



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

(11) PI 0921310-4 B1



(22) Data do Depósito: 13/11/2009

(45) Data de Concessão: 02/07/2019

(54) Título: MÉTODO PARA FABRICAR UM COMPÓSITO

(51) Int.Cl.: B29C 43/36; B29C 43/10; B29C 70/44; B29C 43/12.

(30) Prioridade Unionista: 20/11/2008 US 61/116611.

(73) Titular(es): CYTEC TECHNOLOGY CORP..

(72) Inventor(es): MITCHELL DAVID SMITH; MARC DOYLE.

(86) Pedido PCT: PCT US2009064358 de 13/11/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/059514 de 27/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 18/05/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA FABRICAR UM COMPÓSITO Os métodos e aparelhos para fabricar PMCs e compósitos incluem uma etapa de infusão em que o reservatório de resina e a pré-forma são mantidos substancialmente sob a mesma pressão por vácuo durante a etapa de infusão ou a estrutura associada com a manutenção. Substancialmente a mesma pressão por vácuo pode ser efetuada usando um reservatório de resina desmontável que é incluso dentro ou fora da montagem de empacotamento a vácuo da pré-forma de fibra. Este método resulta em uma pressão de compactação a vácuo máxima obtível e processo de infusão de resina simplificado. Este processo pode ser usado para fabricar prepregs e compósitos de resina reforçados com fibras de grau aeroespacial, também aqui divulgados, que têm um volume de fibra, conteúdo vazio e qualidade de laminado que encontra ou excede aqueles fabricados usando um autoclave.

MÉTODO PARA FABRICAR UM COMPÓSITO

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

CAMPO

As formas de realização da presente divulgação dizem respeito
5 aos processos de infusão de resina e, em particular, aos processos de infusão de resina para a fabricação de compósitos reforçados com fibras utilizando um processamento de pressão a vácuo.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

Compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras
10 (PMCs) são materiais estruturais de alto desempenho que são comumente usados em aplicações que necessitam de resistência a ambientes agressivos, alta resistência, e/ou baixo peso. Os exemplos de tais aplicações incluem componentes de aeronaves (por exemplo, caudas, asas, fuselagens, hélices), cascos de barcos, e estruturas de bicicletas. Os PMCs compreendem camadas
15 de fibras que são ligadas juntas com um material de matriz, tal como uma resina polimérica. As fibras reforçam a matriz, carregando a maioria da carga suportada pelo compósito, enquanto a matriz carrega uma porção secundária da carga secundária pelo compósito e também transfere a carga das fibras rompidas para as fibras intactas. Desta maneira, as PMCs podem suportar
20 cargas maiores do que a matriz ou fibra podem suportar sozinhas. Além disso, adaptando-se as fibras reforçadas, em uma geometria ou orientação particulares, o compósito pode ser eficazmente projetado para minimizar o peso e o volume.

Vários processos foram desenvolvidos para a fabricação dos
25 PMCs. Os exemplos podem incluir formação de camada úmida, pré-impregnação, e infusão líquida. Na formação de camada úmida, a fibra reforçadora é umidificada com o material de matriz, colocado em uma cavidade de molde, e deixada endurecer ou curar. Este processo pode ser realizado de uma maneira automatizada, tal como com uma pistola de corte

ou uma máquina que recebe os rolos de fibra seca, os opera através de um banho de imersão em resina, e coloca as fibras umidificadas no molde. Alternativamente, a resina pode ser aplicada manualmente usando escovas.

Na pré-impregnação, os componentes do compósito são
5 fabricados com preregs ou tecidos pré-impregnados. As fibras reforçadoras são impregnadas com a resina de matriz em uma maneira controlada e congeladas de modo a inibir a polimerização da resina. Os preregs congelados são depois carregados e armazenados na condição congelada até necessários. Quando a fabricação do compósito parte dos preregs, os
10 preregs são descongelados até a temperatura ambiente, cortados, e colocados na cavidade do molde. Uma vez no lugar, os preregs são empacotados a vácuo e curados sob pressão para obter a fração com volume de fibra necessário com um mínimo de espaços.

No processamento de infusão líquida, as fibras reforçadoras
15 são colocadas dentro de uma cavidade do molde ou outro mecanismo para a ferramenta de forma final em condições secas, umidificadas com a resina de matriz, e curadas. O processamento de infusão líquida pode ser efetuado através de uma variedade de técnicas, incluindo moldagem por transferência de resina (RTM) de alta e baixa pressão, Infusão de Película de Resina (RFI),
20 moldagem por transferência de resina auxiliada por vácuo (VARTM), pultrusão, hiper VARTM, Processo de moldagem de infusão de resina do compósito de Seeman (SCRIMP®), reação de moldagem por injeção (RIM) ou a mesma moldagem por transferência de resina qualificada (SQUIRTM).

Cada um desses processos podem ser problemáticos, contudo.
25 Enquanto relativamente barata, a fabricação da formação de camada úmida tipicamente produz os compósitos tendo baixas frações de volume de fibra e alta porosidade, que reduz a resistência geral e a qualidade do compósito deste modo fabricado. Ao contrário, enquanto a fabricação dos compósitos através da pré-impregnação pode obter frações em volume de fibra maiores e

conteúdo reduzido de vazios, o custo para fabricar os prepgs é muito alto. Além disso, a meia vida dos prepgs congelados é limitada, devido à polimerização continuada, mesmo no estado congelado, e o manuseio deve ser cuidadosamente controlado. A fabricação dos compósitos através da
5 infusão e outros processos de molde fechados, tais como RTM, também é cara, devido ao alto custo para obter e manter a ferramenta necessária e os sistemas de injeção de líquidos.

SUMÁRIO

Há uma necessidade na técnica quanto compósitos, e os
10 métodos e aparelhos para processar estes materiais, que terão altas frações em volume de fibras e baixa porosidade, o que aumentará a força e a qualidade dos compósitos que são fabricados, enquanto reduzindo o custo para produzir os materiais.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DAS FIGURAS

15 A Figura 1A é uma ilustração esquemática da pressão dentro de uma pré-forma de fibra durante um processo de infusão de resina antes da infusão da resina;

A Figura 1B é uma ilustração esquemática da pressão dentro da pré-forma de fibra durante um processo de infusão de resina após um
20 gradiente de pressão ter se formado;

A Figura 1C é uma ilustração esquemática da pressão dentro da pré-forma de fibra durante um processo de infusão de resina ao passo que a resina é retirada em áreas evacuadas da pré-forma de fibra;

A Figura 1D é uma ilustração esquemática da pressão dentro
25 da pré-forma de fibra após a resina ter enchido pelo menos uma porção das áreas evacuadas da pré-forma de fibra;

A Figura 2A é uma ilustração esquemática de uma forma de realização de um sistema de infusão de resina da presente divulgação;

A Figura 2B é uma ilustração esquemática de outra forma de

realização do sistema de infusão de resina da presente divulgação tendo múltiplos reservatório de resinas;

A Figura 2C é uma ilustração esquemática de outra forma de realização do sistema de infusão de resina da presente divulgação que compreende um enrijecedor de suporte; e

A Figura 2D é uma ilustração esquemática de outra forma de realização do sistema de infusão de resina da presente divulgação que compreende uma válvula externa.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Uma forma de realização da invenção, o processo de infusão de pressão constante (CPI VaRTM) aqui divulgado pode reduzir substancialmente as variações nas propriedades dos compósitos de matriz polimérica que podem crescer até gradientes de pressão interna, fornecendo um processo de fabricação de compósito robusto, de repetição, prognosticado, e controlado. Em uma forma de realização, a probabilidade de um gradiente de pressão se formar ou persistir através de uma pré-forma de fibra durante a infusão ou cura da matriz pode ser inibida. Isto resulta na compactação da pré-forma obtível mais alta em todos os tempos em que pode inibir as mudanças potenciais no volume evacuado durante o processo de infusão de matriz. Este processo produz os laminados de compósito de modo consistente que encontra ou excede aqueles feitos a partir das preregs tradicionais e curados em um autoclave. Além disso, as formas de realização do processo de CPI VARTM não necessitam de qualquer equipamento adicional além daquele de incluir o reservatório de resina e o constritor de linha de alimentação/fluxo associados no esquema de empacotamento.

Além disso, as formas de realização da presente invenção também permitem um processo de infusão significativamente simplificado. Isto é efetuado por intermédio da posição da fonte de alimentação de resina dentro do empacotamento do componente, que reduz ou substancialmente

elimina a necessidade de usar tubos externos ou fontes de alimentação de resinas. Isto permite o melhor acondicionamento dos componentes a ser infundidos em um forno, o reduz de maneira significativa o custo da produção do compósito, ao passo que mais componentes podem ser produzidos a partir de uma operação do forno.

Os termos “aproximadamente”, “cerca de”, e “substancialmente” como aqui usados representam uma quantidade próxima à quantidade determinada que ainda realize a função desejada ou obtém o resultado desejado. Por exemplo, os termos “aproximadamente”, “cerca de” e “substancialmente” podem ser referir a uma quantidade que está dentro de menos do que 10 % da, dentro de menos do que 5 % da, dentro de menos do que 1 % da, dentro de menos do que 0,1 % da, e dentro de menos do que 0,01 % da quantidade determinada.

O termo “pregreg” como aqui usado tem seu significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica tal como descrito acima. Os pregregs podem incluir folhas ou lâminas de fibras que foram impregnadas com um material de matriz dentro de pelo menos uma porção de seu volume. A matriz pode estar presente em um estado parcialmente curado. Em uma forma de realização, o pregreg tem uma porosidade entre cerca de 0,1 a 1,5 % em vol., com base no volume total do pregreg.

Os termos “cura” e “curagem” como aqui usados têm seu significado habitual como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir processos de polimerização e/ou reticulação. A curagem pode ser realizada através de processos que incluem, mas não são limitados a, aquecimento, exposição à luz ultravioleta, e exposição à radiação. Em algumas formas de realização, a curagem pode ocorrer dentro da matriz. Antes da curagem, a matriz também pode compreender um ou mais compostos que estão próximos da temperatura ambiente, líquidos, semi-sólidos, sólidos cristalinos, e combinações destes. Em algumas formas de

realização, a infusão e curagem podem ser realizadas em um processo único.

Os termos “matriz”, “resina”, e “resina de matriz” como aqui usados têm o seu significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir um ou mais compostos que compreendem materiais de termocura e/ou termoplásticos. Os exemplos podem incluir, mas não são limitados a, epóxis, agentes de cura de epóxi, fenólicos, fenóis, cianatos, imidas (por exemplo, poliimidas, bismaleimida (BMI), polieterimidas), poliésteres, benzoxazinas, polibenzimidazóis, polibenzotiazóis, poliamidas, poliamidimidas, polissulfonas, poliéter sulfonas, policarbonatos, tereftalatos de polietileno, e poliéter cetonas (por exemplo, poliéter cetona (PEK), poliéter éter cetona (PEEK), poliéter cetona (PEKK) e outros), combinações destes, e precursores destes. Em uma forma de realização, a resina é um sistema de resina epóxi de parte única. Em outra forma de realização, a resina é um resina de epóxi de baixa viscosidade de parte única. Em outra forma de realização, a resina tem uma viscosidade muito alta na temperatura ambiente mas tem uma baixa viscosidade e longa vida em pote em uma temperatura elevada. Neste caso, a alta viscosidade da resina pode impedir o fluxo da resina na pré-forma na temperatura ambiente. Deste modo, durante o processo, a resina pode ser aquecida até uma temperatura que fundiria a resina até uma baixa viscosidade e permite que a resina flua na pré-forma. Uma resina de alta viscosidade pode ter uma viscosidade de cerca de 3000 cp até cerca de 20000 cp na temperatura ambiente, e a resina de alta viscosidade pode ter uma viscosidade de cerca de 50 cp até cerca de 500 cp de 30 a 125° C. Em outra forma de realização, a resina tem uma baixa viscosidade na temperatura ambiente. Uma resina de baixa viscosidade pode ter uma viscosidade de cerca de 50 cp a cerca de 700 cp na temperatura ambiente. Em uma forma de realização, o teor de matriz do compósito é de cerca de 30 a 70 % em vol, com base no volume do compósito.

O termo “infusão” como aqui usado tem seu significado

comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir a introdução de uma resina em uma pré-forma. Em uma forma de realização, a infusão de uma resina pode incluir conduzir mecanicamente a resina na pré-forma através da pressão a vácuo. Em outra forma de realização, a infusão
5 pode ocorrer aplicando-se um ou mais de calor e pressão externa ao reservatório de resina. A aplicação de calor ou pressão promove a passagem da resina do reservatório para a pré-forma. Em uma forma de realização, infusão ocorre entre cerca de 40 a cerca de 120 °C. Em outra forma de realização, a infusão ocorre próximo à temperatura ambiente.

10 O termo “reservatório” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir um reservatório desmontável, tal como uma membrana desmontável ou outro reservatório flexível, ou um reservatório conduzido por pistão. Em outra forma de realização, o reservatório é parte de um esquema de empacotamento
15 de infusão padrão desmontável com um sistema de derramamento de resina. Os métodos e aparelhos aqui divulgados podem incluir um ou mais reservatório de resinas. Múltiplos reservatórios de resina podem ser ligados com um ou mais pré-formas, tais como em séries ou paralelos ou em cadeia de Daisy juntos para liberar a resina adequada e infundir completamente a
20 pré-forma.

Em uma forma de realização da presente invenção, o sistema de alimentação de resina é compreendido de uma bolsa ou reservatório de resina desmontável que é mantido no mesmo estado de vácuo como a pré-forma que deve ser infundida. Além disso, o reservatório de resina é
25 tipicamente colocado dentro da mesma bolsa como a pré-forma sendo infundida. O processo permite os métodos convencionais em que a pré-forma é compactada por intermédio de qualquer número de métodos previamente descritos que são cobertos pela técnica anterior. Uma forma de realização da presente invenção não utiliza uma fonte de alimentação de resina externa,

controlada ou não controlada, mas, ao invés disso, utiliza uma fonte interna que conta com a incapacidade do reservatório de resina de resistir à pressão atmosférica aplicada no reservatório sob a bolsa de vácuo. Este sistema permite que a pré-forma seja completamente compactada e mantida em uma atmosfera completa de pressão para o processo inteiro. Em uma forma de realização, o reservatório de alimentação de resina também é mantido sob as mesmas condições atmosféricas completas; contudo, a resina não é deixada encher o espaço evacuado na aplicação do vácuo.

O fluxo da resina pode ser interrompido por intermédio de vários métodos. Por exemplo, em uma forma de realização, uma resina pode ser usada a qual tem uma alta viscosidade na temperatura ambiente que inibe o fluxo e depois funde, ou se torna uma baixa viscosidade, no aquecimento durante o processo de infusão. Em outra forma de realização, um constritor de fluxo pode ser usado entre o reservatório de resina e a pré-forma que é ativada por calor ou através de uma influência externa. O aparelho de restrição de fluxo pode ser disposto em uma linha de alimentação entre o reservatório e a pré-forma, tal como uma válvula externa, que previne que a resina flua na pré-forma enquanto fechada.

Em outra forma de realização, a resina começa a infundir a pré-forma imediatamente na aplicação do vácuo, contudo, em outra forma de realização, o fluxo de resina inicia após a pré-forma ter sido completada, comprimida e pronta para a infusão.

O termo “comunicação fluida” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode ser relacionado a uma estrutura tal como uma linha de alimentação conectada do reservatório para a linha de alimentação da pré-forma. Em uma forma de realização, a taxa da resina que passa do reservatório para a pré-forma é entre 10 ml/min a 1000 ml/min.

Os termos “pré-forma” ou “pré-forma de fibra” como aqui

usados têm o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir uma montagem de fibras, tais como fibras unidirecionais e tecidos, que estão prontos para receber a resina. Os métodos e aparelhos aqui divulgados podem incluir uma ou mais pré-formas.

5 Os termos “vácuo” ou “pressão a vácuo” como aqui usados têm o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir pressão a vácuo de 1 atmosfera ou menos. Durante a etapa de infusão, substancialmente a mesma pressão a vácuo pode ser aplicada durante a extensão da etapa de infusão. Em uma forma de realização, a quantidade de
10 vácuo é de cerca de 0 a 1 atm. Em outra forma de realização, mais pressão pode ser adicionada por um meio secundário tal como por intermédio de uma célula pressurizada, por exemplo, um autoclave. As pressões a vácuo de 1 atm, 0,9 atm, 0,8 atm, 0,7 atm, 0,6 atm, 0,5 atm, 0,4 atm, 0,3 atm, 0,2 atm, 0.1 atm também são consideradas. Em uma forma de realização, substancialmente
15 nenhum gradiente de pressão se forma na pré-forma durante a etapa de infusão. Em uma forma de realização, o processo diz respeito a, mas não é limitado a, processos de infusão de resina somente a vácuo para fabricar os compósitos reforçados com fibras. Em uma forma de realização, a pressão a vácuo é completamente mantida na pré-forma de fibra seca inteira em toda a
20 infusão e ciclo de cura.

Os termos “fechamento” ou “bolsa de vácuo” como aqui usados têm cada um o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e podem incluir qualquer fechamento ou bolsa de vácuo que é capaz de manter substancialmente a mesma pressão de vácuo do
25 reservatório e da pré-forma durante a infusão ou etapa de cura. Em uma forma de realização, o fechamento ou bolsa de vácuo comprime a pré-forma. Por exemplo, em uma forma de realização, pelo menos uma porção do fechamento substancialmente corresponde à forma da pré-forma, quando submetida à pressão de vácuo. Em outra forma de realização, o fechamento ou

bolsa de vácuo compreendem pelo menos um de polietileno, poliuretano, látex, silicone, e vinila, tal como bolsa de plástico. Em outra forma de realização, o fechamento ou bolsa de vácuo compreende um material semi-rígido que cobre todo ou parte da pré-forma para estabelecer uma membrana de vácuo.

Em uma forma de realização, a pré-forma e o reservatório de resina estão no mesmo fechamento ou bolsa de vácuo. Os métodos e aparelhos aqui divulgados podem incluir um ou mais fechamentos ou bolsas de vácuo. Em outra forma de realização, a pré-forma e o reservatório de resina estão em fechamentos ou bolsas de vácuo separados.

Em uma forma de realização, o reservatório pode ser esvaziado e a pré-forma pode ser enchida, e subsequentemente a parte do componente pode ser depois curado até o término. Após a cura do componente, este pode ser inspecionado de maneira não destrutiva com métodos ultra-sônicos e medido quanto pelo menos um de espessura, volume de fibra, e conteúdo vazio. Em uma forma de realização, o componente compreende um ou mais membros de enrijecimento neste incorporado. O componente pode ser ajustado com coifas de flutuação para suportes os enrijecedores, durante o processo de cura. A parte do componente preferivelmente satisfaz as necessidades aeroespaciais com variação mínima.

O termo “compósitos” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica tal como descrito acima, e inclui laminados e compósitos de matriz polimérica. Em uma forma de realização, o compósito tem um teor de fibras de pelo menos 55 %, e em outras formas de realização 60 % ou mais, 65 % ou mais, 70 % ou mais, 75 % ou mais, 80 % ou mais com base no volume total do compósito. Em uma forma de realização, o compósito tem uma porosidade entre cerca de 0,1 a 1,5 % em vol., com base no volume total do compósito. O processo pode produzir compósitos tendo altos volumes de fibras e pouco conteúdo vazio que

encontra ou excede aqueles dos compósitos convencionais fabricados em um autoclave. Os compósitos resultantes podem ser usados em aplicações incluindo, mas não limitado a, aplicações aeroespaciais.

O termo “fração de volume de fibras” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica, e inclui a quantidade de fibra em um compósito, com base em uma porcentagem do volume de fibras do volume total de compósito. Em algumas formas de realização, a fração de volume de fibras do compósito é maior do que a fração de volume de fibras de um compósito contendo os mesmos componentes mas produzidos por um método em que o reservatório e a pré-forma não são mantidos substancialmente pela mesma pressão a vácuo durante a etapa de infusão. O tipo de fibra ou têxtil usado no compósito afeta o cálculo da fração de volume de fibras e deste modo, em algumas formas de realização, a fibra ou têxtil idênticos são usados em uma comparação da fração de volume de fibras de um compósito produzido através de um método aqui divulgado e a fração de volume de fibras de um compósito produzido através de um método convencional. Em outras formas de realização, os métodos aqui descritos obtêm uma fração de volume de fibras do compósito que é 1 % ou maior, tal como 2 % ou maior, 3 % ou maior, 4 % ou maior, 5 % ou maior, 6 % ou maior, 7 % ou maior, 8 % ou maior, 9 % ou maior ou 10 % ou maior, tal como cerca de 3 a 5 % ou maior do que a fração de volume de fibras obtido usando um processo de VARTM convencional, tal como aquele em que o reservatório e a pré-forma não são mantidos sob substancialmente a mesma pressão de vácuo durante a etapa de infusão. Em uma forma de realização adicional, a fração de volume de fibras é de 58 % ou maior em volume, incluindo 59 % ou maior, 60 % ou maior, 61 % ou maior, 62 % ou maior, 63 % ou maior, 64 % ou maior ou 65 % ou maior em volume.

O termo “espessura” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica, e inclui a espessura

de cada uma das uma ou mais dobras que compreendem o compósito. Em algumas formas de realização, a uma ou mais dobras são de uma espessura substancialmente uniforme, por exemplo, a espessura não varia substancialmente na área inteira de cada uma das dobras. Em algumas formas de realização, existe cerca de 3 % ou menos, 2,5 % ou menos, 2 % ou menos, 1,5 % ou menos, 1 % ou menos, ou 0,5 % ou menos de variação na área de cada uma das sobras. Uma dobra pode incluir uma dobra grossa que pode ser indicada como uma manta.

Os processos aqui descritos podem incluir etapas adicionais.

Por exemplo, a pré-forma pode ser submetida à compactação e redução, mesmo antes ou durante a etapa de infusão. Em uma forma de realização, a pressão de compactação é substancialmente constante através da duração da etapa de infusão. Geralmente, a pressão de compactação durante a etapa de infusão é maior do que os processos convencionais, isto é, em que o reservatório de resina e a pré-forma não estão substancialmente na mesma pressão a vácuo.

Os processos aqui descritos também podem compreender aquecer pelo menos uma porção da resina antes da etapa de infusão. Em uma forma de realização, uma montagem inteira incluindo o reservatório de resina na pré-forma pode ser colocada no forno e aquecido até uma temperatura que funde a resina até uma baixa viscosidade e permite que a resina flua na pré-forma.

O termo “pelo menos uma porção de” como aqui usado representa uma quantidade de um papel inteiro que compreende uma quantidade do todo que pode incluir o todo. Por exemplo, o termo “uma porção de” pode se referir a uma quantidade que é maior do que 0,01 % do, mais do que 0,1 % do, mais do que 1 % do, mais do que 10 % do, mais do que 20 % do, mais do que 30 % do, mais do que 40 % do, mais do que 50 % do, mais do que 60 %, mais do que 70 % do, mais do que 80 % do, mais do que

90 % do, mais do que 95 % do, mais do que 99 % do, e 100 % do todo.

O termo “temperatura ambiente” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir temperaturas dentro da faixa de cerca de 16 °C (60 °F) até 32 °C (90 °F). O termo “fibra” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir um ou mais materiais fibrosos adaptados para o reforço dos compósitos. As fibras podem tomar a forma de qualquer uma um de partículas, flocos, pelos, fibras curtas, fibras contínuas, folhas, dobras, e combinações destes. As fibras contínuas também podem adotar qualquer uma das configurações de unidirecional, multidimensional (por exemplo duas ou três dimensões), não tecidos, tecidos, tricotados, tricotados, tecidos, e tecidos, bem como estruturas de esteira trançada, esteira de feltro, e esteira cortada. As estruturas de fibras transadas podem compreender várias fibras brutas trançadas tendo menos do que cerca de 1000 filamentos, menos do que cerca de 3000 filamentos, menos do que cerca de 6000 filamentos, menos do que cerca de 12000 filamentos, menos do que cerca de 24000 filamentos, menos do que cerca de 48000 filamentos, menos do que cerca de 56000 filamentos, menos do que cerca de 125000 filamentos, e mais do que cerca de 125000 filamentos. Em outras formas de realização, as fibras brutas podem ser mantidas na posição através de malhas de fio cruzado, malhas de tricô de inserção de trama, ou uma pequena quantidade de resina, tal como uma medição.

A composição das fibras pode variar, como necessário. As formas de realização da composição de fibras podem incluir, mas não são limitadas a, vidro, carbono, aramida, quartzo, polietileno, poliéster, poli-p-fenileno-benzobisoxazol (PBO), boro, carboneto de silício, poliamida, carbono, e grafite, e combinações destes. Em uma forma de realização, a fibra é carbono, fibra de vidro, aramida ou outros materiais termoplásticos. As fibras de reforço podem ser orgânicas ou inorgânicas. Além disso, as fibras

podem incluir arquiteturas têxteis incluindo aquelas que são contínuas ou não contínuas quanto à forma.

O termo “formação de camada” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode
5 incluir um ou mais prepregs que são colocados adjacentes uns aos outros. Em algumas formas de realização, os prepregs dentro da formação de camadas podem ser posicionados em uma orientação selecionada com relação uns aos outros. Em outra forma de realização, os prepregs podem ser opcionalmente tricotados juntos com um material de fios de modo a inibir sua movimentação
10 relativa de uma orientação selecionada. Em formas de realização adicionais, “formações de camadas” podem compreender qualquer combinação de prepregs completamente impregnados, prepregs parcialmente impregnados, e prepregs perfurados como aqui divulgado. As formações de camadas podem ser fabricadas através de técnicas que podem incluir, mas não são limitadas a,
15 formação de camada manual, formação de camada de fita automatizada (ATL), colocação de fibra avançada (AFP), e enrolamento de filamentos.

O termo “consolidação” como aqui usado tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e deste modo inclui processos em que a resina ou material de matriz flui de modo a deslocar o
20 espaço vazio dentro e adjacente às fibras. Por exemplo, a “consolidação” pode incluir, mas não é limitado a, fluxo de matriz nos espaços vazios entre e dentro das fibras e prepregs, perfurações, e outros. A “consolidação” também pode ocorrer sob a ação de um ou mais de calor, vácuo, e pressão aplicada.

O termo “processamento de infusão líquida” como aqui usado
25 tem o significado comum como conhecido àqueles habilitados na técnica e pode incluir o processamento de infusão líquida convencional. O processo de infusão líquida pode incluir qualquer processo através do qual as fibras reforçadas são primeiramente colocadas em uma cavidade do molde, topo de matriz, ou qualquer outro meio de ferramenta de forma final em uma

condição seca e depois umidificadas com a matriz de resina e depois curadas. Este processo pode ser efetuado com muitas estratégias de processamento diferentes incluindo RTM, RFI, VARTM, Luz RTM, Pultrusão, Hiper VARTM, SCRIMP, RIM, SQUIRTM, e uma grande quantidade de outros processos que são variações do processo de infusão líquida. Cada um desses processos convencionais tem vantagens e desvantagens. A diferença primária entre a maioria dos processos diz respeito à precisão e ao custo da ferramenta.

Para o RTM convencional e os processos de molde fechado, procurando e mantendo as ferramentas são caros, contudo a ferramenta é a parte mais central do processo. O mecanismo determina a forma final e o controle de superfície do componente e também desempenha um papel ativo na determinação de como a resina enche e umidifica as fibras secas fechadas dentro desta. Convencionalmente, existem restrições quanto ao tamanho forma dos componentes feitos com esses processos de molde fechados ao passo que a ferramenta se torna de difícil manejo. Além da ferramenta, o equipamento convencional necessário para injetar a resina na temperatura e uma alta pressão, tal como, prensas e máquinas de injeção também podem ser muitos caras para comprar e manter. Existem algumas variações dentro dos processos de molde fechado que utilizam uma ferramenta de custo inferior e eliminam os sistemas de injeção de resina mas em geral são mais caros do que os outros processos de infusão líquida. Estes processos, contudo, geralmente produzem os volumes de alta fibra necessário e espaços vazios mínimos necessários dos laminados de grau aeroespacial.

O processamento de infusão líquida também inclui um processo de infusão líquida de lado único que é uma variação do processo de molde fechado. Ao invés de um instrumento de 2 lados, um instrumento de um lado é usado neste processo com uma bolsa flexível usada no lado oposto. Este processo é uma versão de baixo custo do processo de molde fechado porque somente necessita de um molde de um lado, necessita de equipamento

adicional mínimo para suportar o processo, e tem muitas poucas restrições. O processo utiliza o vácuo (pressão atmosférica) sozinho para alimentar e encher a resina que umidifica as fibras secas. Usando-se materiais de resina de baixa viscosidade e técnicas de infusão apropriadas que mantêm a pressão de vácuo nos laminados, os laminados de grau aeroespacial podem ser fabricados.

Uma das complicações com este processo convencional surge porque o sistema de alimentação de resina é tipicamente externo à pré-forma de bolsa e a alimentação de resina é geralmente monitorada em uma parte pela base da parte. Este sistema resulta em vários tubos de entrada e saída que devem ser monitorados e controlados durante o processo e apresenta oportunidade de se formar vazamentos e de que erros ocorram. Esta complicação adicional inibe o número de componentes que podem ser infundidos em um tempo e como resultado, um aumento de custo ocorre devido ao uso ineficiente do espaço no forno. Como previamente divulgado, os laminados de prepreg feitos em um autoclave são tipicamente organizados para permitir que um número máximo de componentes seja curado de uma só vez.

Outro processo de infusão líquida convencional é a pultrusão, que é muito restrita se comparado com os outros processos de infusão líquida. O método da pultrusão compreende introduzir fibras secas em uma matriz com uma certa reticulação e depois uma vez no lugar de introduzir a resina e depois de curagem. Este processo é tipicamente usado para fabricar componentes longos contínuos que têm uma reticulação típica/constante.

O método de infusão líquida convencional de lado único descrito acima que se fia em vácuo (por exemplo, pressão atmosférica) sozinho para alimentar e umidificar as fibras secas é divulgado abaixo em maiores detalhes. A infusão líquida convencional das fibras secas usando vácuo (pressão atmosférica) como a força primária na alimentação e

umectação das fibras secas de um pré-forma é bem conhecida dentro da indústria. Existem várias patentes que divulgaram este processo começando com o método de Marco (Pat. US Nº 2.495.640) e Smith (Pat. US Nº 2.913.036) que foram primeiramente usados nos anos de 1940 e 50 até patentes mais recentes da Palmer (Pat. US Nº 4.942.013) e Seeman (Pat. US Nº 4.902.215). Também existem várias variações ao processo que foi detalhado nas apresentações técnicas e jornais que descrevem os métodos de introduzir e distribuir a resina nas fibras secas.

O uso da pressão atmosférica para infundir ou impregnar as fibras secas (pré-formas) é um processo razoavelmente à frente que toma vantagem da pressão natural diferencial que existe entre a atmosfera e o vácuo. Em um processo de infusão convencional típico, o recipiente da resina ou sistema de alimentação líquida de resina é latente em condições atmosféricas e a pré-forma está sob uma bolsa em uma condição de vácuo. A pré-forma é comprimida através da atmosfera contra a bolsa e como um resultado gera uma força de reação igual na bolsa como mostrado na Figura 1A.

O resultado líquido é um volume líquido de espaço evacuado que é enchido em algumas porcentagens através das fibras da pré-forma com o volume restante sendo espaço aberto. O volume do espaço evacuado é dependente de várias variáveis incluindo a quantidade de vácuo dentro daquele espaço que determina a quantidade de pressão atmosférica que comprime a pré-forma e a elasticidade da pré-forma a ser comprimida. Esta elasticidade é comumente chamada de “Fator de Bulk” da pré-forma. De modo a obter laminados de qualidade aeroespaciais, a porcentagem de fibras que o volume precisa ser de mais do que 55 % tipicamente. A porcentagem de fibras é uma função de quaisquer variáveis que estão presentes na construção da pré-forma como a construção têxtil, tamanho de fibra/fio e alinhamento das fibras.

Existem vários métodos para compactar a pré-forma até um estado de 55 % ou mais em volume de fibra. Isto pode incluir vários ciclos de redução como descrito em Woods (Ped. de Pat. US. Pub. Nº 2005/0073076 A1). A compactação também pode envolver aplicar calor com o ciclo de
5 redução para auxiliar a unir a pré-forma. Ainda outro processo envolve projetar tecidos que se unem firmemente. Existem vários outros métodos que foram descritos na literatura técnica mas o objetivo de todos estes processos é aumentar a porcentagem de fibra dentro do volume evacuado. Aumentando-se a porcentagem de fibra, pode-se melhorar as propriedades mecânicas do
10 laminado devido ao aumento da densidade das membranas que carregam as cargas primárias (as fibras).

O detrator natural da compactação da pré-forma é uma redução no vácuo e a perda resultante da pressão atmosférica que comprime a pré-forma. Ao passo que o vácuo é reduzido a elasticidade da pré-forma age
15 contra a bolsa que eficazmente aumenta o volume e diminui a densidade das fibras. Este detrator natural é um interesse principal em um processo de infusão típico porque este é a força primária que alimenta e enche a pré-forma com resina.

Em um processo de infusão típico, a infusão inicia quando o estado determinado mostrado na Figura 1A se torna um sistema aberto
20 quando a alimentação de resina é aberta e a pressão atmosférica cria um gradiente de pressão que força a resina na pré-forma comprimida como mostrado na Figura 1B.

Especificamente, as Figuras 1A e 1B ilustram os problemas os
25 processos de infusão convencionais. A Figura 1A é uma visão esquemática de um processo de infusão convencional na condição de estado determinado de ser bolsa de vácuo e pronto para infusão. Em um exemplo, o vácuo pode estar em cima e a alimentação de resina pode ser fechada, sem gradiente de pressão através da pré-forma. A pressão atmosférica (P_A) existe em todo lugar com

uma pressão de bolsa resultante líquida de 1 atmosfera. A pré-forma reage contra o instrumento e bolsa com força de resistência mecânica F_p .

A Figura 1B é uma visão esquemática do processo de infusão no estado aberto inicial quando a linha de alimentação de resina é aberta e o gradiente de pressão se forma. O gradiente de pressão se forma através da pré-forma da saída do vácuo P_A para a entrada de resina em uma pressão de resina, $P_R = P_A + (\text{Topo})$. Isto faz com que a resina flua da zona de alta pressão para a zona de baixa pressão. O topo é qualquer pressão +/- devido a altura da coluna da resina no tubo de alimentação antes de entrar na pré-forma. Se o balde está acima do ponto de alimentação, há um topo positivo que causa uma pressão na resina que é mais do que 1 atmosfera no ponto de alimentação. Se o balde está abaixo do ponto de alimentação, há topo negativo e a resina estará em uma pressão menor do que a atmosférica. É notado que efeitos viscosos geralmente induzem um pouco o topo (-) por perda de permeabilidade e Lei de Darcy. Se as perdas viscosas ou topo (-) encontra ou excede o gradiente de pressão induzido por vácuo depois a infusão vai parar. Também é notado que se a força reativa da pré-forma (F_p) continua e a pressão a vácuo diminui (retorna para P_A) durante a infiltração, a F_p diminuirá até um estado físico não comprimido.

O gradiente de pressão resultante através da pré-forma não somente conduz a resina no volume evacuado mas também reduz a pressão do vácuo que é comprimido na pré-forma. Esta perda de vácuo permite que a elasticidade da pré-forma aja conta a bolsa aumentando o volume onde o vácuo foi reduzido. Ao passo que a infusão continua, a área de vácuo reduzida cresce ao passo que mais resina é retirado no volume evacuado como mostrado nas Figuras 1C e 1D.

Como mostram as Figuras 1C e 1D, o gradiente de pressão dentro da pré-forma e as mudanças resultantes na espessura da pré-forma e o volume da fibra variam durante o processo de infusão e são difíceis de

controlar. A variação é dependente de várias entradas, incluindo o tamanho da parte, espessura, permeabilidade, materiais de meio de fluxo, esquemas de empacotamento, posições de entrada e saída de resina e vários outros fatores que afetam a resina são introduzidos e alimentados na pré-forma. Esta
5 variação incontável foi um obstáculo principal para adotar os processos de infusão nos componentes aeroespaciais, ao passo que isto resulta em espessuras não uniformes ou baixos volumes de fibras.

Mais especificamente, a Figura 1C é uma ilustração esquemática do processo de infusão em um estado aberto ao passo que a
10 resina é retirada no volume evacuado, enchendo o espaço aberto e reduzindo a pressão do vácuo naquela área. O gradiente de pressão através da pré-forma induz o fluxo de resina através da pré-forma acumulando perdas de viscosidade. A pressão de resina PR segue o gradiente de pressão com perdas de viscosidade. Ao passo que o tempo aumenta durante a infusão, a força
15 reativa F_p da pré-forma diminui progressivamente começando do ponto de vácuo para o ponto de alimentação. É notado que as perdas viscosas estão em uma função da perda do fluxo de resina em frente ao ponto de alimentação de resina. Ao passo que a extensão aumenta, as perdas acumulam, causando um fluxo reduzido através da pré-forma. Se a extensão é muito longa, as perdas
20 de resina se tornam o gradiente de pressão, causando que a frente do fluxo pare. Este enchimento progressivo da pré-forma tipicamente continua até um dos seguintes ocorrer: 1) a quantidade apropriada de resina é alimentada e a linha de alimentação de resina é fechada; 2) a pré-forma é completamente infundida e a resina sai da porta de vácuo; 3) a frente de fluxo de resina
25 alcança a zona morta e a linha de alimentação de resina é desligada.

A Figura 1D é uma ilustração esquemática do processo de infusão após a resina ter enchido o volume evacuado e encher a pré-forma. A visão esquemática mostra que o gradiente de pressão para as várias opções terminam no processo de infusão.

• Opção 1: (alimentação de resina fechada, com ou sem zona morta, com vazamento) com o tempo a bolsa não rígida colapsa (perda de volume) ao passo que o excesso de resina é removido pela fonte de vácuo. Uma vez que as bolsas ocupam a pré-forma novamente, a pré-forma manifesta uma força de reação FR na bolsa até a PA ser estabilizada na pré-forma. Uma vez que o volume é limitado e o sistema é agora um recipiente rígido, a pressão de resina PR retorna para a pressão de vácuo - PA.

• Opção 2: (alimentação de resina fechada, com ou sem zona morta, vácuo fechado) com o tempo a pressão da resina PR alcança um equilíbrio através da pré-forma mais do que a pressão a vácuo.

• Opção 3: (alimentação de resina aberta, com ou sem zona morta, com vazamento) com o tempo a pressão de resina PR alcança um gradiente de equilíbrio ($[P_A + \text{Topo}]$ a $- P_A$) no meio de fluxo devido ao caminho de menor resistência por intermédio da permeabilidade superior e a resina deve ser continuamente alimentada e vazar durante a cura.

• Opção 4: (alimentação de resina aberta, com ou sem zona morta, vácuo fechado) com o tempo a resina alcança um equilíbrio ($P_A + \text{Topo}$) através da pré-forma.

As opções 1 e 2 podem ser realizada usando um processo de resina líquida onde uma quantidade precisa de resina é infundida e depois a alimentação da resina é fechada. A opção 1 pode fazer com que o excesso de resina vaze (drenagem) ou gere voláteis uma vez que o estado de vácuo é obtido após a infusão estar completa.

Os processos de infusão convencionais acima descritos, que fornecem um controle limitado ou nenhum controle nos gradientes de pressão interna se formaram durante o processo, tinham sucesso limitado. Estes processos podem resultar em propriedades de laminado que são adequadas para componentes aeroespaciais, contudo, os processos não são robustos, de repetição ou prognosticáveis. Esta incerteza continua a impedir que o

processo ganhe uso difundido dentro da indústria aeroespacial.

Em uma tentativa de melhorar o fluxo da resina e para aumentar a capacidade de prognosticar/capacidade de repetição do processo, houve numerosos avanços no controle do fluxo da resina e no caminho que a resina toma. Este processo é descrito em Seeman (Pat. US Nº 4.902.215), que diz respeito aos métodos para induzir o fluxo e os gradientes de pressão por intermédio de uma rede de meio de fluxo dentro do esquema de empacotamento e o empacotamento por si. Woods (Ped. de Pat. US Pub. 2005/0073076 A1) descreve esse problema em detalhes e propõe o uso de vácuo parcial no recipiente de alimentação de resina de modo a controlar a pressão atmosférica sendo aplicada à pré-forma. Este processo é conhecido como o processo CAPRI (Infusão de Resina Controlada por Pressão Atmosférica), e é intencionado diminuir a variabilidade dentro do laminado infundido. Além desses métodos convencionais, também existem vários métodos de conhecimento comum que foram usados para regular a pressão da alimentação. Estes incluem usar os reguladores de fluxo nas linhas de alimentação ou mudando a elevação dos recipientes de alimentação de resina com relação à pré-forma para criar pressão de topo positiva ou negativa.

Sem considerar o esquema de empacotamento, as configurações de porta de entrada e saída, ou a pressão no recipiente de alimentação controlando/regulando esta, a força de condução primária em todas as técnicas previamente conhecidas é algum tipo de gradiente de pressão. Este gradiente dentro do processo sempre colocará em questão se ou não a pressão atmosférica completa foi mantida em todos os tempos através da pré-forma inteira durante a infusão e processo de cura.

Os processos melhorados aqui descritos dizem respeito aos processos de infusão líquida descritos acima. Uma forma de realização da invenção pode ser adequada para todas as variações dentro do processo e não é limitada a um método preferido.

Exemplos

Vários testes foram realizados usando as formas de realização do processo de CPI VARTM aqui descrito para fabricar laminados de qualidade aeroespacial. Estes exemplos são propósitos ilustrativos divulgados e não devem ser interpretados como limitantes do escopo da formas de realização divulgada.

Exemplo 1

Um sistema de resina epóxi de parte única (Cytec Engineered Materials CYCOM 977-20) foi usado, que apresenta uma viscosidade muito alta na temperatura ambiente mas tem uma baixa viscosidade e longa vida em pote em uma temperatura elevada. Esta resina foi inicialmente acondicionada em bolsas de plástico de polipropeleno em qualidades que variam de 250 gramas até 1000 gramas. Estas bolsas foram lacradas por calor de uma tal maneira que em uma extremidade houve uma compressão que permite a inserção de um tubo de um corte. O Polipropileno é um material aceitável para o uso o ciclo de cura desejável para CYCOM 977-20. Este reservatório de resina pré-acondicionado desmontável foi depois colocado próximo à pré-forma no instrumento e uma linha de alimentação foi conectada do reservatório para a linha de alimentação da pré-forma. A pré-forma foi empacotada por um esquema de infusão típico que incorpora um sistema de derramamento de resina e uma bolsa de vácuo foi colocada na pré-forma e o reservatório de resina como mostrado na Figura 2A. A pré-forma foi reduzida e compactada e depois checada quanto rachaduras e lida para a cura. A alta viscosidade da resina impediu o fluxo da resina na pré-forma durante este processo.

Uma vez lida, a montagem inteira foi colocada no forno e aquecida até uma temperatura que fundiria a resina a uma baixa viscosidade e permite que a resina flua na pré-forma. Uma vez que o reservatório foi esvaziado e a pré-forma foi enchida, a parte foi depois curada até o término.

Após a cura, o componente foi não destrutivamente inspecionado com métodos ultra-sônicos e medido quando espessura, volume de fibra e conteúdo vazio. Os resultados e medições da inspeção mostraram que o laminado inteiro satisfaz os requerimentos aeroespaciais com uma variação mínima das propriedades medidas. O laminado apresentou a fração de volume de fibras em excesso de 58 % com menos do que 1 % de variação e a medição da espessura da dobra curada de 0,018 polegadas (0,04572 cm) com menos do que 2 % de variação através do painel.

Exemplo 2

A mesma resina de epóxi de parte única e as bolsas de resina foram usadas como no Exemplo 1 para infundir um componente muito maior. O componente foi ajustado e empacotado de acordo com a Figura 2B que incorporou um esquema de bolsa de infusão padrão com um sistema de derramamento de resina. Para infundir este componente, múltiplos reservatórios de resinas foram usados os quais foram ligados ou juntos com a cadeia de daisy de modo a liberar a resina adequada e infundir completamente a pré-forma. O processo produziu laminados de qualidade aeroespacial com variação mínima.

Exemplo 3

A mesma resina epóxi de parte única usada nos Exemplos 1 e 2 foi usada para fazer um componente mais complicado que incorporou alguns membros de enrijecimento. O componente foi ajustado com coifas flutuantes para suportar os enrijecedores e foi empacotado de acordo com a Figura 2C. Como mostrado, os reservatórios de resina estavam localizados próximo às coifas flutuantes de modo a alimentar a resina no local desejado. O processo novamente produziu um laminado de qualidade aeroespacial com variação mínima.

Exemplo 4

Uma resina de epóxi parte única de baixa viscosidade e bolsa

de resina foram usadas em que a resina tinha uma baixa viscosidade na temperatura ambiente. O componente foi ajustado de acordo com a Figura 2D, em que detalhes da incorporação de uma válvula externa que preveniu a resina de fluir na pré-forma enquanto fechada. A pré-forma inteira e o reservatório de resina foram empacotados e tornados prontos para a infusão. Uma vez pronta, a válvula foi aberta e a pré-forma foi infundida. Esta variação produziu um laminado de qualidade aeroespacial com variação mínima.

É conhecido que aqueles habilitados na técnica reconhecerão que variações podem ser feitas à invenção e aos exemplos descritos na forma de realização preferida. Os métodos, aparelhos e exemplos descritos fornecidos neste documento não limitam a invenção àqueles métodos e o conceito básico se aplica a todas as modificações potenciais. A invenção não é limitada a qualquer grupo de processos e é aplicável a todos os métodos de infusão líquida.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para fabricar um compósito, caracterizado pelo fato de que compreende:

introduzir uma pré-forma e um reservatório enchido com resina dentro de uma mesma bolsa de vácuo, em que o reservatório é um reservatório de resina pré-acondicionado desmontável;

infundir a resina do reservatório na pré-forma sob uma pressão a vácuo através de uma linha de alimentação que conecta a pré-forma ao reservatório;

manter o reservatório e a pré-forma sob a mesma pressão de vácuo; e

curar a resina.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a resina de infusão não produz nenhum gradiente de pressão na pré-forma.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda a redução da pré-forma antes da etapa de infusão.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda aquecer pelo menos uma porção da resina antes da etapa de infusão.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda um ou mais reservatórios enchidos com resina pré-acondicionados desmontáveis, infundindo a resina de um ou mais reservatórios na pré-forma.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a etapa de infusão compreende ainda conduzir mecanicamente a resina para dentro da pré-forma.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo

fato de que a pressão de vácuo é de 1 atmosfera ou menos.

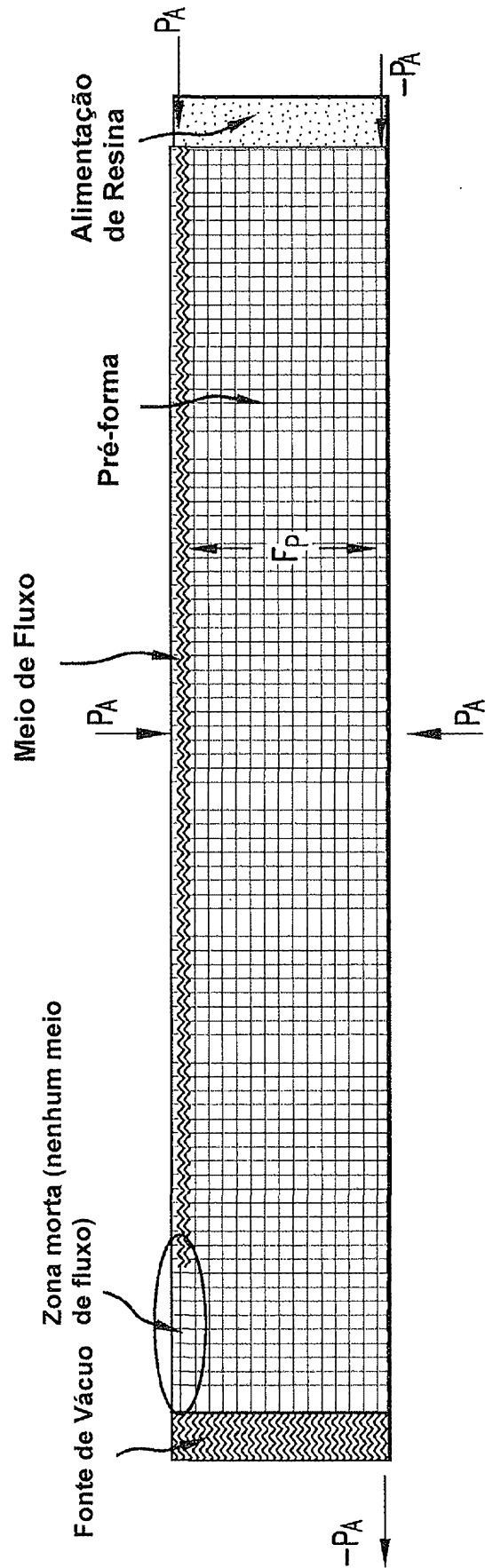


FIG.1A

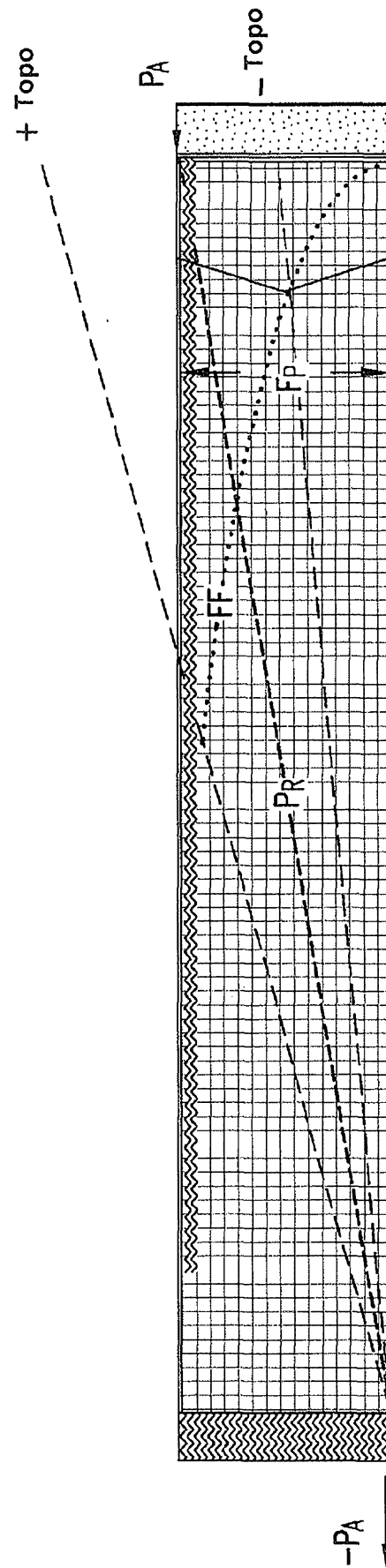


FIG. 1B

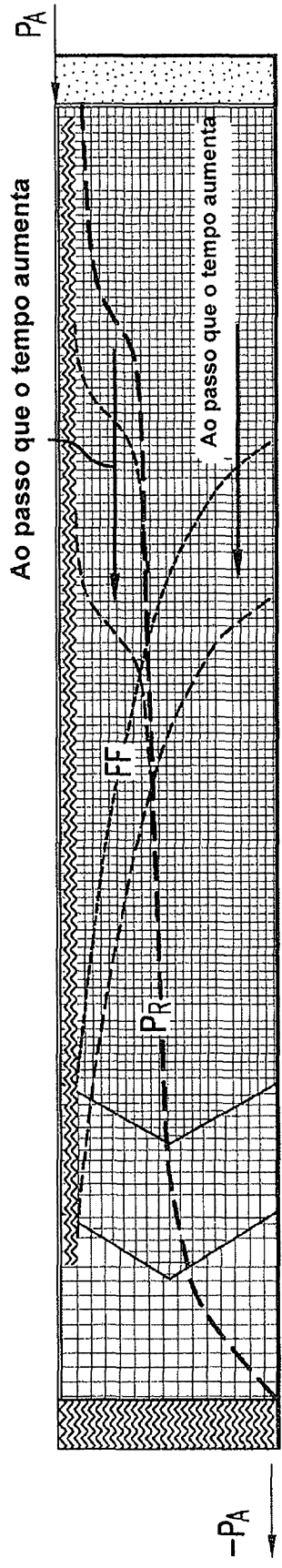


FIG.1C

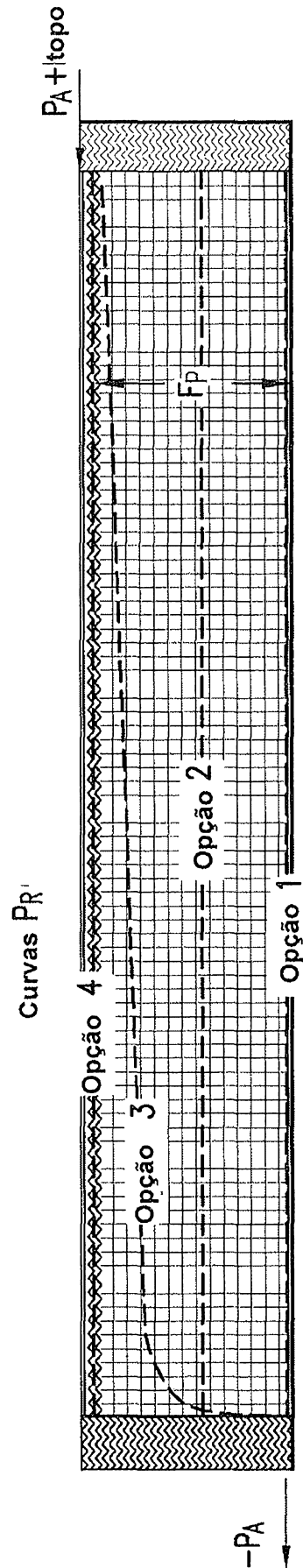


FIG. 1D

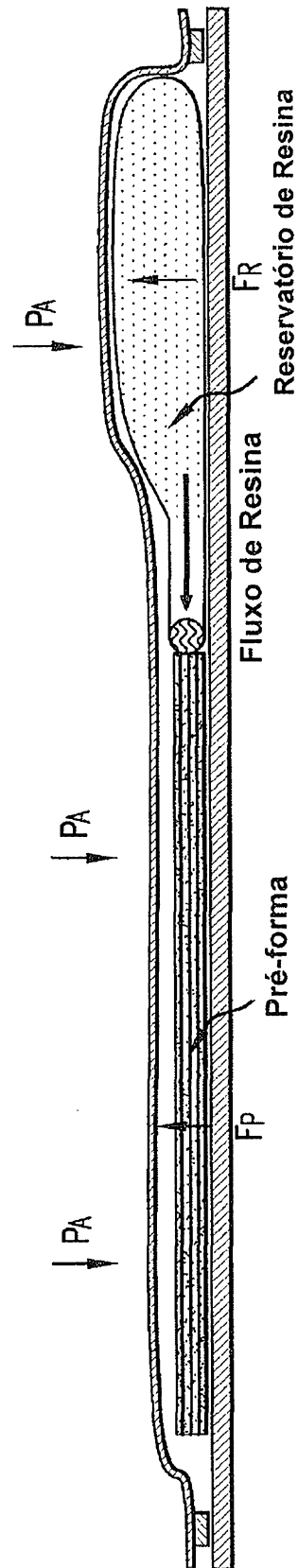


FIG. 2A

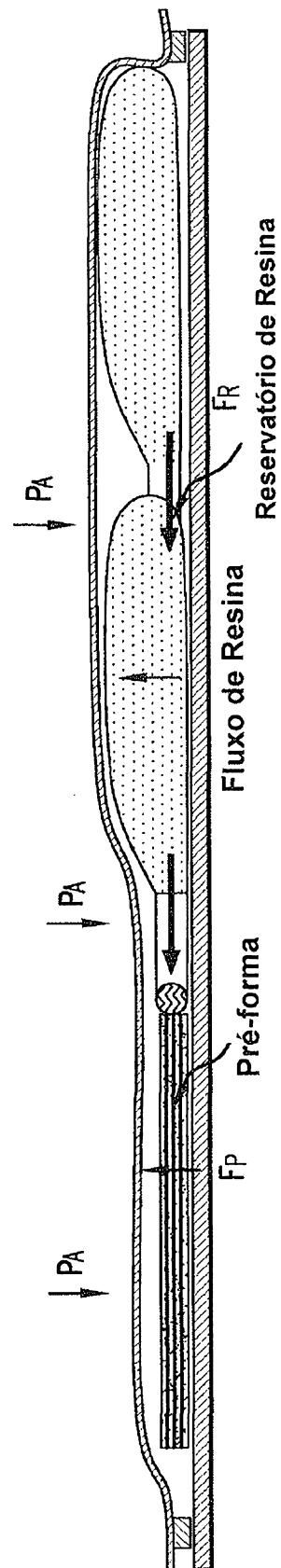


FIG.2B

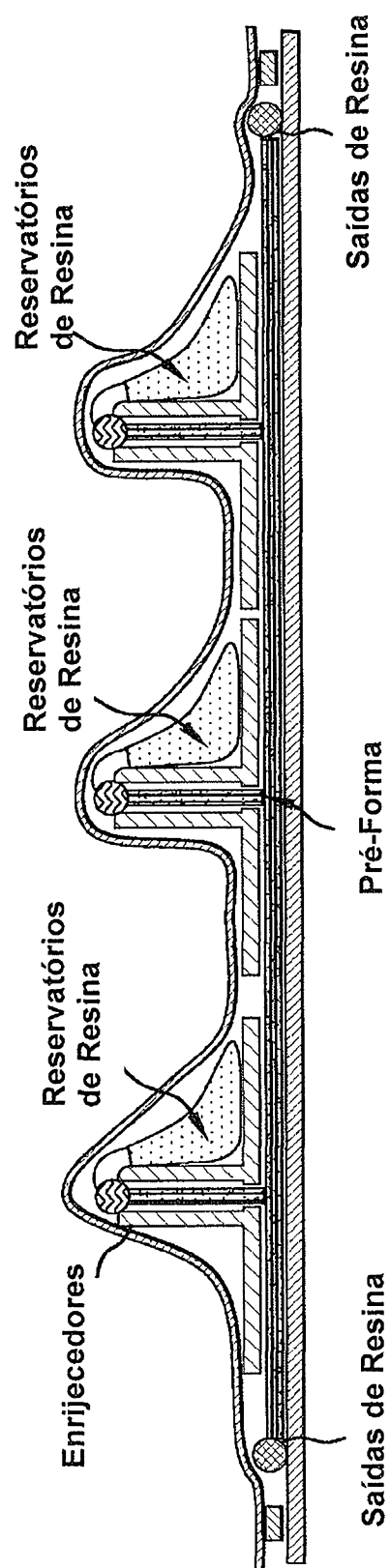


FIG. 2C

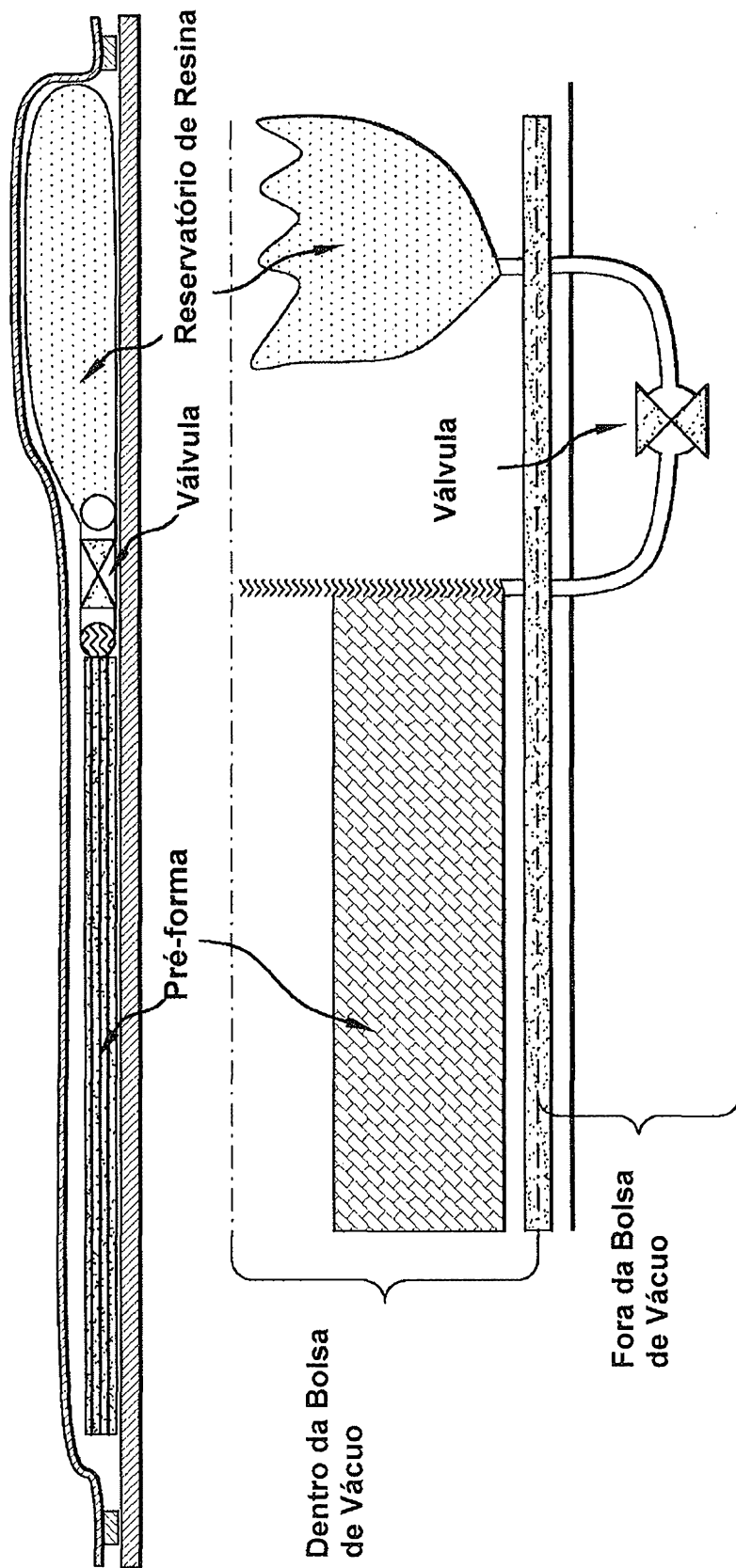


FIG.2D