



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

(21) BR 112015020379-5 A2



(22) Data do Depósito: 24/03/2014

(43) Data da Publicação Nacional: 28/01/2020

(54) **Título:** MÉTODO PARA COMPACTAR UM MEMBRO COMPÓSITO NÃO CURADO, E, MEMBRO COMPÓSITO

(51) **Int. Cl.:** B29C 70/38; B29C 31/00.

(30) **Prioridade Unionista:** 19/04/2013 US 61/813,821; 29/05/2013 US 13/904,224.

(71) **Depositante(es):** THE BOEING COMPANY.

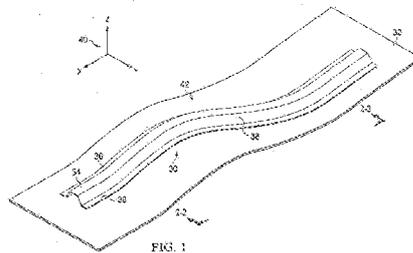
(72) **Inventor(es):** SAMUEL R. STEWART.

(86) **Pedido PCT:** PCT US2014031621 de 24/03/2014

(87) **Publicação PCT:** WO 2014/172073 de 23/10/2014

(85) **Data da Fase Nacional:** 24/08/2015

(57) **Resumo:** 1 / 1 RESUMO - MÉTODO PARA COMPACTAR UM MEMBRO COMPÓSITO NÃO CURADO, E, MEMBRO COMPÓSITO - É descrito um membro compósito não curado (30) que é formado sobre um mandril (66) com um perfil usando um compactador flexível (44). A formação é realizada para fora do ápice do perfil.



“MÉTODO PARA COMPACTAR UM MEMBRO COMPÓSITO NÃO CURADO, E, MEMBRO COMPÓSITO”

## FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

### 1. Campo

[001] A presente descrição refere-se no geral a processos para fabricar estruturas compósitas e trata, mais particularmente, da compactação de longarinas longitudinais laminadas compósitas nas superfícies de mandril perfiladas.

### 2. Fundamentos

[002] Membros compósitos alongados tais como longarinas longitudinais usados na indústria aeronáutica podem ser perfilados em um ou mais planos ao longo de seu comprimento para conformar à de uma estrutura tal como um revestimento da fuselagem. O perfil de uma longarina longitudinal pode ser feito usando um compactador para compactar uma disposição da longarina longitudinal não curada contra superfícies perfiladas de um mandril, tal como uma ferramenta de cura. Foram desenvolvidos compactadores flexíveis que flexionam ou dobram, permitindo que eles conformem às superfícies da ferramenta perfiladas durante o processo de compactação.

[003] Dependendo do grau de perfil da ferramenta, a disposição do reforçador não curado pode desenvolver ondulações à medida que ela compactada contra a ferramenta, particularmente perto do centro de curvatura ou perfil máximo da ferramenta. Esta ondulação ocorre em decorrência do dobramento das camadas de material compósito mais perto da superfície da ferramenta perfilada, colocando-as em compressão. Compressão do material desta maneira faz com que material em excesso se acumule e agrupe em ondulações. Ondulação pode ter um efeito indesejado no desempenho da longarina longitudinal curada.

[004] Dessa maneira, existe uma necessidade de um método para compactar membros compósitos não curados, tais como longarinas longitudinais, em ferramentas perfiladas, que controla ondulação do material. Existe também uma necessidade de um método para compactar uma longarina longitudinal em uma ferramenta de cura usando um compactador flexível que reduz o tamanho das ondulações, enquanto distribui as ondulações no geral uniformemente ao longo do comprimento da longarina longitudinal.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

[005] Membros compósitos não curados tais como longarinas longitudinais podem ser dobrados para conformar a um mandril de modelagem tal como uma ferramenta de cura perfilada, evitando ainda a formação de ondulações relativamente grandes no material compósito. Qualquer ondulação do material compósito é limitada a ondulações relativamente pequenas que são distribuídas no geral uniformemente ao longo das áreas perfiladas da longarina longitudinal. A eliminação de grandes ondulações resulta em longarinas longitudinais com melhor desempenho e uniformidade estrutural. Distribuição uniforme de ondulação do material é conseguida usando um método de formação de ápice e um compactador flexível. Durante a formação do ápice, o compactador flexível é usado para colocar e dobrar a longarina longitudinal não curada contra uma superfície da ferramenta perfilada, começando no ápice do perfil, e indo para fora do ápice. O compactador flexível inclui uma série de entalhes transversais nos quais excesso de material compósito pode ser recebido durante o processo de compactação para permitir formação controlada de ondulações de material relativamente pequenas que não afetam substancialmente o desempenho da longarina longitudinal.

[006] De acordo com uma modalidade descrita, é provido um método para compactar um membro compósito não curado contra uma superfície do mandril com um perfil. O método compreende aderir o membro

compósito não curado em um compactador. O compactador é também usado para alinhar o membro compósito não curado com o perfil da superfície do mandril, e colocar o membro compósito não curado inicialmente em contato com a superfície do mandril no ápice do perfil. O método inclui formar o membro compósito não curado no perfil da superfície do mandril, e o compactador é usado para compactar o membro compósito não curado contra a superfície do mandril. A formação do membro compósito não curado pode ser feita por conformação por moldagem forçada do membro compósito não curado na superfície do mandril. A conformação por moldagem forçada inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades do membro compósito não curado e a superfície do mandril à medida que o membro compósito não curado é formado na superfície do mandril. A formação do membro compósito não curado pode ser feita por conformação por amarração. A formação inclui reduzir forças compressivas localizadas no membro compósito não curado adjacente à superfície do mandril, induzindo uma dobra em forma de S no membro compósito não curado. A formação do membro compósito não curado no perfil é feita depois que o membro compósito não curado tiver sido colocado em contato inicial com a superfície do mandril no ápice. A formação pode ser feita formando o membro compósito não curado na superfície do mandril progressivamente para fora ao longo do membro compósito não curado a partir do ápice. O membro compósito não curado tem uma disposição posicional pré-selecionada quando entra em contato inicial com a superfície do mandril no ápice, e as disposições posicionais das seções externas do membro compósito não curado são mantidas substancialmente paralelas à disposição posicional pré-selecionada à medida que o membro compósito não curado é formado no perfil da superfície do mandril. A formação do membro compósito não curado inclui dobrar o membro compósito não curado em um raio de curvatura progressivamente menor. O método pode compreender adicionalmente

distribuir todas as ondulações que se formam no membro compósito não curado durante a formação, deixando que material no membro compósito não curado fique comprimido nos entalhes no compactador. O método pode também compreender usar o compactador para reduzir ondulação do membro compósito não curado durante formação deslocando o local do eixo geométrico neutro do membro compósito não curado.

[007] De acordo com uma outra modalidade, é provido um método para controlar ondulação de uma longarina longitudinal compósita não curado durante formação da longarina longitudinal compósita em um perfil de uma superfície do mandril, compreendendo alinhar a longarina longitudinal compósita com o ápice do perfil da superfície do mandril, e colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice. A longarina longitudinal compósita é formada a partir do ápice abaixo na superfície do mandril. A formação da longarina longitudinal compósita a partir do ápice inclui dobrar a longarina longitudinal compósita para baixo contra a superfície do mandril e progressivamente para fora do ápice. A formação da longarina longitudinal inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades da longarina longitudinal compósita e a superfície do mandril, e pode ser feito por uma de conformação por moldagem forçada e conformação por amarração. O método pode compreender adicionalmente instalar um compactador flexível na longarina longitudinal compósita, aderir a longarina longitudinal compósita no compactador, e usar o compactador para colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice, e formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril. A adesão da longarina longitudinal compósita no compactador é feita usando uma força de sucção. A longarina longitudinal pode ser formada do ápice para baixo na superfície do mandril usando um compactador. Ondulação da longarina longitudinal compósita é controlada deixando que o

material da longarina longitudinal compósita seja comprimido no compactador. A formação da longarina longitudinal compósita do ápice para baixo na superfície do mandril é feita usando um compactador, e o compactador é usado para favorecer uma distribuição substancialmente uniforme das ondulações na longarina longitudinal compósita.

[008] De acordo com ainda uma outra modalidade, é provido um método para formar um membro compósito não curado em um entalhe perfilado em uma ferramenta de cura. O método compreende aderir um membro compósito não curado em um compactador, e usar o compactador para colocar o membro compósito não curado em contato inicial com a ferramenta de cura em um ápice de um perfil ao longo do entalhe perfilado. O compactador é usado para formar o membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado e progressivamente para fora do ápice. O compactador é também usado para distribuir ondulações formadas no membro compósito não curado durante formação do membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado. O uso do compactador para formar o membro compósito não curado é feito por uma de conformação por moldagem forçada e conformação por amarração.

[009] Resumidamente, de acordo com um aspecto da invenção é provido um método para compactar um membro compósito não curado contra uma superfície do mandril com um perfil, incluindo aderir o membro compósito não curado em um compactador; usar o compactador para alinhar o membro compósito não curado com o perfil da superfície do mandril; usar o compactador para colocar o membro compósito não curado inicialmente em contato com a superfície do mandril em um ápice do perfil; formar o membro compósito não curado no perfil da superfície do mandril para fora do ápice; e usar o compactador para compactar o membro compósito não curado contra a superfície do mandril.

[0010] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente distribuir

todas as ondulações que se formam no membro compósito não curado durante a formação, deixando que material no membro compósito não curado seja comprimido nos entalhes no compactador.

[0011] Vantajosamente, o método em que o membro compósito não curado tem um eixo geométrico neutro e o método inclui adicionalmente usar o compactador para reduzir ondulação do membro compósito não curado durante formação, deslocando o local do eixo geométrico neutro do membro compósito não curado.

[0012] Vantajosamente, o método em que formar o membro compósito não curado inclui usar o compactador para formar uma torção no membro compósito não curado.

[0013] Vantajosamente, o método em que formação do membro compósito não curado é realizada por conformação por moldagem forçada do membro compósito não curado na superfície do mandril.

[0014] Vantajosamente, o método em que conformar por moldagem forçada inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades do membro compósito não curado e a superfície do mandril à medida que o membro compósito não curado é formado na superfície do mandril.

[0015] Vantajosamente, o método em que formação do membro compósito não curado é realizada por conformação por amarração.

[0016] Vantajosamente, o método em que conformar por amarração inclui reduzir forças compressivas localizadas no membro compósito não curado adjacente a superfície do mandril induzindo uma dobra em forma de S no membro compósito não curado.

[0017] Vantajosamente, o método em que formação do membro compósito não curado no perfil é realizada depois que o membro compósito não curado entra em contato inicial com a superfície do mandril no ápice.

[0018] Vantajosamente, o método em que a formação é realizada

formando o membro compósito não curado na superfície do mandril progressivamente para fora ao longo do membro compósito não curado a partir do ápice.

[0019] Vantajosamente, o método em que o membro compósito não curado tem uma disposição posicional pré-selecionada quando entra em contato inicial com a superfície do mandril no ápice, e as disposições posicionais de seções externas do membro compósito não curado são mantidas substancialmente paralelas à disposição posicional pré-selecionada à medida que o membro compósito não curado é formado no perfil da superfície do mandril.

[0020] Vantajosamente, o método em que formar o membro compósito não curado inclui dobrar o membro compósito não curado em um raio de curvatura progressivamente menor.

[0021] De acordo com um outro aspecto da invenção, é provido um membro compósito compactado pelo método.

[0022] De acordo com também um outro aspecto da invenção, é provido um método para controlar ondulação de uma longarina longitudinal compósita não curado durante formação da longarina longitudinal compósita em um perfil de uma superfície do mandril, incluindo alinhar a longarina longitudinal compósita com um ápice do perfil da superfície do mandril; e colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice; e formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril.

[0023] Vantajosamente, o método em que formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice inclui dobrar a longarina longitudinal compósita para baixo contra a superfície do mandril e progressivamente para fora do ápice.

[0024] Vantajosamente, o método em que formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice inclui manter um relacionamento

substancialmente constante entre extremidades da longarina longitudinal compósita e a superfície do mandril.

[0025] Vantajosamente, o método em que formação da longarina longitudinal compósita é realizada por uma de conformação por moldagem forçada e conformação por amarração.

[0026] Vantajosamente, o método inclui adicionalmente instalar um compactador flexível na longarina longitudinal compósita; aderir a longarina longitudinal compósita no compactador; e usar o compactador para colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice, e para formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril.

[0027] Vantajosamente, o método em que aderir a longarina longitudinal compósita ao compactador é realizado usando uma força de sucção.

[0028] Vantajosamente, o método em que formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril é realizado usando um compactador, e ondulação da longarina longitudinal compósita é controlada deixando que o material da longarina longitudinal compósita seja comprimido no compactador.

[0029] Vantajosamente, o método em que formação da longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril é realizada usando um compactador, e o compactador é usado para favorecer distribuir de maneira substancialmente uniforme ondulações na longarina longitudinal compósita.

[0030] De acordo com ainda um outro aspecto da invenção, é provida uma longarina longitudinal compósita com ondulações controladas produzidas pelo método.

[0031] De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, é provido um método para formar um membro compósito não curado em um

entalhe perfilado em uma ferramenta de cura, incluindo aderir diversos materiais compósitos não curados em um compactador; usar o compactador para colocar o membro compósito não curado em contato inicial com a ferramenta de cura em um ápice de um perfil ao longo do entalhe perfilado; usar o compactador para formar o membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado e progressivamente para fora do ápice; e usar o compactador para distribuir ondulações formadas no membro compósito não curado durante formação do membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado.

[0032] Vantajosamente, o método em que uso do compactador para formar o membro compósito não curado é realizado por uma de conformação por moldagem forçada e conformação por amarração.

[0033] Os recursos, funções e vantagens podem ser alcançados independentemente em várias modalidades da presente descrição ou podem ser combinados em também outras modalidades em que detalhes adicionais podem ser vistos com referência à descrição seguinte e desenhos.

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0034] Os recursos inéditos considerados característicos das modalidades ilustrativas são apresentados nas reivindicações anexas. As modalidades ilustrativas, entretanto, bem como um modo preferido de uso, seus objetivos e vantagens adicionais, ficarão mais bem entendidos pela referência à descrição detalhada seguinte de uma modalidade ilustrativa da presente descrição quando lida em conjunto com os desenhos anexos, em que:

Figura 1 é uma ilustração de uma vista em perspectiva de uma longarina longitudinal perfilada ao longo de seu comprimento em um plano XZ.

[0035] Figura 2 é uma ilustração de uma vista seccional transversal feita ao longo da linha 2-2 na figura 1.

[0036] Figura 3 é uma ilustração de uma vista plana de uma longarina longitudinal perfilada ao longo de seu comprimento no plano XY.

[0037] Figura 4 é uma ilustração de uma vista em perspectiva de um compactador flexível usado para compactar as longarinas longitudinais mostradas nas figuras 1-3 contra uma ferramenta de cura.

[0038] Figura 5 é uma ilustração de uma vista seccional longitudinal do compactador mostrado na figura 4, junto com uma disposição da longarina longitudinal durante compactação em uma ferramenta de cura.

[0039] Figura 6 é uma ilustração da área designada como FIG. 6 na figura 5.

[0040] Figura 7 é uma ilustração de uma vista seccional transversal mostrando o compactador removendo uma longarina longitudinal de uma matriz de formação.

[0041] Figura 8 é uma ilustração de uma vista seccional transversal mostrando o compactador indexado e alinhado pronto para formar a longarina longitudinal em uma cavidade da ferramenta de cura perfilada.

[0042] Figura 9 é uma ilustração de uma vista seccional transversal mostrando a longarina longitudinal tendo sido formada na cavidade da ferramenta perfilada, e um bolsa a vácuo instalado em preparação para curar a longarina longitudinal.

[0043] Figura 10 é uma ilustração de uma vista seccional transversal mostrando o compactador sendo levantado para fora da longarina longitudinal após a cura.

[0044] Figura 11 é uma ilustração de uma vista em perspectiva de uma porção de uma longarina longitudinal, adequada na explicação de tensões na longarina longitudinal à medida que está sendo formada na ferramenta de cura.

[0045] Figura 12 é uma ilustração de uma vista de extremidade da longarina longitudinal mostrado na figura 11, mostrando o centroide e eixo geométrico neutro da longarina longitudinal.

[0046] Figura 13 é uma ilustração de uma vista lateral longitudinal de uma longarina longitudinal, na qual a longarina longitudinal entrou em contato inicial com o ápice de uma superfície do mandril perfilada em preparação para formação do ápice da longarina longitudinal.

[0047] Figura 14 é uma ilustração de um diagrama adequado na explicação do método de formação de ápice usando uma técnica de amarração.

[0048] Figura 15 é uma ilustração da área designada como FIG. 15 na figura 14.

[0049] Figura 16 é uma ilustração de um diagrama adequado na explicação do método de formação de ápice usando uma técnica de moldagem forçada.

[0050] Figura 17 é uma ilustração mostrando a modelagem progressiva da longarina longitudinal durante formação do ápice usando a técnica de moldagem forçada.

[0051] Figura 18 é uma ilustração de um fluxograma de um método de fabricar uma longarina longitudinal que inclui o uso do método de formação de ápice.

[0052] Figura 19 é uma ilustração de um fluxograma de metodologia de produção e serviço de aeronave.

[0053] Figura 20 é ilustração de um diagrama de blocos de uma aeronave.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[0054] As modalidades descritas podem ser empregadas na fabricação de um membro compósito alongado que é perfilado ou curvo em um ou mais planos. Por exemplo, referindo-se às figuras 1 e 2, uma longarina longitudinal

da fuselagem compósita 30 é anexada por qualquer dispositivo adequado em um revestimento 32. A longarina longitudinal 30 possui uma forma seccional transversal de chapéu, compreendendo uma tampa 34, paredes laterais inclinadas ou almas 36, e flanges substancialmente planos revirados para fora 38. Outras formas seccionais transversais são possíveis. Neste exemplo, a longarina longitudinal 30 possui um perfil 42 disposto no plano XZ de um sistema de coordenadas ortogonais 40. A longarina longitudinal 30 pode compreender um laminado compósito multicamadas, tal como, sem limitações, CFRP (plástico reforçado com fibra de carbono). Deve-se notar aqui que, embora tenha sido ilustrada uma longarina longitudinal 30, as modalidades descritas podem ser empregadas para fabricar qualquer de uma variedade de membros compósitos alongados que têm uma ou mais curvaturas em um ou mais planos.

[0055] Como mostrado na figura 3, a longarina longitudinal 30 pode ser perfilada 42 em outros planos, tal como no plano XY. Em ainda outros exemplos, a longarina longitudinal 30 pode ser perfilada em múltiplos planos. Como será discutido a seguir com mais detalhes, a longarina longitudinal 30 é fabricada dispondo-se e formando pre-preg na forma seccional transversal. Um compactador 44 (Figura 4) é usado para formar a longarina longitudinal não curada 30 em uma ferramenta de cura perfilada 68 (Figura 8), e então compactá-la durante um ciclo de cura.

[0056] Referindo-se agora à figura 4, um compactador 44 pode ser usado para assistir no transporte, colocação, formação e compactação da longarina longitudinal não curada 30. A longarina longitudinal 30 é mantida ou aderida de modo liberável no compactador 44 usando um vácuo ou força de sucção que será discutido a seguir. O compactador 44 é em geral semirrígido, com um grau de flexibilidade que permite que ele flexione e conforme às superfícies da ferramenta perfiladas 66 durante colocação e compactação da longarina longitudinal 30. O compactador 44 pode ser

construído de materiais que são adequados para a aplicação, tal como, sem limitações, uma combinação de CFRP e borracha de elastômero. O compactador 44 funciona tanto como um dispositivo para instalar e formar a longarina longitudinal 30 quanto para controlar a forma seccional transversal da longarina longitudinal formada 30 à medida que ela é curada. A aderência a vácuo da longarina longitudinal 30 no compactador 44 pode reduzir o risco de dano na longarina longitudinal 30 durante manuseio, e controla a longarina longitudinal 30 durante instalação em uma superfície do mandril perfilada, tal como uma ferramenta de cura 68 (vide Figura 5).

[0057] O compactador 44 compreende a grosso modo uma seção de chapéu 46, uma seção de flange 52 e paredes de extremidade 48 definindo um espaço interior no geral aberto 58. A seção de chapéu 46 inclui uma pluralidade de fendas ou entalhes estendendo-se transversalmente longitudinalmente espaçados 54 que proveem o compactador 44 com flexibilidade, e permitem que ar seja extraído para o espaço interior aberto 58. Os adaptadores a vácuo 50 em qualquer ou ambas as paredes de extremidade 48 são adaptados para ser acoplados com uma fonte de vácuo (não mostrada) para evacuar o espaço interior aberto 58. Embora não mostrada na figura 4, a seção de flange 52 pode incluir uma ou mais seções ou juntas ao longo de seu comprimento que são flexíveis, permitindo que o compactador 44 flexione em qualquer ou ambos dos planos XY e XZ.

[0058] O vácuo criado no espaço interior aberto 58 faz com que o ar seja extraído através dos entalhes 54, produzindo uma força de sucção a vácuo 55. Esta força de sucção a vácuo pega a longarina longitudinal não curada 30, fazendo que com ela agarre e pegue no compactador 44 durante os processos de transporte, colocação e compactação. Mais particularmente, a tampa 34 e as almas 36 da longarina longitudinal 30 são aderidas na seção de chapéu 46 do compactador 44 por causa da força de sucção a vácuo 55, enquanto os flanges 38 da longarina longitudinal 30 ficam em contato face a

face com a seção de flange 52 do compactador 44, mas não aderidos nela. A adesão a vácuo da longarina longitudinal 30 no compactador 44 pode também permitir uma distribuição mais simétrica de ondulação e coleta de camadas durante compactação da longarina longitudinal, como será discutido a seguir com mais detalhes. Além disso, o compactador 44 induz ondulações aceitáveis 60a nos locais dos entalhes 54. “Ondulações ou ondulação aceitável”, na forma aqui usada, referem-se a ondulações que são suficientemente pequenas no tamanho e em geral distribuídas ao longo de um comprimento suficiente de maneira tal que elas não têm um impacto de material no desempenho do reforçador curado 30 em serviço, quando colocado sob carga.

[0059] Referindo-se agora às figuras 5 e 6, o compactador 44 pode ser usado para formar e compactar a longarina longitudinal não curada 30 em uma superfície perfilada 66 de uma ferramenta de cura 68 ou superfície do mandril perfilada similar. Na figura 5, o compactador 44 está mostrado flexionado no plano XZ, para formar a longarina longitudinal 30 para baixo na superfície perfilada 66 da ferramenta de cura 68. A adesão a vácuo da longarina longitudinal 30 no compactador 44 pode ajudar favorecer deslizamento planar de camadas desejado entre as camadas externas (mais próximas do compactador 44) e as camadas internas (mais próximas da superfície da ferramenta de cura 66) durante este processo de formação. O método usado para alinhar, inicialmente engatar e então formar a longarina longitudinal 30 na superfície perfilada 66 será a seguir referido como um método de formação de "ápice".

[0060] O método de formação de ápice resulta na distribuição de excesso de material da longarina longitudinal 60 ao longo do comprimento da longarina longitudinal 30 voltado para a superfície da ferramenta perfilada 66. Este excesso de material da longarina longitudinal distribuído 60 é deixado e encorajado a mover parcialmente para os entalhes 54 pela força de

compactação aplicada na longarina longitudinal 30 pelo compactador 44. O excesso de material da longarina longitudinal 60 que está sob compressão 78 (vide Figura 6) forma em uma série de ondulações aceitáveis relativamente pequenas distribuídas 60a, respectivamente, dentro dos entalhes 54. Em virtude do tamanho das ondulações relativamente pequeno 60a, e o fato de que elas são distribuídas em geral uniformemente ao longo de um comprimento da longarina longitudinal suficiente 30, concentrações de tensão na longarina longitudinal curada 30 sob carga, causadas pela ondulação do material, são substancialmente reduzidas ou eliminada. O local e distribuição das ondulações 60a dependem em parte da distância “D” entre os entalhes 54. A distância “D” entre os entalhes 54 pode ser em geral constante ao longo do comprimento do compactador 44 para produzir uma distribuição das ondulações substancialmente uniforme 60a. Entretanto, em algumas modalidades, pode ser desejável adequada a distribuição das ondulações 60a de maneira tal que elas fiquem distribuídas não uniformemente. À medida que o número de entalhes 54 providos no compactador 44 aumenta, o número de ondulações induzidas similarmente aumenta, enquanto o tamanho de cada qual das ondulações induzidas diminuiu. Também, à medida que o número de entalhes 54 aumenta, a capacidade de o compactador 44 dobrar em torno das superfícies da ferramenta com raio mais apertado aumenta. Em geral, pode ser desejável aumentar o número de ondulações 60a, ainda diminuindo seu tamanho até o ponto em que as ondulações 60a têm um efeito substancialmente desprezível no desempenho da longarina longitudinal 30 quando colocada em serviço.

[0061] As Figuras 7-10 ilustram as etapas sequenciais de formar, transportar, colocar, formar e compactar a longarina longitudinal 30 na superfície perfilada 66 de uma ferramenta de cura 68 usando o compactador 44. Uma disposição de pre-preg pode ser formada em uma seção transversal em forma de chapéu desejada usando qualquer de várias técnicas, tal como

por conformação por estampagem de uma disposição plana (não mostrada) entre matrizes macho e fêmea (somente a matriz fêmea 64 está mostrada na figura 7), ou por conformação em bolsa a vácuo de uma disposição plana em uma matriz macho (não mostrada).

[0062] Com a longarina longitudinal 30 tendo sido formada na forma seccional transversal desejada, por exemplo, em uma matriz fêmea 64, o compactador 44 é colocado na longarina longitudinal 30 de maneira tal que a seção de chapéu 46 do compactador 44 engata as almas 36 e a tampa 34 da longarina longitudinal 30, e a seção de flange 38 do compactador 44 sobrepõe e engata os flanges 38 da longarina longitudinal 30. Dependendo do material e acabamento superficial dos quais o compactador 44 é formado, pode ser necessário instalar um agente de liberação, tal como uma camada de desprendimento, entre o compactador 44 e a longarina longitudinal 30. Por exemplo, e sem limitações, uma camada (não mostrada) de filme de FEP (etileno propileno fluorado) pode ser aplicada no compactador 44, cobrindo a seção de chapéu 46 do compactador 44. Fendas verticais (não mostradas) podem ser formadas no filme FEP ao longo do comprimento do compactador 44 para permitir que ar escoe através do filme e para dentro dos entalhes 54 do compactador 44.

[0063] A longarina longitudinal 30 e o compactador 44 podem permanecer na matriz fêmea 64 que pode ser usada como um adaptador de contenção para manter a forma da longarina longitudinal 30 até que a longarina longitudinal 30 fique pronta para ser removida e transportada para colocação. Opcionalmente, a longarina longitudinal 30 pode ser transferida para um adaptador de contenção (não mostrado) até que esteja pronta para a transferência para uma ferramenta de cura 68. A fim de remover a longarina longitudinal 44 da matriz fêmea 64 (ou um adaptador de contenção opcional), um vácuo é aplicado no compactador 44 que extrai ar através dos entalhes 54

(Figuras 4-6) para criar uma força de sucção que faz com que a longarina longitudinal 30 cole no compactador 44 e seja pega por ele.

[0064] Com a longarina longitudinal 30 aderida no compactador 44 ao longo de seu comprimento, a longarina longitudinal 30 e o compactador 44 comportam como uma única unidade durante processamento subsequente, incluindo formação na ferramenta de cura 68. A fim de controlar a ondulação da longarina longitudinal 30 durante processamento subsequente, o vácuo que faz com que a longarina longitudinal 30 cole no compactador 44 é mantido até que a longarina longitudinal 30 tenha sido formada na ferramenta de cura 68. A fim de assegurar que a longarina longitudinal 30 não perca a união com o compactador 44 durante o processo de formação, pode ser necessário ajustar a taxa de formação em relação à quantidade da força do vácuo aplicada na longarina longitudinal 30 para permitir que a longarina longitudinal 30 dobre lentamente junto com o dobramento do compactador 44. A força de adesão gerada pelo vácuo que adere a longarina longitudinal 30 no compactador 44 tem que ser maior que as forças de dobramento localizadas induzidas na longarina longitudinal 30 a fim de dispersar as ondulações 60a ao longo da longarina longitudinal 30.

[0065] Como mostrado na figura 7, com a longarina longitudinal 30 aderida no compactador 44, o compactador 44 é levantado junto com a longarina longitudinal 30 para fora da matriz fêmea 64, e é usado para transportar a longarina longitudinal 30 para um mandril de formação tal como a ferramenta de cura 68 mostrada na figura 8. A ferramenta de cura 68 tem superfícies da ferramenta perfiladas 66 formando com uma cavidade da ferramenta perfilada ou entalhe 70. As superfícies da ferramenta perfiladas 66 são curvas ou perfiladas em pelo menos um plano e casam substancialmente com a superfície da linha de molde externa (OML) (não mostrada) da longarina longitudinal 30.

[0066] O compactador 44 é usado para colocar e formar a longarina longitudinal 30 nas superfícies da ferramenta perfiladas 66, ao longo do comprimento da cavidade da ferramenta 70, como mostrado na figura 8. Como será discutido posteriormente, o compactador 44 flexiona para conformar-se às superfícies perfiladas 66 da cavidade da ferramenta 70, fazendo com que a longarina longitudinal 30 também seja formado na forma perfilada da cavidade da ferramenta 70. De acordo com o método de formação de ápice descrito, qualquer ondulação da longarina longitudinal 30 que está sendo formada abaixo na cavidade da ferramenta perfilada 70 será limitado a ondulações “aceitáveis” em escala relativamente pequena que são geralmente distribuídas uniformemente ao longo do comprimento da longarina longitudinal 30.

[0067] Com o compactador 44 e a longarina longitudinal 30 tendo sido formados na cavidade da ferramenta 70, uma bolsa a vácuo 62 (Figura 9) é instalado sobre o compactador 44 e a longarina longitudinal 30, e um vácuo é aplicado na bolsa 62 que, junto com o compactador 44, compacta a disposição 30 contra as superfícies da ferramenta perfiladas 66. Após a compactação da longarina longitudinal 30, como mostrado na figura 10, o compactador 44 é retirado da longarina longitudinal 30. Em algumas aplicações, pode ser desejável aplicar um agente de pegajosidade nas superfícies das ferramentas perfiladas 66 antes da instalação da longarina longitudinal 30 e da ferramenta de cura 68 a fim de ajudar na separação do compactador 44 da longarina longitudinal curada 30 após a cura. A longarina longitudinal 30 pode então ser adicionalmente processada. Por exemplo, enchimentos (não mostrados) podem ser instalados na longarina longitudinal 30, uma ou mais bexigas (não mostradas) podem ser instaladas contra a longarina longitudinal 30, a longarina longitudinal 30 pode ser anexada no revestimento 32 (Figura 1) ou outra estrutura, e curada em uma autoclave (não mostrada).

[0068] A atenção volta-se agora para as figuras 11 e 12 que ilustram tensões que agem na longarina longitudinal 30 quando ela está sendo formada nas superfícies da ferramenta perfiladas 66 de um mandril, tal como a ferramenta de cura 68 previamente descrita. A longarina longitudinal 30 pode ser formada ao longo da curvatura (não mostrada na figura 11) em qualquer dos planos XY ou XZ. A geometria da longarina longitudinal 30 determinará qual desses dois planos tem a maior influência na instalação. Independente da geometria da seção transversal particular da longarina longitudinal 30, a longarina longitudinal 30 possui um eixo geométrico neutro 80 e um centroide ou centro geométrico 82. Na figura 11, o local do eixo geométrico neutro 80 é mostrado durante formação da longarina longitudinal 30 no plano XY, enquanto a figura 12 mostra o local do eixo geométrico neutro 80 durante a formação da longarina longitudinal 30 no plano XZ.

[0069] Referindo-se à figura 11, quando a longarina longitudinal 30 é formada ao longo de uma curvatura no plano XY, um momento de dobramento  $M$  em torno do eixo geométrico Z (eixo geométrico de indução de momento) é produzido, que faz com que um lado da longarina longitudinal 30 seja colocado sob tensão 76, e o outro lado da longarina longitudinal 30 seja colocado sob compressão 78. O eixo geométrico neutro 80 mostrado na figura 12 é substancialmente perpendicular ao eixo geométrico neutro 80 mostrado na figura 11 em virtude de os planos XZ e XY serem perpendiculares entre si e, similarmente, os eixos geométricos do momento (o eixo geométrico Y e o eixo geométrico Z) são perpendiculares entre si. O eixo geométrico neutro 80 da longarina longitudinal 30 é uma linha ou plano na seção transversal da longarina longitudinal 30 no qual não ocorre nem extensão nem compressão da longarina longitudinal 30 quando ela é dobrada, como ocorre quando a longarina longitudinal 30 está sendo formada em uma cavidade da ferramenta 70 (Figura 8) que é curva em qualquer ou ambos dos planos XY e XZ. Referindo-se à figura 12, quando a longarina longitudinal 30

é formada ao longo de uma curvatura no plano XZ, um momento de dobramento **M** é produzido em torno do eixo geométrico neutro 80 (o eixo geométrico Y) que faz com que a área 81 acima do eixo geométrico neutro 80 seja colocada sob tensão, e a área 83 abaixo do eixo geométrico neutro 80 seja colocada sob compressão.

[0070] A área 83 da longarina longitudinal 30 abaixo do eixo geométrico neutro 80 é a área que mais provavelmente ondulará, em virtude de ser carregada sob compressão 78 à medida que a longarina longitudinal 30 está sendo formada em qualquer dos planos XY ou XZ. Ao contrário, a área 81 que está sob tensão 76 durante formação passa por uma quantidade relativamente pequena de deformação, e assim normalmente não ondula. A compressão 78 abaixo do eixo geométrico neutro 80 faz com que uma ondulação 60a (vide Figura 6) seja formada na longarina longitudinal 30 à medida que a longarina longitudinal 30 é dobrada em um raio de curvatura progressivamente menor durante um processo de formação, em virtude de a mesma quantidade da longarina longitudinal material estar sendo conformada em um menor raio na área 83 abaixo do eixo geométrico neutro 80. Com efeito, o compactador flexível 44 funciona para deslocar 85 (Figura 12) o eixo geométrico neutro 80 para baixo, em direção à tampa 34 da longarina longitudinal 30. Em decorrência de o eixo geométrico neutro 80 ser deslocado 85 para baixo, a quantidade de compressão na área 83 abaixo do eixo geométrico neutro 80 na longarina longitudinal 30 é reduzida, e menos ondulação ocorre nesta área por causa das reduzidas forças compressivas.

[0071] Como previamente discutido, a formação do ápice é usada para formar a longarina longitudinal 30 dentro e ao longo da cavidade da ferramenta perfilada 70 (Figura 8) a fim de controlar ondulação da longarina longitudinal 30 durante o processo de formação. A Figura 13 ilustra diagramaticamente o método de formação de ápice, genericamente. Uma ferramenta de cura 68 tem uma superfície da ferramenta perfilada 66 na qual

uma longarina longitudinal substancialmente reta 30 deve ser formada dobrando-a em um raio de curvatura progressivamente menor até que ela conforme à superfície da ferramenta perfilada 66. A longarina longitudinal reta 30 compreende uma pilha de camadas de material compósito substancialmente planares não curadas tal como pre-preg. A curvatura da superfície da ferramenta perfilada 66 tem um ápice 84 que corresponde ao ponto de máxima curvatura na superfície da ferramenta 66. Com a longarina longitudinal 30 aderida no compactador 44 (como mostrado na figura 8), o compactador 44 é usado para alinhar e indexar a longarina longitudinal 30 em relação à ferramenta de cura 68. O compactador 44 então inicialmente coloca a longarina longitudinal 30 em contato com a superfície da ferramenta 66 no ápice 84. Depois deste contato inicial no ápice 84, a longarina longitudinal 30 é conformada para baixo 72 na superfície da ferramenta perfilada 66 e dentro da cavidade da ferramenta 70 (Figura 8). A técnica particular usada para formar a longarina longitudinal 30 abaixo na superfície da ferramenta perfilada 66 depois da compactação no ápice 84 dependerá se a longarina longitudinal 30 está sendo formada no plano XY ou XZ, como será discutido a seguir. Em aplicações onde a superfície da ferramenta 66 tem perfis compostos e é necessário formar a longarina longitudinal 30 em ambos os planos XY e XZ, o compactador 44 pode flexionar simultaneamente tanto no plano XY quanto XZ. O compactador 44 pode também formar uma torção torsional na longarina longitudinal 30 durante o processo de formação, tanto independentemente quanto adicionalmente à flexão em qualquer dos planos XY e XZ.

[0072] As Figuras 14 e 15 ilustram a formação do ápice de uma longarina longitudinal 30 em uma superfície do mandril perfilada 66, tal como a de uma ferramenta de cura perfilada 68, perfilada no plano XZ, usando uma técnica de conformação por amarração. As posições sequenciais e formas de dobramento da longarina longitudinal 30 são respectivamente designadas

pelas letras “A-D” na figura 14, e as camadas laminadas individuais 90 da longarina longitudinal 30 são mostradas na figura 15. Durante esta conformação por amarração, as seções externas 74 ainda não em contato com a superfície da ferramenta 66 são mantidas substancialmente paralelas à disposição posicional inicial (designada pela letra “A”) da longarina longitudinal 30 quando ela inicialmente entra em contato com o ápice 84. A conformação por amarração da longarina longitudinal 30 desta maneira induz uma dobra “S” 87 (vide Figura 15) na longarina longitudinal 30. A formação da dobra “S” 87 desloca o local na longarina longitudinal 30 onde forças de tração e compressão 76, 80 respectivamente estão agindo. A indução de uma dobra “S” 87 nas camadas 90 da longarina longitudinal 30 ajuda espalhar a ondulação das camadas pela redução das forças compressivas localizadas na área adjacente à superfície da ferramenta perfilada 66 onde é de se esperar que ocorra ondulação.

[0073] As Figuras 16 e 17 ilustram a formação do ápice de uma longarina longitudinal 30 perfilada no plano XY usando o compactador 44 para realizar uma técnica de conformação por moldagem forçada. O compactador é alinhado e indexado de maneira tal que ele inicialmente leva a longarina longitudinal 30 para um primeiro ponto de contato “A” correspondente ao ápice 84 da superfície da ferramenta perfilada 66. A longarina longitudinal 30 é então conformada por moldagem forçada uniformemente na ferramenta de cura 68, na cavidade da ferramenta perfilada 70 (Figura 8), dobrando a longarina longitudinal 30 em torno do ápice 84. As letras “B”, “C”, “D” e “E” na figura 16 respectivamente representam pontos de contato simultâneos entre a longarina longitudinal 30 e a superfície da ferramenta 66 à medida que o processo de dobramento progride. As posições dobradas correspondentes da longarina longitudinal 30 são similarmente designadas na figura 17 pelas letras “B”, “C”, “D” e “E”. Durante o processo de dobramento, o relacionamento das distâncias 92, 94 (Figura 16)

entre as extremidades da longarina longitudinal 30 e a superfície da ferramenta 66 é mantido substancialmente constante a fim de manter uma atitude da longarina longitudinal 30 que resulta em dobramento substancialmente uniforme em torno do ápice 84. Como previamente notado, durante este processo de formação, a adesão a vácuo da longarina longitudinal 30 no compactador 44 pode ajudar favorecer o deslizamento desejado entre as camadas planares da longarina longitudinal 30.

[0074] A atenção está agora voltada para a figura 18 que ilustra a grosso modo as etapas de um método de fabricar uma longarina longitudinal compósita perfilada 30 usando o método de formação de ápice e o compactador 44 supradescrito. Começando em 96, uma carga de longarina longitudinal é disposta e aparada da maneira necessária. A disposição da longarina longitudinal é então formada na forma seccional transversal da longarina longitudinal desejada na etapa 98. Opcionalmente, na etapa 100, um filme de liberação perfurado adequado tal como FEP pode ser colocado e colado na superfície de compactação de um compactador flexível 44. As perfurações permitem o fluxo de ar do vácuo através do filme e pode ser formado, por exemplo, e sem limitações, criando uma série de fendas no filme. Na etapa 102, o compactador 44 é instalado na cavidade do formado a longarina longitudinal 30.

[0075] Em 104, um vácuo é gerado dentro do compactador 44 que adere a longarina longitudinal 30 no compactador 44, fazendo efetivamente com que o compactador 44 pegue a longarina longitudinal 30. Em 106, o compactador 44 pode ser usado para remover e transportar a longarina longitudinal 30 para um mandril de formação perfilado, que pode compreender uma ferramenta de cura 68. À medida que a longarina longitudinal 30 que está sendo formada é removida e transportada, vácuo é mantido no interior do compactador 44 para manter a aderência entre o compactador 44 e a longarina longitudinal 30. Em 108, o ápice 84 do mandril

ou ferramenta de cura perfilada 68 é localizado, e pode ser marcado como um ponto de partida de referência para ajudar no processo de formação subsequente. Na etapa 110, o compactador 44 é usado para alinhar e colocar a longarina longitudinal 30 inicialmente em contato com a superfície do mandril perfilada ou ferramenta de cura 68, no ápice 84 da superfície da ferramenta perfilada 66.

[0076] Em 112, o compactador 44 é usado para dobrar a longarina longitudinal 30 para baixo no mandril ou ferramenta de cura superfície 66, de forma substancialmente uniforme, para fora do ápice, usando tanto a técnica de conformação por moldagem forçada quanto de conformação por amarração previamente descritas. Durante o processo de dobramento, o compactador 44 junto com a longarina longitudinal 30 flexiona para conformar ao perfil do mandril ou ferramenta 68, fazendo com que a longarina longitudinal material ondule em uma distribuição substancialmente uniforme ao longo do comprimento do perfil da longarina longitudinal. Em 114, a longarina longitudinal formada 30 pode ser evacuada em bolsa e então compactada à temperatura ambiente usando o compactador 44, durante o que vácuo dentro do compactador 44 é mantido. Na etapa 116, a longarina longitudinal 30 é desensacada, e o vácuo dentro do compactador 44 é liberado, permitindo a remoção do compactador 44 e da longarina longitudinal 30 da ferramenta de cura 68.

[0077] Modalidades da descrição podem encontrar uso em uma variedade de aplicações potenciais, particularmente na indústria de transporte, incluindo, por exemplo, aplicações aeroespaciais, marítimas, automotivas e outras aplicações onde membros compósitos alongados perfilados, tais como longarinas longitudinais, podem ser usados. Assim, referindo-se agora às figuras 19 e 20, modalidades da descrição podem ser usadas no contexto de um método de fabricação e serviço de aeronave 118 mostrado na figura 19 e uma aeronave 120 mostrada na figura 20. As aplicações de aeronave das

modalidades descritas podem incluir, por exemplo, sem limitações, membros de reforço alongados tais como longarinas longitudinais usadas na armação 136 da aeronave 120. Durante pré-produção, método exemplar 118 pode incluir especificação e projeto 122 da aeronave 120 e aquisição de material 124. Durante produção, ocorre fabricação de componentes e subconjunto 126 e integração do sistema 128 da aeronave 120. Em seguida, a aeronave 120 pode passar por certificação e entrega 130 a fim de ser colocada em serviço 132. Enquanto em serviço por um cliente, a aeronave 120 é programada para manutenção e serviço de rotina 134, que podem também incluir modificação, reconfiguração, remanufatura e assim por diante.

[0078] Cada qual dos processos de método 118 pode ser realizado ou executado por um integrador do sistema, uma terceira parte e/ou um operador (por exemplo, um cliente). Com propósitos desta descrição, um integrador do sistema pode incluir, sem limitações, qualquer de fabricantes de aeronave e subcontratantes do sistema principal; uma terceira parte pode incluir, sem limitações, qualquer número de vendedores, subcontratantes e fornecedores; e um operador pode ser uma empresa de arrendamento de linhas aéreas, entidade militar, organização de serviço e assim por diante.

[0079] Como mostrado na figura 20, a aeronave 120 produzida pelo método exemplar 118 pode incluir uma armação da aeronave 136 com uma pluralidade de sistemas 138 e um interior 140. Exemplos de sistemas de alto nível 138 incluem um ou mais de um sistema de propulsão 142, um sistema elétrico 144, um sistema hidráulico 146 e um sistema ambiental 148. Qualquer número de outros sistemas pode ser incluído. Embora um exemplo aeroespacial esteja mostrado, os princípios da descrição podem ser aplicados a outras indústrias, tais como indústria marítima e automotiva.

[0080] Sistemas e métodos concebidos aqui podem ser empregados durante qualquer um ou mais dos estágios do método de produção e serviço 118. Por exemplo, componentes ou subconjuntos correspondentes ao processo

de produção 126 podem ser fabricados ou produzidos de uma maneira similar aos componentes ou subconjuntos produzidos enquanto a aeronave 120 está em serviço. Também, uma ou mais modalidades de aparelho, modalidades de método, ou uma combinação das mesmas podem ser utilizadas durante os estágios de produção 126 e 128, por exemplo, despachando substancialmente o conjunto ou reduzindo o custo de uma aeronave 120. Similarmente, uma ou mais de modalidades de aparelho, modalidades do método, ou uma combinação das mesmas podem ser utilizadas enquanto a aeronave 120 está em serviço, por exemplo, e sem limitações, para manutenção e serviço 134.

[0081] Na forma aqui usada, a expressão “pelo menos um de”, quando usada com uma lista de itens, significa que diferentes combinações de um ou mais dos itens listados podem ser usadas e somente um de cada item na lista pode ser necessário. Por exemplo, “pelo menos um do item A, item B, e item C” pode incluir, sem limitações, item A, item A e item B, ou item B. Este exemplo também pode incluir o item A, item B, e item C ou item B e item C. O item pode ser um objeto, coisa ou uma categoria particular. Em outras palavras, “pelo menos um de” significa qualquer combinação itens e inúmeros itens podem ser usados da lista, mas nem todos os itens na lista são exigidos.

[0082] A descrição das diferentes modalidades ilustrativas foi apresentada com propósitos de ilustração e descrição, e não se pretende que seja exaustiva ou limitada às modalidades na forma descrita. Muitas modificações e variações ficarão aparentes aos versados na técnica. Adicionalmente, diferentes modalidades ilustrativas podem proporcionar diferentes vantagens comparadas com outras modalidades ilustrativas. A modalidade ou modalidades selecionadas são escolhidas e descritas a fim de explicar melhor os princípios das modalidades, a aplicação prática, e permitir que versados na técnica entendam a descrição para várias modalidades com várias modificações que são adequadas ao uso particular contemplado.

[0083] Dessa forma, resumidamente, de acordo com um primeiro aspecto da presente invenção é provido:

A1. Um método para compactar um membro compósito não curado contra uma superfície do mandril com um perfil, compreendendo:

aderir o membro compósito não curado em um compactador;

usar o compactador para alinhar o membro compósito não curado com o perfil da superfície do mandril;

usar o compactador para colocar o membro compósito não curado inicialmente em contato com a superfície do mandril em um ápice do perfil;

formar o membro compósito não curado sobre o perfil da superfície do mandril para fora do ápice; e

usar o compactador para compactar o membro compósito não curado contra a superfície do mandril.

A2. Também é provido o método do parágrafo A1, compreendendo adicionalmente:

distribuir todas as ondulações que se formam no membro compósito não curado durante a formação, deixando que o material no membro compósito não curado fique comprimido nos entalhes no compactador.

A3. Também é provido o método do parágrafo A1, em que o membro compósito não curado tem um eixo geométrico neutro e o método compreende adicionalmente:

usar o compactador para reduzir ondulação do membro compósito não curado durante formação deslocando o local do eixo geométrico neutro do membro compósito não curado.

A4. Também é provido o método do parágrafo A1, em que formar o membro compósito não curado inclui usar o compactador para formar uma torção no membro compósito não curado.

A5. Também é provido o método do parágrafo A1, em que a formação do membro compósito não curado é realizada por conformação por moldagem forçada do membro compósito não curado na superfície do mandril.

A6. Também é provido o método do parágrafo A5, em que a conformação por moldagem forçada inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades do membro compósito não curado e a superfície do mandril à medida que o membro compósito não curado é formado na superfície do mandril.

A7. Também é provido o método do parágrafo A1, em que formação do membro compósito não curado é realizada por conformação por amarração.

A8. Também é provido o método do parágrafo A7, em que a conformação por amarração inclui reduzir forças compressivas localizadas no membro compósito não curado adjacente à superfície do mandril induzindo uma dobra em forma de S no membro compósito não curado.

A9. Também é provido o método do parágrafo A1, em que formação do membro compósito não curado sobre o perfil é realizada depois que o membro compósito não curado tiver entrado em contato inicial com a superfície do mandril no ápice.

A10. Também é provido o método do parágrafo A1, em que a formação é realizada formando o membro compósito não curado na superfície do mandril progressivamente para fora ao longo do membro compósito não curado a partir do ápice.

A11. Também é provido o método do parágrafo A10, em que:  
o membro compósito não curado tem uma disposição posicional pré-selecionada quando entra em contato inicial com a superfície do mandril no ápice, e

as disposições posicionais das seções externas do membro

compósito não curado são mantidas substancialmente paralelas à disposição posicional pré-selecionada à medida que o membro compósito não curado é formado no perfil da superfície do mandril.

A12. Também é provido o método do parágrafo A10, em que formar o membro compósito não curado inclui dobrar o membro compósito não curado em um raio de curvatura progressivamente menor.

A13. Membro compósito compactado pelo método do parágrafo A1.

[0084] De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, é provido:

B1. Um método para controlar ondulação de uma longarina longitudinal compósita não curada durante formação da longarina longitudinal compósita sobre um perfil de uma superfície do mandril, compreendendo:

alinhar a longarina longitudinal compósita com um ápice do perfil da superfície do mandril; e,

colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice; e

formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril.

B2. É também provido o método do parágrafo B1, em que formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice inclui dobrar a longarina longitudinal compósita para baixo contra a superfície do mandril e progressivamente para fora do ápice.

B3. É também provido o método do parágrafo B1, em que formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades da longarina longitudinal compósita e a superfície do mandril.

B4. É também provido o método do parágrafo B1, em que formação da longarina longitudinal compósita é realizada por uma de

conformação por moldagem forçada e conformação por amarração.

B5. É também provido o método do parágrafo B1, compreendendo adicionalmente:

instalar um compactador flexível na longarina longitudinal compósita;

aderir a longarina longitudinal compósita no compactador; e

usar o compactador para colocar a longarina longitudinal compósita em contato com a superfície do mandril no ápice, e formar a longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril.

B6. É também provido o método do parágrafo B1, em que adesão da longarina longitudinal compósita no compactador é realizada usando uma força de sucção.

B7. É também provido o método do parágrafo B1, em que:

formação da longarina longitudinal compósita do ápice para baixo na superfície do mandril é realizada usando um compactador, e

ondulação da longarina longitudinal compósita é controlada deixando que o material da longarina longitudinal compósita seja comprimido no compactador.

B8. É também provido o método do parágrafo B1, em que:

formação da longarina longitudinal compósita a partir do ápice para baixo na superfície do mandril é realizada usando um compactador, e

o compactador é usado para favorecer uma distribuição substancialmente uniforme de ondulações na longarina longitudinal compósita.

B9. Longarina longitudinal compósita que tem ondulações controladas produzidas pelo método do parágrafo B1.

[0085] De acordo com um aspecto adicional da presente invenção, é provido:

C1. Um método para formar um membro compósito não curado em um entalhe perfilado em uma ferramenta de cura, compreendendo:  
aderir um membro compósito não curado em um compactador;  
usar o compactador para colocar o membro compósito não curado em contato inicial com a ferramenta de cura em um ápice de um perfil ao longo do entalhe perfilado;

usar o compactador para formar o membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado e progressivamente para fora do ápice; e

usar o compactador para distribuir ondulações formadas no membro compósito não curado durante formação do membro compósito não curado abaixo no interior e ao longo do entalhe perfilado.

C2. É também provido o método do parágrafo C1, em que o uso do compactador para formar o membro compósito não curado é feito por uma de conformação por moldagem forçada e conformação por amarração.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para compactar um membro compósito não curado (30) contra uma superfície do mandril (66) com um perfil, caracterizado pelo fato de que compreende:

aderir o membro compósito não curado em um compactador (44);

usar o compactador para alinhar o membro compósito não curado com o perfil da superfície do mandril;

usar o compactador para colocar o membro compósito não curado inicialmente em contato com a superfície do mandril em um ápice (84) do perfil;

formar o membro compósito não curado sobre o perfil da superfície do mandril para fora do ápice; e

usar o compactador para compactar o membro compósito não curado contra a superfície do mandril;

em que a formação do membro compósito não curado é realizada por conformação por moldagem forçada do membro compósito não curado na superfície do mandril; e

a conformação por moldagem forçada inclui manter um relacionamento substancialmente constante entre extremidades do membro compósito não curado e a superfície do mandril à medida que o membro compósito não curado é formado na superfície do mandril.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

distribuir todas as ondulações (60a) que se formam no membro compósito não curado (30) durante a formação, deixando que o material no membro compósito não curado fique comprimido nos entalhes (54) no compactador (44).

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o membro compósito não curado (30) tem um eixo geométrico neutro (80) e o método compreende adicionalmente:

usar o compactador para reduzir ondulação (60a) do membro compósito não curado durante formação deslocando o local do eixo geométrico neutro do membro compósito não curado.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que formar o membro compósito não curado (30) inclui usar o compactador (44) para formar uma torção no membro compósito não curado.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que formação do membro compósito não curado (30) sobre o perfil é realizada depois que o membro compósito não curado tiver entrado em contato inicial com a superfície do mandril (66) no ápice (80).

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a formação é realizada formando o membro compósito não curado (30) na superfície do mandril (66) progressivamente para fora ao longo do membro compósito não curado a partir do ápice (80).

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que:

o membro compósito não curado (30) tem uma disposição posicional pré-selecionada quando entra em contato inicial com a superfície do mandril (66) no ápice (80), e

as disposições posicionais das seções externas do membro compósito não curado são mantidas substancialmente paralelas à disposição posicional pré-selecionada à medida que o membro compósito não curado é formado no perfil da superfície do mandril.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que formar o membro compósito não curado (30) inclui dobrar o membro compósito não curado em um raio de curvatura progressivamente menor.

9. Membro compósito, caracterizado pelo fato de que é compactado pelo método como definido na reivindicação 1.

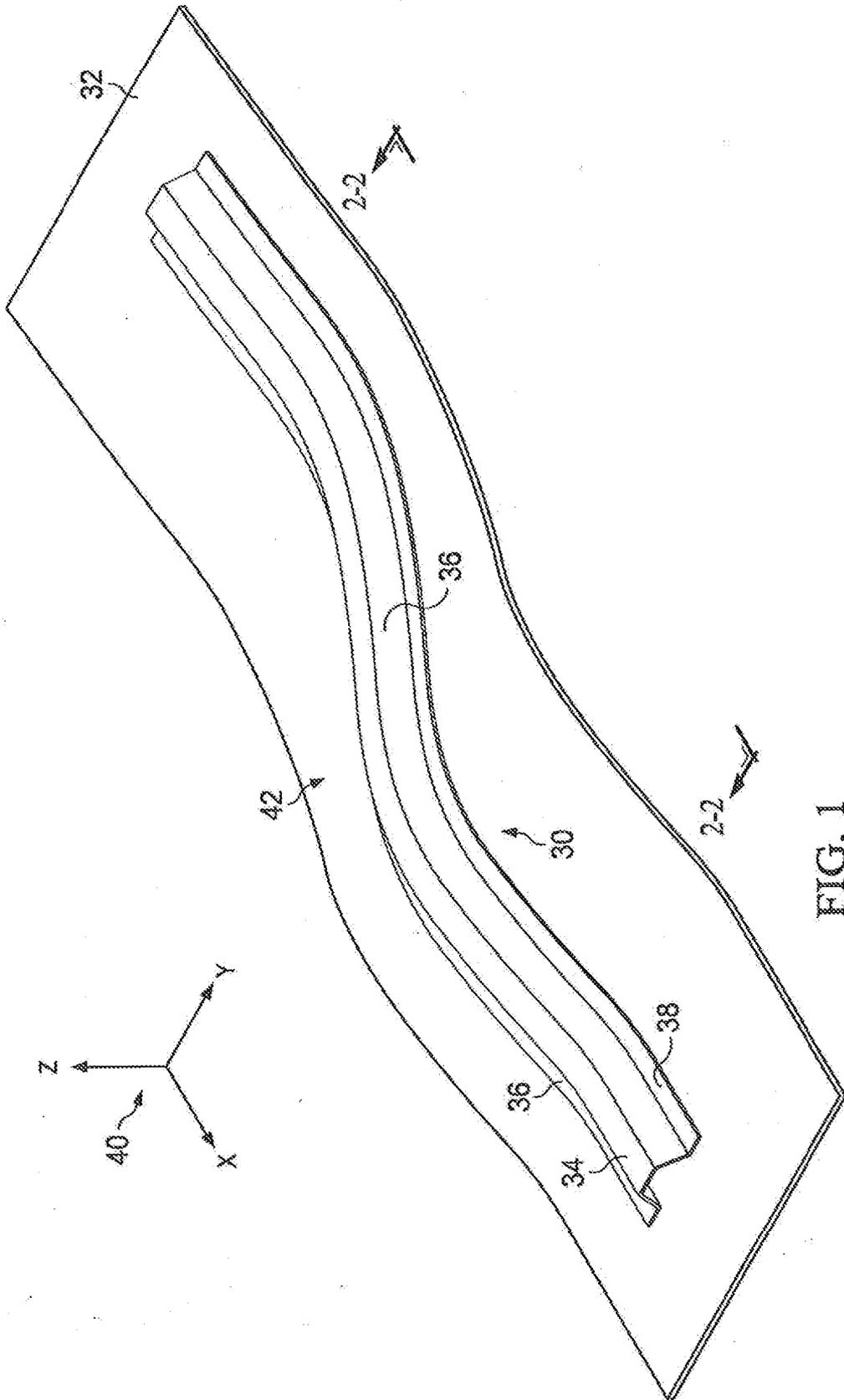


FIG. 1

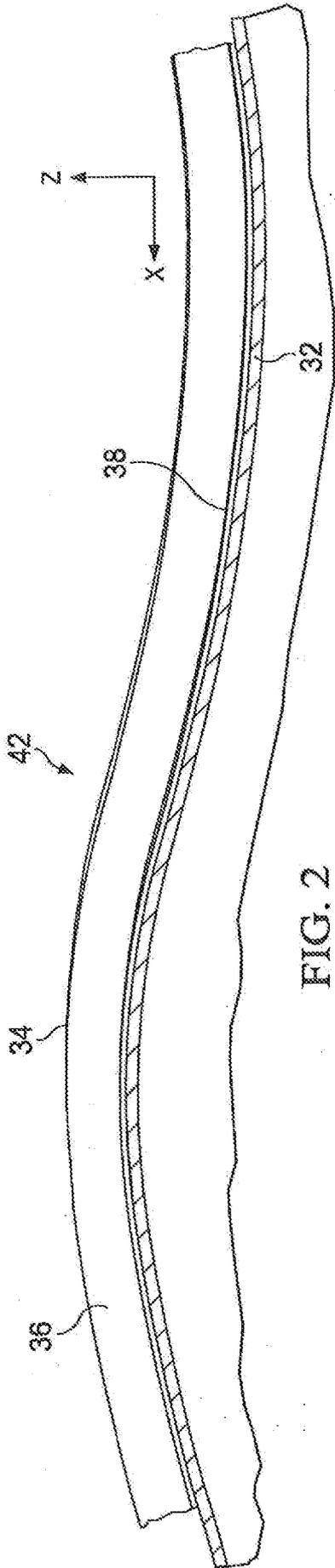


FIG. 2

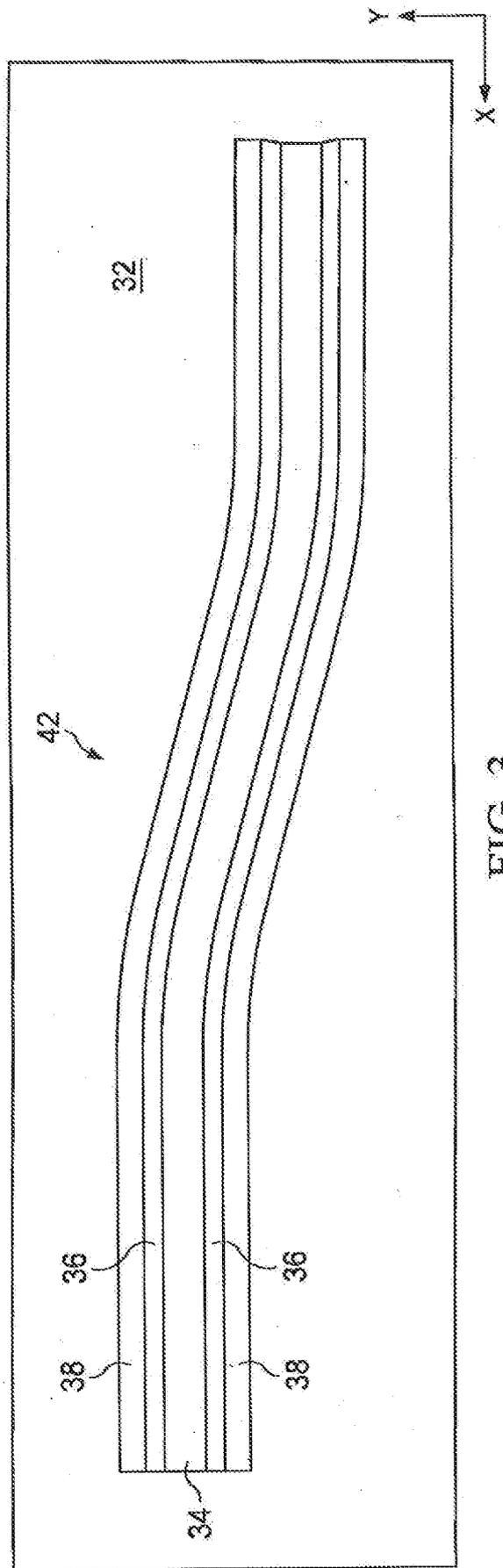


FIG. 3

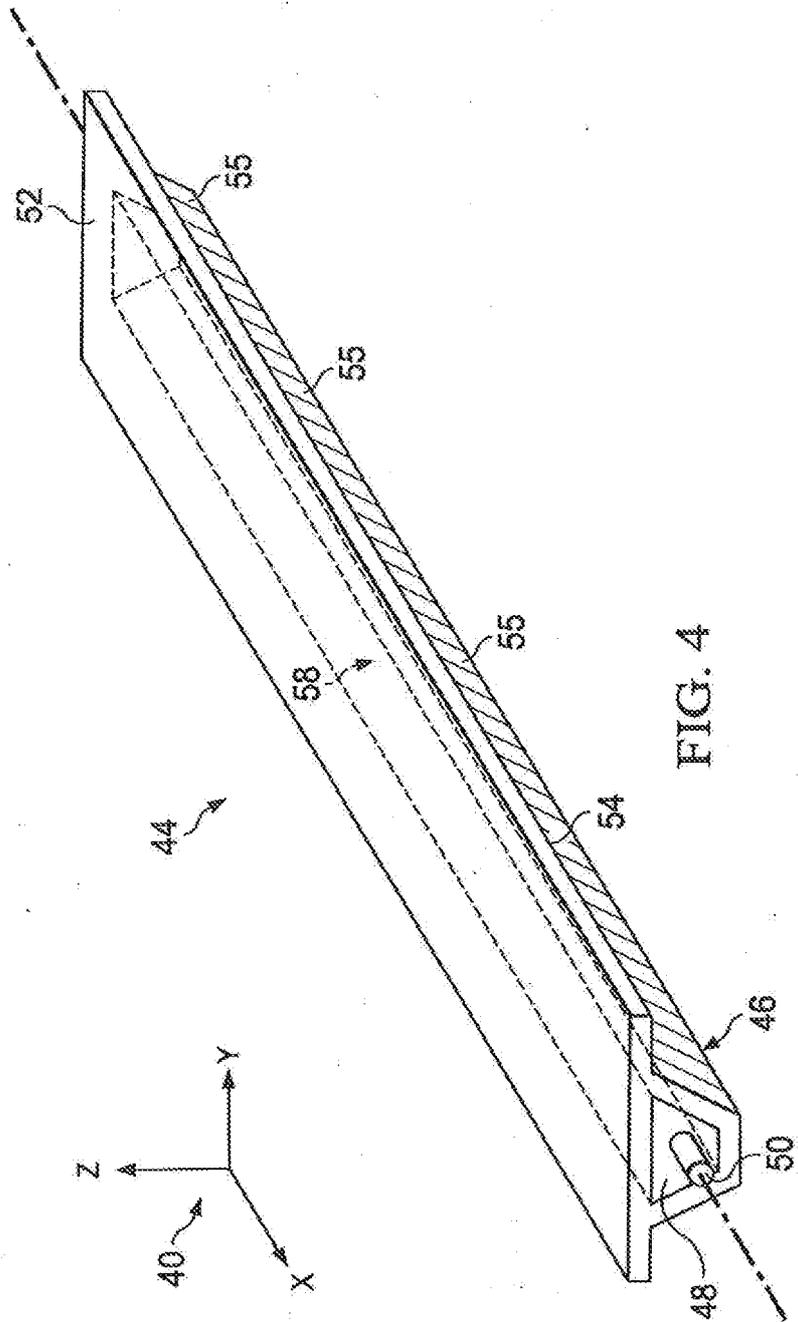
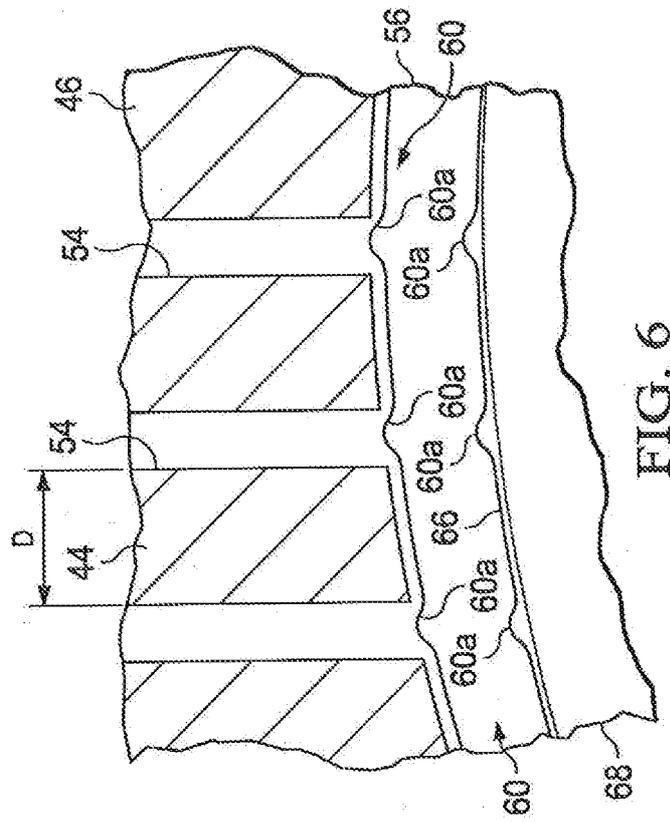
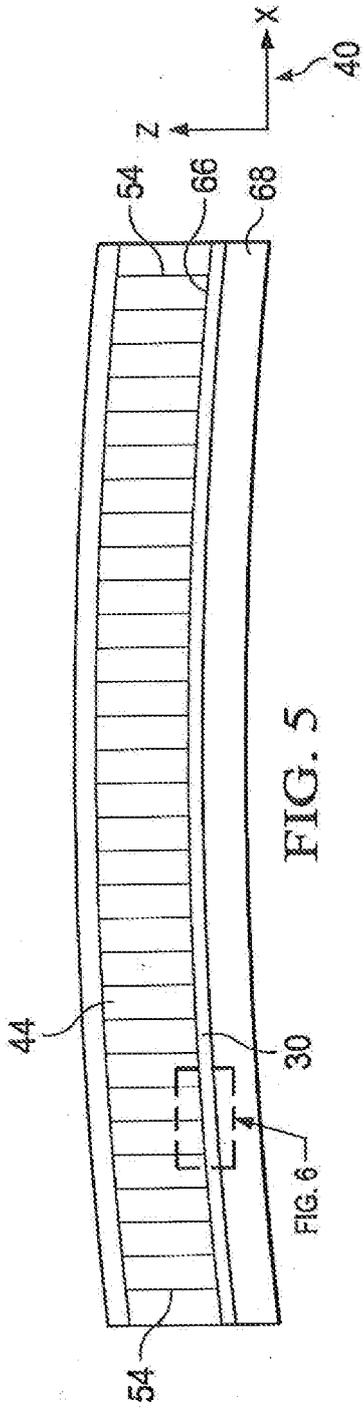


FIG. 4



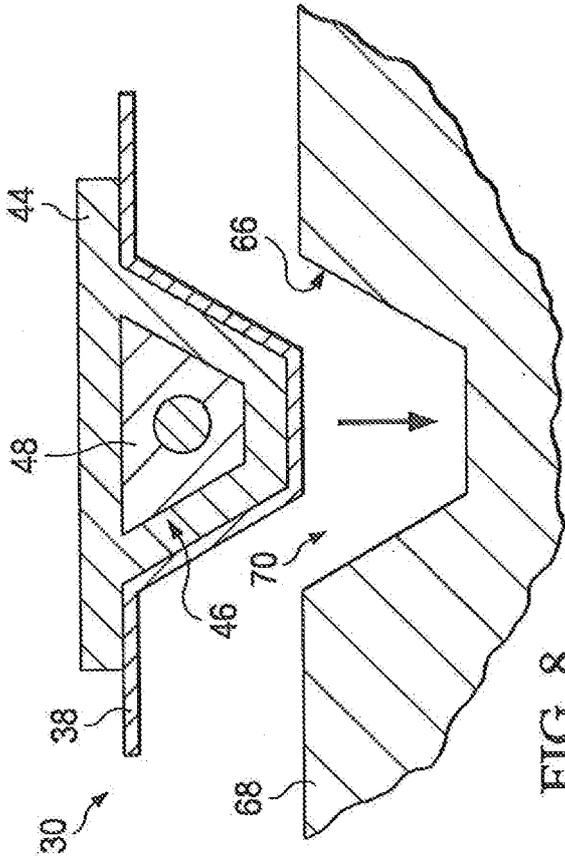


FIG. 7

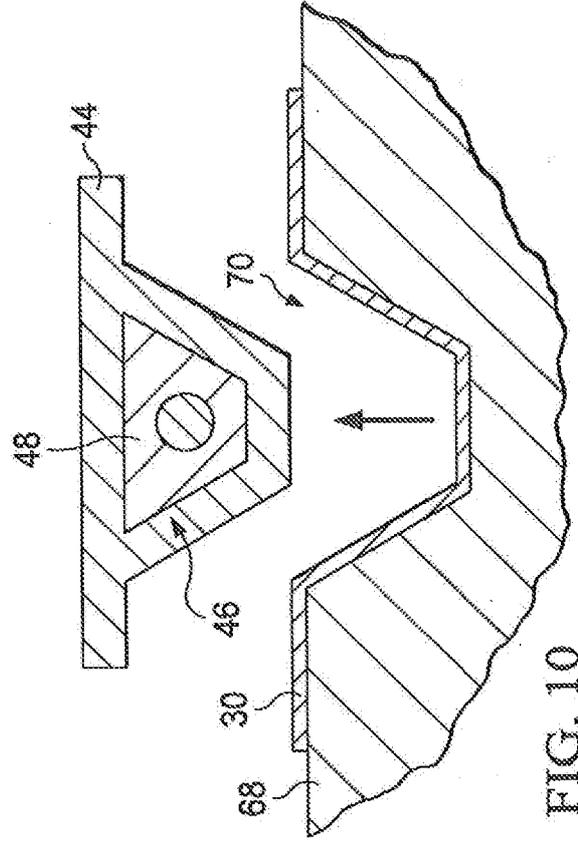


FIG. 8

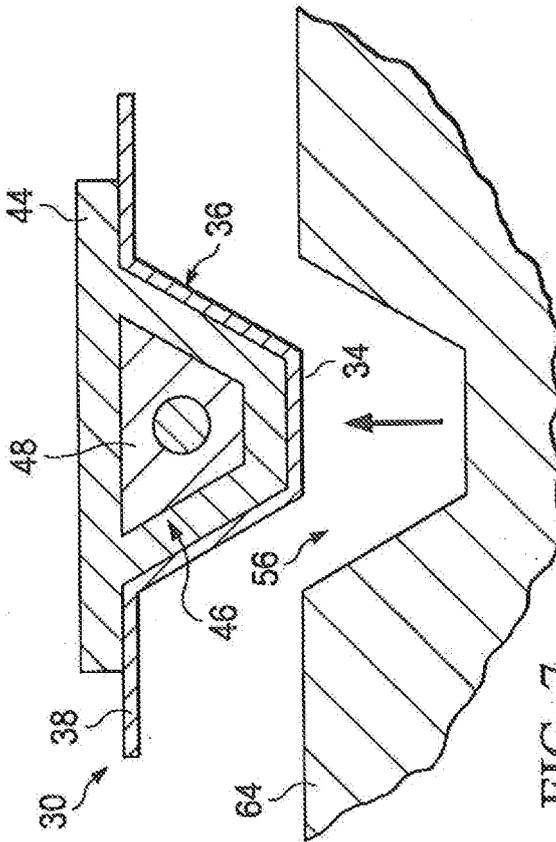


FIG. 9

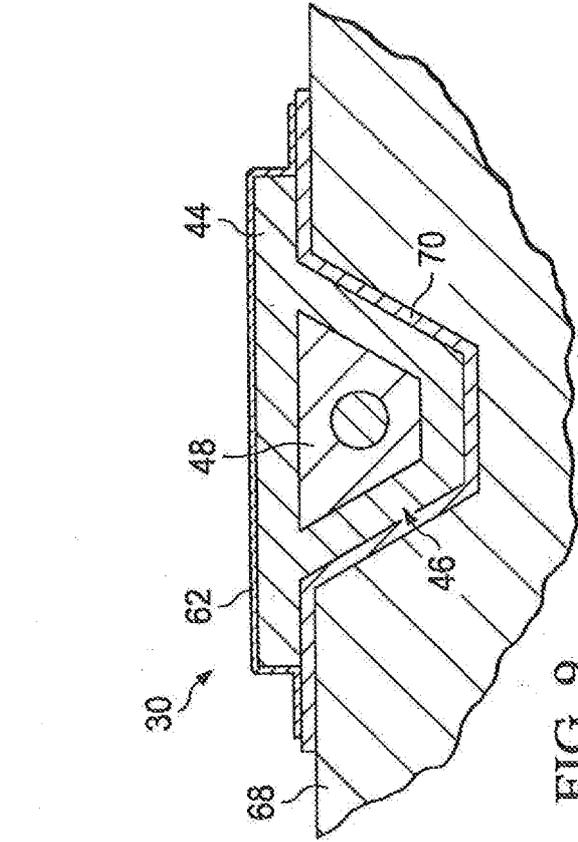
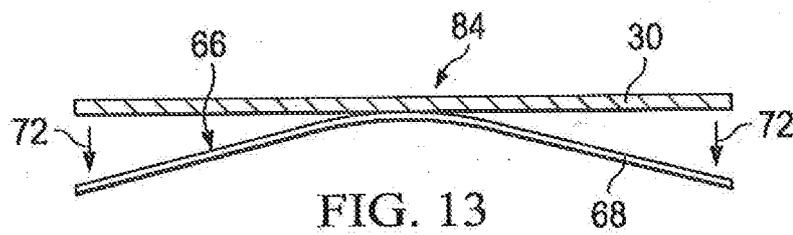
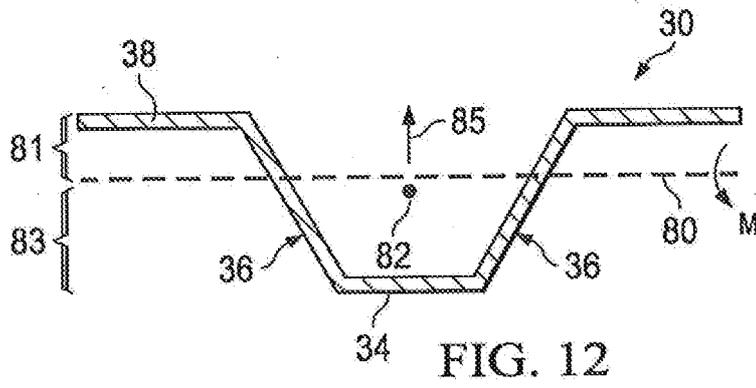
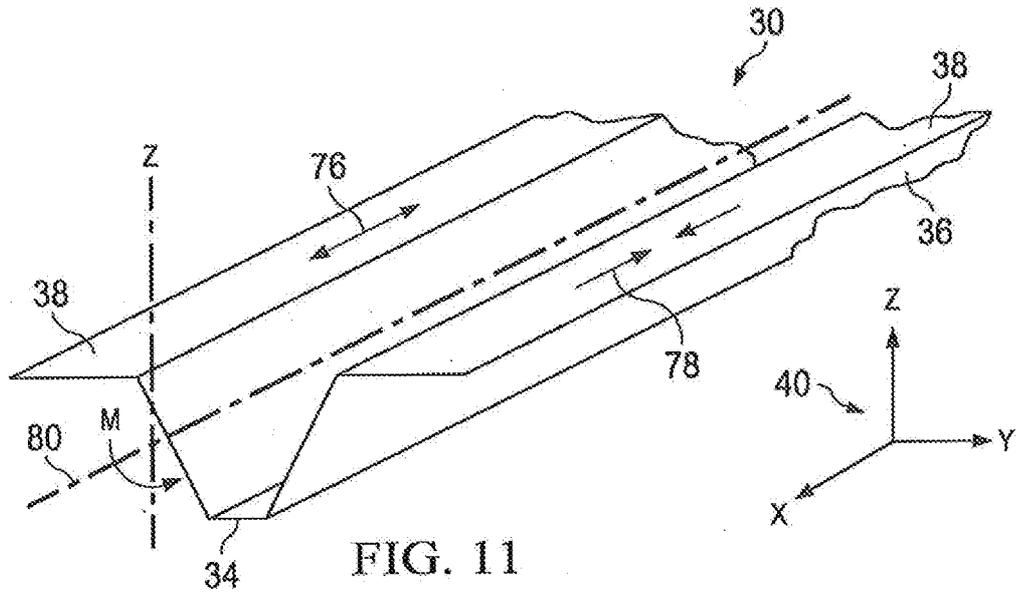
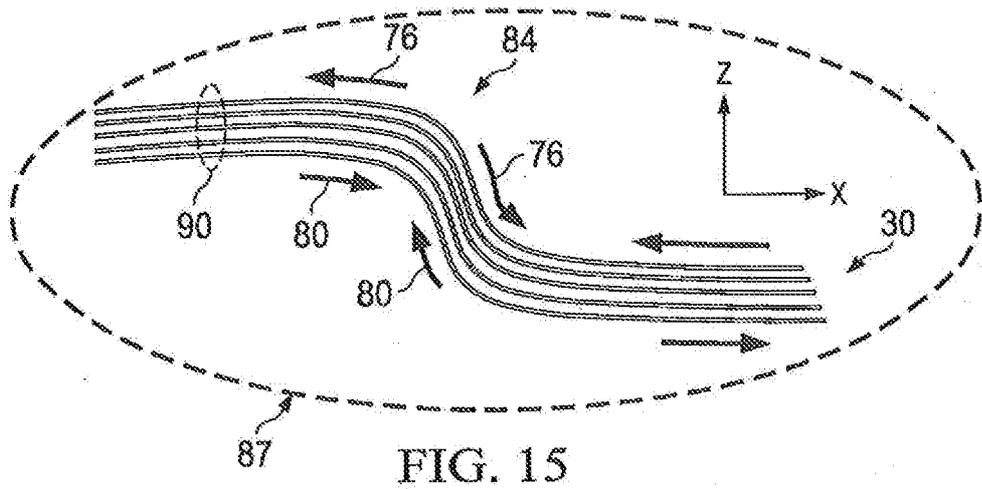
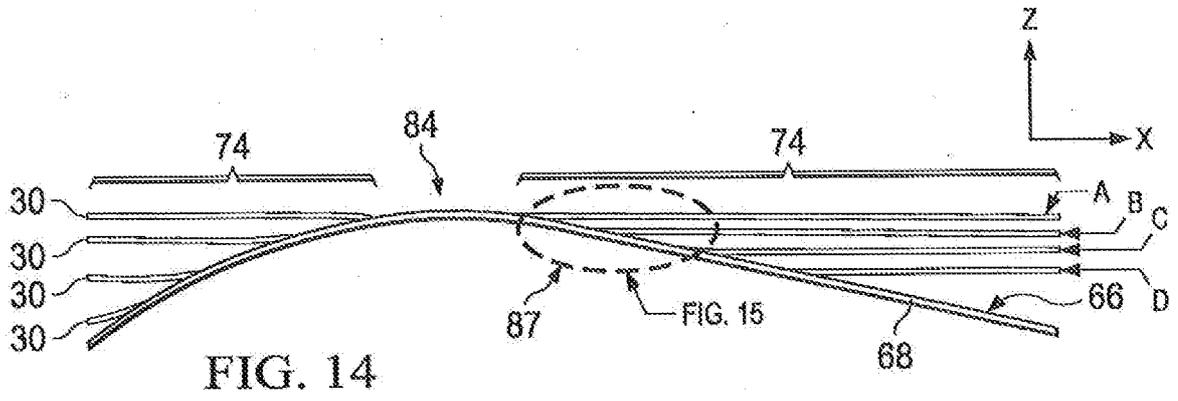


FIG. 10





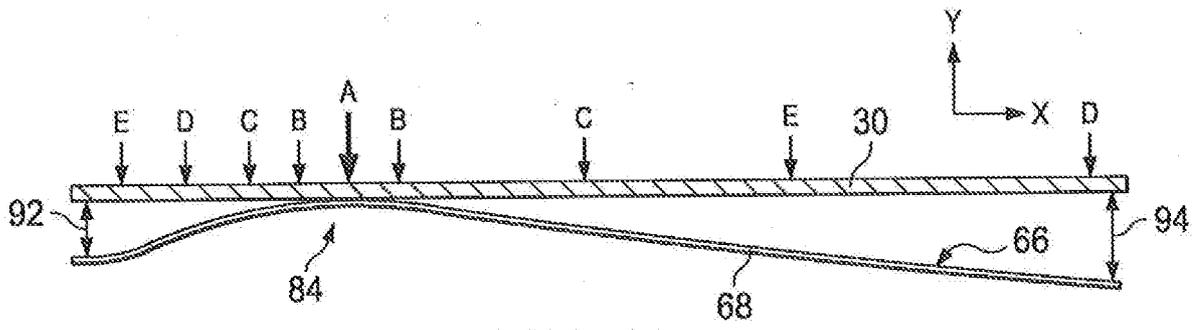


FIG. 16

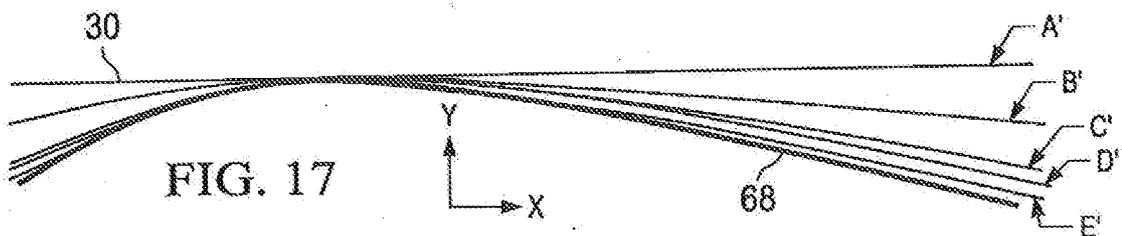


FIG. 17

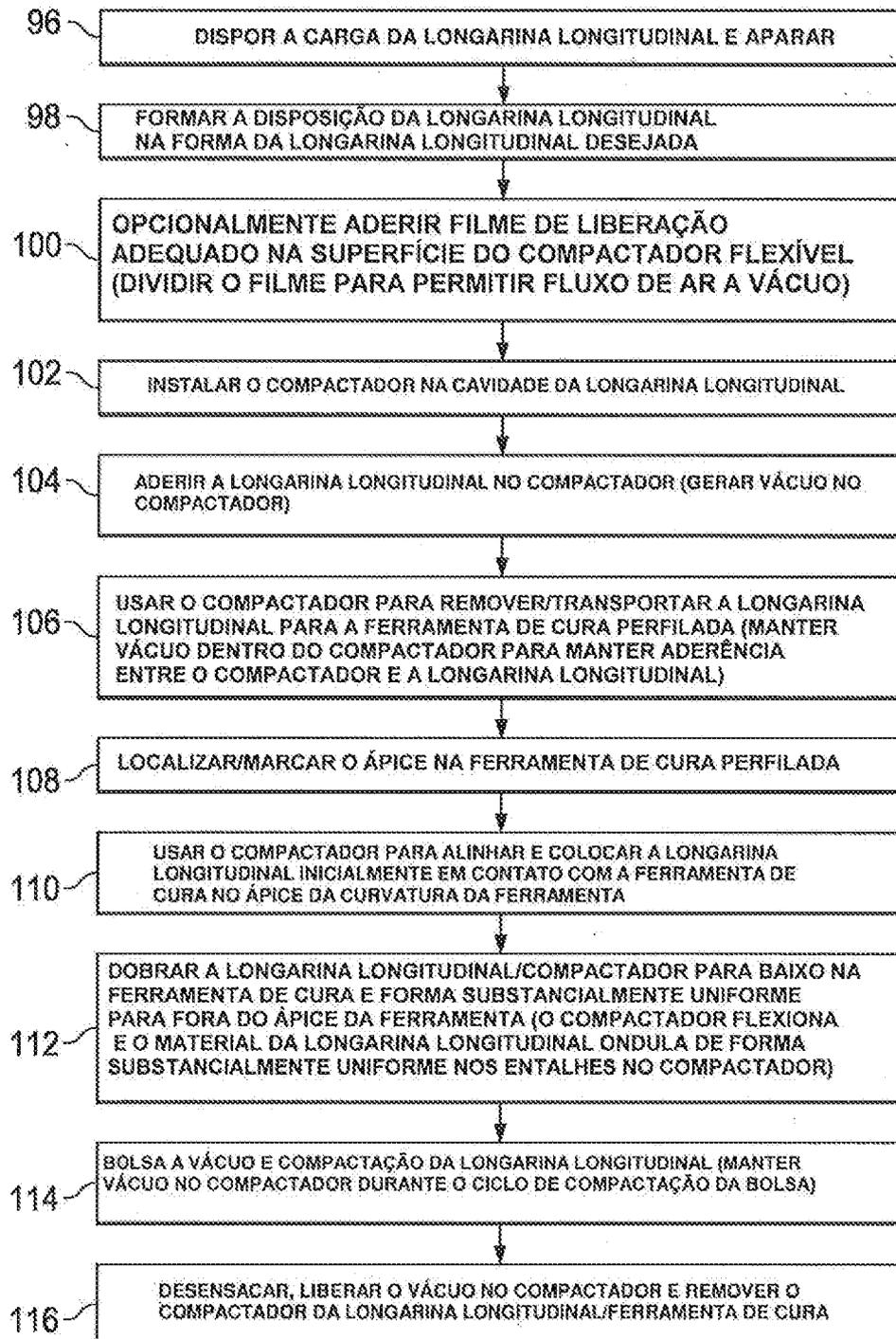


FIG. 18

FIG. 19 118

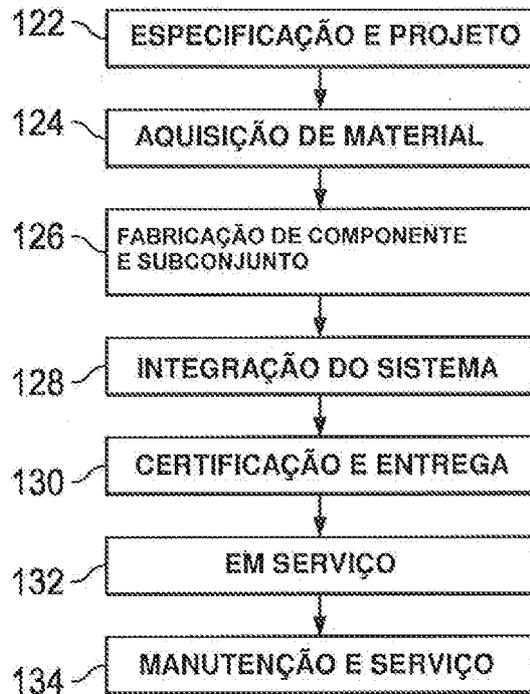
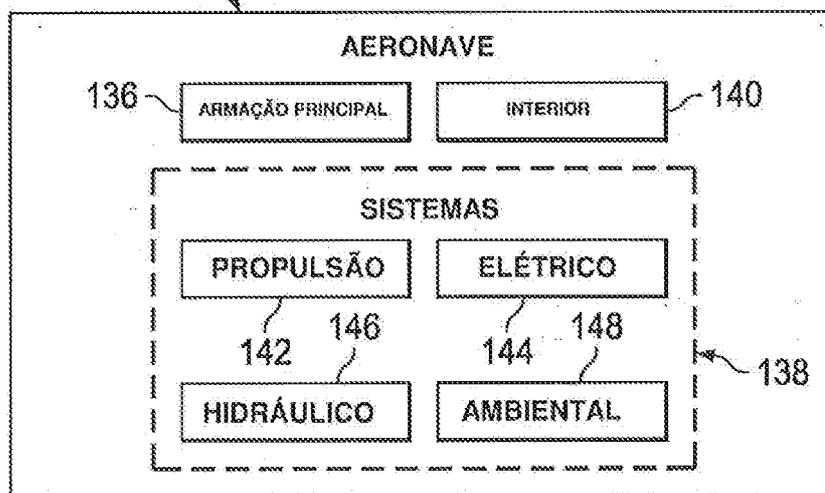


FIG. 20 120



RESUMO

“MÉTODO PARA COMPACTAR UM MEMBRO COMPÓSITO NÃO CURADO, E, MEMBRO COMPÓSITO”

É descrito um membro compósito não curado (30) que é formado sobre um mandril (66) com um perfil usando um compactador flexível (44). A formação é realizada para fora do ápice do perfil.