida dos aparelhos das FIGS. 10 e 11 respectivamente
10 ilustrando os insertos divididos da matriz dividida em vista explodida, o suporte de inserto dividido, e os insertos e suportes em relação conjunta;

FIG. 13 é uma vista em perspectiva totalmente explodida do aparelho das FIGS. 10 e 11.

FIG. 14A, 14B e 14C são vistas elevacionais seccionais esquemáticas mostrando estágios sucessivos na realização de um método PRF
15 no qual a pré-forma sofre expansão progressiva da extremidade aberta para extremidade fechada, como nas modalidades da presente invenção;

FIG. 15 é uma vista elevacional seccional fragmentária de um exemplo de uma pré-forma para uso no método da invenção;

FIG. 16 é uma vista esquemática ilustrando uma etapa de alisar para produzir uma pré-forma do tipo mostrado na FIG. 15;
20

FIGS. 17A e 17B são, respectivamente, vistas de plano esquemático simplificado e seccional elevacional de estágios sucessivos na produção de uma pré-forma do tipo mostrado na FIG. 15, FIG. 17B sendo
25 tomada como ao longo da linha B-B da FIG. 17A;

FIGS. 18A, 18B, 18C e 18D são vistas seccionais elevacionais esquemáticas simplificadas em ilustração de operações de alisar, redesenhar, e escavação sucessivas na produção de uma pré-forma com um gradiente de espessura de parede para uso em modalidades particulares do método da

invenção;

FIG. 19 é uma vista fragmentária aumentada de uma porção da FIG. 18D;

5 FIG. 20 é uma vista elevacional seccional de uma pré-forma de parede afilada como produzida pelas operações ilustradas nas FIGS. 18A-18D;

FIGS. 21A e 21B são vistas elevacionais de lateral esquemáticas simplificadas da operação de flangeamento de uma pré-forma tal como aquela da FIG. 20 antes da pré-forma ser sujeita à formação por
10 êmbolo de pressão;

FIG. 22 é uma vista seccional elevacional esquemática de uma matriz ou cavidade de matriz de formação por êmbolo de pressão;

FIGS. 23A, 23B, 23C e 23D são vistas elevacionais esquemáticas geradas por computador de estágios sucessivos em uma
15 modalidade do método da invenção; e

FIG. 24 é um gráfico de dado de saída de máquina mostrando condições de formação (pressão de formação, movimento do êmbolo de apoio e dado de saída de máquina de carga de apoio) para uma operação de formação de PRF típica na prática do presente método.

20 DESCRIÇÃO DETALHADA

Por meio de ilustração, mas sem limitação, a invenção irá ser descrita como modalizada nos métodos de formação de recipientes de alumínio tendo uma forma contornada que não necessita ter simetria axial (radialmente simétrico em torno de um eixo geométrico do recipiente) usando
25 uma combinação de formação de punção e hidro (pressão de fluido interna), p.ex. um procedimento de PRF. O termo “alumínio” aqui refere a ligas a base de alumínio bem como metal alumínio puro.

Como explicado a seguir, características importantes da presente invenção são modalizadas em modificações particulares e em

melhoramentos dos procedimentos de PRF, relacionando em particular à produção e características estruturais da pré-forma que é sujeita à operação de PRF. Pré-formas feitas e configuradas de acordo com a invenção podem ser sujeitas a diversos procedimentos de PRF de tipos estabelecidos, por exemplo, nas patentes U.S. No. 6.802.196 e No. 7.107.804 acima mencionadas e procedimentos últimos, quando aplicados àquelas pré-formas, constituem modalidades do método da presente invenção.

Consequentemente, a seguinte descrição começará com uma visão global dos procedimentos de PRF divulgados nas patentes U.S. No. 6.802.196 e No. 7.107.804 acima mencionadas. Estas características particulares da presente invenção serão então descritas.

Visão Global do PRF

Como descrito nas patentes U.S. No. 6.802.196 e No. 7.107.804 acima mencionadas, o procedimento de fabricação do PRF tem dois estágios distintos, a fabricação de uma pré-forma e a formação subsequente da pré-forma no recipiente final. Existem várias opções para o caminho de formação completo e a escolha apropriada é determinada pela conformabilidade da chapa de alumínio sendo usada.

A pré-forma é feita de chapa de alumínio tendo uma microestrutura recristalizada ou recoberta e com um calibre, por exemplo, na faixa de 0,25 mm a 1,5 mm. A pré-forma é um êmbolo de extremidade fechada que pode ser feito, por exemplo, por um processo de desenhar-redesenhar.

O diâmetro da pré-forma assenta em algum lugar entre os diâmetros mínimo e máximo do produto recipiente desejado. Roscas podem ser formadas na pré-forma antes das operações de formação subsequentes. O perfil da extremidade fechada da pré-forma podem ser projetados para auxiliar com a formação do perfil de fundo do produto final.

Como ilustrado na FIG. 1, um conjunto de ferramentas para

um método PRF inclui uma matriz dividida 10 com uma cavidade perfilada 11 definindo uma forma de garrafa axialmente vertical, uma punção 12 que tem o contorno desejado para o fundo do recipiente (por exemplo, nas modalidades ilustradas, um contorno abobadado convexamente para transmitir uma forma abobadada ao fundo do recipiente formado) e um 5 êmbolo 14 que é ligado à perfuração. Na FIG. 1, apenas uma das duas metades da matriz dividida é mostrada, a outra sendo uma imagem espelhada da metade de matriz ilustrada, como será aparente, as duas metades encontram em um plano contendo o eixo geométrico da forma de garrafa 10 definido pela parede da cavidade de matriz 11.

O diâmetro mínimo da cavidade de matriz 11, na extremidade aberta superior 11a do mesmo (que corresponde ao gargalo da forma de garrafa da cavidade) é igual ao diâmetro externo da pré-forma (ver FIG. 2A) a ser colocada na cavidade, com subsídio para liberação. A pré-forma está 15 inicialmente posicionada ligeiramente acima da punção 12 e tem um ajuste por pressão esquematicamente representado 16 na extremidade aberta 11a para permitir pressurização interna. Pressurização pode ser alcançada, por exemplo, por um acoplamento para roscas formadas na extremidade aberta superior da pré-forma, ou inserindo um tubo na extremidade aberta da pré- 20 forma e fazendo uma vedação por meio da matriz dividida ou por algum outro meio de ajuste por pressão.

A etapa de pressurização envolve introduzir, para o interior da pré-forma oca, um fluido tal como água ou ar sob pressão suficiente para causar a pré-forma a expandir dentro da cavidade até que a parede da pré- 25 forma esteja substancialmente cheia contra a parede da matriz definindo a cavidade, assim transmitindo a forma e dimensões laterais da cavidade para a pré-forma expandida. Geralmente estabelecido, o fluido empregado por ser compressível ou não compressível, com qualquer massa, fluxo, volume ou pressão controlada para controlar a pressão a qual as paredes da pré-forma são

então sujeitas. Selecionando o fluido, é necessário levar em conta as condições de temperatura a serem empregadas na operação de formação; se água é o fluido, por exemplo, a temperatura deve ser menor que 100 °C, e se uma temperatura maior é requerida, o fluido deve ser um gás tal como ar, ou
5 um líquido que não ferva a temperatura da operação de formação.

Como um resultado da etapa de pressurização, características de alívio detalhadas formadas na parede de matriz são reproduzidas em forma de imagem de espelho invertida na superfície do recipiente resultante. Até se tais características, ou a forma global, do recipiente produzido não são de
10 simetria axial, o recipiente é removido da aparelhagem sem dificilmente dever ao uso de uma matriz dividida.

No procedimento de PRF específico ilustrado nas FIGS. 2A e 2B, a pré-forma 18 é uma peça de trabalho de alumínio cilíndrica oca com uma extremidade inferior fechada 20 e uma extremidade superior aberta 22,
15 tendo um diâmetro externo igual ao diâmetro externo do gargalo da forma de garrafa a ser formada, e as tensões de formação da operação de PRF estão dentro dos limites ajustados pela conformabilidade da pré-forma (que depende da temperatura e taxa de formação). Com uma pré-forma tendo esta propriedade de formabilidade, a forma da cavidade de matriz 11 é feita
20 exatamente como requerida para o produto final e o produto pode ser feito em uma operação de PRF única. O movimento do êmbolo 14 e a taxa da pressurização interna são de modo a minimizar as tensões da operação de formação e para produzir a forma desejada do recipiente. Características de gargalo e parede lateral resultam primariamente da expansão da pré-forma
25 devido à pressão interna, enquanto a forma do fundo é definida primariamente pelo movimento do pistão e punção 12, e o contorno da superfície de punção faceando a extremidade fechada da pré-forma 20.

Sincronização própria da aplicação da operação de pressão de fluido interna (translação na cavidade de matriz) do êmbolo e punção são

importantes. FIG. 3 mostra um gráfico de dado simulado gerado por computador (sequência de saídas de análise de elemento finito) representando a operação de formação das FIGS. 2A e 2B com pressão de ar, controlada por fluxo. Especificamente, o gráfico ilustra o histórico de pressão e tempo de êmbolo envolvidos. Como será aparente da FIG. 3, a pressão de fluido dentro da pré-forma ocorre em estágios sucessivos de (i) levantar um primeiro pico 24 antes da expansão da pré-forma começar, (ii) cair a um valor mínimo 26 conforma expansão começa, (iii) levantar gradualmente a um valor intermediário 28 conforma expansão procede até a pré-forma estar estendida embora não em completo contato com a parede da matriz, e (iv) levantar mais rapidamente (em 30) do valor intermediário durante completção da expansão de pré-forma. Estabelecido com referência a esta sequência de estágios de pressão, a iniciação da translação da punção para deslocar e deformar a extremidade fechada da pré-forma nos procedimentos de PRF preferidos ocorre (em 32) substancialmente no fim do estágio (iii). Unidades de tempo, pressão e deslocamento do êmbolo são indicadas no gráfico. O efeito das operações representadas na FIG. 3 na pré-forma (em uma simulação gerada por computador) é mostrado nas FIGS. 6A, 6B, 6C e 6D para tempos 0,0; 0,096; 0,134 e 0,21 segundos como representado no eixo x da FIG. 3.

No princípio da introdução de pressão de fluido interna à pré-forma oca, a punção 12 é disposta abaixo da extremidade fechada da pré-forma (assumindo uma orientação vertical axialmente do aparelho, como mostrado) em relação de proximidade proximamente (p.ex. tocando), de modo a limitar alongamento axial da pré-forma sob a influência da pressão interna fornecida. Quando expansão da pré-forma alcança um grau substancial embora não totalmente completo, o êmbolo 14 é acionado para forçosamente transladar a punção para cima, deslocando o metal da extremidade fechada da pré-forma para cima e deformando a extremidade fechada no contorno da superfície da punção, conforma expansão lateral da pré-forma por pressão

interna é completa. O deslocamento para cima da extremidade de pré-forma fechada, nestes procedimentos descritos, não move a pré-forma para cima em relação a matriz ou causa a parede lateral da pré-forma a deformar (como pode ocorrer por operação para cima prematura do êmbolo) devido à extensão da expansão da pré-forma que já tenha ocorrido quando o êmbolo começa a acionar a punção para cima.

Um segundo exemplo de um procedimento de PRF é ilustrado nas FIGS. 4A-4D. Neste exemplo, como naquele das FIGS. 2A e 2B, a pré-forma cilíndrica 38 tem um diâmetro externo inicial igual ao diâmetro mínimo (gargalo) do produto final. Entretanto, neste exemplo é assumido que as tensões de formação da operação de PRF excede os limites de conformabilidade da pré-forma. Neste caso, duas operações de formação de pressão sequencial são requeridas. A primeira (FIGS. 4A e 4B) não requerem um êmbolo e simplesmente expande a pré-forma dentro de uma matriz dividida simples 40 para uma peça de trabalho de diâmetro maior 38a por pressurização interna. O segundo é um procedimento de PRF (FIGS. 4C e 4D), inicia com a peça de trabalho como inicialmente expandida na matriz 40 e, empregando uma matriz dividida 42 com uma cavidade conformada em garrafa 44 e uma punção 46 acionada por um êmbolo 48, p.ex. usando ambas pressão interna e movimento do êmbolo, produz a forma de garrafa desejada final, incluindo todas características do perfil de parede lateral e os contornos do fundo, que são produzidos primariamente pela ação da punção 46.

Um terceiro exemplo de um procedimento de PRF é mostrado nas FIGS. 5A e 5B. Neste exemplo, a pré-forma 50 é feita com um diâmetro externo inicial que é maior que o diâmetro externo mínimo desejado (usualmente o diâmetro do gargalo) do recipiente conformado em garrafa final. Esta escolha da pré-forma pode resultar de considerações dos limites de formação da operação de pré formar ou pode ser escolhida para reduzir as tensões na operação de PRF. Em consequência, fabricação do produto final

pode incluir tanto expansão em diâmetro e compressão da pré-forma e assim não pode ser realizada com o aparelho de PRF sozinho. Uma operação de PRF única (FIG. 5A, empregando matriz dividida 52 e punção acionada por êmbolo 54) é usada para formar os perfis de parede e fundo (como na modalidade das FIGS. 2A e 2B) e uma formação de giro ou outra operação de formação de gargalo é requerida para conformar o gargalo do recipiente. Como ilustrado na FIG. 5B, um tipo de procedimento de formação de giro que pode ser empregado é aquele estabelecido na patente U.S. No. 6.442.988, a divulgação total da qual é incorporada aqui por esta referência, usando vários conjuntos em tandem de discos de formação de giro 56 e um mandril cônico 58 para formar o gargalo da garrafa 60.

Na prática do procedimento de PRF descrito acima, tensões de PRF podem ser grandes. Composição de liga é consequentemente selecionada ou ajustada para fornecer uma combinação de propriedades de produto desejadas e conformabilidade intensificada. Se ainda melhor conformabilidade é requerida, a temperatura de formação pode ser aumentada, uma vez que um aumento na temperatura permite melhor conformabilidade; assim, a(s) operação(ões) de PRF podem necessitar serem conduzidas em elevadas temperaturas e/ou a pré-forma pode requerer um recozimento de recuperação, de modo a aumentar sua conformabilidade.

Procedimentos de PRF podem também ser usados para dar forma a recipientes a partir de outros materiais, tais como aço.

A importância de mover a punção acionada por êmbolo 12 na cavidade de matriz 11 para deslocar e deformar a extremidade fechada 20 da pré-forma 18 (como nas FIGS. 2A e 2B) pode ser ainda explicada por referência à FIG. 3 (mencionada acima) como considerada junto com FIGS. 6A-6D, nas quais a linha pontilhada representa o perfil vertical da cavidade de matriz 11, e o deslocamento (em milímetros) da punção contornada de abóbada 12 várias vezes após a iniciação da pressão interna ser representada

pela escala no lado da mão direita daquela linha pontilhada.

O êmbolo serve duas funções essenciais na formação da garrafa de alumínio. Ele limita as tensões à tração axial e forma a forma do fundo do recipiente. Inicialmente a punção acionada por êmbolo 12 é mantida em proximidade próxima a, ou apenas encostando, o fundo da pré-forma 18 (FIG. 6A). Isto serve para minimizar o alongamento axial da parede lateral da pré-forma que poderia de outra forma ocorrer como um resultado da pressurização interna. Assim, conforme a pressão interna é aumentada, a parede lateral da pré-forma irá expandir para contactar o interior da matriz sem significativamente alongar. Nestes procedimentos, em algum ponto no tempo o fundo da pré-forma irá se tornar proximamente hemisférico em forma, com o radio do hemisfério aproximadamente igual aquele da cavidade de matriz (FIG. 6B). É no ou logo antes deste ponto no tempo que o êmbolo deve ser acionado para acionar a punção 12 para cima (FIG. 6C). O perfil do nariz do êmbolo (p.ex. o contorno da superfície da punção) define completamente o perfil do fundo do recipiente. Conforme a pressão de fluido interna completa a moldagem da pré-forma contra a parede da cavidade de matriz (comparar o ombro da garrafa e gargalo nas FIGS. 6B, 6C e 6D), o movimento do êmbolo, combinado com a pressão interna, força o fundo da pré-forma nos contornos da superfície de punção em uma maneira que produz o contorno desejado (FIG. 6D) sem tensões à tração excessivas que podem, concebivelmente, levar a falha. O movimento para cima do êmbolo aplica forças compressivas à região hemisférica da pré-forma, reduz tensão geral causada pela operação de pressurização, e ajuda na alimentação do material radialmente para fora para encher os contornos do nariz de punção.

Se o movimento do êmbolo é aplicado muito cedo, em relação à taxa de pressurização interna, a pré-forma é provável que curve e dobre devido às forças axiais compressivas. Se aplicado muito tarde, o material sofre tensão excessiva na direção axial causando ele a falhar. Assim,

coordenação da taxa de pressurização interna e movimento do êmbolo e nariz de punção é requerida para uma operação de formação bem sucedida. O tempo necessário é melhor concluído por análise de elemento finito (FEA) do processo. FIG. 3 é com base nos resultados da FEA.

5 Procedimentos de PRF tem sido então ainda descritos, e exemplificados na FIG. 3, como se nenhuma pressão de fluido positiva (p.ex. superatmosférica) foi aplicada ao exterior da pré-forma dentro da cavidade de matriz. Em tal caso, a pressão externa na pré-forma na cavidade poderia ser substancialmente pressão atmosférica ambiente. Conforme a pré-forma
10 expande, ar na cavidade poderia ser expulso (por diminuição progressiva de volume entre o exterior da pré-forma e a parede da matriz) através de uma abertura ou alisamento de descarga adequada fornecida para este fim e comunicando entre a cavidade de matriz e o exterior da matriz.

 Estabelecido com referência específica a recipientes de
15 alumínio, por meio de ilustração, tem sido mostrado pela FEA que na ausência de qualquer pressão externa positiva aplicada, uma vez que a pré-forma inicia a deformar (escoar) plasticamente, a taxa de tensão na pré-forma se torna muito alta e é essencialmente incontrolável, devido à taxa de endurecimento de trabalho baixa ou zero das ligas de alumínio na temperatura
20 de processo (p.ex. em torno de 300 °C) da operação de formação por êmbolo de pressão.

 Isto é para dizer em tais temperaturas a taxa de endurecimento do trabalho das ligas de alumínio é essencialmente zero e ductilidade (p.ex. limite de formação) diminui com aumento da taxa de tensão. Assim, a
25 habilidade de fazer o produto de recipiente conformado final desejado é diminuído conforma a taxa de tensão da operação de formação aumenta e a ductibilidade do alumínio decresce.

 De acordo com uma característica adicional dos procedimentos de PRF, pressão de fluido positiva é aplicada ao exterior da pré-forma na

cavidade de matriz, simultaneamente com a aplicação de pressão de fluido positiva ao interior da pré-forma. Estas pressões de fluido positiva externa e interna são respectivamente fornecidas por dois sistemas de pressão controlados independentemente. A pressão de fluido positiva externa pode ser
 5 convenientemente fornecida conectando uma fonte controlável independentemente de pressão de fluido positiva para a abertura ou alisamento de descarga acima mencionada, de modo a manter uma pressão positiva no volume entre a matriz e a pré-forma expandida.

FIG. 7 e 8 compara o histórico de pressão vs. tempo e tensão
 10 vs. tempo para formação por êmbolo de pressão de um recipiente com e sem controle de pressão externa positiva (o termo “tensão” aqui refere ao alongamento por unidade de comprimento produzida em um corpo por uma força externa). Linha 101 da FIG. 7 corresponde a linha designada “Pressão” na FIG. 3, para o caso onde não existe pressão de fluido positiva externa
 15 agindo na pré-forma; linha 103 da FIG. 8 representa a tensão resultante para uma posição particular (elemento) como determinado pela FEA. Claramente a tensão é quase instantânea neste caso, implicando taxas de tensão altas e tempos muito curtos para expandir a pré-forma em contato com a parede da matriz. Em contraste, linhas 105, 107 e 109 da FIG. 7 respectivamente
 20 representam pressão de fluido positiva interna, pressão de fluido positiva externa, e o diferencial entre as duas, quando ambas pressões externa e interna são controladas, p.ex., quando pressões de fluido positiva interna e externa, independentemente controladas, são simultaneamente aplicadas à pré-forma na cavidade de matriz; a pressão interna é maior que a pressão externa de
 25 modo que existe um diferencial de pressão interna-externa positiva líquido quando necessário para afetar expansão da pré-forma. Linha 111 na FIG. 8 representa tensão de aro (tensão produzida no plano horizontal em torno da circunferência da pré-forma conforme está expandindo) para a condição de pressão interna-externa controlada independentemente representada pelas

linhas 105, 107 e 109; será visto que a tensão do aro mostrada pela linha 111 alcança o mesmo valor final que aquele da linha 103 mas por um tempo muito maior e assim em uma taxa de tensão muito baixa. Linha 115 na FIG. 8 representa tensão axial (tensão produzida na direção vertical como os
5 comprimentos da pré-forma).

Simultaneamente fornecendo pressões de fluido positiva interna e externa controlável agindo na pré-forma na cavidade da matriz, e variar a diferença entre estas pressões interna e externa, a operação de formação permanece completamente em controle, evitando taxas de tensão
10 muito altas e incontroláveis. A ductibilidade da pré-forma, e assim o limite de formação da operação, é aumentado por duas razões. Primeiro, diminuindo a taxa de tensão da operação de formação aumenta a ductibilidade inerente da liga de alumínio. Segundo, a adição da pressão positiva externa diminui (e potencialmente pode fazer negativa) a tensão hidrostática na parede da pré-
15 forma expandindo. Isto pode reduzir o efeito detrimental de dano associado com microespaços e partículas intermetálicas no metal. O termo “tensão hidrostática” aqui refere a média aritmética de três tensões normais nas direções x, y e z.

Esta característica assim descrita intensifica a habilidade da
20 operação de formação por êmbolo de pressão a ser bem sucedida fazendo recipientes de alumínio nas formas de garrafa e semelhantes, permitindo controle da taxa de tensão da operação de formação e diminuindo a tensão hidrostática no metal durante formação.

A seleção do diferencial de pressão é com base nas
25 propriedades do material do metal do qual a pré-forma é feita. Especificamente, a tensão produzida e taxa de endurecimento de trabalho do metal devem ser considerados. A fim de que a pré-forma escoe plasticamente (p.ex. inelasticamente), o diferencial de pressão deve ser de modo que tensão eficaz (Mises) na pré-forma exceda a tensão produzida. Se existe uma taxa de

endurecimento de trabalho positiva, uma tensão eficaz aplicada fixa (da pressão) em excesso da tensão produzida iria causar o metal a deformar a um nível de tensão igual àquele da tensão eficaz aplicada. Neste ponto a taxa de deformação deve aproximar de zero. No caso de uma taxa de endurecimento de trabalho muito baixa ou zero, o metal irá deformar em uma taxa de tensão alta até que tanto entre em contato com a parede da matriz (matriz) ou fratura tenha ocorrido. Em temperaturas elevadas antecipadas para o processo de PRF, a taxa de endurecimento de trabalho das ligas de alumínio é baixa a zero.

Exemplos dos gases adequados para uso para fornecer ambas pressões interna e externa incluem, sem limitação, nitrogênio, ar e argônio, e quaisquer combinações destes gases.

A taxa de tensão plástica em qualquer ponto na parede da pré-forma, em qualquer ponto no tempo, depende apenas da tensão eficaz instantânea, que por sua vez depende apenas do diferencial de pressão. A escolha da pressão externa é dependente da pressão interna, com o princípio global para alcançar e controlar a tensão eficaz, e assim a taxa de tensão, na parede da pré-forma.

FIG. 9 mostra um mecanismo de controle diferente que pode ser usado no processo de formação. Simulações de elemento finito tem sido usadas para otimizar o processo. Na FIG. 9, linha 120 representa pressão interna (P_{in}) agindo na pré-forma, linha 122 representa pressão externa (P_{ext}) agindo na pré-forma, e linha 124 representa o diferencial de pressão ($P_{dif} = P_{in} - P_{ext}$). Esta figura mostra o histórico de pressão de um método de controle. Neste caso, a massa de fluido na cavidade interna é mantida constante e a pressão na cavidade externa (fora da pré-forma) é diminuída linearmente. Propriedades de material dependendo da taxa de tensão são também incluídas na simulação. Este mecanismo de controle último é atualmente preferido porque resulta em um processo mais simples.

Um exemplo do aparelho para realizar certos procedimentos de PRF para formar um recipiente de metal é ilustrado nas FIGS. 10-13. Este aparelho inclui uma matriz dividida 210 com uma cavidade perfilada 211 definindo uma forma de garrafa axialmente vertical, uma punção 212 contornada para transmitir uma configuração de fundo de recipiente desejada (que pode ser assimétrica), um êmbolo de apoio 214 para mover a punção, e um êmbolo de vedação 216 para vedar a extremidade superior aberta da cavidade de matriz e de uma pré-forma de recipiente de metal (p.ex. alumínio) quando a pré-forma é inserida dentro da cavidade como mostrado na FIG. 10, bem como componentes adicionais e instrumentalidades descritas abaixo.

Na matriz dividida do aparelho das FIGS. 10-13, insertos primários intercambiáveis 219 e seções ou insertos de perfil secundário 221 e 223 ajustam na superfície interna de um suporte de inserto dividido 225 recebido no elemento de matriz principal dividido 210. Estas seções podem servir como estênceis, tendo superfícies internas formadas com padrões de alívio (o termo “alívio sendo usado aqui para referir a ambos alívio positivo e negativo) para aplicar decoração ou relevo ao recipiente de metal como está sendo formado. Cada inserto 219, 221 e 223 é ele mesmo um inserto dividido, formado em duas peças separadas (219a, 219b; 221a, 221b; 223a, 223b) que são por sua vez respectivamente recebidos em canais semicilíndricos faceando axialmente vertical de duas metades de elementos de matriz principal dividido 210a, 210b.

Gás é alimentado a matriz através de dois canais separados para ambas pressurização externa e interna da pré-forma. O fornecimento de gás para o interior da cavidade de matriz externamente da pré-forma pode ser efetuado através de orifícios conjugados na estrutura da matriz 210 e suporte de inserto 225, pelo qual tem uma abertura ou canal para o interior da cavidade (por exemplo) através de um inserto 219, 221 ou 223; tal como uma abertura ou canal irá produzir uma característica de superfície no recipiente

formado, e conseqüentemente é posicionado e configurado para ser discreto, p.ex. para constituir uma parte do projeto da superfície de recipiente. Elementos de aquecimento podem ser incorporados na matriz. Um elemento de aquecimento 231 é montado dentro da pré-forma, coaxialmente com ela; este elemento de aquecimento pode eliminar qualquer necessidade de preaquecer o gás que, como em outras modalidades do presente método (descrito acima), é fornecido para o interior da pré-forma para expandir a pré-forma.

As características acima mencionadas dos aparelhos das FIGS. 10-13 permitem rapidez maior das mudanças de matriz, custos de energia reduzidos e taxas de produção aumentadas.

Como é adicionalmente ilustrado nos aparelhos das FIGS. 10-13, roscas de parafuso ou ressalto (para permitir ligação de uma tampa de fechamento de parafuso) e/ou um anel de gargalo pode ser formado em uma porção de gargalo do recipiente durante e como uma parte do procedimento de PRF mesmo, ao invés de por uma etapa de formação de gargalo separada, de novo por uma questão de taxas de produção aumentando. Isto é acompanhado pela criação de uma rosca negativa ou padrão de ressalto na porção da superfície interna da matriz dividida correspondendo ao gargalo do recipiente formado, de modo quando a pré-forma expande (na região do gargalo da cavidade da matriz) a rosca ou padrão de alívio de ressalto é transmitido ao mesmo. Para tal operação de formação de rosca, pelo menos a porção de gargalo da pré-forma é feita menor em diâmetro que o gargalo do recipiente formado final.

Estabelecido com referência particular às FIGS. 11-13, o suporte de inserto é constituído de duas metades de imagem espelhadas 225a, 225b cada tendo uma superfície interna geralmente semicilíndrica e axialmente vertical. O inserto primário 219 e os dois insertos divididos secundários 221 e 223 são dispostos em sucessão em tandem, contígua ao

longo do eixo da cavidade de matriz, cada metade de cada inserto secundário sendo ajustada em uma metade do suporte de inserto dividido de modo que, quando as duas metades do suporte de inserto são trazidas junto em relação faceando, as duas metades de cada inserto dividido estão em registro faceando com cada outra. Os insertos primário e secundário combinam um com outro em suas bordas horizontais 241, 243, 245 e tem superfícies externas que interajustam com características tais como saliências 247 formadas nas superfícies internas das metades do suporte de inserto dividido. Juntos, os insertos constituem a parede de matriz total definindo a forma do recipiente a ser formado.

Cada das metades de inserto de perfil primário 219a e 219b tem uma superfície interna definindo metade da porção superior, incluindo o gargalo, da forma de recipiente desejada, tal como uma forma de garrafa. Como indicado em 237 na FIG. 10. a superfície de formação de gargalo de cada metade deste inserto dividido primário pode ser contornado como uma rosca para transmitir uma engatando uma tampa ao gargalo do recipiente formado. O restante da superfície interna do inserto dividido primário pode ser suave, para produzir um recipiente de recipiente suave, ou texturizada para produzir um recipiente com uma rugosidade ou padrão repetido de superfície desejado.

Em ambas metades de tanto ou ambos dois insertos de perfil secundário (superior e inferior) 221 e 223 pode ter uma superfície interna configurada para fornecer padrões alívio positivo e/ou negativo, projetos, símbolos e/ou rótulo na superfície do recipiente formado. Vantajosamente, conjuntos múltiplos de insertos intercambiáveis são fornecidos, p.ex. com características de superfície diferindo uma da outra, para uso na produção de recipientes de metal formados com projetos correspondentemente diferentes ou superfícies. Mudanças ferramentais pode ser efetuadas muito rapidamente e simplesmente escorregando um conjunto de insertos fora do suporte de

inserto e substituindo outro conjunto de insertos que é intercambiável como ele. Vedação entre componentes opostos da matriz dividida é realizado por usinagem de precisão que elimina a necessidade de gaxetas e anéis.

5 No aparelho mostrado, o elemento de matriz dividida 210 é aquecido por doze hastes aquecedoras 249, cada metade da altura vertical do conjunto de matriz, inserida verticalmente no conjunto de matriz a partir do topo e fundo, respectivamente. O gás para pressurização interna e externa da pré-forma dentro da cavidade de matriz pode ser preaquecido alisando através de dois canais separados nos dois blocos de contenção de pressão de dois
10 componentes (elemento de matriz dividida 210). O canal para pressurização externa abre na cavidade de matriz, enquanto o canal para pressurização interna abre para o interior da pré-forma através de êmbolo de vedação 216, para qual o gás é entregue através do orifício de gás de êmbolo de vedação 250.

15 O elemento de aquecimento 231 é uma haste aquecedora ligada ao êmbolo de vedação e localizado coaxialmente com a pré-forma, estendendo para baixo na pré-forma, próxima ao fundo da mesma, através da extremidade superior aberta da pré-forma, quando o êmbolo de vedação está em sua posição totalmente abaixada para realização de um procedimento de
20 PRF. Elemento 231 tem seu próprio sistema de controle de temperatura separado (não mostrado). Com este arranjo, preaquecimento do gás pode ser evitado, permitindo eliminação do equipamento de preaquecimento de gás e também pelo menos evitando amplamente a necessidade de preaquecer os componentes de matriz, uma vez que apenas a pré-forma mesma necessita
25 estar em uma temperatura elevada. O êmbolo de vedação é fornecido com um anel de isolamento de temperatura de cerâmica 253 para prevenir superaquecimento de hidráulicas adjacentes e células de carregamento.

Como ainda mostrado nas FIGS. 10 e 13, o aparelho é também fornecido com um adaptador de êmbolo de vedação hidráulico 255 e um

adaptador de êmbolo de suporte hidráulico 257; um adaptador de êmbolo de vedação de anel de isolamento 259; anel de êmbolo de vedação 261; e tampas de extremidade de contenção de pressão superior e inferior 263 para cada metade do elemento de matriz principal dividido 210. Um sistema de came
5 pode ser usado como uma alternativa à hidráulica para mover os êmbolos.

A Presente Invenção

Como modalizado em procedimentos de PRF dos tipos descritos acima, o método da presente invenção proporciona um novo e melhorado modo para efetuar expansão para fora progressiva da pré-forma de
10 sua extremidade aberta para sua extremidade fechada, p.ex., a convenção da orientação aqui ilustrada, do topo ao fundo da matriz, durante a etapa de sujeitar a pré-forma (disposta na cavidade de matriz) a pressão de fluido interna. Tal expansão para fora progressiva é ilustrada nas FIGS. 14A, 14B e 14C, para o caso de uma pré-forma 18 sofrer formação por êmbolo de pressão
15 em uma matriz 10 como na FIG. 1. Inicialmente, a pré-forma alongada, geralmente cilíndrica, com sua extremidade inferior fechada 20 e extremidade superior aberta 22, é disposta dentro da cavidade de matriz perfilada (FIG. 14A). Neste tempo, a punção 12 no fundo da cavidade de matriz pode ser posicionada para engatar a extremidade inferior de pré-forma 20. Conforme a
20 pré-forma é sujeita a pressão interna do fluido introduzido através do ajuste de pressão 16 (como representado pela seta apontando para baixo), com a punção mostrada (neste exemplo) como remanescendo estacionária, a parede lateral da pré-forma começa a salientar para fora. Desejavelmente, esta formação de saliência para fora começa na parte superior da pré-forma (FIG. 14B) e
25 procede para baixo para a parte inferior da pré-forma até a parede lateral da pré-forma total engatar com a parede da cavidade da matriz (FIG. 14C), enquanto a punção move para cima sobre uma carga indicada pelas setas apontando para cima para conformar a extremidade inferior da pré-forma.

Até agora, nas operações de PRF, tal expansão progressiva tem

sido alcançada estabelecendo um gradiente de temperatura ao longo do comprimento da pré-forma do topo ao fundo, com a porção superior da pré-forma (próxima a sua extremidade aberta) aquecida à temperatura mais alta, e uma diminuição progressiva na temperatura a extremidade inferior (fechada) da pré-forma. Conforme a porção superior da pré-forma, sendo na temperatura mais alta, salienta para fora primeiro até entrar em contato com a cavidade de matriz, isto trava a pré-forma na matriz enquanto punção empurra contra a base (extremidade fechada) da pré-forma para formar o perfil de base.

De acordo com a presente invenção, ao invés de empregar um gradiente de temperatura ao longo do comprimento da pré-forma para causar expansão progressiva, uma pré-forma é fornecida tendo um gradiente de espessura ao longo da parede lateral da pré-forma, com a parte mais espessa da parede lateral estando na base (extremidade fechada) da pré-forma e com uma diminuição progressiva da espessura de parede em uma direção para cima (na direção da extremidade de topo aberta da pré-forma). Devido a este gradiente de espessura de parede, a parte mais fina (superior) da parede lateral de pré-forma protraí para fora primeiro quando pressão interna é aplicada e conforme a pressão aumenta durante formação, a expansão para fora da pré-forma progride para baixo para a extremidade fechada, na maneira mostrada nas FIGS. 14A, 14B e 14C.

Uma pré-forma 318 tendo um gradiente de espessura de parede produzindo expansão progressiva é mostrada na FIG. 15, que representa uma seção longitudinal através da parede lateral da pré-forma 319 e uma porção adjacente da extremidade fechada 320. Como aqui indicado, a parede lateral da pré-forma tem uma espessura máxima de 0,38 mm (0,0150 polegadas) adjacente à extremidade fechada 320 e diminui progressivamente a uma espessura mínima de 0,30 mm (0,0120 polegadas) adjacente à extremidade aberta 322.

Tal uma pré-forma pode ser prontamente reproduzida por um desenho e procedimento de alisamento como exemplificado nas FIGS. 16-24. Referindo primeiro às FIGS. 17A e 17B, uma matriz de chapa de alumínio circular, plana 324, adequadamente lubrificada, é sujeita a uma operação de acoplamento em uma primeira usinagem onde um pacote de ferramenta forma a matriz em um copo 326 usando métodos de desenho padrão. O copo é então transferido a um pacote de ferramenta de redesenho e sofre um primeiro redesenho para produzir uma peça de trabalho alongada 328 com diâmetro reduzido; da mesma maneira, um segundo redesenho é realizado, para efetuar alongamento adicional e redução do diâmetro da peça de trabalho como indicado em 330. Neste estágio, os copos redesenhados são aparados para remover topos não uniformes e para dimensionar altura da pré-forma. Os copos são transferidos de novo para um marcador de corpo para um terceiro redesenho (com alongamento adicional ainda e redução no diâmetro, indicado em 322) e uma etapa de alisamento com uma punção afilada 334 (FIG. 16) para reduzir a espessura de parede lateral da pré-forma para uma espessura predeterminada com um gradiente de temperatura ao longo da parede lateral. Após sair do marcador de corpo, as pré-formas são aparadas para remover qualquer não uniformidade na extremidade de abertura e para dimensionar a altura da pré-forma. A pré-forma aparada 318 é limpa e colocada em gargalo para reduzir o diâmetro da abertura de topo, após a qual uma terminação de fechamento desejada é formada.

Com referência adicional à FIG. 16, na etapa de alisamento a peça de trabalho 332 é colocada dentro de uma matriz de alisamento 338, e a punção contornada (afilada) 334, tendo seu diâmetro menor em sua extremidade adjacente para a extremidade fechada da peça de trabalho, é introduzida na peça de trabalho através da extremidade aberta da mesma e move em direção à seta apontando para baixo. O perfil da punção afilada define o gradiente de espessura da parede lateral da pré-forma produzida 328

uma vez que o diâmetro da matriz de alisamento é fixo. Conforme a punção dentro da matriz, ao longo do eixo comum da punção e matriz, a região do diâmetro de punção maior (espaço menor entre punção e matriz de alisamento) resulta na porção mais fina da parede de pré-forma, enquanto a

5 região de diâmetro de punção menor (espaço maior entre punção e matriz) resulta na porção mais grossa da parede de pré-forma. Geralmente estabelecidos, parâmetros pertinentes podem estar em faixas estabelecidas na TABELA 1.

TABELA 1

<u>Parâmetro</u>	<u>Faixa de Trabalho</u>	<u>Faixa Preferida</u>
Calibre de início da chapa		
polegadas	0,005 – 0,100	0,010 – 0,030
mm	0,13 – 2,5	0,25 – 0,76
Conicidade da punção	0,0001 – 1,0	0,01 – 0,10
Variação de espessura de parede	1 – 50%	20 – 40%

10 A variação de espessura de parede é a diferença entre a maior (T1) e menor (T2) espessura de parede, expressa como $[(T1-T2)/T2] \times 100\%$.

Em uma ilustração adicional da invenção, referência pode ser feita ao Exemplo seguinte específico.

EXEMPLO

15 Uma pré-forma de parede afilada de alumínio para uso na prática do método da invenção foi formada em cinco estágios discretos, que são mostrados esquematicamente nas FIGS. 18A, B, C e D. Estes cinco estágios, discutidos acima com referência às FIGS. 17A e B, foram arquear, primeiro redesenho, segundo redesenho, fabricação do corpo (p.ex. terceiro

20 redesenho e alisamento da parede), e corte.

Tabela 2 lista tamanho de peça bruta, diâmetro de redesenho, e porcentagem de redução usada para produzir as pré-formas de parede afiladas. A formação das pré-formas de exemplo de trabalho usaram padrões de peça bruta e desenhados, redesenhos e desenhos e processos de alisamento.

25 TABELA 2

<u>Diâmetro mm (pol)</u>	<u>Redução (%)</u>
--------------------------	--------------------

Branco 324	158 (6,217)	---
Desenho (copo) 326	106 (4,165)	33,01
1º Redesenho 328	76 (3,000)	27,97
2º Redesenho 330	52 (2,050)	31,67
3º Redesenho 332	37 (1,468)	28,39

A operação de peça bruta e desenho foi realizada usando um pacote de ferramenta de desenho e peça bruta em uma pressão de copo comercial 340. Uma bobina de liga de alumínio AA3104, temper H19, estoque de corpo de lata de calibre 0,50 mm (0,0199 polegadas) 342 foi alimentado na pressão de copo e pré lubrificado com lubrificante de copo DTI CI. Nesta pressão, que incluía uma punção 344, almofada de desenho 346, borda de corte 348 e matriz de desenho 350, a chapa foi apagada (cortada em peças brutas 324, ver FIGS. 17A e B) e desenhada nos copos 326.

Copos da operação de desenho e peça bruta foram transferidos a uma impressão de redesenho em que a primeira operação de redesenho foi realizada usando um pacote de ferramenta de redesenho genérico (FIG. 18B) incluindo uma punção 352, primeira manga de redesenho 354 e primeira matriz de redesenho 356, para produzir primeiros copos redesenhados 328.

Os primeiros copos redesenhados foram pré lubrificados mergulhando em uma emulsão 7:1 de água morna e lubrificante DTI CI cobre e a segunda operação de redesenho foi realizada em uma impressão axial dual servo hidráulica usando um pacote de ferramenta de redesenho de laboratório genérico 358 (FIG. 18C) incluindo uma punção 360, segunda manga de redesenho 362 e segunda matriz de redesenho, para produzir segundos copos redesenhados 330.

Neste estágio os segundos copos redesenhados foram aparados para remover topos não uniformes e lavados para remover restos aparados. Os segundos copos redesenhados foram pré lubrificados mergulhando em uma emulsão 7:1 de água morna e lubrificante DTI CI cobre, e transferidos para um pacote de ferramenta de marcador de corpo vertical de laboratório genérico 366 (FIG. 18D) incluindo uma punção afilada 334 como descrita

acima e, em sucessão, uma terceira manga de redesenho 368, um terceira matriz de redesenho 370, e um anel de alisamento ou matriz de alisamento 338. No marcador de corpo, os copos foram submetidos a um processo de alisamento e desenho padrão, primeiro alisando através do terceira matriz de redesenho 370 para produzir os terceiros copos redesenhados 332, e então alisando através do anel de alisamento 338 para produzir as pré-formas de parede afilada 318, usando a punção afilada 334 para ambas operações. Lubrificação do anel de alisamento (em emulsão 10:1 de água e lubrificante STI CI) foi fornecido por um sistema de lubrificação de laço fechado (não mostrado) incluindo um anel refrigerante/de lubrificação.

O terceira matriz de redesenho 370 foi dimensionado para receber a parte mais larga da punção de alisamento 334 e a espessura da parede lateral dos segundos copos redesenhados 330; então nenhum desbaste das paredes laterais do copo ocorreram durante o terceiro estágio de redesenho. O diâmetro do anel de alisamento 338, entretanto, foi menor, sendo então selecionado que a punção afilada em combinação aqui reduziu a espessura da parede lateral das pré-formas a uma espessura predeterminada com um gradiente ao longo da parede lateral (FIG. 19). A redução da alisamento relativa ao calibre de chapa original neste exemplo de trabalho foi 14,57% adjacente à extremidade fechada, afinando a 29,6% na extremidade aberta.

Após sair do marcador de corpo vertical, as pré-formas 318 foram aparadas para remover qualquer não uniformidade no topo e para transmitir a elas uma altura de 190,5 mm (7,5 polegadas). Uma vista da seção transversal mostrando gradiente de espessura e dimensões da pré-forma é mostrada na (FIG. 20). Adjacente ao topo, a espessura da parede lateral é 0,36 mm (0,014 polegadas), adjacentes ao fundo 320 a espessura da parede lateral é 0,43 mm (0,017 polegadas), a espessura da base é 0,5 mm (0,0199 polegadas), e o diâmetro é 38 mm (1,498 polegadas), como mostrado.

As pré-formas aparadas foram limpas em uma emulsão de água morna e sabão, e foram flangeadas (FIGS. 21A e 21B) na extremidade aberta para permitir vedação nas matrizes de formação, usando uma ferramenta de flangeamento 372 colocada na extremidade aberta da pré-forma e manualmente golpeada com um martelo de golpes para produzir um flange de vedação de 6,35 mm (um quarto de polegada). A seguir, as pré-formas flangeadas foram transferidas para um forno, em que elas foram totalmente recozidas a 450 °C por um tempo de cinco minutos. Após alcançar um recozimento total, elas foram permitidas a resfriar ar por uma meia hora.

As pré-formas assim produzidas neste exemplo de trabalho foram sujeitas a um processo de Formação por Cilindro de Pressão em uma usinagem hidráulica de servo muti eixo de laboratório 375 (FIG. 22) incluindo uma matriz ou cavidade de matriz 411, punção 412 com êmbolo de suporte 414, e êmbolo de vedação 416. Uma pré-forma de parede afilada 318 com um gradiente de espessura na parede lateral como descrita acima foi primeiro colocada em usinagem e a cavidade de matriz foi totalmente fechada. À pré-forma foi dado um período de preaquecimento de 90 segundos dentro da cavidade para garantir até distribuição de calor ao longo da pré-forma. A temperatura de cavidade de matriz foi ajustada com nenhum gradiente a uma temperatura de 250 °C. Após o período de preaquecimento do programa de Formação por Cilindro de Pressão foi executado. Durante este ciclo de formação a pré-forma foi sujeita a uma carga de vedação de flange de 1500 lbs (680,38 kg) e uma pressão interna de 400 psi (2757,9 kPa) em uma taxa de 300 psi/segundo (2068,4 kPa/segundo). Ao mesmo tempo o êmbolo de suporte começa a viajar uma distância de 10,16 mm (0,4 polegadas) em uma taxa de 3,38 mm (0,133 polegadas)/segundo. Durante este processo a pré-forma foi submetida a uma expansão total de 20% começando pelo diâmetro de 38 mm (1,498 polegadas) a um diâmetro de 45,72 mm (1,800 polegadas).

A pressão de formação movimento de êmbolo de suporte e

dado de saída de usinagem de carga de suporte tem sido plotados na FIG. 24.

FIGS. 23A, 2B, 23C e 23D são resultados de modelo de computador e ilustram a expansão progressiva de uma pré-forma tendo um gradiente de espessura de parede de acordo com a invenção, durante
5 realização de um método de formação por êmbolo de pressão modalizando a invenção, com base na análise do elemento finito (FEA). Como aqui mostrado, abres de sujeitar a pressão de fluido interna (FIG. 18A0 a pré-forma 218 tem uma parede lateral geralmente cilíndrica 319 espaçada uniformemente da parede da cavidade da matriz 411, enquanto a punção 412
10 na extremidade inferior da matriz repousa contra a extremidade fechada 320 da pré-forma. No começo da pressurização interna da pré-forma, a região mais fina da parede lateral, adjacente à extremidade superior aberta da pré-forma, expande para fora contra a parede da cavidade da matriz (FIG. 23B). Conforme pressurização interna aumenta, a expansão para fora da pré-forma
15 procede para baixo para uma região de espessura de parede maior (FIG. 23C). A punção 412 move para cima contra a extremidade inferior da pré-forma 320 para conformar a base do recipiente produzido (FIG. 23D), e a parede lateral da pré-forma uniformemente engata a parede da cavidade da matriz através de seu comprimento.

20 Isto é para dizer, como mostrado nas FIGS. 23A, 23B, 23C e 23D, a expansão da pré-forma de parede afilada inicia na porção fina superior da pré-forma (FIGS. 23A e B) devido ao desvio local do abaulamento sob a combinação da distribuição e pressurização da espessura da parede lateral. Conforme a pressão aumenta, esta expansão propaga do topo para a base da
25 pré-forma e finalmente o movimento do êmbolo completa a forma do recipiente (FIGS. 23C e D).

Embora o calibre da parede do recipiente final é mais fina que aquela da pré-forma a qual é feita, o gradiente de espessura de parede tende a ser preservado nos métodos de PRF modalizando a invenção, especialmente

nos recipientes de parede reta. Uma porção de fundo de recipiente fino, mais forte é desejável para ajudar o fundo abobadado a resistir a pressões internas como de um produto de aerossol contido, enquanto uma porção de topo mais fina facilita formação em um flange ou curva para um fechamento.

5 Assim, estabelecido amplamente, o corpo da presente invenção envolve formação por êmbolo de pressão de uma pré-forma tendo um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede diminui progressivamente da extremidade fechada para a extremidade aberta da pré-forma, p.ex. usando qualquer dos procedimentos de PRF descritos acima e
10 representados nas FIGS. 1-13.

Resumindo, de acordo com modalidades particulares da invenção, um gradiente de espessura é criado na parede de uma pré-forma alisando com uma punção afilada de modo que a parede se torne progressivamente mais fina na direção da extremidade aberta. Quando a pré-
15 forma é sujeita a pressão de fluido interna a uma matriz de PRF, expansão inicia no topo e move para baixo na direção da base. Isto é essencialmente o mesmo efeito que é alcançado pelo aquecimento na matriz de uma pré-forma de espessura de parede constante para induzir um gradiente de temperatura de topo a fundo, mas sem os problemas do efeito adverso (nos gradientes de
20 temperatura) de variáveis tais como velocidade de produção, dimensão da pré-forma e ajuste de ferramenta. Expansão progressiva previne ruptura permitindo a punção de êmbolo de fundo a mover para cima e formar a base, antes ou após a parte inferior do recipiente entrar em contato com a matriz.

É para ser entendido que a invenção não é limitada a
25 procedimentos e modalidades aqui especificadas anteriormente mas pode ser realizada em outras maneiras dentro do escopo das reivindicações seguintes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para formar um recipiente de metal de forma e de dimensões laterais definidas compreendendo as etapas de:

(a) dispor uma pré-forma de metal oca (18, 318) possuindo
5 uma parede (319), uma extremidade fechada (20, 320) e uma extremidade aberta (22, 322) em uma cavidade de matriz (10, 411) lateralmente encerrada por uma parede de matriz definindo as ditas forma e dimensões laterais, a extremidade fechada de pré-forma (20, 220) estando posicionada em relação de faceamento a uma extremidade da cavidade e
10 pelo menos uma porção da pré-forma sendo inicialmente espaçada para dentro a partir da parede de matriz, e

(b) submeter a dita pré-forma (18, 318) à pressão de fluido interna para expandir a pré-forma para fora para um contato substancialmente total com a parede de matriz (411), para, assim,
15 transmitir as ditas forma e dimensões laterais definidas para a pré-forma, a dita pressão de fluido exercendo força, em dita extremidade fechada (20, 320), direcionada na direção da dita uma extremidade da cavidade (10, 411),

caracterizado pelo fato de que a pré-forma (18, 318) como
20 disposta na cavidade de matriz (10, 411) possui um gradiente de espessura de parede de modo que a espessura de parede de pré-forma diminua progressivamente a partir da dita extremidade fechada (20, 320) em direção da dita extremidade aberta (22, 322).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado**
25 **pelo fato de que** uma punção (12, 412) está localizada em uma extremidade da cavidade e é transladável na cavidade, a extremidade fechada de pré-forma (20, 320) estando em relação de faceamento próximo à punção, e em que a punção (12, 412) é transladada na cavidade

para engatar e para deslocar a extremidade fechada da pré-forma em uma direção oposta à direção da força exercida pela pressão de fluido na mesma, deformando a extremidade fechada da pré-forma.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado**
5 **pelo fato de que** a punção (12, 412) é movida na cavidade após a pré-forma começar a se expandir mas antes da expansão da pré-forma estar completa na etapa (b).

4. Método, de acordo com a reivindicação 2 ou 3,
10 **caracterizado pelo fato de que** a punção (12, 412) é movida para um contato com a extremidade fechada (20, 320) da pré-forma antes do início da expansão da pré-forma e o contato é mantido por toda a expansão da pré-forma.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 4, **caracterizado pelo fato de que** a dita punção (12, 412) possui uma
15 superfície contornada, a extremidade fechada (20, 320) da pré-forma sendo deformada de modo a conformar com a dita superfície contornada.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 5, **caracterizado pelo fato de que** a dita forma definida é uma forma de garrafa incluindo uma porção de gargalo e uma porção de corpo maior nas
20 dimensões laterais do que a porção de gargalo, a dita cavidade de matriz possuindo um eixo geométrico longo, a dita pré-forma (18, 318) possuindo um eixo geométrico longo e sendo disposta substancialmente coaxialmente com a dita cavidade na etapa (a), e a dita punção (12, 412) sendo transladável ao longo do eixo geométrico longo da cavidade.

25 7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** a dita forma definida é assimétrica em torno do dito eixo geométrico longo da dita cavidade.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2

a 7, **caracterizado pelo fato de que** a dita punção (12, 412) é inicialmente posicionada, no início da etapa (b), para limitar um alongamento axial da pré-forma por meio da dita pressão de fluido.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 8, **caracterizado pelo fato de que** transladar a punção (12, 412) na cavidade é iniciada substancialmente ao mesmo tempo em que a dita porção da pré-forma (18, 318) começa a entrar em contato com a parede de matriz.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 9, **caracterizado pelo fato de que**, durante a etapa (b), a pressão de fluido dentro da pré-forma (18, 318) ocorre em estágios sucessivos de (i) elevar a um primeiro pico antes da expansão da pré-forma começar, (ii) cair a um valor mínimo à medida que a expansão se inicia, (iii) elevar gradualmente a um valor intermediário à medida que a expansão prossegue até a pré-forma (18, 318) estar em estendido, embora não em completo contato com a parede de matriz (411), e (iv) elevar a partir do valor intermediário durante conclusão da expansão da pré-forma; e em que iniciação da translação da punção (12, 412) para deslocar e para deformar a extremidade fechada da pré-forma ocorre substancialmente no fim do estágio (iii).

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 10, **caracterizado pelo fato de que**, durante a etapa (b), a extremidade fechada (20, 320) da pré-forma assume uma configuração aumentada e geralmente hemisférica na medida em que a dita porção da pré-forma entra em contato inicial com a parede de matriz (411) na etapa (b); e em que iniciação da translação da punção (12, 412) para deslocar e para deformar a extremidade fechada da pré-forma ocorre substancialmente no tempo em que a extremidade fechada da pré-forma assume a dita configuração.

12. Método, de acordo qualquer uma das reivindicações 2 a 11, **caracterizado pelo fato de que** o gradiente de espessura de parede de pré-forma é tal que na etapa (b), expansão para fora da pré-forma começa em uma região adjacente à extremidade aberta (22, 322) e progride em
5 uma direção na direção da extremidade fechada (20, 320).

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 12, **caracterizado pelo fato de que** inclui proporcionar a dita pré-forma de metal oca para dispor na etapa (a).

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2
10 a 13, **caracterizado pelo fato de que** proporcionar a dita pré-forma compreende desenhar e alisar uma chapa de metal de peça bruta, com alisamento realizado utilizando uma punção afilada que faz com que a parede de pré-forma fique progressivamente mais fina na direção da dita extremidade aberta.

15 15. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 a 14, **caracterizado pelo fato de que** a dita parede de matriz compreende uma matriz dividida separável para a remoção do recipiente formado seguindo a etapa (b).

FIG. 1

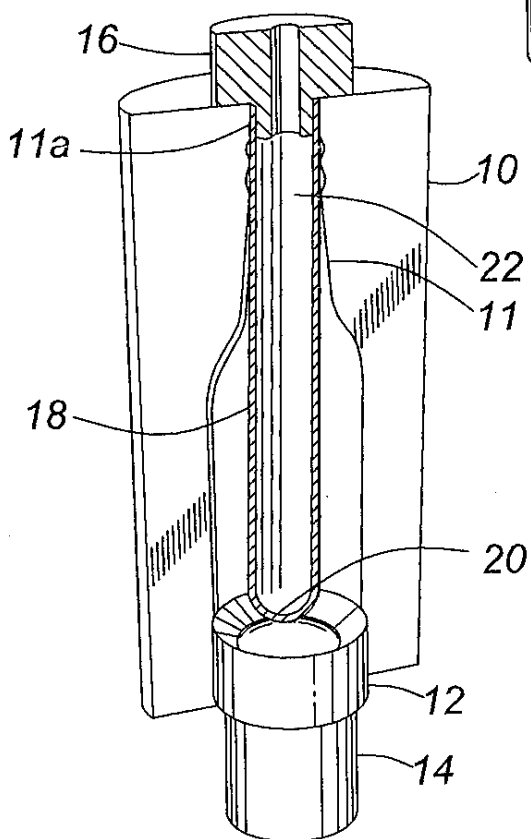
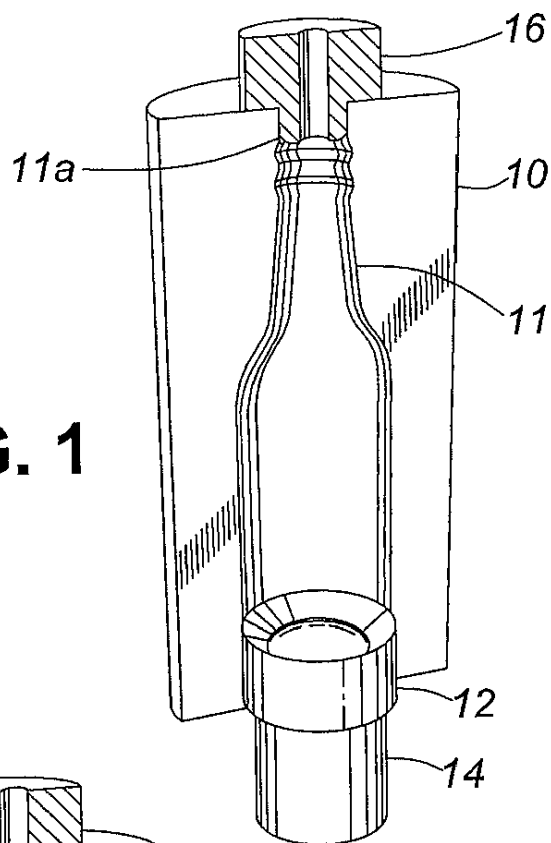


FIG. 2A

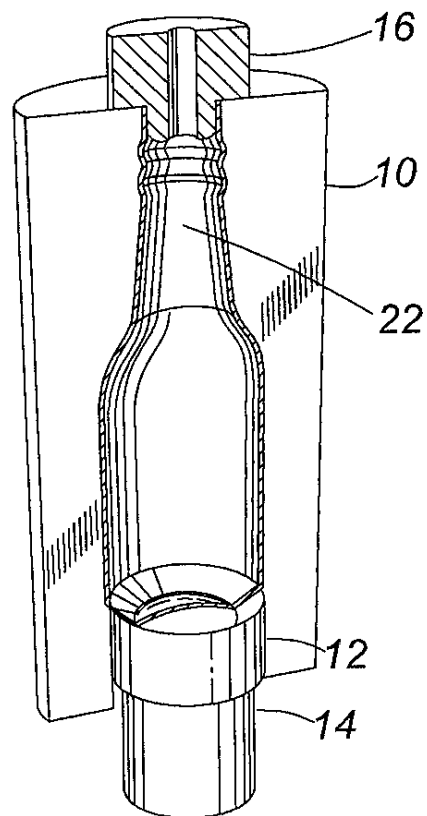
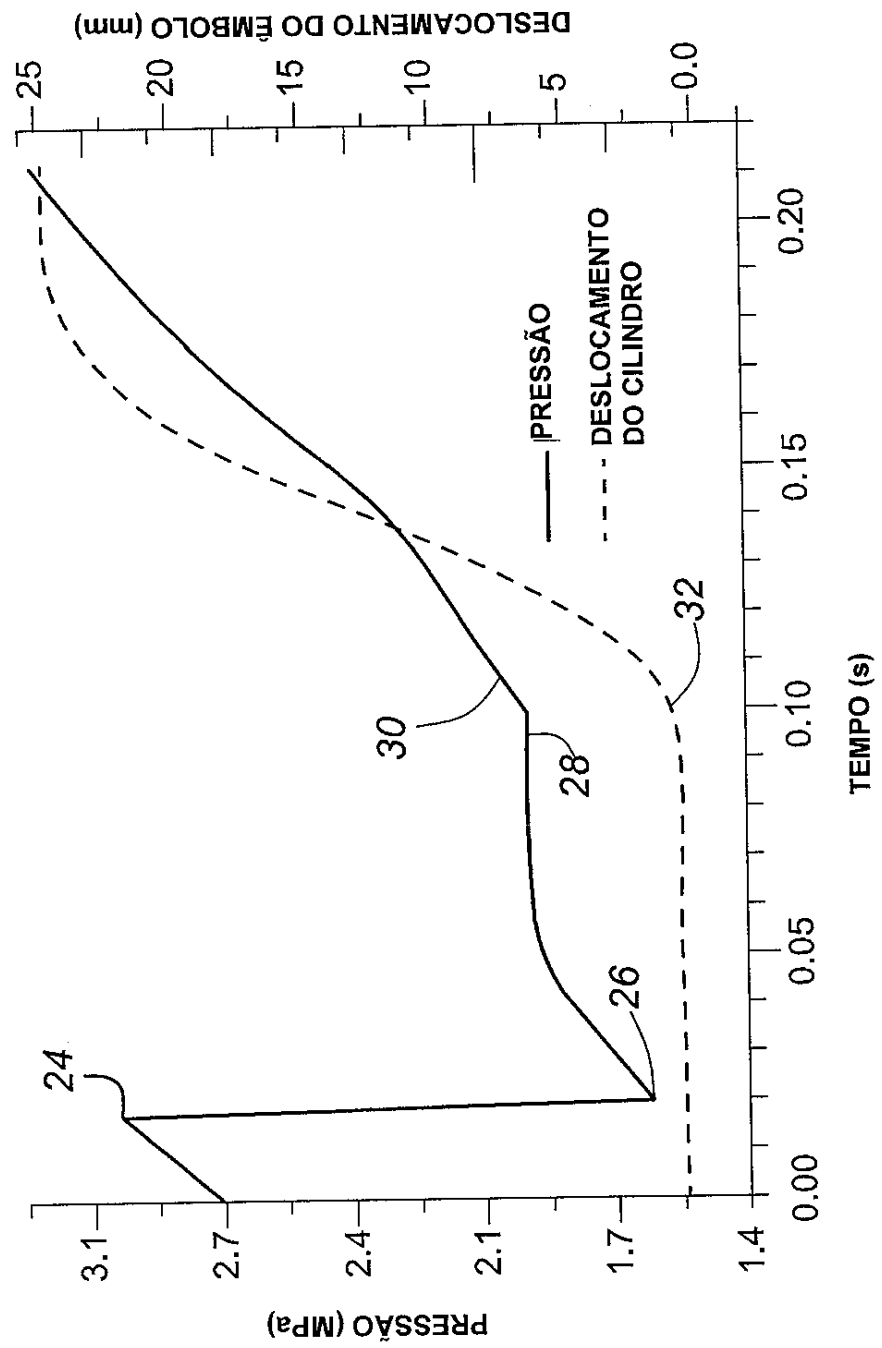


FIG. 2B

**FIG. 3**

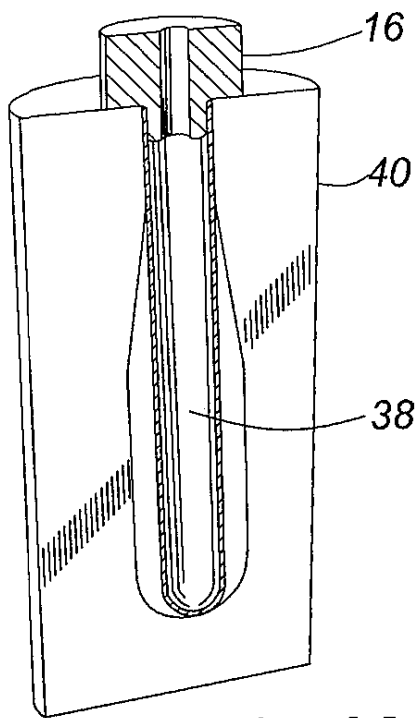


FIG. 4A

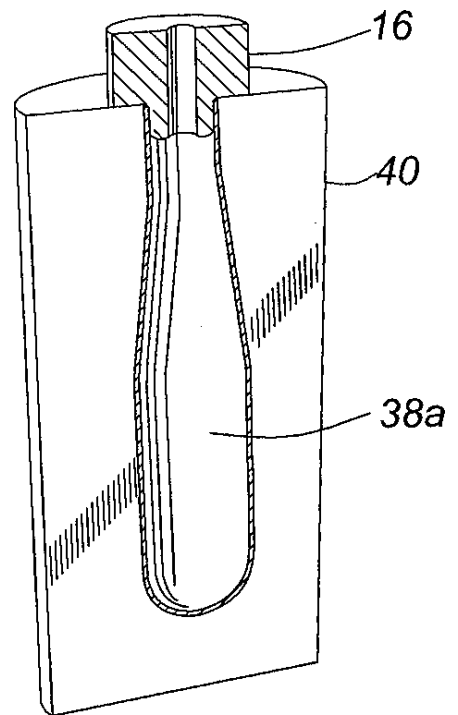


FIG. 4B

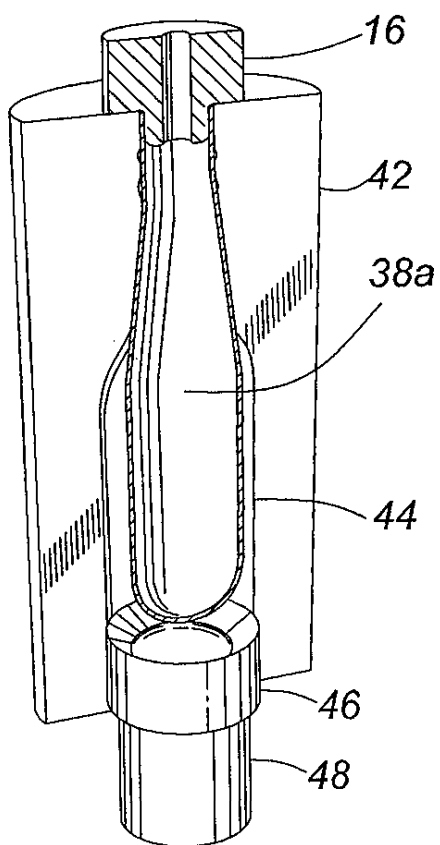


FIG. 4C

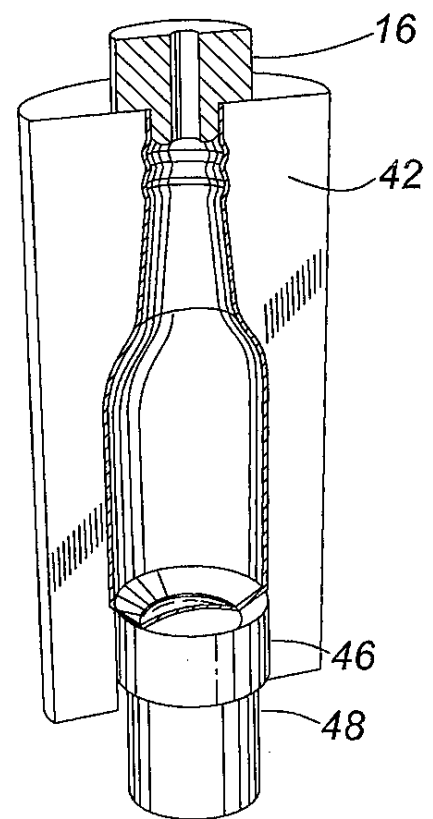


FIG. 4D

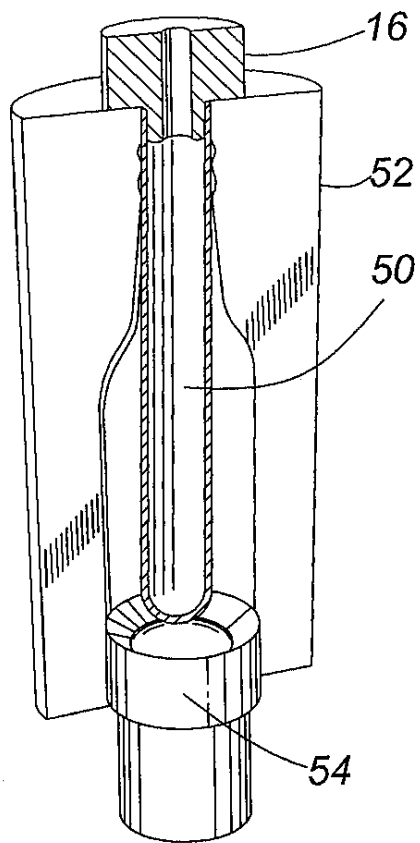


FIG. 5A

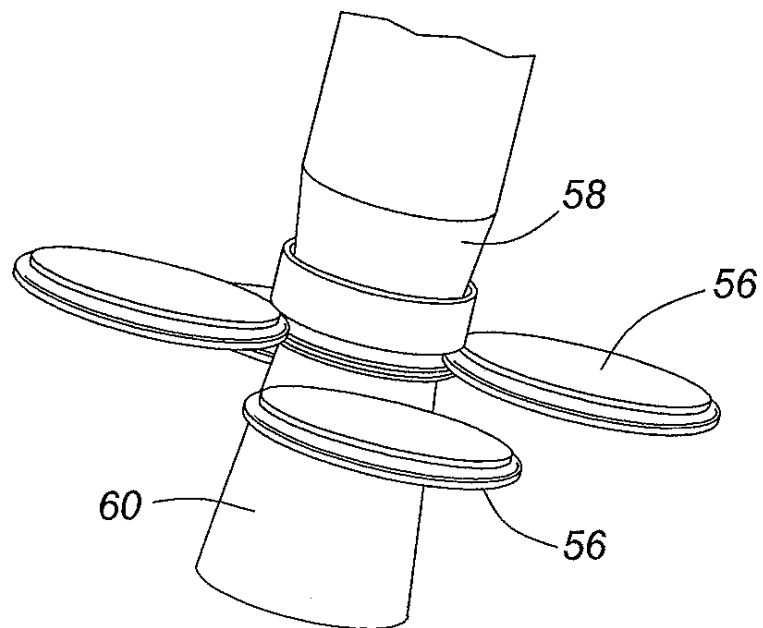


FIG. 5B

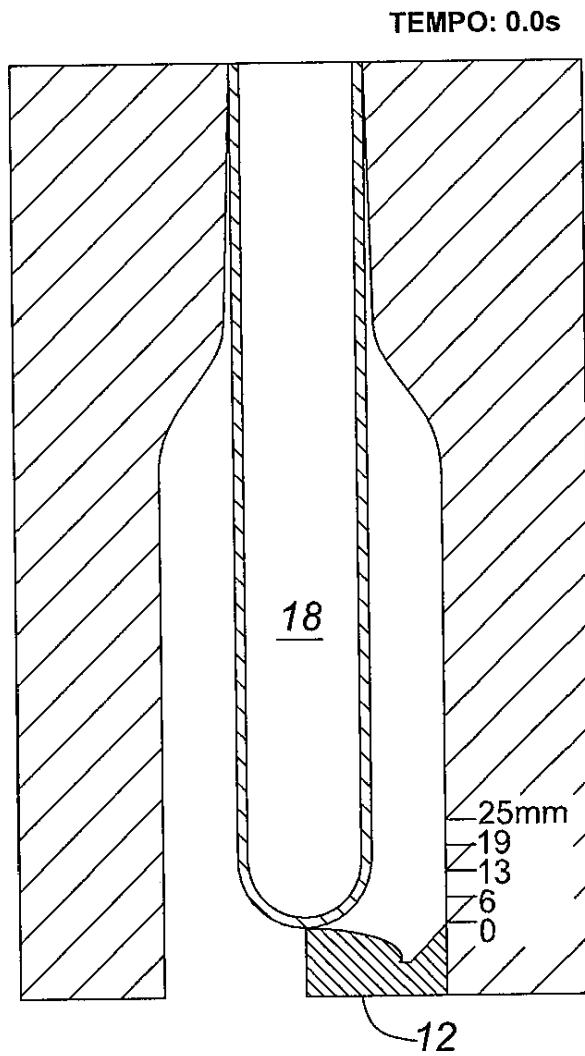


FIG. 6A

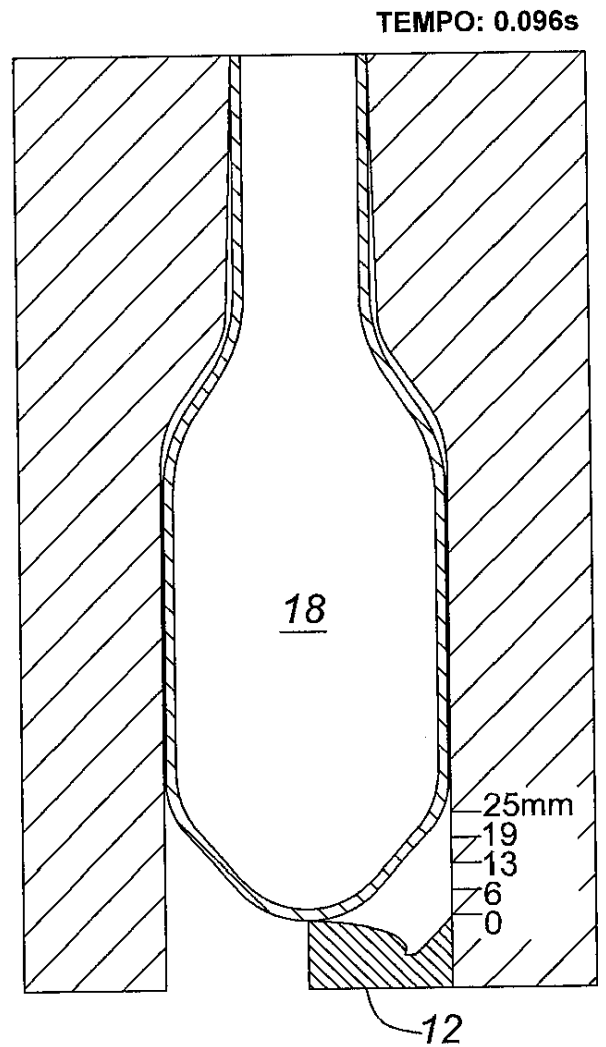


FIG. 6B

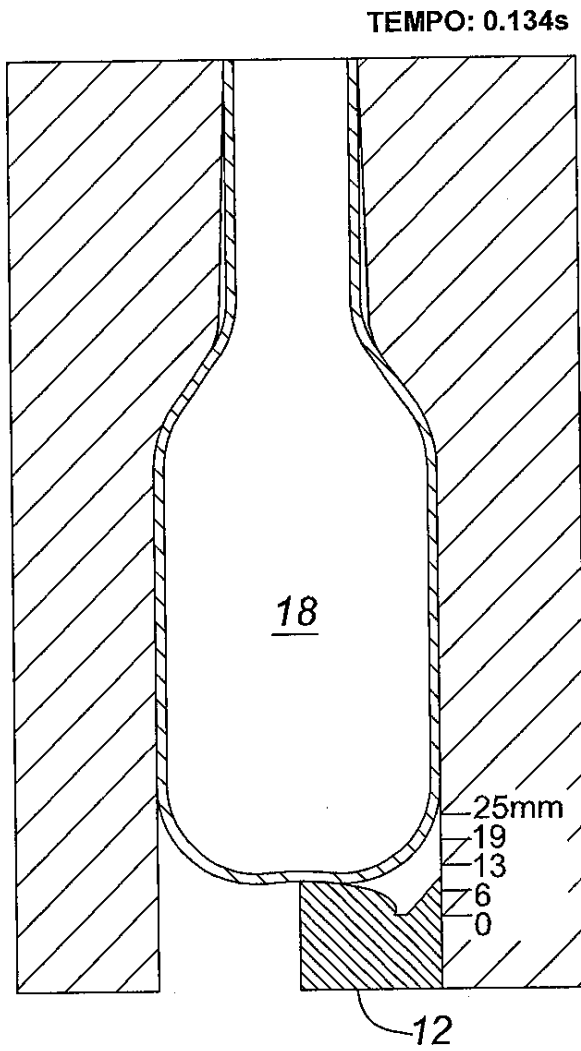


FIG. 6C

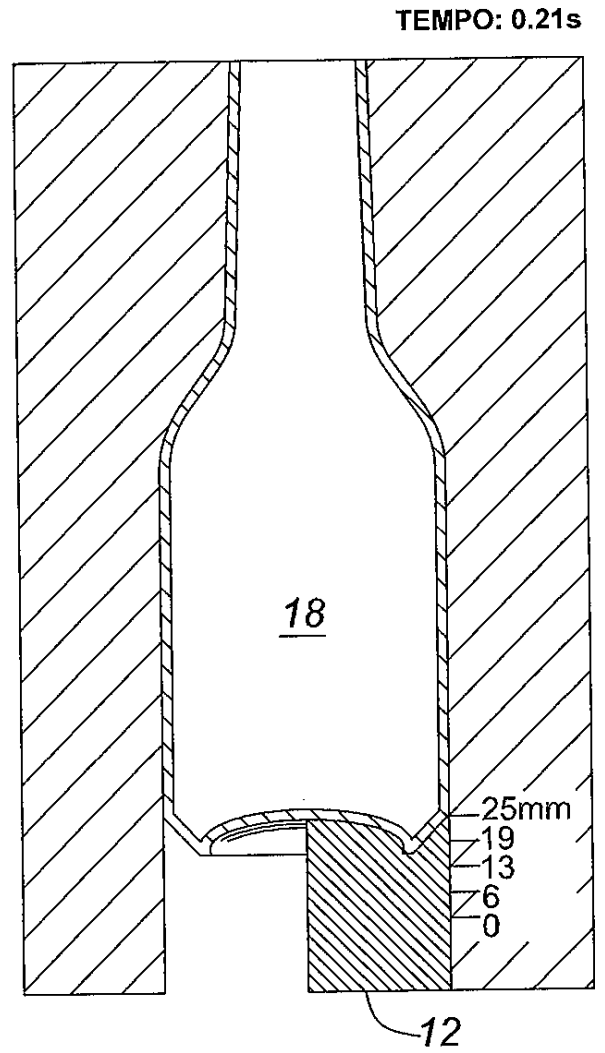


FIG. 6D

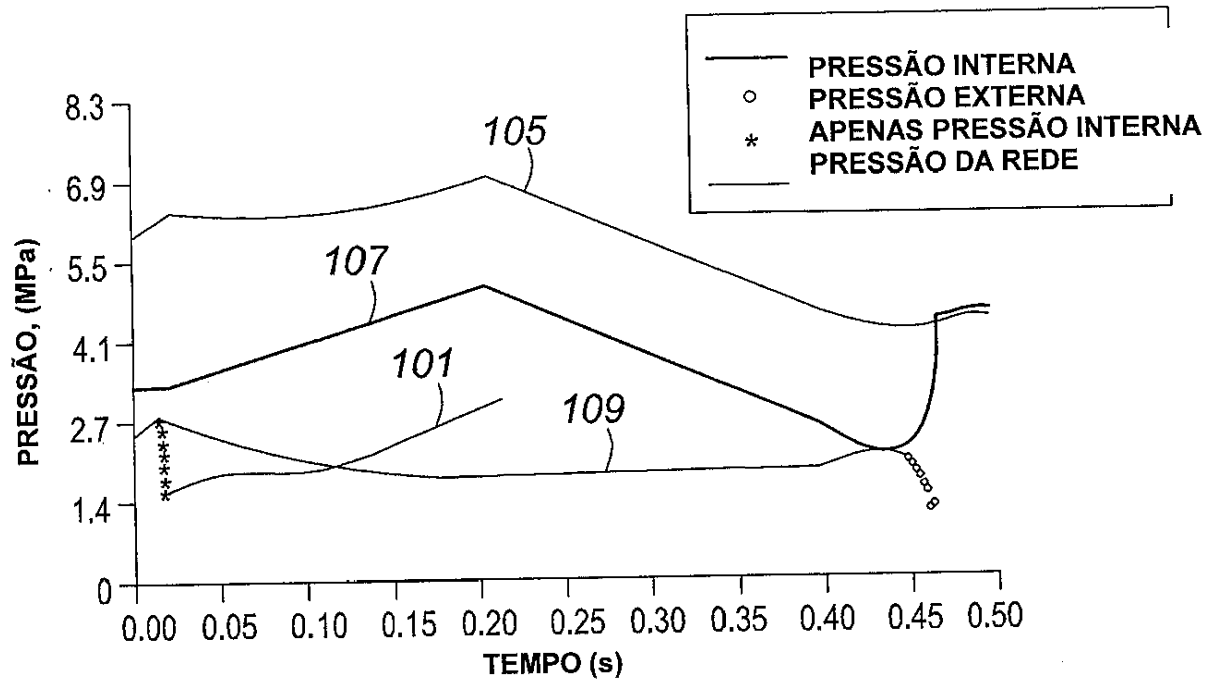


FIG. 7

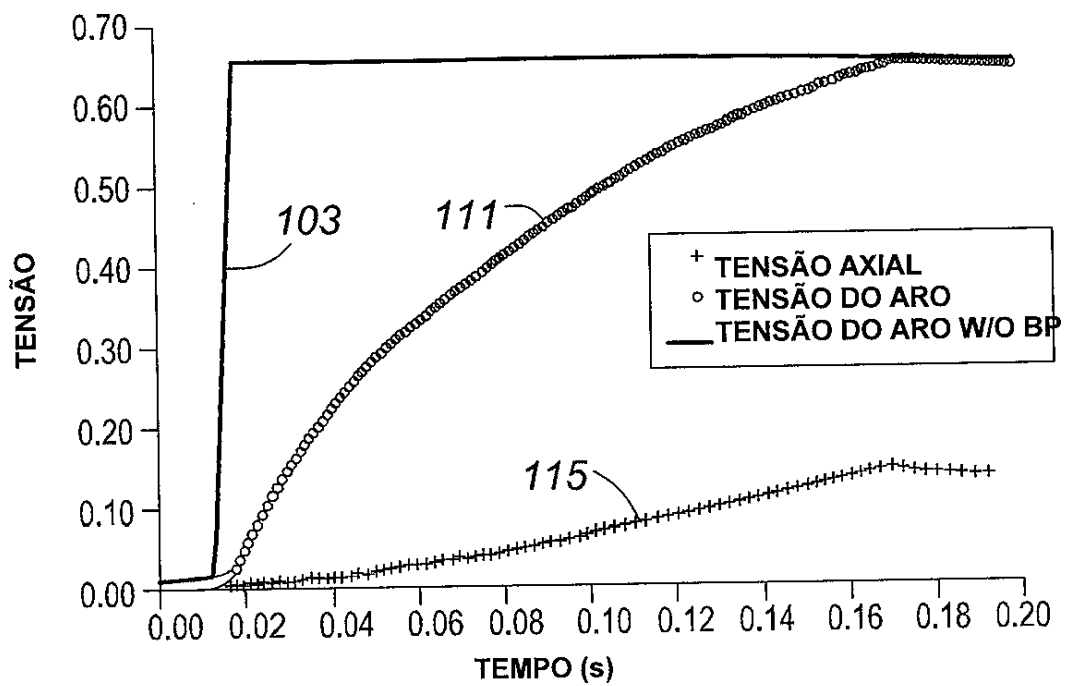
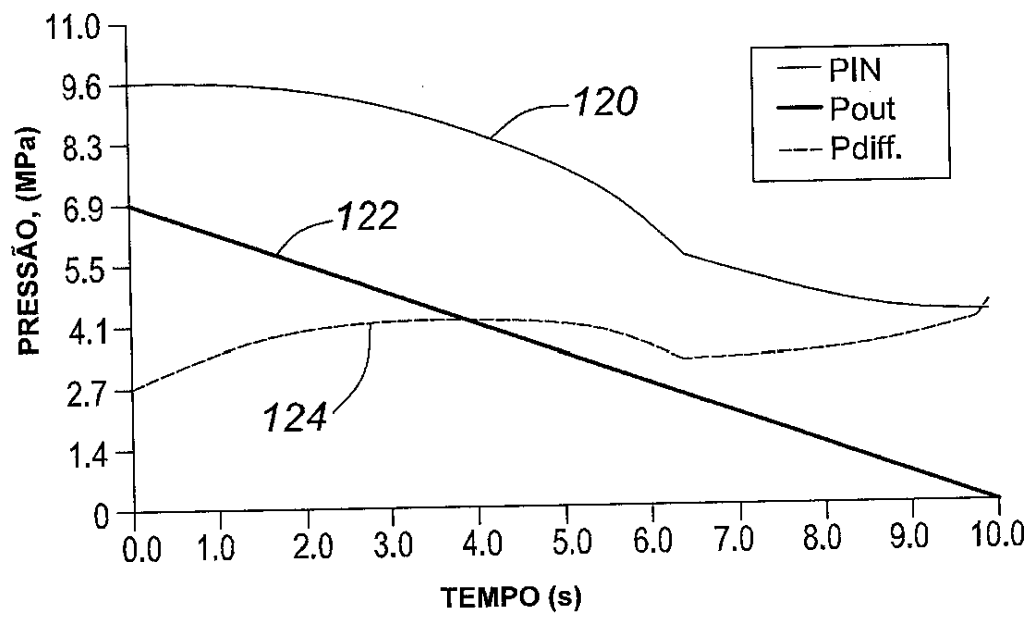


FIG. 8

**FIG. 9**

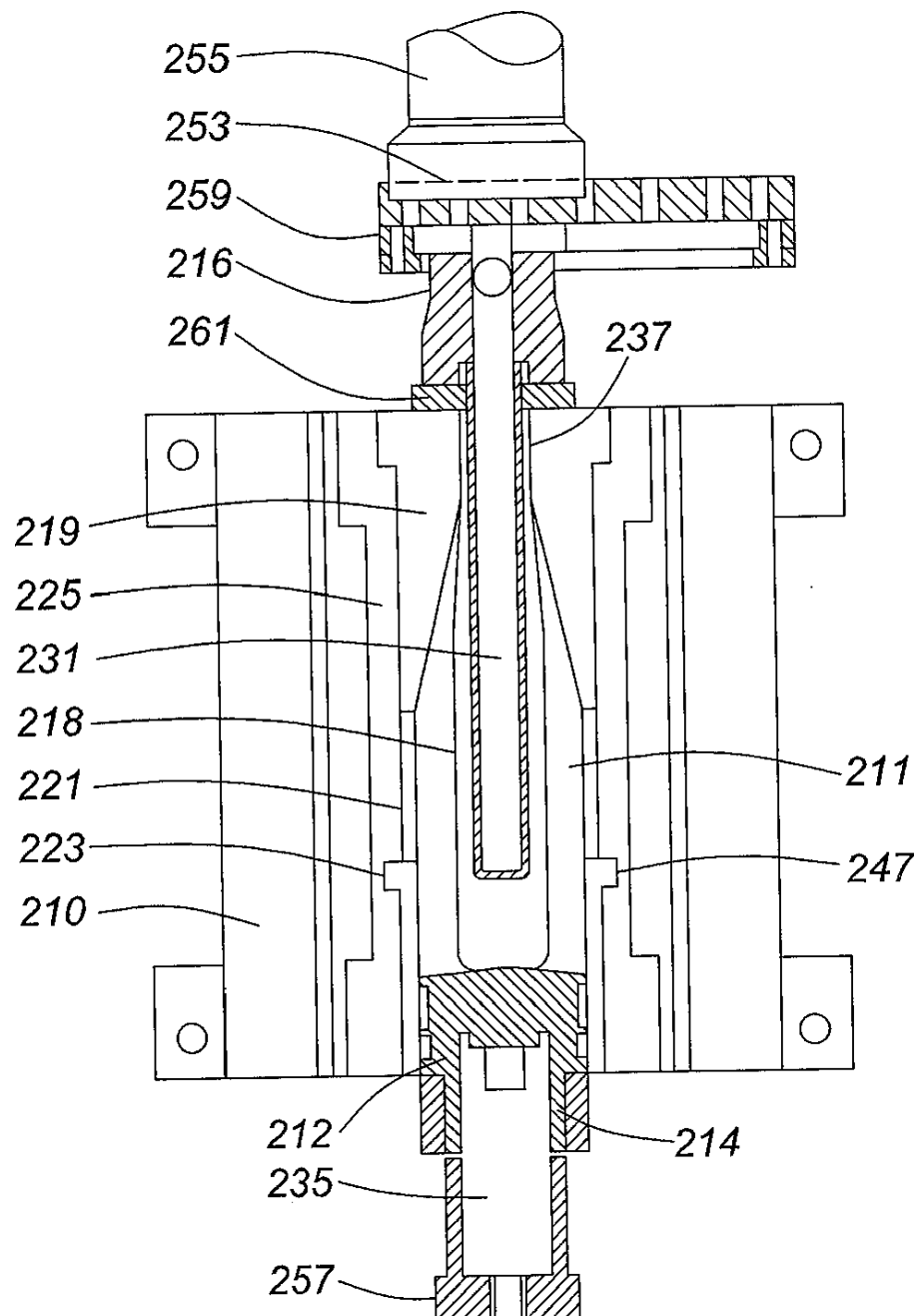
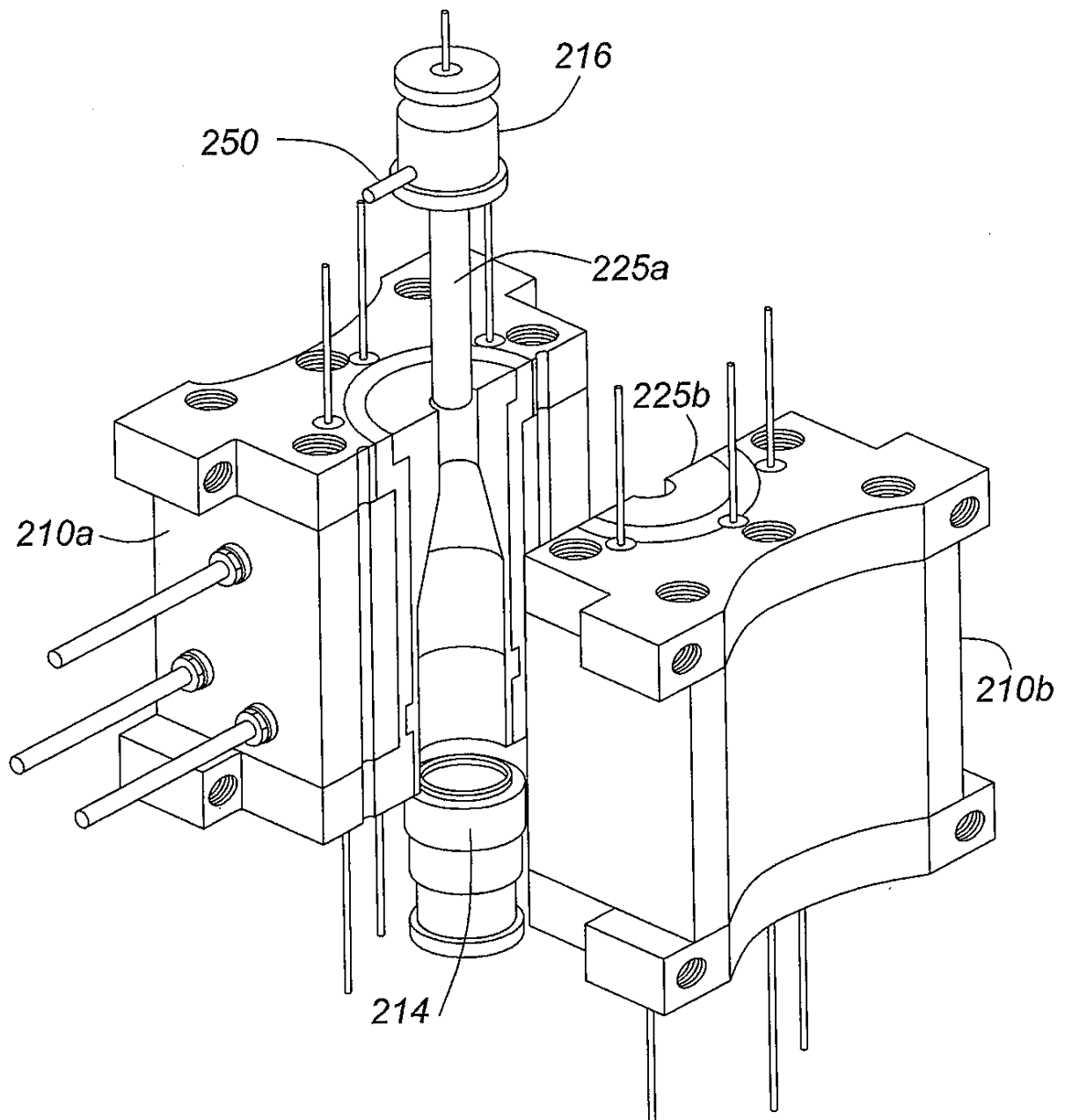


FIG. 10

**FIG. 11**

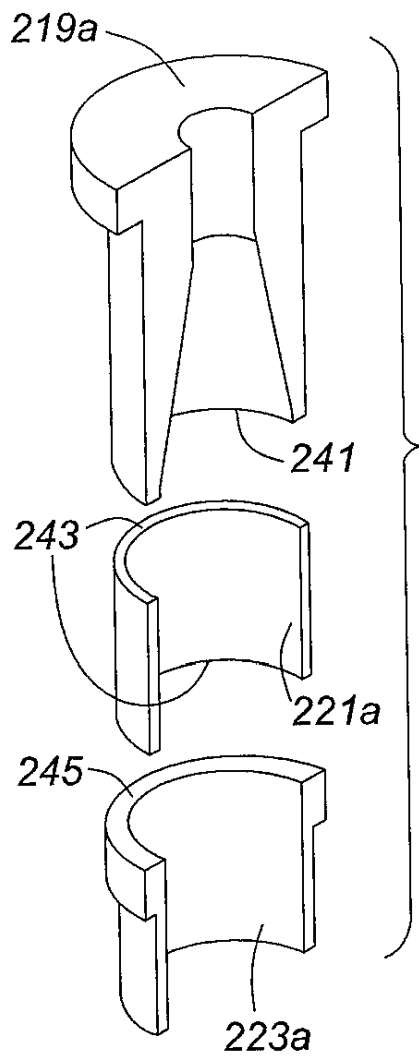


FIG. 12A

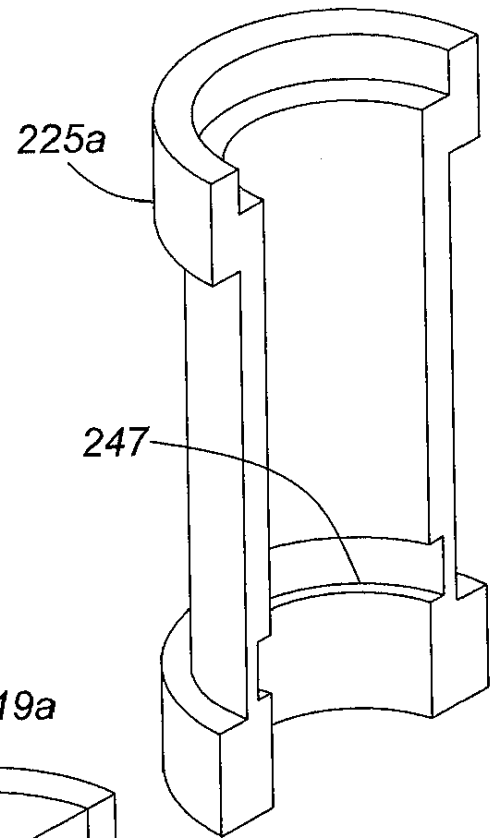


FIG. 12B

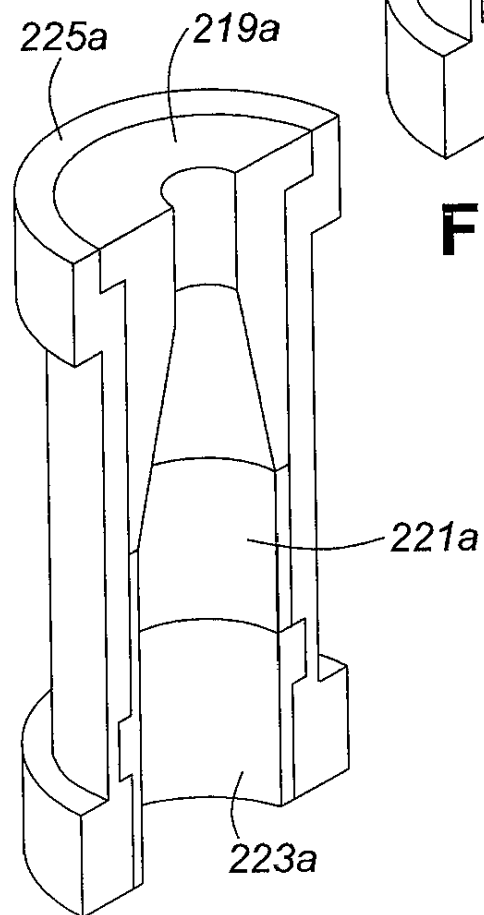


FIG. 12C

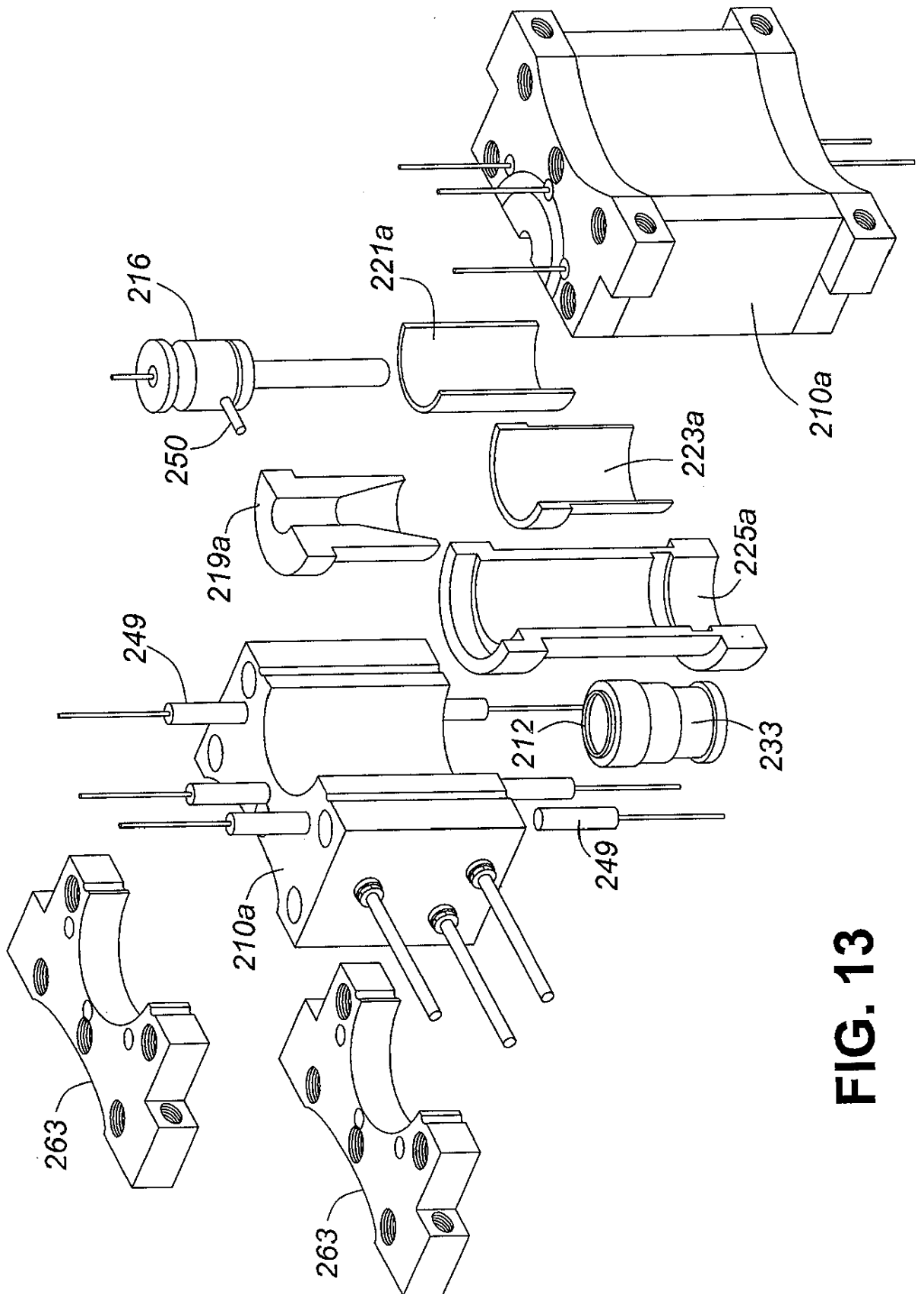


FIG. 13

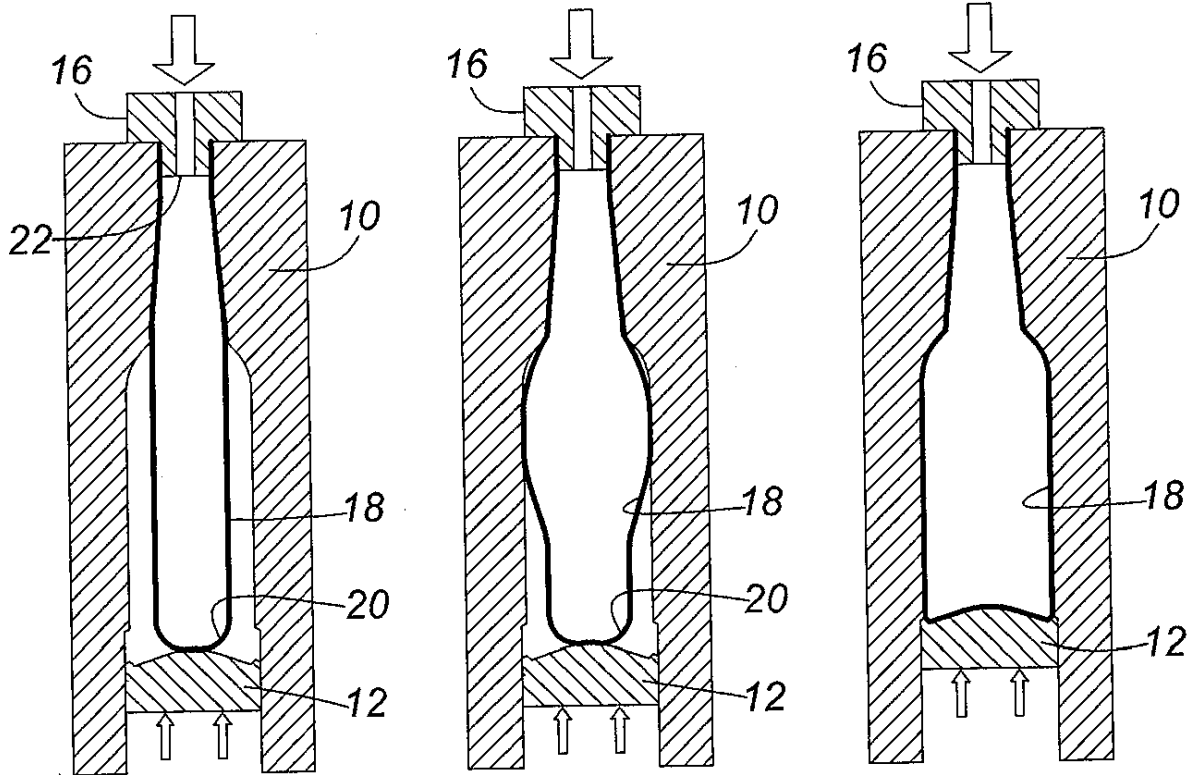


FIG. 14A

FIG. 14B

FIG. 14C

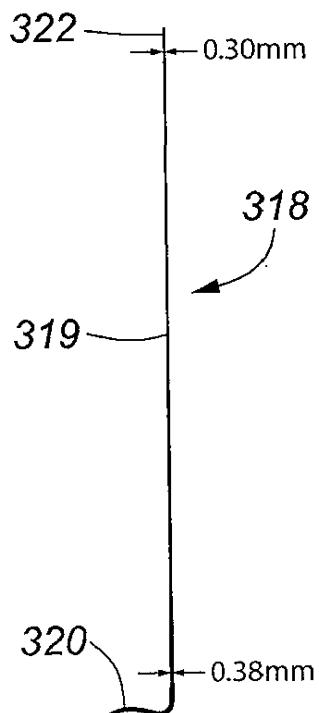


FIG. 15

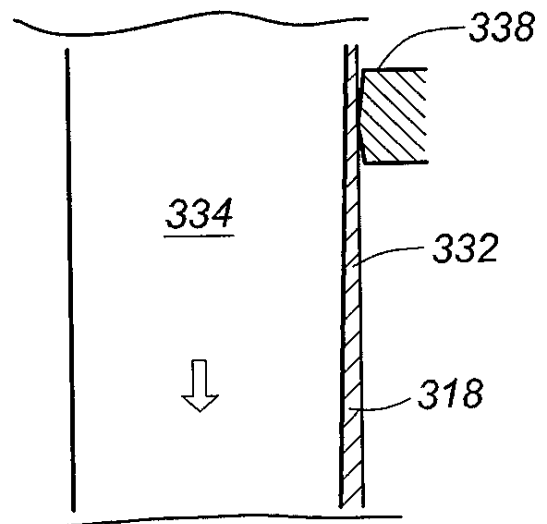


FIG. 16

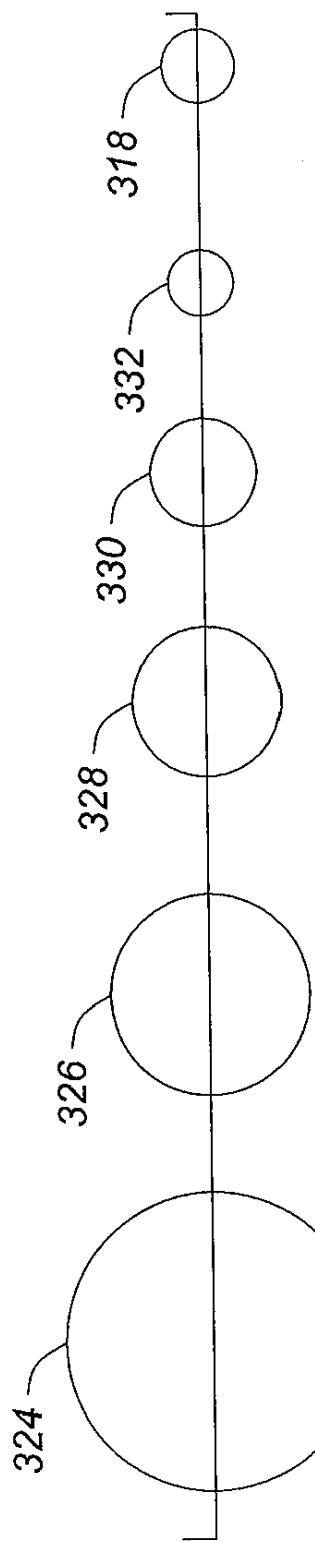


FIG. 17A

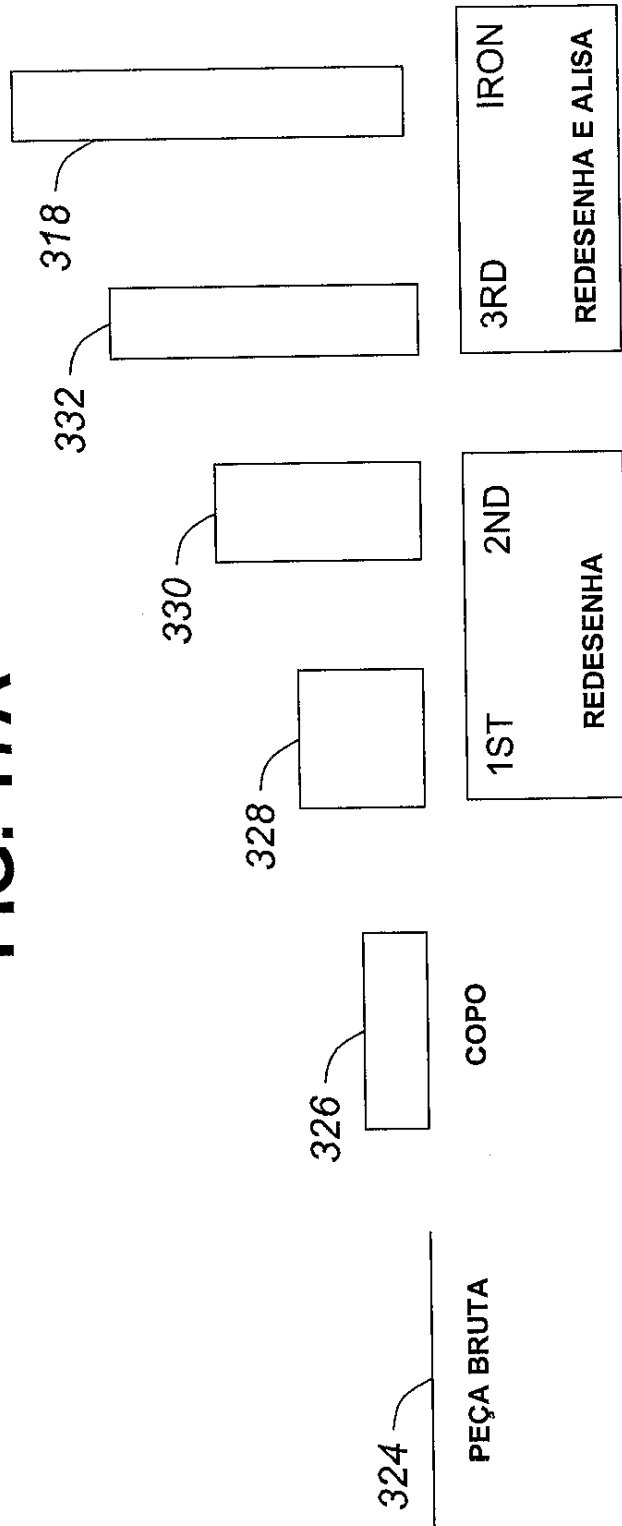


FIG. 17B

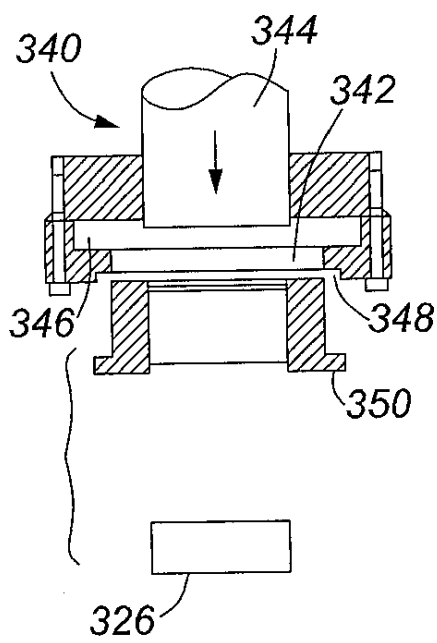


FIG. 18A

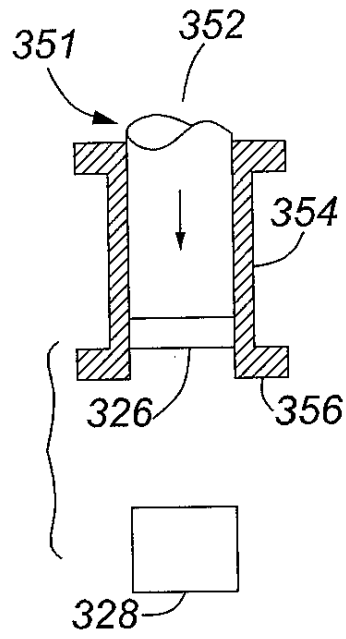


FIG. 18B

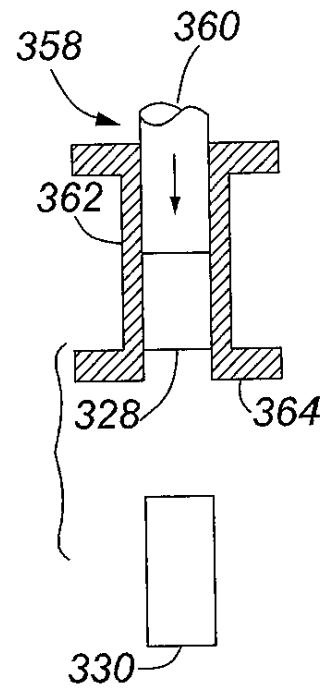


FIG. 18C

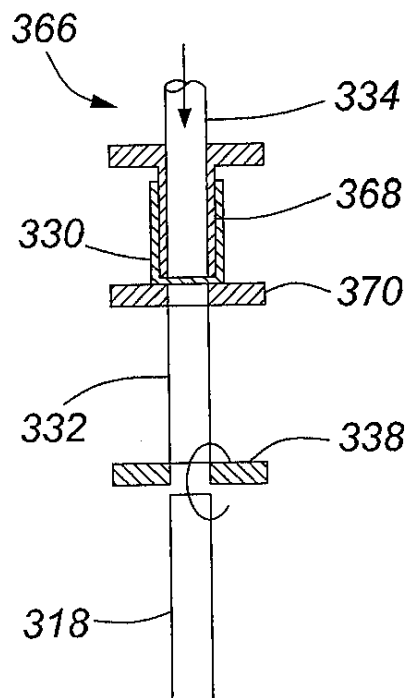


FIG. 18D

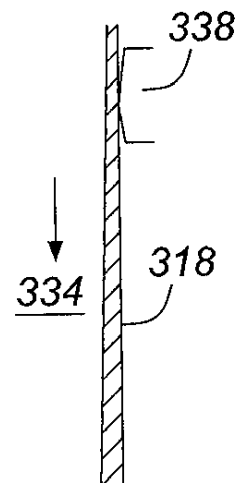
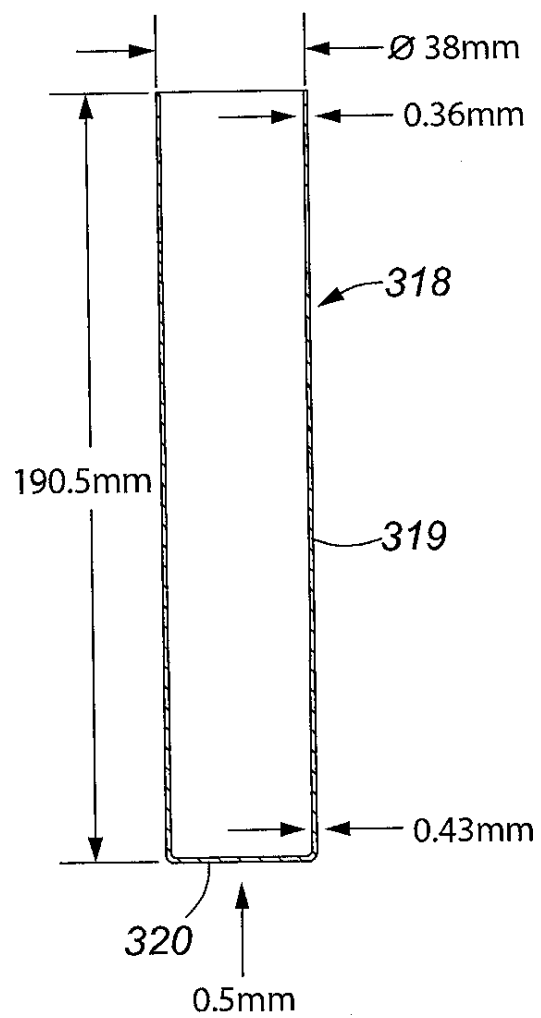


FIG. 19

**FIG. 20**

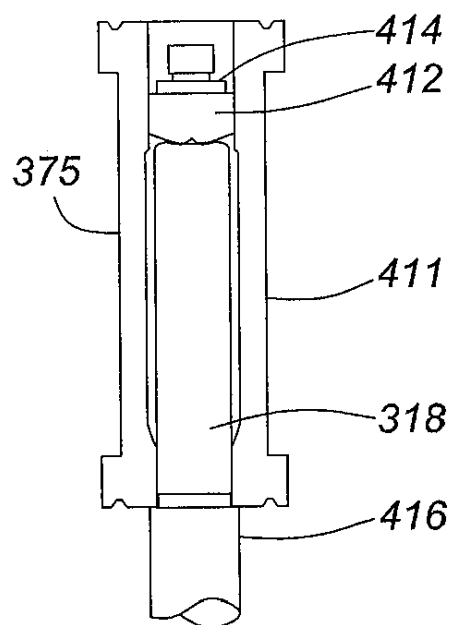
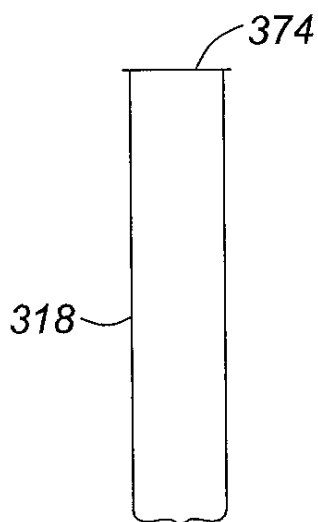
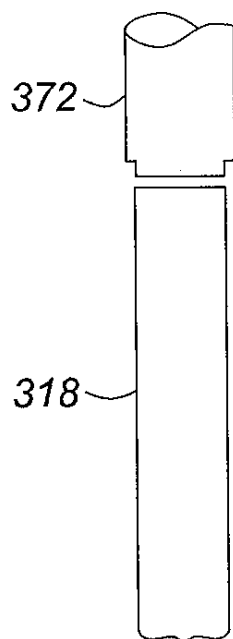


FIG. 21A FIG. 21B

FIG. 22

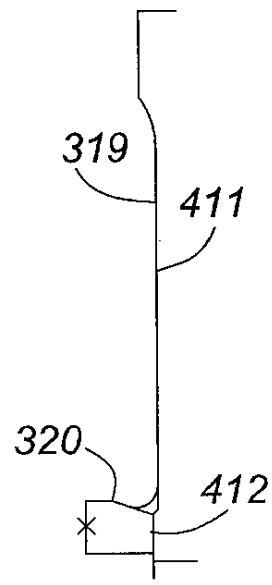
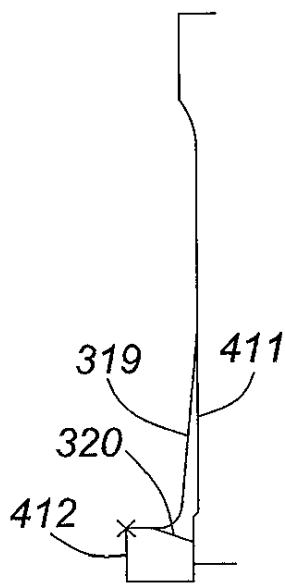
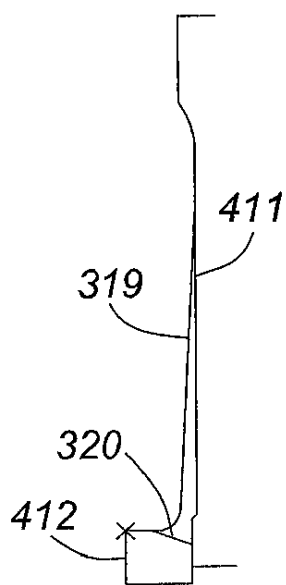
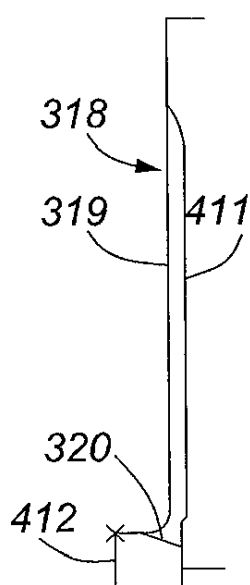
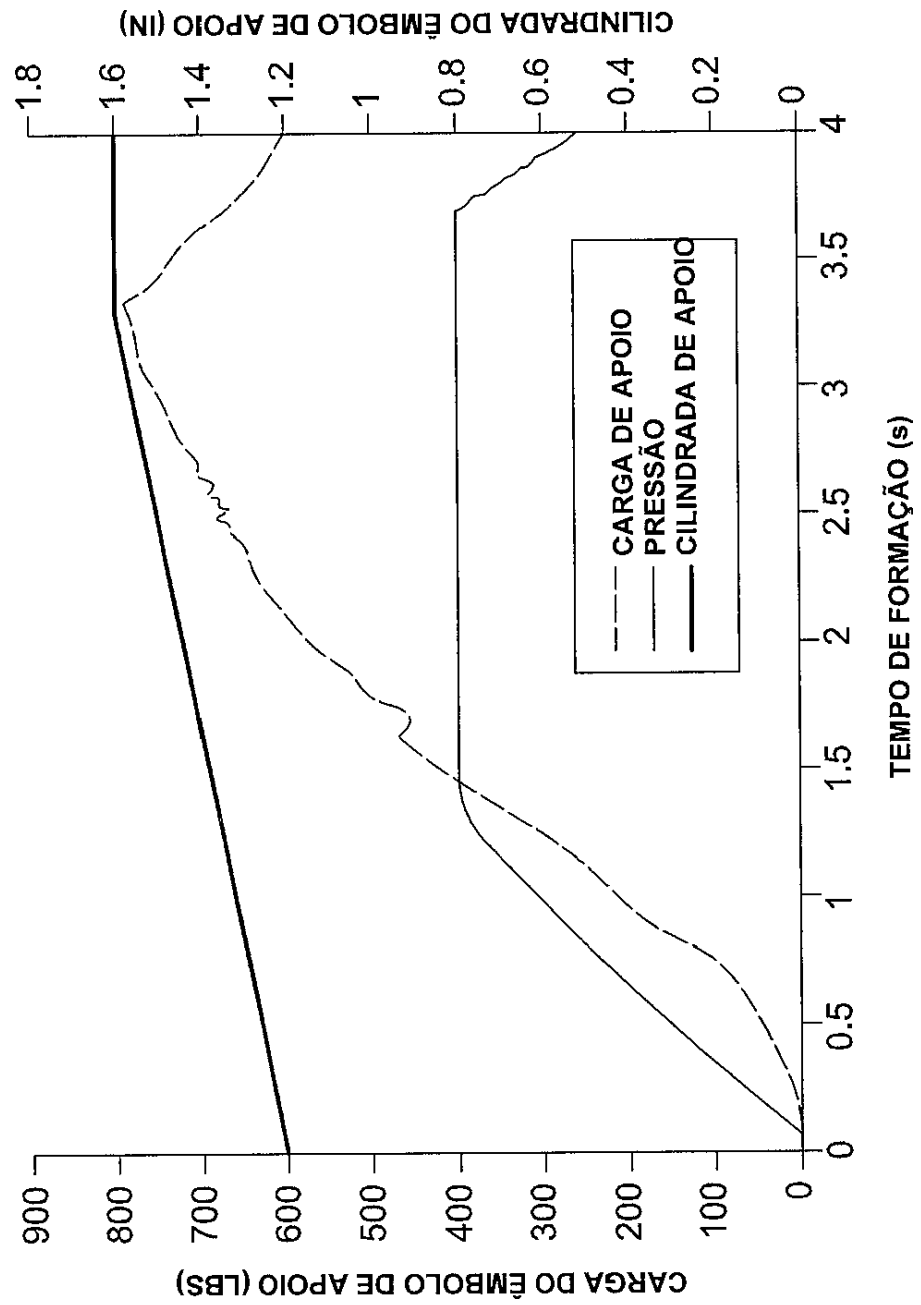


FIG.23A FIG.23B FIG.23C FIG.23D

**FIG. 24**