



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

(11) BR 112013004941-3 B1



(22) Data do Depósito: 07/10/2011

(45) Data de Concessão: 11/02/2020

(54) Título: MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE UMA PARTE COMPOSTA COM REFORÇADORES INTEGRADOS

(51) Int.Cl.: B29C 35/02; B29C 71/02.

(30) Prioridade Unionista: 11/11/2010 US 61/412,635; 21/09/2011 US 13/238,841; 21/12/2010 US 61/425,435.

(73) Titular(es): SPIRIT AEROSYSTEMS, INC..

(72) Inventor(es): RANDY KY SAR; CARL RAY FIEGENBAUM; KRISTIN PICKELL.

(86) Pedido PCT: PCT US2011055431 de 07/10/2011

(87) Publicação PCT: WO 2012/064440 de 18/05/2012

(85) Data do Início da Fase Nacional: 28/02/2013

(57) Resumo: MÉTODOS E SISTEMAS PARA LIGAÇÃO COVALENTE OU COCURA DE PARTES COMPOSTAS USANDO UM APARELHO SMP RÍGIDO / MALEÁVEL. A presente invenção refere-se a um método e aparelho para fabricar uma parte composta, tal como uma fuselagem ou reforçador interno um aparelho de polímero de memória de forma (SMP) que pode ser usado tanto na ferramenta de "lay-up" rígida quanto em uma bexiga. O aparelho SMP pode ser aquecido até que esteja maleável, moldado, e então resfriado em uma configuração de ferramenta rígida desejada. Por exemplo, podem ser formadas cavidades no aparelho SMP para colocar componentes no mesmo para ligar por covalência ou cocurar com a parte composta. Em seguida, o material composto pode ser aplicado no aparelho SMP e então colocado em uma ferramenta externa rígida e aquecido para temperaturas de cura nas quais o aparelho SMP é maleável. Pode ser induzido um diferencial de pressão que impulsiona o aparelho SMP para comprimir o material composto contra a ferramenta externa rígida. Quando o material composto é curado, o aparelho SMP pode ser impulsionado para longe do material composto curado e removido de dentro da parte composta.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE UMA PARTE COMPOSTA COM REFORÇADORES INTEGRADOS**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

CAMPO

[0001] A presente invenção refere-se a sistemas e métodos para usar um aparelho reutilizável feito no formato de um polímero de memória (SMP) para fabricar partes compostas.

TÉCNICA RELACIONADA

[0002] As partes compostas, tais como aquelas usadas na fabricação de aeronave, podem ser construídas usando vários métodos de produção, tais como enrolamento de filamento ("filament winding", colocação de fita, "overbraid", preparação de fibra de corte, revestimento, colocação manual ("hand lay up"), ou outras técnicas de processamento de compósitos e processos de cura. A maioria desses processos usa ferramenta / mandril de cura rígida no qual o material composto é aplicado e então curado em uma parte composta rígida. Geralmente é difícil, caro e demorado remover a ferramenta ou mandril de cura rígida da parte de composta curada, particularmente se a parte composta resultante tiver uma geometria de retenção que impede remoção rápida de parte. Um método conhecido de remoção de mandril requer sacrifício ou destruição do mandril por corte, dissolução, jateamento de conta, ou partindo de outra maneira o mandril em pequenas partes que podem ser removidas da parte composta. A destruição do mandril obviamente impede que o mesmo seja usado novamente para partes subsequentes e pode ser prejudicial para uma superfície interna da parte composta.

[0003] Outro método usa um mandril segmentado que pode ser desmontado e removido após a parte composta ser curada. Contudo, esses mandris são caros e requerem muito tempo para serem

instalados e removidos. Além disso, esses mandris segmentados são tipicamente projetados para fabricar um composto específico e não são facilmente reconfiguradas para serem usados na fabricação de outras partes compostas.

[0004] Ainda outro método usa mandris infláveis que podem ser removidos por esvaziamento dos mesmos após a cura das partes compostas. Contudo, esse método tipicamente envolve mandris do tipo balão que podem ser apenas usados para auxiliar a inflar devido a sua relativa falta de força e rigidez durante o armazenamento do composto.

[0005] Outro método alternativo envolve uma ferramenta ou mandril de espuma revestida de silicone. Essa ferramenta de espuma pode ser coberta com um saco de silicone e então enrolada com material composto não curado. Durante a cura, o saco de silicone é inflado e a ferramenta de espuma derrete. Após a cura, o saco de silicone pode ser removido e reutilizado. Contudo, a ferramenta de espuma não é reutilizável, de maneira que deve ser usinada uma nova ferramenta de espuma de espuma nova a cada ciclo de cura.

[0006] Portanto, são necessários métodos aperfeiçoados de fabricação de partes compostas.

SUMÁRIO

[0007] As modalidades da presente invenção fornecem métodos de fabricação de partes compostas usando aparelhos de polímero de memória de forma (SMP). Um método exemplificativo pode compreender a aplicação de material composto para pelo menos uma parte de um aparelho SMP, desencadeando uma mudança no módulo do aparelho SMP de um estado rígido para um estado maleável, aquecendo o material composto até uma temperatura de cura do material composto, e induzindo uma pressão diferencial que aciona o aparelho SMP, em seu estado maleável, para o material composto antes e/ou durante a cura para comprimir o material composto contra um

molde rígido. A mudança no módulo pode ser desencadeada pela aplicação de pelo menos uma mudança de temperatura, uma corrente elétrica, água, e luz para o aparelho SMP. Uma vez que a cura seja concluída, pode ser liberada a pressão de o aparelho SMP pode ser removido de dentro da parte composta curada resultante.

[0008] Outro método exemplificativo de fabricação de uma parte composta pode compreender as etapas de aplicar material composto em pelo menos uma parte de um aparelho SMP, colocando o material composto e o aparelho SMP em uma cavidade dentro de uma ferramenta de moldagem rígida, de maneira que pelo menos uma parte do material composto encoste-se à ferramenta de moldagem rígida, colocando uma lâmina de material impermeável sobre o material e o aparelho SMP, e vedando a lâmina de material impermeável à ferramenta de moldagem rígida e/ou o aparelho SMP. Em seguida, esse método pode compreender aquecer o material composto até uma temperatura de cura de material composto, desencadeando o aparelho SMP para mudar no módulo de um estado rígido para um estado maleável, e induzindo um diferencial de pressão suficiente para acionar a lâmina de material impermeável e o aparelho SMP, no estado maleável, para o material composto, desse modo comprimindo pelo menos uma parte do material composto contra o molde rígido antes e durante a cura do material composto para a parte composta.

[0009] Em ainda outra modalidade da presente invenção, um método de fabricação de uma parte composta com reforçadores integrados pode compreender as etapas de desencadear um aparelho SMP para um estado maleável, moldando o aparelho SMP no estado maleável a corresponder a uma configuração desejada de uma primeira superfície da parte composta a ser fabricada, incluindo moldar o aparelho SMP para ter uma ou mais cavidades configuradas para substituição de reforçadores no mesmo, desencadeando o aparelho

SMP para um estado rígido, colocando os reforçadores nas cavidades, aplicando material composto no aparelho SMP e as superfícies expostas dos reforçadores permanecendo dentro das cavidades, e cocurando ou ligação covalente os reforçadores com o material composto no aparelho SMP por via de pressão e calor para fabricar a parte composta.

[00010] Em outra modalidade da presente invenção, um método de remoção de um aparelho SMP de dentro de uma parte composta curada pode compreender as etapas de desencadear o aparelho SMP de um estado rígido para um estado maleável, induzindo uma pressão diferencial que aciona o aparelho SMP, no estado maleável, afastado da parte composta curada e para uma ferramenta de mandril interna, e removendo a ferramenta de mandril interna com o aparelho SMP colocado no mesmo para fora da parte composta curada. A ferramenta de mandril interna pode compreender uma superfície externa que tem vários contornos de maneira que uma área de superfície da superfície externa seja grande o suficiente para evitar que aparelho SMP dobre sobre si mesmo ou enrugue ao ser acionado na direção da ferramenta de mandril interna. Uma distância de linha reta máxima entre os pontos na superfície externa pode ser pequena o suficiente para permitir folga de ferramenta de mandril interna para remoção da parte composta curada.

[00011] Em ainda outra modalidade da presente invenção, um método de fabricação de uma parte composta com reforçadores integrados pode compreender as etapas de moldar ou fundir um aparelho SMP para corresponder a uma configuração desejada de uma primeira superfície da parte composta a ser formada, a moldagem e a fundição do aparelho SMP para incluir uma ou mais cavidades configuradas para substituição dos reforçadores no mesmo, a colocação dos reforçadores nas cavidades, aplicação de material

composto no aparelho SMP e as superfícies expostas dos reforçadores que se estendem dentro das cavidades e cocurar ou ligação covalente os reforçadores com o material composto no aparelho SMP por meio de pressão e aquecimento para fabricar a parte composta. Nessa modalidade da invenção, o aparelho SMP pode permanecer em um estado rígido por toda a cocura ou ligação covalente dos reforçadores com o material composto.

[00012] Esse sumário é fornecido para introduzir uma seleção de conceitos em uma forma simplificada que são também descritos na descrição detalhada. Esse sumário não pretende identificar características chaves ou características essenciais da matéria reivindicada, nem pretende ser usados para limitar o escopo da matéria reivindicada. Outros aspectos e vantagens da presente invenção serão óbvios a partir da descrição detalhada das modalidades preferidas e das figuras dos desenhos em anexo.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS DOS DESENHOS

[00013] As modalidades da presente invenção estão descritas em detalhe abaixo com referência às figuras dos desenhos em anexo, nos quais:

[00014] a Figura 1 é uma vista em perspectiva de um aparelho SMP construído de acordo com uma modalidade da presente invenção e ilustrado usado como um mandril com material composto colocado no mesmo;

[00015] a Figura 2 é uma vista em elevação em corte transversal vertical do aparelho SMP da Figura 1, com o aparelho SMP inflado fora como uma bexiga, pressionado o material composto no mesmo na direção de um molde externo;

[00016] a Figura 3 é uma vista em perspectiva de outra modalidade de um aparelho SMP em um estado rígido, inflado;

[00017] a Figura 4 é uma vista em perspectiva de um ferramenta de

mandril interna construída de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[00018] a Figura 5 é uma vista em perspectiva explodida do aparelho SMP da Figura 3 após ser deslizado sobre a ferramenta de mandril interna ilustrada na Figura 4 e é aquecido para contrair contra a ferramenta de mandril interna, e também ilustra vedações terminais configuradas para vedar o aparelho SMP à ferramenta de mandril interna e cada extremidade da mesma;

[00019] a Figura 6a é uma vista em perspectiva de reforçadores internos construídos de acordo com modalidades da presente invenção em configurados para serem ligados por covalência ou cocurados para uma parte composta curada;

[00020] a Figura 6b é uma vista em perspectiva fragmentária de um revestimento postiço e reforçadores postiços construídos de acordo com uma modalidade da presente invenção para auxiliar na formação do aparelho SMP da Figura 5 em uma configuração de ferramenta rígida desejada;

[00021] a Figura 7 é uma vista em perspectiva fragmentária do revestimento postiço e dos reforçadores postiços da Figura 6, também ilustrando inserções de reforço colocadas sobre e nos reforçadores falsos;

[00022] a Figura 8 é uma vista em perspectiva explodida da ferramenta de mandril interna da Figura 5 colocada em uma ferramenta externa rígida construída de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[00023] a Figura 9 é uma vista em perspectiva do aparelho SMP na Figura 5 na configuração de ferramenta rígida desejada com os reforçadores internos falsos que se estendem nas cavidades formadas no mesmo;

[00024] a Figura 10a é uma vista em perspectiva do aparelho SMP

da Figura 9 na configuração de ferramenta rígida desejada com reforçadores internos removidos das cavidades formadas do mesmo;

[00025] a Figura 10b é uma vista em perspectiva de um aparelho SMP da Figura 5 na configuração de ferramenta rígida desejada com os reforçadores internos da Figura 6a colocados nas cavidades formadas no mesmo;

[00026] a Figura 11 é uma vista em perspectiva do aparelho SMP da Figura 9 com material composto aplicado ao mesmo e em volta dos reforçadores internos;

[00027] a Figura 12 é uma vista em perspectiva fragmentária do aparelho SMP e do material composto da Figura 11 após o material composto ser curado, ilustrando o espaço entre o aparelho SMP e o mcc uma vez que o aparelho SMP seja aquecido e contraído de volta para a ferramenta de mandril interna;

[00028] a Figura 13 é uma vista em perspectiva do material composto da Figura 12 e dos reforçadores internos da Figura 6 cocurados ou ligados por covalência em uma fuselagem rígida, com a ferramenta de mandril interna, a ferramenta externa rígida e o aparelho SMP removidos dos mesmos;

[00029] a Figura 14 é um fluxograma de um método para formar o aparelho SMP em uma configuração de ferramenta rígida desejada de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[00030] a Figura 15 é um fluxograma de um método para fabricar uma fuselagem usando o aparelho SMP de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[00031] a Figura 16 é uma vista em corte transversal fragmentária de um "J-stringer" sendo formado entre dois aparelhos SMP e uma ferramenta de moldagem rígida, cada construído de acordo com uma modalidade da presente invenção; e

[00032] a Figura 17 é um fluxograma de um método para fabricar um

reforçador composto usando o aparelho SMP de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[00033] As figuras dos desenhos não estão limitadas à presente invenção para as modalidades aqui reveladas e descritas. Os desenhos não estão necessariamente em escala, em vez disso, é enfatizada a clareza da ilustração dos princípios da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA:

[00034] A descrição detalhada que se segue da invenção refere-se aos desenhos em anexo que ilustram modalidades nas quais a invenção pode ser praticada. As modalidades pretendem descrever aspectos da invenção em detalhe suficiente para possibilitar que aqueles versados na técnica pratiquem a invenção. Podem ser utilizadas outras modalidades e podem ser feitas alterações sem se afastar do escopo da invenção. Portanto, a descrição detalhada que se segue não deve ser considerada como limitadoras da invenção. O escopo da presente invenção é definido apenas pelas reivindicações em anexo, juntamente com todo escopo de equivalências para as quais as reivindicações são intencionadas.

[00035] Nessa descrição, as referências a "uma modalidade", ou "modalidades" significam que a característica ou características que estão sendo referidas estão incluídas pelo menos em uma modalidade da tecnologia. As referências separadas a "uma modalidade" ou "modalidades" nessa descrição não se referem necessariamente à mesma modalidade e não são mutuamente exclusivas, a menos que assim declarado e/ou exceto como será prontamente óbvio para aqueles versados na técnica a partir da descrição. Por exemplo, uma característica, estrutura, ato, etc., descrito em uma modalidade pode estar também incluído em outras modalidades, mas não está necessariamente incluído. Portanto, a presente tecnologia pode incluir várias combinações e/ou interações das modalidades aqui descritas.

MANUFATURA DE PARTES COMPOSTAS COM UM APARELHO SMP

[00036] Uma modalidade da presente invenção é um método para fabricar partes compostas. Essa modalidade da invenção pode ser implementada com um aparelho de polímero de memória de forma (SMP) 12, conforme melhor visto nas Figuras 1 e 2, e/ou uma ferramenta externa rígida 28, conforme posteriormente descrito e ilustrado na Figura 2. O aparelho SMP 12 pode ser usado tanto como um mandril ou uma ferramenta rígida para aplicar material de compósito 14 no mesmo, conforme ilustrado na Figura 1, e uma bexiga para fornecer pressão externa a um material de compósito 14 durante uma cura do material de compósito 14 em uma parte composta endurecida, conforme ilustrado na Figura 2.

[00037] O aparelho SMP 12 pode ser formado de material SMP fundido em qualquer forma de memória. Por exemplo, o aparelho SMP 12 pode ser fundido em uma configuração alongada e/ou oca com uma ou mais extremidades abertas usando qualquer método conhecido na técnica, tais como métodos de formação de um cilindro SMP descrito na Patente U.S. Nº 7,422,714, incorporada inteiramente ao presente à guisa de referência. Por exemplo, o aparelho SMP 12 pode ser um cilindro SMP pré-formado ou tambor aberto em duas extremidades opostas. Alternativamente, o aparelho SMP 12 pode ter qualquer formato em corte transversal, tais como, trapezóide, retângulo, quadrado, ou triângulo, ou pode ser fundido em uma configuração que não seja oca. O formato do molde do aparelho SMP é aqui referido como seu formato de memória.

[00038] O material SMP usado para formar o aparelho SMP 12 pode ser material SMP ser reforçado ou não reforçado. Especificamente, o material SMP usado para formar o aparelho SMP 12 pode ser um epóxi, um SMP baseado em epóxi, um copolímero estireno baseado em SMP

ou qual outro tipo ou combinação de SMPs, tais como um éster de cianato, poliuretano, homopolímero polietileno, estireno – butadieno, poli-isopreno, copolímeros de acrilato de estearilo e ácido acrílico ou acrilato metila, norboreno ou homopolímeros ou copolímeros de dimetano-octahidronaftaleno ou copolímeros e maleimida. Por exemplo, o material SMP usado no aparelho SMP 12 pode ser quaisquer dos SMPs descritos na Patente U.S. № 7,422,714, Patente U.S. № 6,986,866, Patente U.S. № 7,276,195, Publicação do Pedido de Patente U.S. № 1008/0021188, Publicação do Pedido de Patente U.S. № 2008/0021166, e/ou Publicação do Pedido de Patente U.S. № 2008/1269420, cujas descrições encontram-se inteiramente incorporadas ao presente à guisa de referência. Contudo, há vários outros tipos de SMPs e podem ser adaptados para atender exigências de resistências e temperatura específicas.

[00039] O módulo de vários materiais SMP podem ser alterados através de vários métodos diferentes, tais como mudança de temperatura, uma corrente elétrica, água, e/ou luz. Contudo, os métodos exemplificativos aqui descritos revelam o uso de alterações de temperatura para transformar o aparelho SMP 12 de um estado maleável para um estado rígido e vice versa. Todavia, podem ser usados quaisquer dos impulsos acima listados para alterar o módulo do material SMP 12 pode alterar o módulo do material SMP do aparelho SMP 12 para os métodos de fabricação de parte composta aqui descritos sem se afastar do escopo da invenção.

[00040] Uma transição de temperatura de gelo (T_g) de material SMP é aqui definida como uma temperatura limite no e/ou acima da qual o material SMP começa a transitar de um estado de módulo inferior, tornando-se macio e/ou maleável para ser deformado. Portanto, o aparelho SMP 12 da presente invenção pode ser configurado para começar a tornar-se flexível e moldável quando é aquecido acima de

sua T_g e para tornar-se rígido quando resfriado para uma temperatura abaixo de sua T_g . Se o aparelho SMP for deformado acima de T_g e então retido nesse estado deformado à medida que sua temperatura cai abaixo de T_g , então o aparelho SMP 12 endurece nesse estado deformado. Quando novamente aquecido, o aparelho SMP 12 pode retornar geralmente para seu estado de memória de fundição original, a menos que acionados por outra força. Embora a mudança do módulo do aparelho SMP 12 possa começar em T_g , pode haver uma variação de temperaturas de transição através das quais o aparelho SMP 12 possa tornar-se cada vez mais maleável.

[00041] O aparelho SMP 12 pode ser feito de um material SMP que tenha qualquer T_g apropriada para os usos dos métodos aqui descritos. Em algumas modalidades da invenção, T_g pode ser igual a ou menor do que a temperatura de cura para o material de compósito 14, de maneira que o aparelho SMP 12 possa ser usado como uma bexiga expansível durante a cura da parte composta. Em outras modalidades da invenção, T_g pode ser maior do que a temperatura de cura para o material de compósito 14 de maneira que o aparelho SMP permaneça rígido durante a cura da parte composta.

[00042] Embora o aparelho SMP 12 possa ser projetado para ter qualquer T_g , em algumas modalidades exemplificativas da invenção, T_g pode ser uma temperatura entre 37,78°C e 371,11°C (100°F e 700°F). Especificamente, T_g pode ser uma temperatura entre 37,78°C e 93,33°C (100°F e 200°F), 93,33°C e 148,89°C (200°F e 300°F), ou entre 148,89°C e 204,44°C (300°F e 400°F). Especificamente, T_g pode ser uma temperatura entre 51,67°C e 79,44°C (125°F e 175°F), 121,11°C e 148,89°C (250°F e 300°F), ou 176,67°C e 204,44°C (350°F e 400°F). Em uma modalidade da invenção, T_g do aparelho SMP 12 pode ser aproximadamente igual a 61,67°C (143°F), 135°C (275°F), ou 190,56°C (375°F). O aparelho SMP 12 pode tornar-se cada vez mais maleável

quando aquecido através de uma variação de transição de temperaturas que começam em ou centradas em torno de T_g e pode gradualmente endurecer para seu estado rígido quando resfriado através da variação de transição de temperaturas para uma temperatura em ou abaixo de T_g .

[00043] A ferramenta externa rígida 28 pode ter qualquer formato ou configuração desejada para fabricar a parte composta. Em algumas modalidades da invenção, a ferramenta externa rígida 28 pode ser um espaço oco no qual o aparelho SMP 12 e o material de compósito 14 possam ser colocados. Por exemplo, a ferramenta externa rígida 28 pode ser uma ferramenta de tambor ou uma ferramenta "clamshell". A ferramenta externa rígida 28, conforme ilustrado na Figura 2, pode formar uma superfície externa da parte composta. Em modalidades alternativas da invenção, a ferramenta externa rígida 28 pode ser substituída por qualquer tipo de molde modelado e configurado para formar uma superfície interna ou externa de uma parte composta. Em algumas modalidades da invenção, a ferramenta externa rígida 28 pode ser também usada para ajudar a moldar ou formar o aparelho SMP 12. Por exemplo, revestimento postiço 22, os reforçadores postiços internos 23, e/ou as inserções de reforço 26 podem ser colocados na ou fixadas à ferramenta externa rígida 28, conforme descrito em detalhe abaixo, para fornecer uma configuração de molde desejada para aparelho SMP 12.

[00044] O material de compósito 14 colocado no aparelho SMP 12 para formar a parte composta podem compreender ou estar na forma de resina de temperatura baixa, resina de temperatura alta, resina temperada, fibra úmida processada pré-impregnada, fibra seca, fibra contínua, fibra descontínua, fibra de vidro cortada, KEVLAR, carbono, e/ou núcleo. O núcleo é aqui definido como qualquer componente deslocado que separa duas camadas do material composto. Por

exemplo, o núcleo pode compreender espuma, termoplástico, materiais de colméia, alumínio, fenólicos de fibra de vidro, carbono, Nomex, etc. O núcleo pode ser também referido como painéis de núcleo, núcleo de colméia, ou núcleo de painel sanduíche. Além disso, a composição química do material composto 12 pode incluir epóxi, BMI, benzoxazina, vinil, acrílico, poliéster, poliamida, ftalonnitrilo, e quaisquer outras substâncias similares conhecidas na técnica. O material de compósito 14 pode ser colocado no aparelho SMP 12 usando colocação automatizada de pano, colocação automatizada de fibra, enrolamento automatizado de filamento, "hand lay up", ou qualquer outro método conhecido na técnica. O material de compósito 14 pode ser configurado para ser endurecido ou curado, tal como em uma autoclave, a partir de uma autoclave, por via de um processo de cura de baixa temperatura, e/ou por via de um processo de cura de temperatura alta.

[00045] Em uso, o aparelho SMP 12 pode ser formado em uma configuração de ferramenta rígida e então o material de compósito 14 pode ser aplicado ao mesmo. Por exemplo, o aparelho SMP 12 pode ser moldado por um ou mais moldes internos colocados no aparelho SMP 12 e/ou um ou mais moldes externos (tal como a ferramenta externa rígida 28) colocados fora do aparelho SMP 12. O molde interno ou externo pode compreender qualquer número de componentes formados integralmente ou montados juntos para fornecer um formato desejado para o aparelho SMP 12, tal como o revestimento postiço 22, os reforçadores postiços internos 23, e/ou as inserções de reforço 26 colocados dentro ou sobre a ferramenta externa rígida 28 em qualquer configuração desejada. Contudo, pode ser usado qualquer método de formação do aparelho SMP 12 sem afastar-se do escopo da invenção.

[00046] Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 pode ser vedado ao molde interno ou externo, aquecido, e então pressionado contra o molde interno ou externo. Por exemplo, o aparelho

SMP 12 pode ser pressionado contra os moldes por meio de pressão diferencial induzida por via de inflação, vácuo, e/ou qualquer outro método conhecido na técnica para impulsionar o aparelho SMP 12 para o molde. Especificamente, o aparelho SMP 12 pode ser aquecido e inflado para o molde externo na configuração para formar uma superfície interna de uma parte composta. Uma vez que o aparelho SMP 12 seja resfriado na configuração de ferramenta rígida, conforme ilustrado na Figura 1, o aparelho SMP 12 pode ser removido do molde interno ou externo ou de outros moldes e material de compósito 14 pode ser colocado no aparelho SMP 12 usando qualquer método conhecido na técnica, tal como colocação de fibra. O aparelho SMP 12 pode ser aqui referido como estando na "configuração de ferramenta rígida" após ser formado no formato desejado para aplicação do material de compósito 14.

[00047] Em algumas modalidades da invenção, as cavidades 40 podem ser formadas no aparelho SMP 12 de modo que os componentes (tais como estruturas compostas tipo reforçadores internos, reforços ou núcleos) podem ser colocados nas cavidades a serem ligados por covalência ou cocurados no material de compósito 14. Então o material de compósito 14 pode ser colocado sobre e/ou tanto o aparelho SMP 12 quanto nos componentes a serem ligados por covalência ou cocurados ao mesmo. Essas cavidades 40 podem prender os componentes a serem ligados por covalência ou cocurados no material de compósito 14 no lugar na hora da aplicação do material de compósito 14 sem que seja preciso quaisquer fixações mecânicas. Adicional ou alternativamente, podem ser usadas várias restrições para manter os reforçadores internos no lugar durante a aplicação do material de compósito 14. Então a pressão através do aparelho SMP 12 pode comprimir esses componentes ou reforçadores internos contra o material composto durante a cura, portanto cocura ou ligação covalente

os mesmos juntos.

[00048] Adicional ou alternativamente, o tamanho e o formato do aparelho SMP 12 pode ser configurado para permitir material composto mais grosso 14 ou camadas adicionais de material de compósito 14 a serem aplicados no mesmo em locais selecionados. Por exemplo, aparelho SMP 12 pode ter uma parte com uma área em corte transversal menor e uma parte com uma área em corte transversal maior. A parte do aparelho SMP 12 com uma área em corte transversal menor pode permitir que uma maior quantidade de material de compósito 14 seja aplicada no mesmo. Em geral, o aparelho SMP 12 pode ser moldado e configurado para fornecer folga ou deslocamento suficiente entre o aparelho SMP 12 e a ferramenta externa rígida 28 de maneira que a espessura desejada do material de compósito 14 e/ou dos reforçadores internos possa ser ajustada dentro do dito deslocamento.

[00049] Uma vez que o material composto seja aplicado, o aparelho SMP 12 e o material de compósito 14 podem ter aquecido e ser aplicada pressão nos mesmos para curar o material de compósito 14 e/ou cocurar ou ligar por meio de uma ligação covalente de outros componentes ou reforçadores internos ao material de compósito 14. Adicionalmente, pode ser também usado calor para alterar o módulo do aparelho SMP 12. Por exemplo, o aparelho SMP 12 e o material de compósito 14 podem ser colocados no espaço oco da ferramenta externa rígida 28 e aquecidos e pressurizados conforme requerido para curar o material de compósito 14. Em algumas modalidades, o calor usado durante esse processo de cura pode ser maior do que a T_g do aparelho SMP 12, levando o aparelho SMP 12 a converter do ser estado maleável, e uma pressão diferencial aplicada de dentro e/ou sem o aparelho SMP 12 (por exemplo, por via de autoclave) pode levar o aparelho SMP 12 a ser impulsionado para a ferramenta externa rígida

28. Especificamente, o calor pode transformar o aparelho SMP 12 da configuração de ferramenta rígida para uma configuração de bexiga na qual o aparelho SMP 12 torna-se flexível e inflável, agindo como uma bexiga interna para comprimir o material composto 12 contra a ferramenta externa rígida 28, conforme ilustrado na Figura 2. Adicionalmente, em algumas modalidades da invenção, pode ser aplicado um pequeno diferencial de pressão ou pressurização ao aparelho SMP 12 até que sua temperatura exceda T_g , em cujo ponto a pressão pode ser acelerada ao montante total de pressão desejada.

[00050] O aparelho SMP 12 pode, portanto, ser usado para pressionar o material de compósito 14 contra a ferramenta externa rígida 28 ou qualquer superfície de molde rígida. O diferencial de pressão, conforme aqui descrito, pode ser induzido usando vários métodos, com o aparelho SMP 12 vedado em uma maneira hermética a uma das ferramentas rígidas ou moldes aqui descritos, de maneira que o aparelho SMP 12 infle em direção ao material composto e/ou seja arrastado contra o material de compósito 14 durante a cura. Em algumas modalidades da invenção, o diferencial de pressão é introduzido por via de autoclave.

[00051] Alternativamente, em algumas modalidades da invenção, um saco de vácuo ou outra lâmina de material impermeável pode ser aplicado de maneira a impulsionar o aparelho SMP 12, em seu estado maleável, para uma superfície rígida para comprimir o material composto entre o aparelho SMP 12 e a superfície rígida. Nessa modalidade da invenção, o saco de vácuo ou outra lâmina de material impermeável pode ser vedado a uma das ferramentas rígidas ou moldes aqui descritos, tais como a ferramenta externa rígida 28. Isso pode ser particularmente útil se o aparelho SMP 12 não for impermeável, compreender quaisquer furos ou rasgos no mesmo, e/ou não puder ser vedado à outra superfície de maneira que seja induzido o diferencial de

pressão entre o aparelho SMP 12 e a superfície à qual é vedado. Por exemplo, o saco de vácuo pode ser vedado à ferramenta externa rígida 28 e pode ser usado para acionar o aparelho SMP 12, em seu estado maleável, em uma direção desejada por meio de um diferencial de pressão aplicado ao saco de vácuo.

[00052] Conforme descrito acima, o aparelho SMP 12 pode ser configurado para sofrer uma mudança no módulo em resposta a outros desencadeantes de calor, tais como corrente elétrica, água e/ou luz. Portanto, em algumas modalidades da invenção, um dos desencadeadores pode ser também aplicado ao aparelho SMP 12 à medida que o material de compósito 14 esteja sendo curado, de maneira que o aparelho SMP 12 seja maleável o suficiente para inflar ou comprimir de outro modo o material de compósito 14 contra a ferramenta externa rígida 28.

[00053] Uma vez que o material de compósito 14 seja curado, o diferencial de pressão pode ser substancialmente equalizado enquanto a temperatura é mantida acima de T_g , e então o aparelho SMP 12 na configuração de bexiga flexível pode ser removido de dentro da parte composta curada. Alternativamente, uma vez que o material de compósito 14 seja curado, pode ser induzido um diferencial de pressão suficiente para impulsionar o aparelho SMP 12 para longe do material composto curado. Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 pode contrair de volta para seu formato de memória ou original, permitindo fácil remoção do aparelho SMP 12 da parte composta resultante. Em outras modalidades da invenção, conforme aqui descrito, um mandril interno colocado dentro do aparelho SMP 12 pode ser configurado para retirar o aparelho SMP 12 (ainda em seu estado maleável) da parte composta. Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 é impelido para longe da parte composta curada embora ainda no estado maleável, então permitido a resfriar e/ou tornar-

se pelo menos de algum modo rígido ou inteiramente rígido antes de ser removido de dentro da parte composta curada.

[00054] O aparelho SMP 12 pode ser usado para formar várias partes compostas de várias geometrias, tais como partes compostas com geometrias aprisionadas. Por exemplo, as partes compostas podem ser fuselagens, asas, nacelas, painéis, tubos de aeronave, e suportes ou reforçadores de aeronave. Exemplos de suportes estruturais de aeronave podem incluir reforços, armações, reforçadores trapezoidais em forma de chapéu, reforçadores em forma de sino, reforçadores de chapéu invertidos, reforçadores J, reforçadores F, reforçadores de lâmina, reforçadores I, e reforçadores C. Além disso, as partes compostas formadas com o aparelho SMP 12 pode incluir helicóptero, mastros, reversores, cobertas, entradas, asinhas, pontas de asa, estabilizadores vertical e horizontal, empenagem, longarinas, nervuras, estruturas de células tubulares, superfícies de controle, seções de nariz, carenagens, abas, ailerons, interceptor, ranhuras da asa, tubos de torque, eixos de acionamento, coberturas, entradas de motor, bocais de escape, cones de escape, propulsores, caixas de câmbio, alojamentos de transmissão, carenagem aerodinâmica ao redor do eixo da hélice do avião, lâminas de rotor, tanques de combustível, trem de pouso, rodas de trem de pouso, portas, subestruturas, longarinas de asa, bandejas de fio, suportes, colchetes, estabilizadores de estrutura, montagens de arma, pedestais de controle, consoles de instrumento, etc. Essas partes compostas podem ser formadas usando o aparelho SMP 12 primeiro colocando o material de compósito 14 contra pelo menos uma parte do aparelho SMP 12 quando o aparelho SMP 12 está em sua configuração de ferramenta rígida. Então o material de compósito 14 pode ser comprimido contra e/ou pelo aparelho SMP 12 em um está rígido ou maleável durante a cura do material de compósito 14 na parte composta. Em algumas modalidades da invenção, pode ser

usado mais de um aparelho SMP 12 para fabricar a parte composta, conforme posteriormente aqui descrito. Em algumas modalidades da invenção onde uma pluralidade de aparelhos SMP é usada para formar a parte composta, os aparelhos SMP podem ser configurados para serem dotados de temperaturas t_g diferentes ou desencadeadores diferentes para alterar o módulo dos aparelhos SMP, conforme descrito acima.

[00055] Além disso, os reforçadores internos podem ser cocurados ou ligados por covalência a qualquer parte composta, tais como as partes compostas listadas acima, usando o aparelho SMP 12, conforme posteriormente aqui descrito. O termo cocura é aqui definido como curando simultaneamente e ligando duas partes compostas não curadas. O termo ligação covalente é aqui definido como curando simultaneamente uma parte composta não curada embora ligando a parte composta não curada a uma parte endurecida ou uma parte composta anteriormente curada. Os reforçadores internos podem incluir, por exemplo, estruturas, reforços, ou núcleo, conforme definido acima. As estruturas e os reforços podem ser reforçadores estruturais alongados que se estendem lateralmente e/ou perpendicular com relação a uma extensão de uma parte composta. Em algumas modalidades da invenção, as estruturas podem cruzar os reforços em uma configuração tipo grade. Exemplos de alguns tipos específicos de estruturas e reforços podem incluir reforçadores trapezoides em forma de chapéu, reforçadores em forma de sino, reforçadores de chapéu invertidos, reforçadores J, reforçadores F, reforçadores de lâmina, reforçadores I, e reforçadores C. Adicionalmente, o aparelho SMP 12 pode ser usado para formar várias outras partes compostas, tais como reboques, tubos e tubulação automotivos, mangueiras, pneus, turbocompressores, tanques, automóveis, veículos de corrida, barcos, iates, canoas, caiaque, lemes, artigos esportivos, estoques de arma,

cabos, bestas e acessórios, clubes de golfe e componentes relacionados, varas de pesca, violões, canos, mastros, materiais de construção, lâminas de turbina eólica, componentes de motor, mobílias, caixas eletrônicas, blindagem, eixos de acionamento, satélites, mísseis, e espaçonaves. Essas partes compostas podem ser formadas usando métodos similares a qualquer dos métodos aqui descritos.

FABRICAÇÃO DE UMA FUSELAGEM COM APARELHO SMP

[00056] Outra modalidade da presente invenção é um método de fabricação de uma fuselagem de aeronave 15 com reforçadores internos integrados 24, conforme ilustrado na Figura 13. O método dessa modalidade pode ser implementado com o aparelho SMP 12, conforme descrito acima, juntamente com uma ferramenta de mandril interna 16, e as vedações 18, 20, o revestimento postiço 22, os reforçadores internos 24, as inserções de reforço 26, e a ferramenta externa rígida 28, conforme mais bem ilustrado nas Figuras de 2 a 12.

[00057] Nessa modalidade da invenção, o aparelho SMP 12, conforme ilustrado na Figura 3, pode ter traços e características descritos acima com referência à modalidade da invenção ilustrada nas Figuras de 1 a 12. Além disso, o aparelho SMP 12 pode ter o formato de um tambor, um frasco, funil, cone ou cilíndrico conforme seu formato de memória de fundição. Contudo, pode ser usado qualquer outro formato de memória de fundição sem se afastar do escopo da invenção. Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 pode ser recebido em um estado inflado. Especificamente, o aparelho SMP 12 pode ter sido previamente aquecido e inflado para um diâmetro maior do que seu formato de memória e então resfriado e endurecido nesse estado inflado. O aparelho SMP 12 pode compreender uma ou mais extremidades abertas. Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 pode ser de aproximadamente de 2,54 centímetros a 10,66800 metros de diâmetro e aproximadamente de 30,48 centímetros

a 22,86 metros. Contudo, o aparelho SMP 12 pode ter quaisquer dimensões sem se afastar do escopo da invenção.

[00058] A ferramenta de mandril interna 16, conforme ilustrado na Figura 4, pode ser feita de qualquer material rígido e durável que permaneça rígido por todo um ciclo de cura composta. Em algumas modalidades da invenção, a ferramenta de mandril interna 16 pode ser substancialmente cilíndrica. Além disso, a fim 16 pode ser oca, com uma parede cilíndrica, 30 e duas extremidades opostas 32, 34 que podem compreender aberturas (não ilustradas) para o espaço oco dentro da ferramenta de mandril interna 16.

[00059] Em algumas modalidades da invenção, uma ou mais aberturas de inflação 36 podem ser fornecidas através da parede cilíndrica 30 de maneira que um gás comprimido possa ser forçado dentro da ferramenta de mandril interna oca 16, tal como por meio de linhas aéreas (não ilustradas), fornecendo desse modo força de inflação para fora da ferramenta de mandril interna 16. As aberturas de inflação 36 podem ser também configuradas para aspirar o aparelho SMP 12 contra a ferramenta de mandril interna 16 durante várias etapas de fabricação da fuselagem 15, conforme descrito acima.

[00060] Em algumas modalidades da invenção, uma superfície externa da ferramenta de mandril interna 16 pode também compreender vários contornos. Por exemplo, os variados contornos podem incluir um número de saliências 38 e/ou entalhes para uso na recuperação do aparelho SMP 12 após a cura da parte composta. Especificamente, conforme ilustrado na Figura 4, uma superfície externa da parede cilíndrica 30 pode compreender as saliências 38 na forma de uma pluralidade de ressaltos ou nervura circular ou axialmente espaçadas e dispostas substancialmente paralelas entre si. Cada ressalto ou nervura pode estender-se entre as extremidades opostas 32, 34 da ferramenta de mandril interna 16 e pode ser espaçado com vários padrões

sinusoidais entre as extremidades opostas 32, 34 da ferramenta de mandril interna 16, conforme ilustrado na Figura 4. Adicional ou alternativamente, as saliências 38 podem ser um ou mais aros concêntricos formados em volta da ferramenta de mandril interna 16, ou podem ter qualquer outra configuração. As saliências 38 podem ser integralmente formadas ou de outro modo fixadas à ferramenta de mandril interna 16.

[00061] O propósito dos vários contornos ou saliências 38 pode ser introduzir uma quantidade maior de força ao aparelho SMP 12 em uma área em corte transversal menor. Especificamente, quando o aparelho SMP 12 é impulsionado por um diferencial de pressão induzido para a ferramenta de mandril interna 16 a ser removido de dentro da parte composta curada, os vários contornos ou saliências 38 impedem que o aparelho SMP 12 dobre sobre si mesmo. Por exemplo, após sua expansão durante a cura, conforme posteriormente aqui descrito, o aparelho SMP 12 pode ser esticado. A força axial e/ou de aro induzida pelos vários contornos ou saliências 38 pode impedir que o as 12 dobre sobre si mesmo ou enrugue-se e danifique o material SMP.

[00062] Desse modo os vários contornos, saliências 38, e/ou entalhes fornecem uma grande área de superfície para o aparelho SMP 12 para contrair contra sem requerer um aumento de tamanho e/ou seção transversal da ferramenta de mandril interna 16. Na modalidade ilustrada na Figura 4, se o raio da ferramenta de mandril interna 16 for "r", e a extensão for "L", então a equação para a área de superfície é normalmente $2\pi rL$. Contudo, como as saliências 38 se estendem da superfície da ferramenta de mandril interna 16 na Figura 4, a área de superfície da ferramenta de mandril interna 16 na Figura 4 é maior do que $2\pi rL$.

[00063] Conforme ilustrado na Figura 5, as vedações de extremidade 18, 20 podem ser qualquer encaixe, vedação e/ou vedação de

extremidade, configurada para fornecer uma vedação hermética entre o aparelho SMP 12 e a ferramenta de mandril interna 16 na ou próximo às extremidades 32, 34 do aparelho SMP 12. Por exemplo, as vedações de extremidade 18, 20 podem ser travas matrizes moldadas e configuradas para fixar as extremidades 32, 34 da ferramenta de mandril interna 16 sobre partes do aparelho SMP 12 próximas às extremidades abertas do aparelho SMP 12, desse modo formando um recipiente de pressão dentro do aparelho SMP 12. Devido à natureza do material SMP, pode ser requerido calor para formar uma vedação adequada entre as vedações de extremidade 18, 20, o aparelho SMP 12, e/ou a ferramenta de mandril interna 16. Em algumas modalidades da invenção, as vedações de extremidade 18, 20 podem ser substancialmente travas matrizes circulares. A pressão de inflação pode ser introduzida pelo bombeamento de gás comprimido no aparelho SMP 12 por meio de uma ou mais linhas aéreas (não ilustradas) alimentado através das vedações de extremidade 18, 20 em algumas modalidades da invenção. Contudo, a pressão aplicada ao aparelho SMP 12 pode ser fornecida através de qualquer abertura nas vedações de extremidade 18, 20, da ferramenta de mandril interna 16, e/ou a ferramenta externa rígida 28 sem se afastar do escopo da invenção. Deve ser observado que em algumas modalidades da invenção, as vedações de extremidade 18, 20 podem ser omitidas ou podem preferivelmente ser configuradas para vedar adicional ou alternativamente o aparelho SMP 12 à ferramenta externa rígida 28.

[00064] O revestimento postiço 22, conforme ilustrado nas Figuras 6b e 7, pode, ser feitas de qualquer material e podem ter uma espessura que corresponda a uma espessura do material composto não curado 14 a ser colocado no aparelho SMP 12. O revestimento postiço 22 pode ser feita de formas de material composto, metal, plásticos sem reforço, ou qualquer material que exiba boa estabilidade dimensional sob calor

e pressão. Por exemplo, o revestimento postiço 22 pode ser formada de material composto, tal como laminado composto de epóxi reforçado de fibra de grafite. O revestimento postiço 22 é configurada para ser colocada dentro da ferramenta externa rígida 28, conforme posteriormente aqui descrita, durante a deformação do aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida. Em algumas modalidades da invenção, o revestimento postiço 22 pode também incluir ou ser integralmente formada com os reforçadores internos postiços 23.

[00065] Os reforçadores internos postiços 23, conforme ilustrado nas Figuras 6b e 7, podem ser reforçadores rígidos dimensionados e moldados substancialmente idênticos aos reforçadores internos 24 e dispostos no revestimento postiço 22 para representar os reforçadores internos curados ou não curados 24 durante a deformação do aparelho SMP na configuração de ferramenta rígida. Os reforçadores internos postiços 23 podem ser, alternativamente, dimensionados e moldados para representarem tanto os reforçadores internos quanto as inserções de reforço 26 durante a deformação do aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida.

[00066] Os reforçadores internos 24, conforme ilustrado nas Figuras 6a e 10b, podem ser reforçadores de qualquer subestrutura configurados para serem ligados com covalência e/ou cocurados ao material de compósito 14 da fuselagem ou outra parte composta. Os reforçadores internos 24 podem ser componentes estruturais alongados curvos para se ajustarem ao um contorno de uma superfície interna da fuselagem. Os reforçadores internos 24 podem compreender mcc ou material composto não curado na forma de peças de estrutura interna, tais como estruturas e reforços. Os reforçadores internos 24 podem ser presos em um formato desejado durante a cura por via das inserções de reforço 26, conforme aqui descrito posteriormente. Alguns exemplos dos reforçadores internos 24 incluem, mas não estão limitados a

reforçadores em trapezóides em forma de chapéu, reforçadores em forma de sino, reforçadores de chapéu invertidos, reforçadores J, reforçadores F, reforçadores de lâmina, reforçadores I, reforçadores C, reforçadores de núcleo, núcleo de painel de sanduiche, núcleo de colméia, e similares. Em algumas modalidades da invenção, os reforçadores internos 24 podem incluir aproximadamente 20,32 centímetros de estruturais altas e aproximadamente 7,62 centímetros de reforços altos. Contudo, podem ser usadas quaisquer dimensões sem se afastar do escopo desta invenção.

[00067] Em algumas modalidades da invenção, as estruturas podem ser configuradas para cruzar com os reforços em uma configuração tipo grade dentro da fuselagem concluída 15. Por exemplo, os reforços podem ser formados para sobrepor as estruturas e/ou as estruturas podem ser formadas para sobrepor os reforços, conforme ilustrado na Figura 6a. A sobreposição dos reforçadores internos 24 pode ser realizada dimensionando e moldando os reforçadores internos 24 para se ajustarem juntas como peças de quebra-cabeça. Essas mesmas configurações podem ser usadas para os reforçadores internos postiços 23, conforme ilustrado nas Figuras 6b, 7, 8 e 9.

[00068] As inserções de reforço 26, conforme ilustradas na Figura 7, podem ser feitas de um material rígido, tal como uma liga de aço níquel como INVAR, e pode contatar e/ou combinar com as partes dos reforçadores internos 24 e/ou os reforçadores internos postiços 23 voltados para o aparelho SMP 12. As inserções de reforço 26 podem ser configuradas para suavizar cantos agudos e inclinações dos reforçadores internos 24 e/ou os reforçadores internos postiços 23 para facilitar a formação do aparelho SMP 12. Especificamente, as inserções de reforço 26 podem ser configuradas para combinarem ou mais como o resto dentro de um ou mais ângulos apresentados por um ou mais dos reforçadores internos 24 e/ou reforçadores internos postiços 23. Por

exemplo, se um dos reforçadores internos 24 ou reforçadores internos postiços 23 apresentar um ângulo reto, uma das inserções de reforço 26 pode duas superfícies que se encontram em um ângulo reto e configurado para combinar com um ângulo reto daquele reforçador interno 24 ou reforçador interno postiço 23. As inserções de reforço 26 podem também ser dotadas de superfícies voltadas afastadas do reforçador interno 24 ou do reforçador interno postiço 23 que são substancialmente planos e/ou apresentam ângulos mais graduais. Por exemplo, uma ou mais inserções de reforço 24 podem ter pelo menos uma superfície chanfrada ou angulada e/ou bordas arredondadas que podem contatar o aparelho SMP 12 a medida que o mesmo é impulsionado para a ferramenta externa rígida 28, conforme será aqui descrito posteriormente. As inserções de reforço 26 podem também ser curvas, longitudinalmente, para corresponder substancialmente a uma curva dos reforçadores internos 24, dos reis postiços 23, e/ou a superfície curva da ferramenta externa rígida 28.

[00069] Os reforçadores internos 24 e/ou os reforçadores internos postiços 23, juntamente com as inserções de reforço 26 podem ser configurados para formar cavidades 40, tais como ranhuras ou canais, no aparelho SMP 12 conforme ilustrado na Figura 10 e posteriormente aqui descrito. Em algumas modalidades da invenção, os reforçadores internos postiços 23 e/ou as inserções de reforço 26 podem ser configurados para formar as cavidades 40 no aparelho SMP 12, e podem ser posteriormente substituídos pelos reis 24. Por exemplo, uma vez que o aparelho SMP 12 esteja na configuração de ferramenta rígida, o revestimento postiço 22, os reforçadores internos postiços 23, e/ou as inserções de reforço podem ser removidos das cavidades 40 e substituídos pelos reforçadores internos não curados 24, configurados contra as inserções de reforço 26, para serem curados dentro da fuselagem 15. Alternativamente, uma vez que o aparelho SMP 12 esteja

na configuração de ferramenta rígida, o revestimento postiço 22, os reforçadores internos postiços 23, e/ou as inserções de reforço 26 podem ser removidos das cavidades 40 e substituídos pelos reforçadores internos pré-curados 24, configurados contra as inserções de reforço 26 a serem ligadas com covalência com a fuselagem 15.

[00070] Em um exemplo de modalidade da invenção, conforme ilustrado nas Figuras 6a, 6b e 7, os reforçadores internos 24 e/ou os reforçadores internos postiços 23 podem compreender reforçadores J 42 suportados pelo menos em dois lados pelas inserções de reforço 26 correspondentes. Além disso, os reforçadores internos 24 e/ou reforçadores internos postiços 23 no exemplo de modalidade pode compreender estruturas 44 com uma seção transversal substancialmente no forma de "T", com as estruturas 44 também suportadas pelo menos em dois lados pelas inserções de reforço 26 correspondentes. Conforme ilustrado na Figura 7, as inserções de reforço 26 e/ou partes dos reforçadores internos postiços 23 podem ser presos no lugar e presos juntos por prendedores mecânicos 46, tais como tiras de união e pinos. Contudo, os reforçadores internos 24 e/ou os reforçadores internos postiços 23 podem ter qualquer configuração conhecida e as inserções de reforço 26 podem ser de qualquer formato e configuração conhecidos para combinar com os mesmos.

[00071] A ferramenta externa rígida 28, conforme ilustrado na Figura 8, pode ser uma ferramenta rígida que tem uma superfície interna configurada para formar uma forma de uma superfície externa da fuselagem 15. Por exemplo, a ferramenta externa rígida 28 pode ser uma ferramenta "clamshell", conforme ilustrado na Figura 2 ou conforme ilustrado na Figura 8, e pode ter duas metades, incluindo uma "clamshell" inferior e uma "clamshell" superior. Juntas, as duas metades podem formar uma forma cilíndrica oca ligada pela superfície interna da ferramenta externa rígida 28. Contudo, a ferramenta externa rígida 28

pode compreender qualquer pluralidade de partes que, ao serem unidas, pode formar uma superfície interna configurada para formar o formato de uma superfície externa da fuselagem 15.

[00072] Em geral, um método de fabricação da fuselagem 15 pode incluir as etapas de formar o aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida com as cavidades 40 para os reforçadores internos 24, colocar os reforçadores internos curados e não curados 24 e as inserções de reforço 26 nas cavidades 40 do aparelho SMP 12, colocar o material composto não curado 14 no aparelho SMP 12, então colocar o aparelho SMP 12 no material composto não curado 14 na ferramenta externa rígida 28. O método pode em seguida incluir as etapas de curar o material de compósito 14 por meio de pressão e aquecimento embora inflando substancialmente ou expandindo de outra maneira o aparelho SMP 12 para comprimir o material de compósito 14 contra a ferramenta externa rígida 28 durante o processo de cura, então, uma vez que o material de compósito 14 seja curado, impulsionar o aparelho SMP 12 para uma seção transversal reduzida, e extrair o aparelho SMP 12 de dentro da fuselagem resultante. Os reforçadores internos 24 são desse modo ligados com covalência e/ou cocurados com a fuselagem composta, eliminar a necessidade de prendedores para fixar os reforçadores internos 24 à fuselagem. Os métodos aqui descritos para cocurar e ligar com covalência os reforçadores internos 24 à fuselagem podem ser também usados para cocurar ou ligar com covalência os reforçadores ou outros componentes a qualquer parte composta conhecida na técnica, tal como quaisquer dos vários componentes de aeronave aqui listados.

[00073] O fluxograma da Figura 14 descreve as etapas de um método exemplar 1400 para formar o aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida usada para fabricar a fuselagem 15. Em algumas modalidades alternativas, a funções observadas nos vários blocos

podem ocorrer fora da ordem descrita na Figura 14. Por exemplo, dois blocos ilustrados em sucessão na Figura 14 podem na realidade ser substancialmente executados simultaneamente, ou os blocos podem ser algumas vezes executados na ordem contrária dependendo da funcionalidade envolvida.

[00074] O método 400 pode compreender as etapas de receber o aparelho SMP 12 no estado inflado, conforme ilustrado na Figura 3, ou receber o aparelho SMP 12 em superfície externa formato de memória e então aquecer e inflar o aparelho SMP 12 em superfície externa estado inflado, conforme descrito no bloco 1402. Essa expansão do aparelho SMP 12 pode ser também realizada usando vários outros disparadores para alterar o módulo do aparelho SMP 12 e/ou várias forças ou técnicas para expandir o aparelho SMP para o formato desejado. O aparelho SMP 12 pode então ser grande o suficiente para ser deslizado sobre a ferramenta de mandril interna 16. Alternativamente, o aparelho SMP 12 pode ser fundido com uma forma de memória grande o suficiente para ajustar-se sobre a ferramenta de mandril interna 16. A etapa seguinte do método 1400 pode ser deslizar a ferramenta de mandril interna 16 no aparelho SMP 12 ou deslizar o aparelho SMP 12 na ferramenta de mandril interna 16, conforme descrito no bloco 1404. Em ainda outra modalidade alternativa da invenção, o aparelho SMP 12 pode ser recebido em um estado de deformação e pode já estar conformado à ferramenta de mandril interna 16 da Figura 14.

[00075] Uma vez que o aparelho SMP 12 seja posicionado na ferramenta de mandril interna 16, o método 1400 pode compreender aquecer o aparelho SMP 12 acima de T_g na qual o mandril SMP torna-se maleável e possível de ser formado, conforme descrito no bloco 1406. Acima da temperatura limite T_g , o aparelho SMP 12 pode naturalmente contrair de volta para seu formato e tamanho de memória

original, levando o aparelho SMP 12 a contrair em volta e formar para a ferramenta de mandril interna 16, conforme ilustrado na Figura 5. Adicional ou alternativamente, pode ser aplicado vácuo dentro da ferramenta de mandril interna 16, por via das aberturas de inflação, e pode sugar o aparelho SMP maleável aquecido 12 contra a ferramenta de mandril interna 16. Em algumas modalidades da invenção, a ferramenta de mandril interna 16 pode ser partes chanfradas ou anguladas 48 em cada extremidade oposta 32, 34 para as quais o aparelho SMP 12 pode ser conformado. Qualquer material em excesso que se estende para fora além das partes chanfradas ou anguladas 48 pode precisar ser lançadas ou cortadas.

[00076] O método 1400 pode também compreender a etapa de aplicar as vedações de extremidade 18, 20 ao aparelho SMP 12 e a ferramenta de mandril interna 16, conforme descrito no bloco 1408, criar um recipiente de pressão entre a ferramenta de mandril interna 16 e o aparelho SMP 12. Especificamente, à medida que o aparelho SMP 12 contrai as partes de extremidade do aparelho SMP 12 podem ser pressionadas para dentro na direção da ferramenta de mandril interna 16 e/ou suas partes chanfradas ou anguladas 48 e bloqueadas na mesma pelas vedações de extremidade 18, 20, tais como as travas matrizes. Em algumas modalidades da invenção, as vedações de extremidade 18, 20 podem combinar com as partes chanfradas ou anguladas 48 da ferramenta de mandril interna 16, imprensando partes do aparelho SMP 12 entre as vedações de extremidade 18, 20 a ferramenta de mandril interna 16 para formar uma vedação hermética. Em algumas modalidades alternativas da invenção, a etapa de aplicar as vedações de extremidade 18, 20 pode ser omitida ou o aparelho SMP 12 pode ser vedado de outras maneiras ou a outras superfícies para permitir que um diferencial de pressão aja no aparelho SMP 12.

[00077] A etapa seguinte do método 1400 pode compreender colocar

os reforçadores internos postiços 23 e/ou inserções de reforço 26 no revestimento postiço 22 em uma configuração que corresponde aos locais desejados dos reforçadores internos 24 dentro da fuselagem, conforme descrito no bloco 1410 e ilustrado na Figura 7. O revestimento postiço 22, os reforçadores internos postiços 23, e/ou as inserções de reforço 26 podem ser cobertos com um filme fino ou alguma outra substância para impedir que colem uns nos outros e/ou ao aparelho SMP 12. O método 1400 pode então compreender colocar o revestimento postiço 22 na ferramenta externa rígida 28, conforme descrito no bloco 1412. Especificamente, o revestimento postiço 22 pode ser aplicado à superfície interna da ferramenta externa rígida 28 para imitar ou servir como um local reservado para a espessura do material de compósito 14 que será posteriormente colocado no aparelho SMP 12. Para assegurar que o aparelho SMP 12 com o material de compósito 14 aplicado ao mesmo em uma espessura desejada ainda vai caber dentro da ferramenta externa rígida 28.

[00078] As inserções de reforço 26 podem ser posicionadas no revestimento postiço 22 que se apóia na ferramenta externa rígida 28 junto com os reforçadores internos 23, que pode ser moldada e configurada para imitar o tamanho e a configuração dos reforçadores internos curados e não curados 24. Os reforçadores internos postiços 23 podem ser posteriormente removidos das cavidades 40 e substituídos pelos reforçadores internos curados e não curados 24. Os reforçadores internos curados e não curados 24 juntamente com as inserções de reforço 26 pode, ser colocados nas ranhuras ou cavidades 40 ligação covalente ou cocura dos reforçadores internos 24 com o material de compósito 14 que fabrica a fuselagem 15.

[00079] Conforme observado acima, os reforçadores internos postiços 23 podem ser omitidos e/ou substituídos pelos reforçadores internos 24 em qualquer das etapas aqui descritas em um estado não

curado ou curado. Por exemplo, os reforçadores internos 24 e/ou as inserções de reforço podem ser usados para formar as cavidades 40. Em uma modalidade da invenção, os reforçadores internos 24 podem ser pré-curados e/ou curados durante a moldagem do aparelho SMP 12 e pode ser posteriormente ligado em covalência ao material composto 14 durante sua cura, desse modo fabricando a fuselagem 15.

[00080] O método 1400 pode também compreender as etapas de colocar o aparelho SMP 12, juntamente com a ferramenta de mandril interna 160, dentro da ferramenta externa rígida 28, conforme descrito no bloco 1414 e ilustrado na Figura 8, e então aquecer e pressurizar o aparelho SMP 12, conforme descrito no bloco 1416. O calor e a pressão podem forçar o aparelho SMP 12 a inflar e pressionar contra o revestimento postiço 2, os reforçadores internos postiços 23, os reforçadores internos 24, e/ou as inserções de reforço 26. Conforme mencionado acima, o aparelho SMP 12 pode ser aquecido a ou acima de T_g para alterar o módulo do aparelho SMP 12 para torná-lo moldável e expansível. Contudo, podem ser também usados outros métodos para alterar o módulo do aparelho SMP 12, conforme aqui descrito. Além disso, em modalidades alternativas da invenção, as etapas do método 1410 a 1414 podem ser substituídas por uma etapa de colocação do aparelho SMP 12 dentro de um molde externo rígido moldado e configurado para imitar uma superfície interna da parte composta sendo formada e compreendendo saliências para formar as cavidades 40 desejadas no aparelho SMP 12.

[00081] A pressão ou diferencial de pressão pode ser induzido de várias maneiras, tais como por meio de um comprimido forçado aplicado através das aberturas de inflação 36 da ferramenta de mandril interna 16, conforme ilustrado na Figura 4. Por exemplo, a pressão requerida para expandir o aparelho SMP 12 pode depender da espessura e/ou tamanho geral do aparelho SMP 12. Além disso, o tipo de material SMP

usado e/ou o projeto do aparelho SMP 12 pode também afetar a facilidade ou dificuldade para forçar o aparelho SMP 12. Em algumas modalidades da invenção, pode ser aplicada a pressão em uma variação de 108,22 KPa a 1135,54 KPa (1 a 150 força libra por polegada quadrada manométrica ("psig")) ou pressão em uma variação mais estrita de 308,17 KPa a 721,85 KPa (30 a 90 psig) para inflar o aparelho SMP 12. Por exemplo, pode ser aplicado aproximadamente 411,59 KPa (45 psig) dentro do aparelho SMP 12 para inflar o aparelho SMP 12. Além disso, em qualquer das etapas do método aqui descrito quando aparelho SMP 12 é aquecido e pressurizado, pode ser induzida um diferencial de pressão baixo à medida que o calor sobe a ou acima de T_g para impedir que o aparelho SMP 12 caia longe do material de compósito 14 quando começar a amolecer. Então, em algum ponto após o aparelho SMP 12 exceder T_g , o diferencial de pressão pode ser acelerado ao montante total de pressão desejada. Por exemplo, pode ser aplicada uma pressão baixa de aproximadamente 34,47 KPa a 68,95 KPa (5 a 10 psi) dentro do aparelho SMP 12 até que tenha sido aplicado calor suficiente para tornar o aparelho SMP 12 suficientemente maleável, em cujo ponto a pressão aplicada no mesmo pode ser acelerada para a pressão do ciclo de cura, tal como 206,84 KPa a 620,53 KPa (30 a 90 psi).

[00082] Em seguida, o método 1400 pode compreender resfriar o aparelho SMP 12 para endurecê-lo na configuração de ferramenta rígida, conforme descrito no bloco 1418. A pressão de inflação pode continuar a ser aplicada à medida que a temperatura do aparelho SMP 12 é resfriada a um ponto abaixo de T_g de maneira que o aparelho SMP seja endurecido em sua configuração de ferramenta rígida inflada. O aparelho SMP 12 é desse modo moldado de acordo com o revestimento postiço 22, os reforçadores internos postiços 23, os reforçadores internos 24, e/ou as inserções de reforço 26, que formam as cavidades

40, as cavidades, ou ranhuras no aparelho SMP 12. Conforme descrito no bloco 1420, o método 1400 pode então compreender remover o aparelho SMP 12 e a ferramenta de mandril interna 16 da ferramenta externa rígida 28. O revestimento postiço 22 pode ser também removido do aparelho SMP 12, conforme ilustrado na Figura 9. A Figura 10 também ilustra o aparelho SMP 12 resultante na configuração de ferramenta rígida após os reforçadores internos postiços 23 serem removidos, desse modo revelando as cavidades 40 formadas pelo método 1400. A Figura 10b ilustra o aparelho SMP 12 resultante na configuração de ferramenta rígida com os reforçadores internos 24 colocados onde os reforçadores internos postiços 23 foram colocados na Figura 9.

[00083] O fluxograma da Figura 15 descreve as etapas de um método exemplificativo 1500 para fabricar a fuselagem 15 usando o aparelho SMP 12 mais detalhadamente. Em algumas implementações alternativas, as funções observadas nos vários blocos podem ocorrer fora da ordem descrita na Figura 15. Por exemplo, os blocos ilustrados em sucessão na figura 15 podem na realidade ser executados substancialmente ao mesmo tempo, ou os blocos pode, ser algumas vezes executados na ordem contrária, dependendo da função envolvida.

[00084] Conforme ilustrado na Figura 15, o método 1500 pode primeiro incluir a etapa de formar o aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida, conforme descrito no bloco 1502 e nas etapas do método da Figura 14. Conforme observado acima, essa etapa pode requerer a formação das cavidades 40 no aparelho SMP 12 em uma configuração que corresponda aos locais desejados dos reforçadores internos 24 dentro da fuselagem concluída 15. Podem ser usados vários métodos para moldar o aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida desejada com as cavidades 40, ou ranhuras formadas no mesmo.

[00085] Uma vez que o aparelho SMP 12 seja formado na configuração de ferramenta rígida, o método 1500 de fabricação de fuselagem 15 pode incluir a etapa de colocar os reforçadores internos curados não curados 24 e as inserções de reforço 26 nas cavidades do aparelho SMP 12, conforme descrito no bloco 1504 e ilustrado na Figura 10b. Contudo, em algumas modalidades da invenção, se os reforçadores internos 24 já estiverem posicionados nas ou entre as inserções de reforço 26 durante o aquecimento e a formação do aparelho SMP 12 na configuração de ferramenta rígida, então os reforçadores internos 24 e as inserções de reforço 26 podem permanecer dentro das cavidades resultantes 40, as cavidades ou ranhuras que foram criadas no aparelho SMP 12, e a etapa 1504 pode ser omitida.

[00086] Em algumas modalidades da invenção, os reforçadores internos 24 podem ser material não curado aplicado a e/ou enrolado em volta de um ou mais aparelhos SMP reforçadores, feitos de material SMP conforme descrito acima para o aparelho SMP 12. Dessa maneira, tanto os reforçadores internos 24 quanto a parte composta ou fuselagem 15 podem ser cocurados usando material SMP. Contudo, o material SMP usado para os aparelhos SMP reforçadores podem ter um desencadeador diferente e/ou uma T_g diferente do aparelho SMP 12 usado para formar a fuselagem 15. Desse modo ou os aparelhos SMP reforçadores ou os aparelho SMP 12 para a fuselagem 15 podem permanecer rígidos durante a cocura embora o outro dos aparelhos SMP reforçadores e do aparelho SMP 12 sejam usados como uma bexiga interna durante a cocura.

[00087] O método 1500 pode então compreender uma etapa de aplicar uma parte do material composto não curado 14 no aparelho SMP 12, conforme descrito no bloco 1506 e ilustrado na Figura 11. Especificamente, o material de compósito 14 pode ser aplicado no

aparelho SMP 12 e os reforçadores internos 24 apoiar-se nas cavidades de maneira que pelo menos uma parte dos reforçadores internos 24 contate e possa cocurar ou ligar com covalência o material de compósito 14 da fuselagem 15, como será posteriormente aqui descrito. O material composto não curado 14 pode ser colocado no aparelho SMP 12 usando qualquer método conhecido na técnica, tal como colocação automatizada de pano, colocação automatizada de fibra, enrolamento automatizado de filamento e/ou "hand lay up". Conforme mencionado acima, o material de compósito 14 pode compreender ou estar na forma de resina de temperatura baixa, resina de temperatura alta, resina temperada, fibra úmida processada pré-impregnada, fibra seca, fibra contínua, fibra descontínua, fibra de vidro cortada, KEVLAR, carbono, e/ou núcleo. Em algumas modalidades da invenção, uma barreira e/ou agente de liberação pode ser colocado entre o aparelho SMP 12 e o material de compósito 14, de maneira que os mesmos possam ser facilmente preparados após a cura do material de compósito 14. A barreira ou agente de liberação pode ser um filme, um plástico, etc. A barreira ou agente de liberação pode também por exemplo, ter um lado que pode ser ligado e um lado que pode ser liberado.

[00088] O método 1500 de fabricação da fuselagem 15 pode então compreender colocar o aparelho SMP 12 e o material composto não curado 14 na ferramenta externa rígida 28, conforme descrito no bloco 1508. Em seguida, o método pode incluir as etapas de curar o material de compósito 14 por meio de pressão e calor, conforme descrito no bloco 1510, embola simultaneamente inflando o aparelho SMP 12 para comprimir o material de compósito 14 durante o processo de cura, conforme descrito em 1512. Em algumas modalidades, da invenção, a pressão de inflação pode ser fornecida por via da ferramenta de mandril interna 16 e o calor pode ser elevado para uma temperatura de cura composta acima T_g . A inflação do aparelho SMP 12 pode compreender

o material de compósito 14 durante o ciclo de cura, e comprimir os reforçadores internos curados e não curados 24 entre o aparelho SMP 12 e a ferramenta externa rígida 28. Adicional ou alternativamente, a inflação do aparelho SMP 12 pode aplicar pressão diretamente a um ou mais das inserções de reforço 26 de maneira que as inserções de reforço 26 apliquem força de compressão às partes dos reforçadores internos 24 entre as inserções de reforço 26. A inflação do aparelho SMP 12 pode também comprimir os reforçadores internos curados e não curados 24 no material de compósito 14 da fuselagem, desse modo ligando com covalência ou cocurando os reis 24 à fuselagem.

[00089] Em outra modalidade da invenção, pode ser formada uma vedação entre a ferramenta externa rígida 28 e o aparelho SMP 12 usando vedações mecânicas, adesivos, ou qualquer outro método de partes de vedação periféricas do aparelho SMP 12 para a ferramenta externa rígida 28. A ferramenta externa rígida 28 pode ser ventilada para também aumentar a pressão criada por autoclave durante a cura do material de compósito 14. Isso pode eliminar a necessidade de uma vedação hermética com a ferramenta de mandril interna 16. Deve ser observado que métodos de compressão do aparelho SMP 12 contra o material de compósito 14 podem ser usados sem se afastar do escopo da invenção. Além disso, o calor e o diferencial de pressão aqui descritos podem ser fornecidos por autoclave (não ilustrado) ou qualquer outra combinação conhecida de técnicas de aquecimento e pressão para fabricar partes compostas.

[00090] Uma vez que o material 14 seja curado, o método 1500 pode compreender a remoção de pressão de inflação de dentro do aparelho SMP 12, conforme descrito no bloco 1514, e extraíndo o aparelho SMP 12 para fora de dentro da fuselagem resultante, conforme descrito no bloco 1516. O aparelho SMP 12 pode contrair em volta da ferramenta de mandril interna 16 uma vez que a pressão seja removida, embora o

calor permaneça acima de T_g . Por exemplo, pode ser aplicado vácuo de dentro da ferramenta de mandril interna 16 para sugar o aparelho SMP 12 de volta contra a ferramenta de mandril interna 16. Conforme ilustrado na Figura 12, o aparelho SMP 12 é desse retirado para longe do material composto curado 14. Portanto, a extração da ferramenta de mandril interna 16 de dentro da fuselagem curada e dos reforçadores internos 24 resulta na extração do aparelho SMP 12 que contrai contra a ferramenta de mandril interna 16 após a remoção de pressão de inflação.

[00091] Finalmente, o método 1500 pode compreender as etapas de remover as inserções de reforço 26 dos reforçadores internos curados 24, conforme descrito no bloco 1518, e extrair a fuselagem da ferramenta externa rígida 28m conforme descrito no bloco 1520. Por exemplo, as partes da ferramenta externa rígida 28 podem ser desconectadas mecanicamente entre si, permitindo que a fuselagem 15 e seus reforçadores internos integrados 24 sejam levantados para fora da ferramenta externa rígida 28.

[00092] Em uma modalidade alternativa da invenção, o aparelho SMP 12 pode permanecer rígido durante a cura. Por exemplo, uma vez que seja aplicado o material composto curado 14, ambos podem ser ensacados a vácuo ou vedados dentro de um material impermeável, flexível (não ilustrado e curado). Nessa modalidade alternativa, a temperatura de cura do material de compósito 14 pode ser menor do que a temperatura T_g na qual o aparelho SMP 12 começa a tornar-se maleável, de maneira que o aparelho SMP 12 permaneça rígido por todo ciclo de cura. Então em vez de usar o aparelho SMP 12 como uma bexiga durante a cura, o aparelho SMP 12 pode permanecer rígido durante a cura, com força de compressão do saco de vácuo ou material impermeável usado para cocurar o ligar com covalência o material de compósito 14 da fuselagem e nos reforçadores internos 24. Então, uma

vez que o material de compósito 14 seja curado, a saco de vácuo pode ser removido de volta da fuselagem resultante, e a temperatura do aparelho SMP 12 pode ser elevada em torno de T_g de maneira que o aparelho SMP 12 possa estar maleável 2/ou contrair na direção da forma de memória a ser removida de dentro da fuselagem.

FABRICAÇÃO DE REFORÇADORES COM O APARELHO SMP

[00093] Outra modalidade da invenção, como mais bem ilustrada nas Figuras de 16 e 17, é um método de fabricação de um reforçador 50, de maneira que os reforçadores internos 24, descritos acima, uma estrutura e/ou um reforço. Nessa modalidade da invenção, o método pode ser implementado usando o aparelho SMP 12, um ferramenta de moldagem rígida 52, e uma lâmina de material impermeável 54 tal como um saco de vácuo para fabricar o reforçador, conforme ilustrado na Figura 16.

[00094] O aparelho SMP 12 ilustrado na Figura 16 pode ter os mesmos traços e características do aparelho SMP 12 descritos para a modalidade da invenção ilustrada nas Figuras 1 e 2. Além disso, o aparelho SMP 12 pode ser formado em uma configuração de ferramenta rígida desejada usando qualquer método desejado, tal como as técnicas descritas acima. Em algumas modalidades da invenção, o aparelho SMP 12 pode ser fundido com uma forma de memória que corresponde substancialmente a uma forma desejada ou contorno de pelo menos uma superfície do reforçador resultante 50. Por exemplo, se o reforçador 50 a ser fabricado dor um reforço com uma seção transversal trapezoidal, então o aparelho SMP 12 pode ser fundido com a forma de memória com uma seção transversal substancialmente trapezoidal. Alternativamente, o aparelho SMP 12 pode ser fundido em qualquer forma alongada e pode ser posteriormente inserida em um molde oco, aquecido, e inflado no mesmo, então resfriado e endurecido na forma fornecida pelo molde oco.

[00095] A ferramenta de moldagem rígida 52 pode ser similar ou

idêntica em funcionalidade e projeto para a ferramenta externa rígida 28 descrita acima e pode ser feita de qualquer material capaz de permanecer rígido durante a cura do material de compósito 14, tal como aço. Alternativamente, a ferramenta de moldagem rígida 52 pode ser feita de um material SMP configurado para permanecer rígido durante a cura do material de compósito 14. Por exemplo, a ferramenta de moldagem rígida 52 pode ser o aparelho SMP 12 ilustrado na Figura 10a e a T_g do aparelho SMP 12 ilustrado na Figura 16 pode diferir da T_g da ferramenta de moldagem rígida 52 na modalidade alternativa da invenção. A ferramenta de moldagem rígida 52 pode ser configurada para formar pelo menos uma superfície externa desejada do reforçador. Por exemplo, a ferramenta de moldagem rígida 52 pode compreender uma cavidade 56 formada na mesma na qual o material composto não curado 14 pode ser colocado, formando pelo menos uma parede dos reforçadores 50. Conforme ilustrado na Figura 16, a cavidade 56 pode ser um canal com um fundo e duas paredes que se estendem em ângulos que não são de 90° a partir do fundo.

[00096] A lâmina de material impermeável 54 pode ser um saco de vácuo ou qualquer material impermeável, flexível, que possa ser vedado à ferramenta de moldagem rígida 52 e/ou aparelho SMP 12. Por exemplo, a lâmina de material impermeável 54 pode ser colocada sobre o material de compósito 14 vedado à ferramenta de moldagem rígida 52, criando uma vedação substancialmente impermeável entre a lâmina de material impermeável 54 e a ferramenta de moldagem rígida 52. A lâmina de material impermeável 54 pode também compreender um orifício de vácuo (não ilustrado) que se estende através da mesma para permitir o esvaziamento e ventilação de ar. Quando o ar é removido dentre a ferramenta de moldagem rígida 52 e a lâmina de material impermeável 54, a lâmina de material impermeável 54 pode compreender o material de compósito 14 colocado na mesma. Adicional

ou alternativamente, o aparelho SMP 12 pode ser pressurizado por autoclave e/ou gás comprimido, desse modo inflando o aparelho SMP 12 para a ferramenta de moldagem rígida 52 e a lâmina de material impermeável 54. Além disso, "a caul sheet" (não ilustrado) pode ser colocada entre a lâmina de material impermeável 54 e o material de compósito 14 para melhor controlar o contorno e um acabamento de superfície do material de compósito 14. Outras técnicas de técnicas de ensacamento conhecidas na técnica podem ser aqui usadas sem se afastar do escopo da invenção.

[00097] Em uma modalidade alternativa da invenção, a lâmina de material impermeável 54 pode ser substituída por uma lâmina de material impermeável que possa ser colocada sobre o material de compósito 14 e o aparelho SMP 12. Nessa modalidade da invenção, a lâmina de material impermeável pode ser fisicamente pressionada para o material de compósito 14 enquanto a pressão do aparelho SMP 12 durante o processo de cura comprime o material de compósito 14. Em ainda outra modalidade alternativa da invenção, a lâmina de material impermeável 54 pode ser substituída por uma ferramenta de cobertura rígida que pode ser permeável ou impermeável e pode ser segura, pressionada para frente, ou mecanicamente fixada à ferramenta de moldagem rígida 52 e sobre o material de compósito 14.

[00098] O fluxograma da Figura 17 descreve as etapas de um método exemplo 1700 para fabricar um reforçador composto usando o aparelho SMP 12. Em algumas implementações alternativas, as funções observadas nos vários blocos podem ocorrer fora da ordem descrita na Figura 17. Por exemplo, dois blocos ilustrados em sucessão na Figura 17 podem na realidade ser executados substancialmente ao mesmo tempo, ou os blocos podem ser algumas vezes executados na ordem contrária dependendo da funcionalidade envolvida.

[00099] O método de fabricação de reforçador 50 usando o aparelho

SMP 12 pode compreender as etapas de formar o aparelho SMP 12 e na configuração de ferramenta rígida, conforme descrito no bloco 1702, e então aplicar pelo menos uma parte do aparelho SMP 12 com o material de compósito 14, conforme descrito no bloco 1704. Em algumas modalidades da invenção, a configuração de ferramenta rígida do aparelho SMP 12 pode corresponder a um formato interno e/ou ângulo do reforçador 50 a ser formado no mesmo. Em outras modalidades desta invenção, o material 14 pode ser primeiro colocado ou enrolado no aparelho SMP 12, e então o aparelho SMP 12 pode ser formado na configuração de ferramenta rígida, usando as técnicas de moldagem aqui descritas ou conhecidas na técnica.

[000100] O método 1700 pode compreender colocar o aparelho SMP 12 aplicado com o material de compósito 14 na cavidade 56 da ferramenta de moldagem rígida 51, conforme descrito no bloco 1706. Alternativamente, o material de compósito 14 pode ser estendido na cavidade 56 da ferramenta de moldagem rígida 52 e então o aparelho SMP na configuração de ferramenta rígida pode ser colocado no topo do material de compósito 14 dentro da cavidade 56 da ferramenta de moldagem rígida 52.

[000101] Contudo, pode ser empregue uma série de técnicas para colocar o material de compósito 14 em contato com o aparelho SMP 12, e para colocar ambos na cavidade da ferramenta de moldagem rígida 52, sem se afastar do escopo desta invenção. Além disso, em algumas modalidades da invenção, podem ser usados mais de um aparelho para fabricar o reforçador 50. Por exemplo, conforme ilustrado na Figura 16, dois aparelhos SMP 58, 60 dotados das propriedades do aparelho SMP 12, conforme descrito acima, são moldados para suportar superfícies opostas do material de compósito 14 para fabricar o reforçador 50 em uma configuração de reforço J. Especificamente, o reforçador dotado de uma seção transversal moldada em J. O material de compósito 14 pode

ser posicionado entre os aparelhos SMP 58, 60 e a ferramenta de moldagem rígida 52 conforme ilustrado na Figura 16 usando "hand lay-up" ou quaisquer outros métodos conhecidos na técnica. Então, um laminado de revestimento 62 pode ser colocado sobre os aparelhos SMP 58, 60, contatando a extremidade superior do material de compósito 14 que fabrica a seção transversal em forma de J do reforçador 50. Nessa modalidade da invenção o laminado de revestimento 62 e o material de compósito 14 podem ser ligados juntos por covalência, conforme posteriormente aqui descrito.

[000102] Portanto, em geral, o método 1700 pode compreender a etapa de colocar outra camada de material composto no laminado de revestimento 62 sobre o aparelho SMP 12, contatando pelo menos uma parte do material de compósito 14 que se estende dentro da cavidade 56 da ferramenta de moldagem rígida 52, conforme descrito no bloco 1708. Em seguida, o método pode compreender colocar a lâmina de material impermeável 54 sobre o material de compósito 14 e/ou o laminado de revestimento 62, conforme descrito no bloco 1710, e vedar a lâmina de material impermeável 54 à ferramenta de moldagem rígida 52, conforme descrito no bloco 1712, desse modo formando um limite hermético em volta do material de compósito 14. O limite hermético pode ser também formado sobre e/ou contra o aparelho SMP 12, embora tendo pelo menos uma abertura de ventilação (não ilustrada) para o aparelho SMP 12, de maneira que o espaço permaneça exposto à atmosfera fora do limite hermético.

[000103] Então o método 1700 pode compreender uma etapa de induzir um diferencial de pressão para impulsionar a lâmina de material impermeável 54 para a ferramenta de moldagem rígida 52, conforme descrito no bloco 1714. Por exemplo, essa etapa pode envolver a remoção de ar de entre a lâmina de material impermeável 54 e a ferramenta de moldagem rígida 52, tal como por meio de vácuo, que

pode pressionar a lâmina de material impermeável 54 para ou contra o material de compósito 14 e/ou o laminado de revestimento 62. Em seguida ou simultaneamente à etapa descrita no bloco 1714, o método 1700 pode compreender a etapa de aquecer o material de compósito 14 e o aparelho SMP 12 para uma temperatura para curar o material de compósito 14, conforme descrito no bloco 1716. A temperatura de cura composta pode ser maior do que T_g , de maneira que o aparelho SMP 12 possa tornar-se maleável e possa impulsionar ou inflar para fora, pressionando contra o material de compósito 14. O aparelho SMP 12 pode, portanto, comportar-se de modo similar a uma saco de vácuo interno. Adicional ou alternativamente, pode ser introduzido gás ou pressão de ar no aparelho SMP para levar ou auxiliar sua inflação para fora para comprimir o material de compósito 14.

[000104] Em algumas modalidades alternativas da invenção, pelo menos um dos aparelhos SMP 58, 60 pode ser substituído por uma ferramenta rígida do mesmo formato. Em outras modalidades alternativas da invenção, os dois aparelhos SMP 58, 60 podem ser substituídos por ferramentas rígidas do mesmo formato e a ferramenta de moldagem rígida 52 pode ser substituída pelo aparelho SMP 12 da Figura 10a. Em geral, pode ser usada qualquer combinação dos aparelhos SMP e das ferramentas de moldagem rígida para formar as partes compostas descritas e ilustradas neste documento.

[000105] Uma vez que o material de compósito 14 seja curado, o método pode compreender as etapas de remover a lâmina de material impermeável 54 da ferramenta de moldagem rígida 52, conforme descrito no bloco 1718. Em amo da invenção, o método 1700 pode também compreender ou continuar a aquecer ou reaplicar calor ao aparelho SMP 12, conforme descrito no bloco 1720, de maneira que o aparelho SMP 12 possa ser contraído ou de outro modo impulsionado afastado do reforçador de cura 50. Se tiver sido introduzido gás ou

pressão de ar para auxiliar a inflação do aparelho SMP 12, essa pressão pode também ser removida. O aparelho SMP 12 pode naturalmente contrair de volta para sua forma de memória original, permanecendo macio e maleável até que resfrie. Portanto, o método 1700 pode incluir uma etapa de remoção do aparelho SMP 12 do material composto curado 14 ou do reforçador 50 embora em seu estado macio, maleável, conforme descrito no bloco 1722. Alternativamente, o aparelho SMP 12 pode ser contraído ou impulsionado para longe do reforçador curado 50 embora em seu estado maleável, mas então resfriado e endurecido antes de ser removido de dentro do reforçador curado 50.

[000106] Deve ser observado que, uma vez removido do reforçador curado 50, o som 12 pode ser configurado em qualquer configuração de ferramenta rígida desejada dentro das limitações de força do aparelho SMP 12 e reutilizado para fazer outro reforçador. Em geral, o aparelho SMP 12 é reconfigurável e reutilizável. Inversamente, os sacos de mandril interno conhecidos na técnica não podem ser reutilizados ou não oferecem a durabilidade desejada e são mais propensos à falha. Os sacos de mandril internos não são também dotados da rigidez necessária a ser usada como uma ferramenta "lay-up" para aplicar o material de compósito 14 no mesmo. Especificamente, outros tipos de mandris usados nos pedidos de formação de reforçador tradicional são frequentemente requeridos a serem cortados ou removidos do reforçador curado e, portanto, não são reutilizáveis. Vantajosamente, o aparelho SMP 12 pode ser usado tanto com ferramenta de "lay-up" rígida para "lay-up" material composto quanto como um saco interno de bexiga durante a cura do material de compósito 14, e pode então ser removido e reutilizado por vários ciclos.

[000107] Apesar de a invenção ter sido descrita com referência à modalidade preferida ilustrada nas figuras dos desenhos em anexo, deve ser observado que podem ser empregadas equivalências e

substituições feitas sem se afastar do escopo da invenção conforme relatada nas reivindicações. Por exemplo, qualquer caso de aplicação de vácuo ou força de inflação dentro ou fora do aparelho SMP 12, conforme descrito neste documento, é meramente exemplificativo e pode ser substituído por quaisquer técnicas conhecidas na técnica para criar um diferencial de pressão capaz de impulsionar o aparelho SMP 12 para um molde desejado e/ou material composto 12. Adicionalmente, embora tenham sido descritos neste contexto vários formatos, configurações e ferramentaria para moldar o aparelho SMP 12 em uma configuração de ferramenta rígida desejada, deve ser observado que pode ser usada qualquer molde ou combinação de moldes e ferramentaria rígida para definir um formato do aparelho SMP 12 usando uma ou mais etapas do método descrito neste documento.

[000108] Além disso, apesar das Figuras e modalidades exemplificativas fornecidas neste documento descreverem fabricação de partes compostas para aeronaves, as ferramentas de formação e os métodos descritos neste documento podem ser usados para fabricar partes compostas para automóveis, barcos, artigos esportivos, e similares sem se afastar do escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricação de uma parte composta (15) com reforçadores integrados (24), o método **caracterizado** pelo fato de compreender:

desencadear um aparelho de polímero de memória de forma (SMP) (12) para um estado maleável;

moldar o aparelho SMP (12) no estado maleável para corresponder a uma configuração desejada de uma primeira superfície de uma parte composta (15) a ser fabricada, incluindo uma ou mais cavidades (40) configuradas para colocação do reforçador (24) nas mesmas;

desencadear o aparelho SMP (12) para um estado rígido;

colocar os reforçadores (24) nas cavidades (40);

aplicar material composto (14) no aparelho SMP (12) e nas superfícies expostas dos reforçadores (24) que se estendem nas cavidades (40); e

co-curar ou ligar com covalência os reforçadores (24) ao material composto (14) do aparelho SMP (12) por via de pressão e aquecimento para fabricar a parte composta (15).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os reforçadores (24) são reforçadores internos.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os reforçadores incluem pelo menos um de estruturas, reforços, núcleo, e camadas adicionais de material composto.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a parte composta (15) é uma fuselagem monolítica de aeronave, uma asa, uma nacela, um painel de aeronave, um tubo de aeronave, suportes estruturais de aeronave, um componente de aeronave feito de laminados sólidos, laminados integralmente enrijecidos, ou estrutura de sanduiche endurecida, ou reforçadores

internos para um componente de aeronave.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a co-cura e ligação covalente dos reforçadores (24) com o material composto (14) compreende:

aquecer o material composto (14) para uma temperatura de cura de material composto;

desencadear uma mudança no módulos do aparelho SMP (12) de estado rígido para o estado maleável; e

induzir um diferencial de pressão suficiente para acionar o aparelho SMP (12), no estado maleável, para uma superfície de molde (28) que corresponde a uma configuração desejada de uma segunda superfície da parte composta, desse modo comprimindo o material composto (14) contra a superfície de molde (28) durante a cura e comprimindo os reforçadores (24) no material composto (14) durante a cura, desse modo co-curando ou ligando por covalência os reforçadores internos (24) ao material composto (14).

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a co-cura ou ligação covalente dos reforçadores (24) com o material composto (14) compreende:

vedar uma lâmina de material impermeável (54) em volta do material composto (14);

comprimir a lâmina de material impermeável (54) contra o material composto (14) pela indução de um diferencial de pressão fora e/ou dentro da lâmina de material impermeável; e

aquecer o material composto (14) para uma temperatura de cura composta.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente colocar uma lâmina de revestimento sobre o material composto (14) antes da etapa de vedar a lâmina de material impermeável (54) em volta do material composto

(14).

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os reforçadores (24) são pré-curados antes de serem colocados nas cavidades (40).

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os reforçadores (24) não são curados antes de serem colocados nas cavidades (40).

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que os reforçadores (24) são material composto não curado (14) colocado nas ou enrolado em volta das inserções de reforço (26) compostas de polímero de memória de forma (SMP).

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que o aparelho SMP (12) é desencadeado para o estado maleável enquanto as inserções de reforço (26) permanecem rígidas durante a cocura ou ligação covalente.

12. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que as inserções de reforço (26) são configuradas para tornarem-se maleáveis durante a cocura ou ligação covalente enquanto o aparelho SMP (12) permanece no estado rígido.

13. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente:

equalizar o diferencial de pressão induzido após o material composto (14) ser curado ou induzindo um diferencial de pressão suficiente para impulsionar o aparelho SMP (12) para longe do material composto curado (14); e

remover o aparelho SMP (12) de dentro da parte composta (15).

14. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que o aparelho SMP (12) é configurado para começar a mudar o estado maleável quando aquecido acima de uma temperatura

T_g , em que a temperatura de cura de material composto é igual a ou maior do que T_g , de maneira que o aquecimento do material composto para a temperatura de cura do material composto (14) simultaneamente aquece e desencadeia uma alteração no módulos do aparelho SMP (12) do estado rígido para o estado maleável.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que a formação do aparelho SMP (12) para corresponder à primeira superfície da parte composta (15) a ser formada no mesmo compreende:

- colocar o aparelho SMP (12) sobre uma ferramenta de mandril interna (16);

- vedar as extremidades do aparelho SMP (12) à ferramenta de mandril interna (16);

- colocar o aparelho SMP (12) e ferramenta de mandril interna (16) em um molde externo (28);

- aquecer o aparelho SMP (12) acima de T_g e inflar o aparelho SMP (12) para o molde externo (28);

- resfriar o aparelho SMP (12) abaixo de T_g ; e

- remover o aparelho SMP (12) em seu estado rígido do molde externo (28).

16. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender adicionalmente colocar inserções de reforço (26) rígidas nas cavidades (40) entre o aparelho SMP (12) e os reforçadores (24), em que as cavidades (40) são dimensionadas e moldadas para permitir que tanto as inserções de reforço rígidas (26) quanto os reforçadores internos (24) se estendam no mesmo.

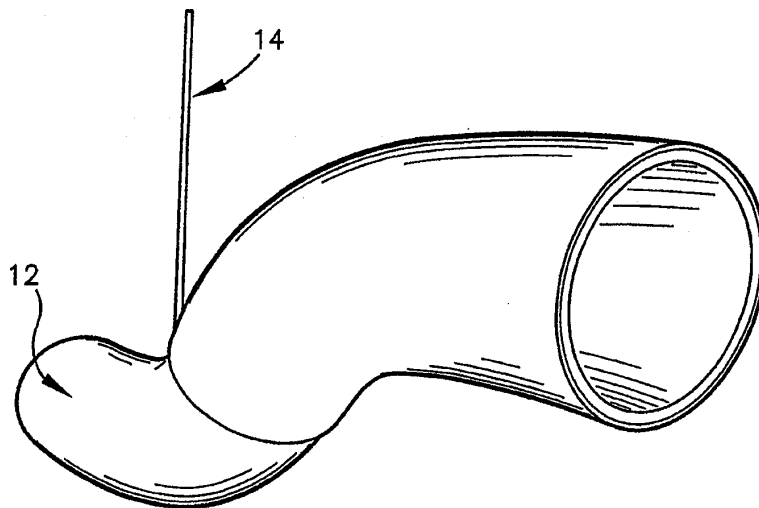


Fig. 1

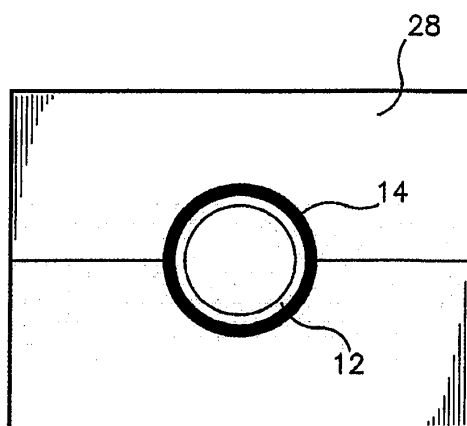


Fig. 2

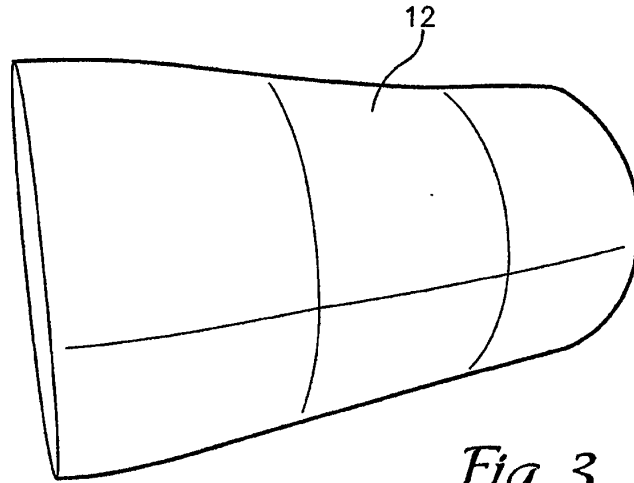


Fig. 3

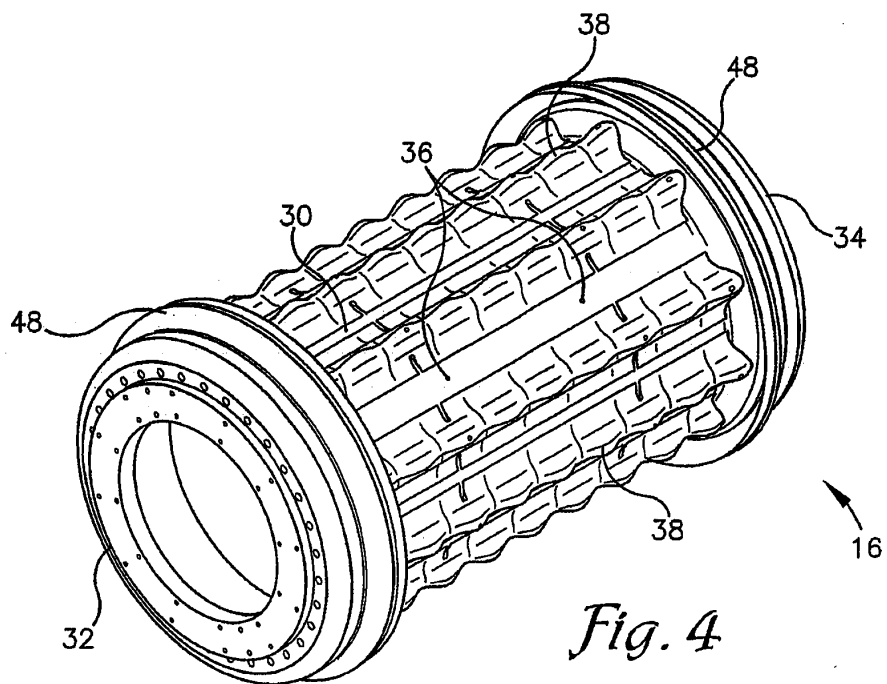
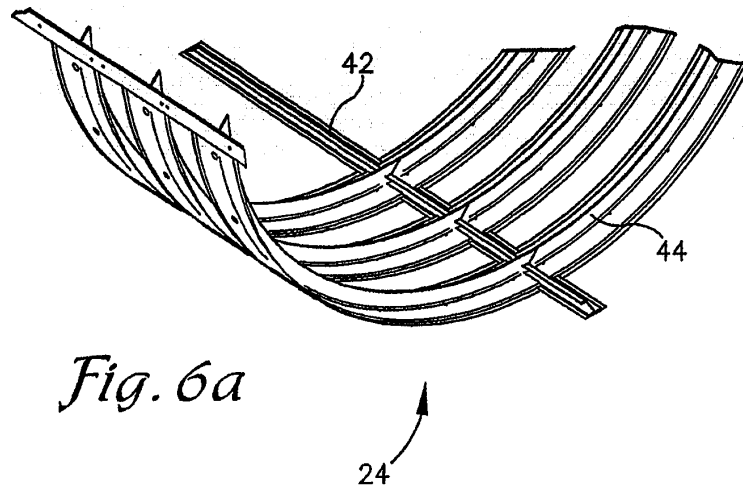
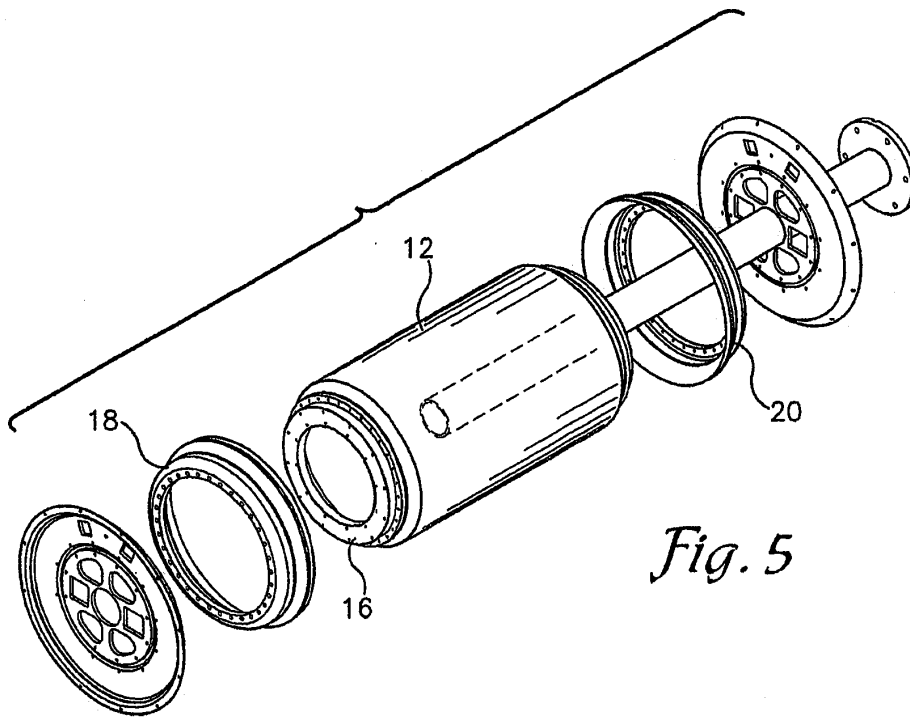


Fig. 4



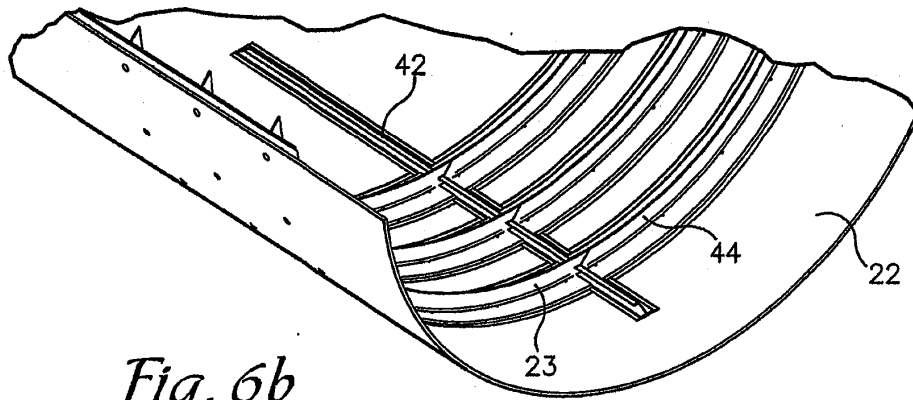


Fig. 6b

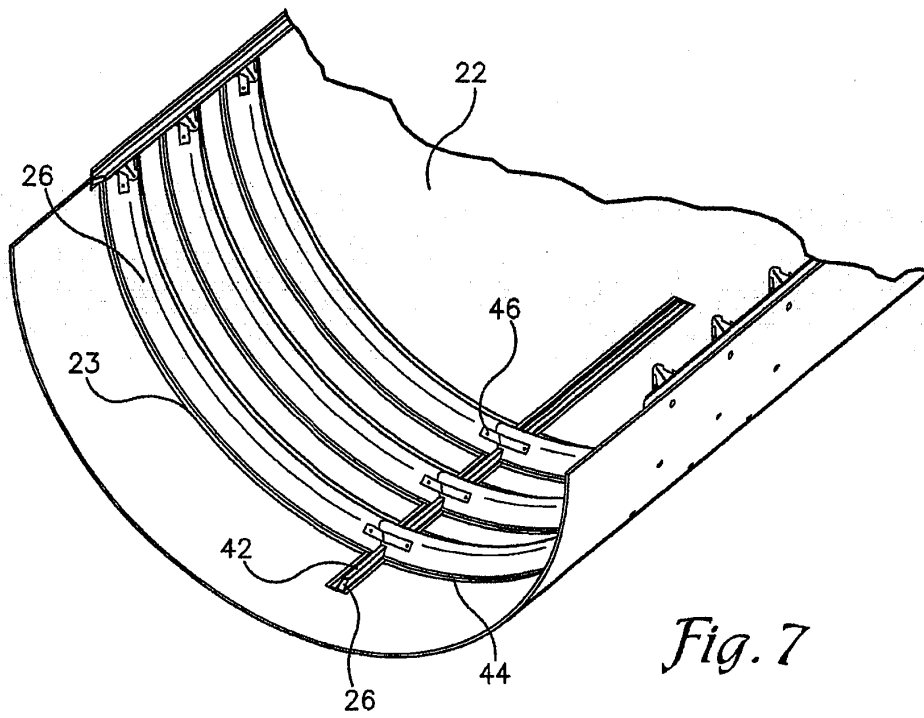
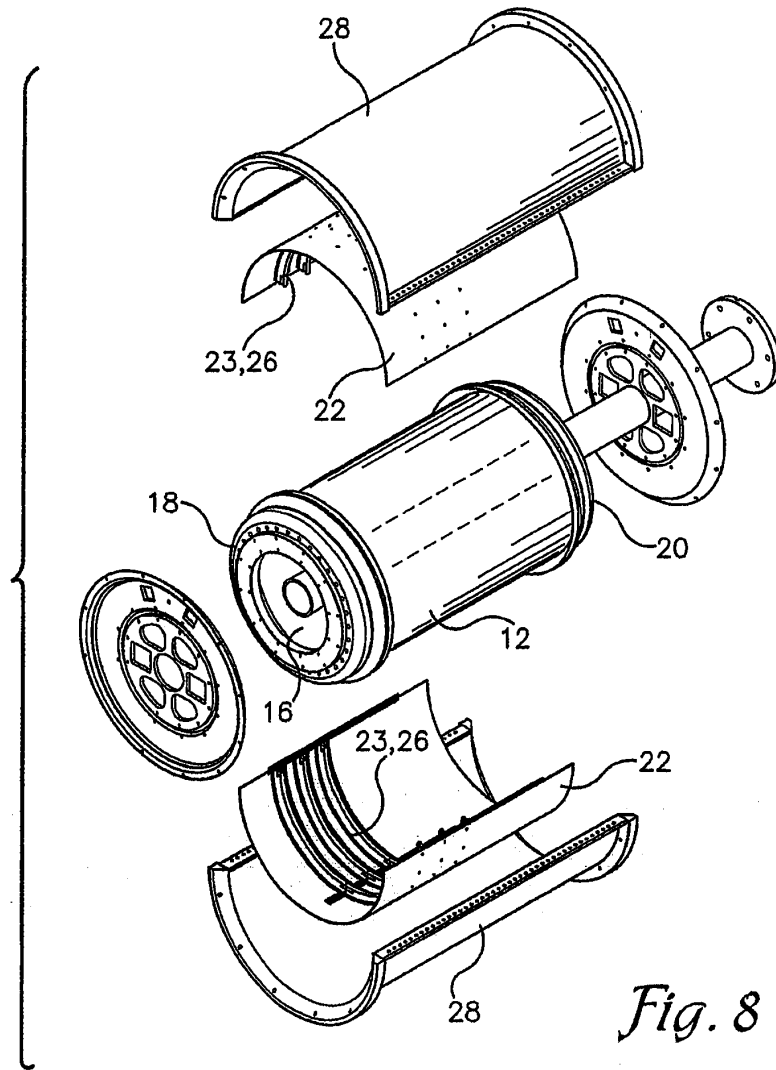


Fig. 7



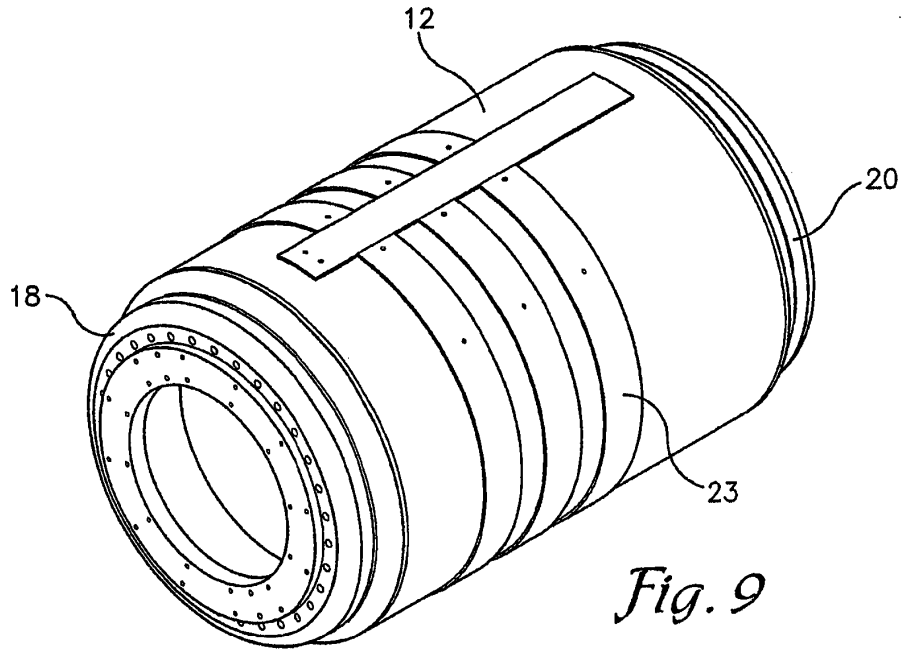


Fig. 9

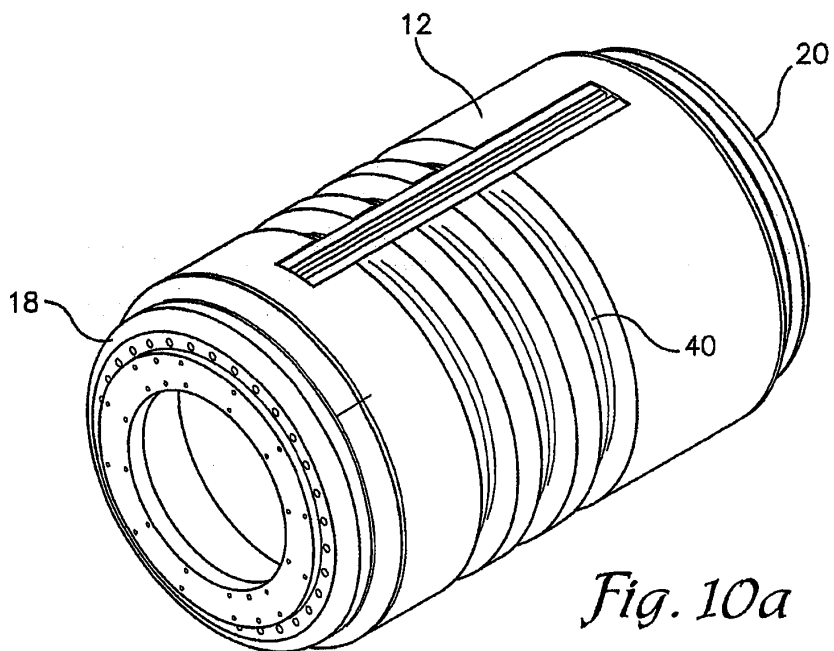


Fig. 10a

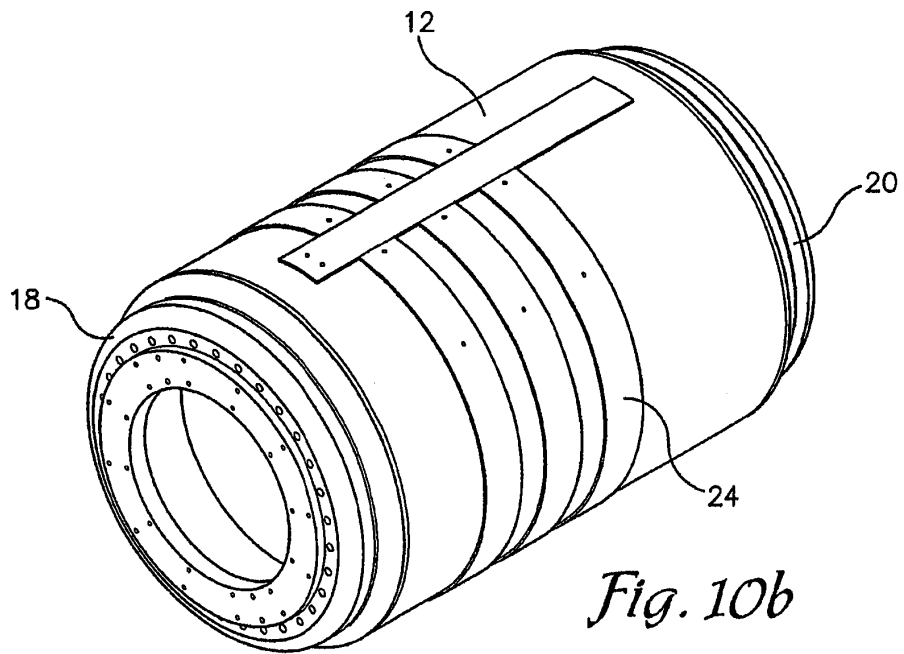


Fig. 10b

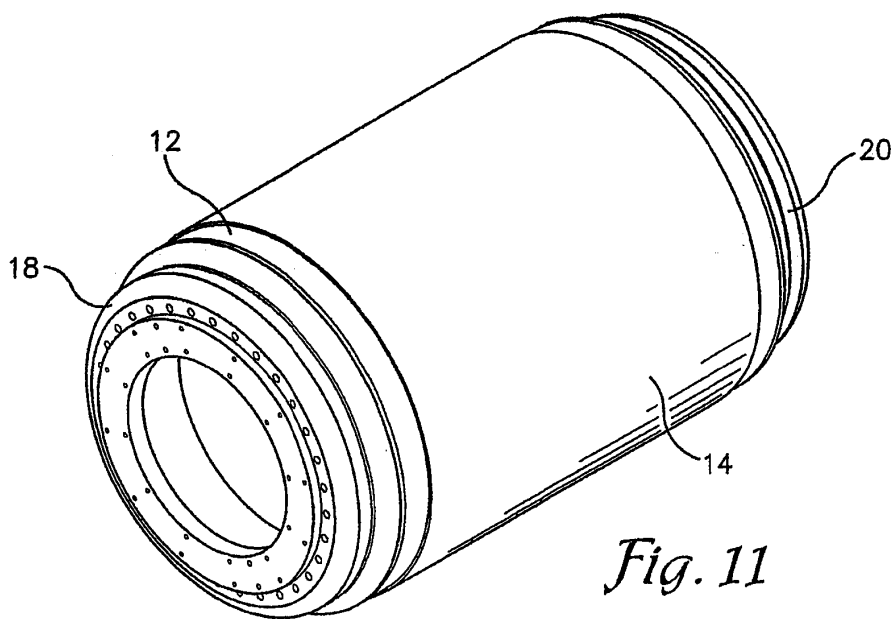


Fig. 11

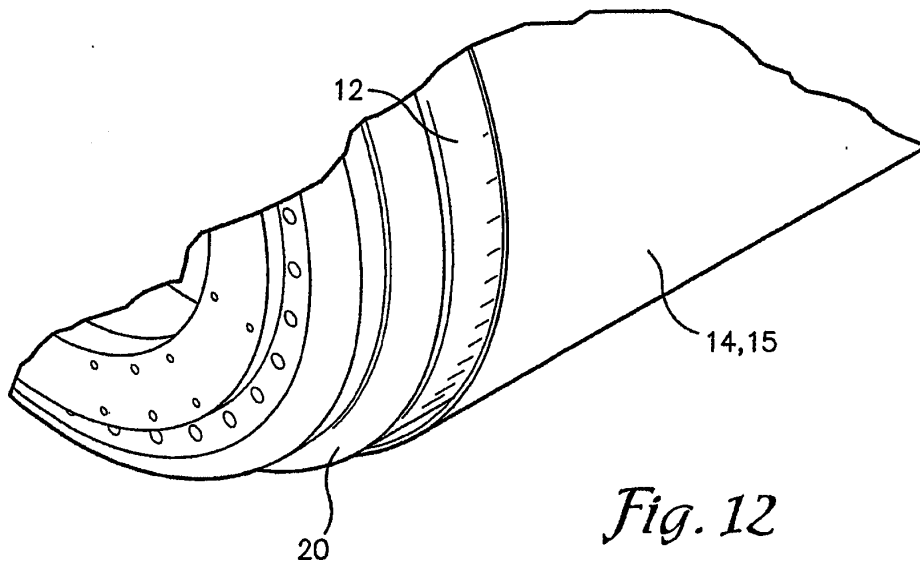


Fig. 12

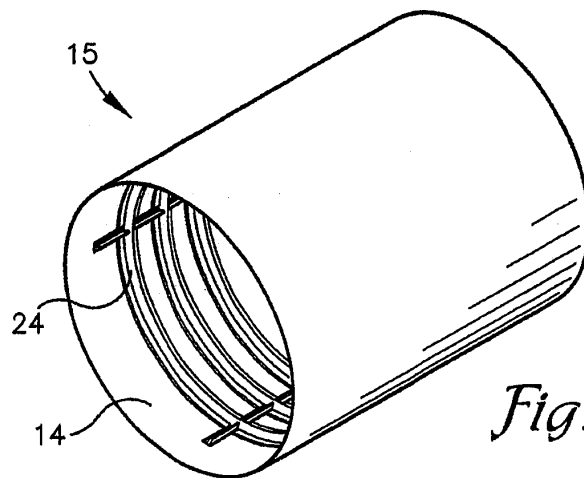
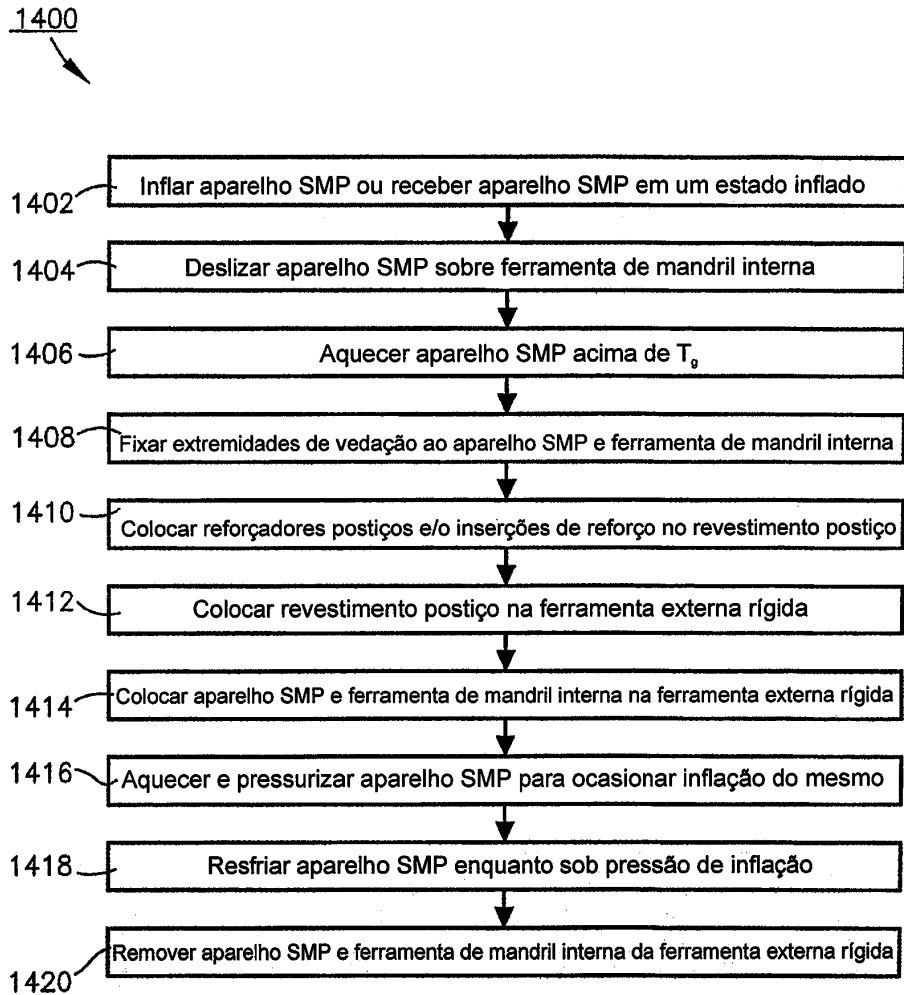
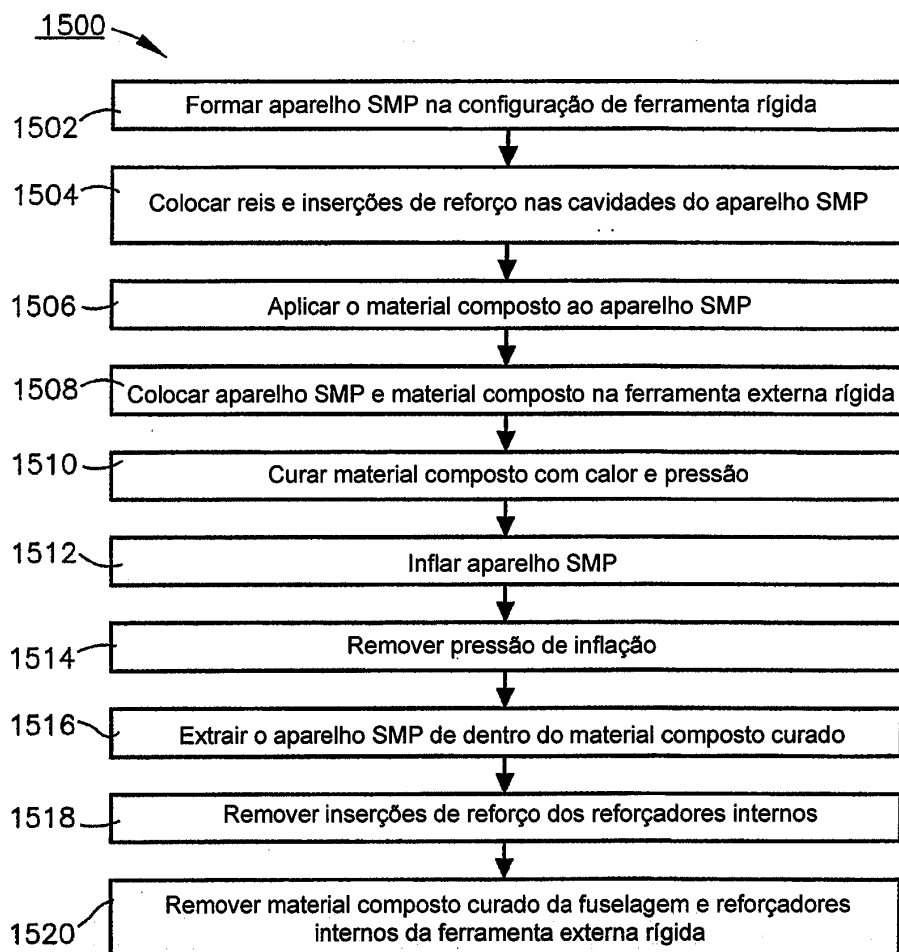
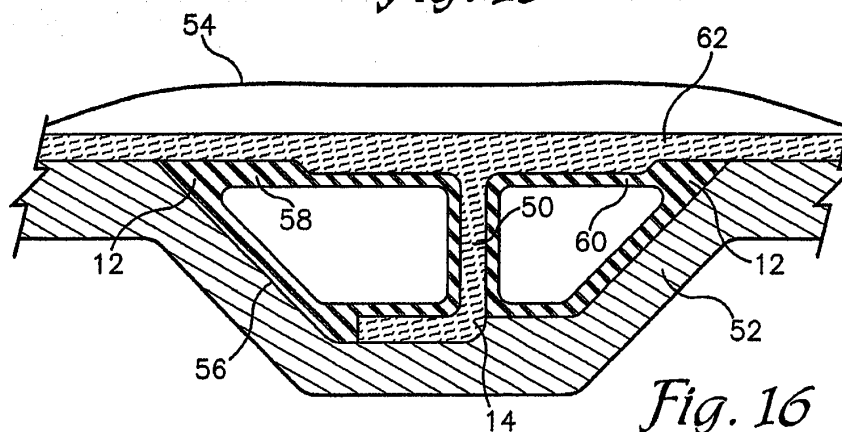
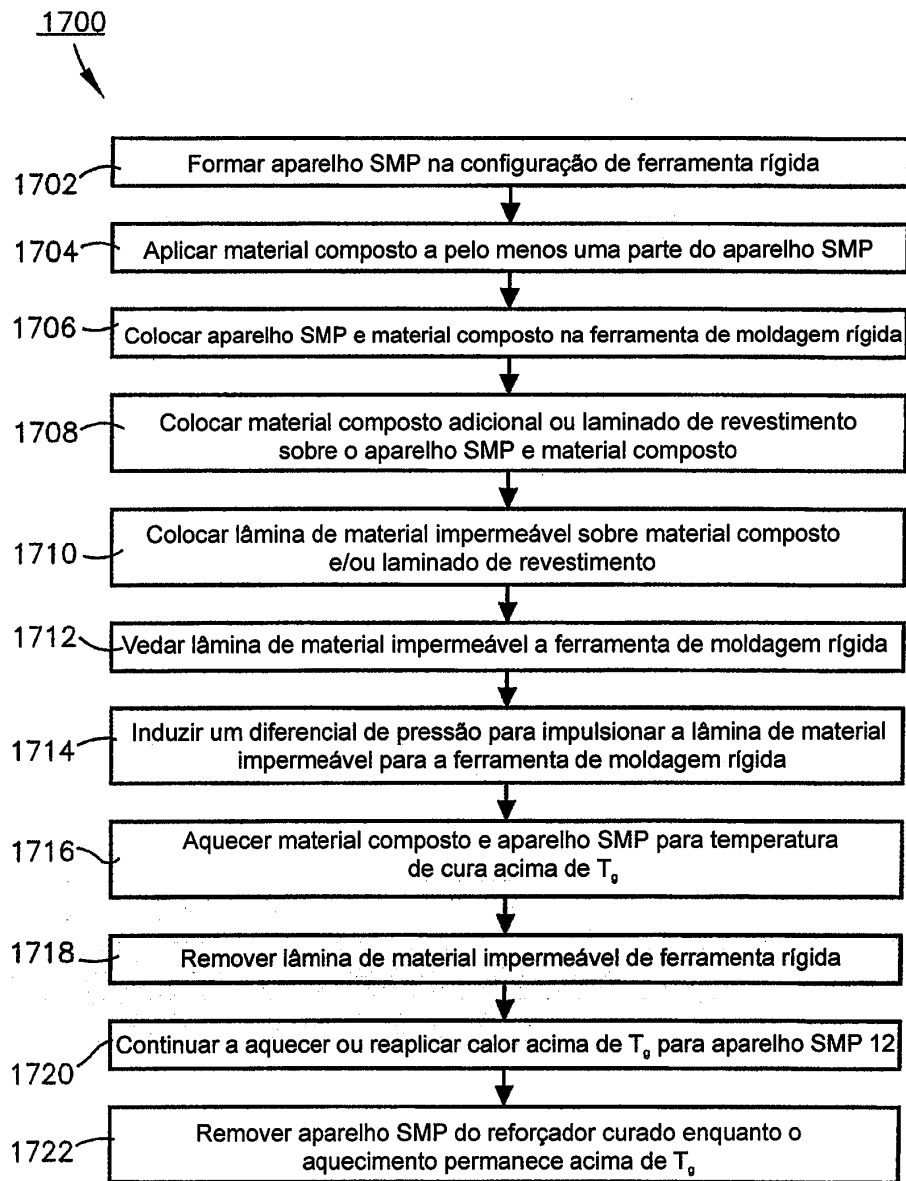


Fig. 13

*Fig. 14*

*Fig. 15*

*Fig. 17*

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE UMA PARTE COMPOSTA COM REFORÇADORES INTEGRADOS"**.

A presente invenção refere-se a um método e aparelho para fabricar uma parte composta, tal como uma fuselagem ou reforçador interno, um aparelho de polímero de memória de forma (SMP) que pode ser usado tanto na ferramenta de "lay-up" rígida quanto em uma bexiga. O aparelho SMP pode ser aquecido até que esteja maleável, moldado, e então resfriado em uma configuração de ferramenta rígida desejada. Por exemplo, podem ser formadas cavidades no aparelho SMP para colocar componentes no mesmo para ligar por covalência ou cocurar com a parte composta. Em seguida, o material composto pode ser aplicado no aparelho SMP e então colocado em uma ferramenta externa rígida e aquecido para temperaturas de cura nas quais o aparelho SMP é maleável. Pode ser induzido um diferencial de pressão que impulsiona o aparelho SMP para comprimir o material composto contra a ferramenta externa rígida. Quando o material composto é curado, o aparelho SMP pode ser impulsionado para longe do material composto curado e removido de dentro da parte composta.