

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2008.06.21</b>	(73) Titular(es): <b>THE BOEING COMPANY</b> <b>100 NORTH RIVERSIDE PLAZA CHICAGO, IL</b> <b>60606-2016</b> <b>US</b>
(30) Prioridade(s): <b>2007.06.27 US 769082</b>	
(43) Data de publicação do pedido: <b>2009.01.14</b>	(72) Inventor(es): <b>PAUL E. NELSON</b> <b>US</b> <b>PETER D. MCCOWIN</b> <b>US</b> <b>WORM LUND</b> <b>US</b>
(45) Data e BPI da concessão: <b>2014.08.13</b> <b>176/2014</b>	(74) Mandatário: <b>CÁTIA CRISTIANA JORGE RIBEIRO</b> <b>LARGO DE SÃO DOMINGOS, 1 2910-092 SETÚBAL</b> <b>PT</b>

(54) Epígrafe: **MÉTODO E APARELHO PARA A CONFORMAÇÃO DE ARTIGOS PRÉ-IMPREGNADOS COMPÓSITOS**

(57) Resumo:

UMA FERRAMENTA E MÉTODO DE MOLDAGEM PARA A SUA UTILIZAÇÃO COM CONJUNTOS LAMINADOS COMPÓSITOS PRÉ-IMPREGNADOS PLANOS QUE INCORPORAM UM MANDRIL (10) SEGMENTADO EM MÚLTIPLOS BLOCOS DE MOLDAGEM, SENDO OS BLOCOS DE MOLDAGEM DIMENSIONADOS PARA RECEBER UM CONJUNTO (14) LAMINADO COMPÓSITO DOBRADO COM TODAS AS PARTES DO CONJUNTO LAMINADO COMPÓSITO ESPAÇADAS DESDE UMA SUPERFÍCIE DE FORMAÇÃO EM CADA BLOCO. UMA PLACA (12) ESTRIADA ENGATA-SE NA SUPERFÍCIE DE FORMAÇÃO DOS BLOCOS DE MOLDAGEM PARA PROPORCIONAR UM EIXO NEUTRO, PARA MANTER TODO O CONJUNTO LAMINADO COMPÓSITO EM TENSÃO DURANTE A MOLDAGEM. NAS FORMAS DE REALIZAÇÃO EXEMPLIFICATIVAS, O CONJUNTO (14) LAMINADO COMPÓSITO DOBRADO É MOLDADO NOS BLOCOS DE MOLDAGEM A PARTIR DO CONJUNTO LAMINADO COMPÓSITO PLANO E MANTIDO EM CONTACTO COM OS BLOCOS DE MOLDAGEM UTILIZANDO UMA CÂMARA DE VÁCUO. OS BLOCOS DE MOLDAGEM DE MANDRIL SÃO, DEPOIS, DESLOCADOS PARA ADOPTAR UMA CURVATURA DESEJADA NA PLACA ESTRIADA.

## RESUMO

### "MÉTODO E APARELHO PARA A CONFORMAÇÃO DE ARTIGOS PRÉ-IMPREGNADOS COMPÓSITOS"

Uma ferramenta e método de moldagem para a sua utilização com conjuntos laminados compósitos pré-impregnados planos que incorporam um mandril (10) segmentado em múltiplos blocos de moldagem, sendo os blocos de moldagem dimensionados para receber um conjunto (14) laminado compósito dobrado com todas as partes do conjunto laminado compósito espaçadas desde uma superfície de formação em cada bloco. Uma placa (12) estriada engata-se na superfície de formação dos blocos de moldagem para proporcionar um eixo neutro, para manter todo o conjunto laminado compósito em tensão durante a moldagem. Nas formas de realização exemplificativas, o conjunto (14) laminado compósito dobrado é moldado nos blocos de moldagem a partir do conjunto laminado compósito plano e mantido em contacto com os blocos de moldagem utilizando uma câmara de vácuo. Os blocos de moldagem de mandril são, depois, deslocados para adoptar uma curvatura desejada na placa estriada.

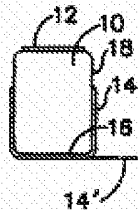


FIG. 1A

## **DESCRIÇÃO**

### **"MÉTODO E APARELHO PARA A CONFORMAÇÃO DE ARTIGOS PRÉ-IMPREGNADOS COMPÓSITOS"**

#### **CAMPO**

A presente invenção refere-se, de um modo geral, à moldagem de estruturas compósitas e, mais particularmente, a um método e ferramentas de moldagem para a moldagem de eixos únicos ou múltiplos de uma carga laminada plana de um pré-impregnado de epóxi utilizando um mandril flexível mantendo a secção transversal total do mandril e peça sob tensão durante a operação de moldagem de curva.

#### **ANTECEDENTES**

A substituição de elementos metálicos estruturais maquinados, fundidos, forjados ou estampados, tais como nervuras de asas de alumínio, num exemplo da indústria aeroespacial, por estruturas compósitas é cada vez mais desejável para se obter uma redução de peso e um melhoramento do desempenho de conjuntos estruturais. No exemplo da nervura de asa compósita, sem limitação, as nervuras podem ser semelhantes a nervuras de alumínio revestidas, utilizando reforços, cordas e esticadores separados. Todas as partes podem ser produzidas, principalmente, a partir de uma fita compósita pré-impregnada de epóxi, que, tipicamente, é colocada manualmente sobre um mandril com uma forma predeterminada seguida por uma cura numa autoclave.

As duas abordagens fundamentais presentemente existentes na técnica consistem em montar um laminado compósito numa forma de ferramenta de um modo predeterminado e dar-lhe a sua forma final no mandril de cura, como, e. g., divulgado no documento US 2006/0108055 A1 e de acordo com o preâmbulo das reivindicações 1 e 7, ou montar, de um modo predeterminado, uma carga plana de laminado compósito, moldá-la mecanicamente com a forma desejada e, em seguida, curá-la.

A moldagem de elementos compósitos que têm um contorno variável, com áreas locais tendo um contorno tão pronunciado como um raio de 300 polegadas, exige, actualmente, uma construção manual sobre um mandril com uma determinada forma. A uma cadência típica de uma libra por hora, por trabalhador, a montagem manual de um laminado dos grandes elementos estruturais não é uma abordagem económica em aplicações de produção em grande escala. A construção automatizada de elementos estruturais compósitos directamente em mandris de cura é possível com máquinas de colocação de fibras modificadas. No entanto, essa abordagem requer o desenvolvimento de máquinas específicas com um investimento muito elevado de capital associado.

Por conseguinte, é desejável montar conjuntos ou cargas de laminado compósito plano de um modo determinado e moldá-los com a forma desejada. Cargas planas são, tipicamente, fabricadas utilizando métodos de automação de fita compósita e estas máquinas são muito rentáveis na produção de cargas planas. Os processos de fabrico actuais disponibilizam facilmente uma capacidade de moldar cargas planas de forma a dobrá-las numa forma de canal, num mandril flexível e, em seguida, curar o mandril. No entanto, este processo só é adequado para grandes

curvas de raio. Em raios de 1.500 polegadas ou menos, pode haver problemas de deformação no conjunto laminado compósito pré-impregnado.

Também é desejável, por conseguinte, proporcionar um método e ferramentas para a formação e cura de unidades de cargas planas de materiais pré-impregnados com centros de curvatura únicos ou múltiplos que impeçam uma deformação do conjunto compósito.

## **SUMÁRIO**

As formas de realização aqui descritas proporcionam uma ferramenta e método de moldagem para a sua utilização com conjuntos ou cargas de laminados impregnados planos que incorporam um mandril segmentado em múltiplos blocos de moldagem, sendo os blocos de moldagem dimensionados para receber um conjunto laminado compósito dobrado com todas as partes do conjunto laminado compósito espaçadas desde uma superfície de formação em cada bloco. Uma placa estriada engata-se na superfície de formação dos blocos de moldagem. Nas formas de realização exemplificativas, o conjunto laminado compósito dobrado é moldado nos blocos de moldagem a partir do conjunto laminado compósito plano e mantido em contacto com os blocos de moldagem utilizando uma câmara de vácuo. Os blocos de moldagem de mandril são, depois, deslocados para adoptar uma curvatura desejada através de actuadores ligados à placa estriada que obrigam a placa estriada a adoptar a curvatura desejada. Uma ferramenta de conformação na qual a placa estriada está engatada pode ser empregue para definir a curva desejada.

Numa segunda forma de realização, a curvatura é induzida ao empregar a placa estriada sobre um suporte em forma de sela no qual se coloca o mandril segmentado. Após o relaxamento dos blocos de moldagem segmentados no mandril, sobre o suporte em forma de sela, a curvatura desejada é induzida.

Os ensinamentos da presente invenção também podem ser implementados num sistema de ferramentas para a moldagem de elementos estruturais compósitos compreendendo:

um mandril tendo uma pluralidade de blocos de moldagem em segmentos, sendo os referidos blocos de moldagem dimensionados para receber um conjunto laminado compósito dobrado com todas as partes do conjunto laminado compósito espaçadas desde uma superfície de formação em cada bloco;

uma placa estriada engatando a superfície de formação dos blocos de moldagem e incorporando vedantes de vácuo;

um tabuleiro de carga recebendo um conjunto laminado compósito plano, podendo o referido tabuleiro de carga ser posicionado relativamente ao mandril;

uma câmara de vácuo que pode ser inserida entre o tabuleiro de carga e o conjunto laminado compósito plano, engatando-se a referida câmara de vácuo nos vedantes de vácuo na placa estriada e, após aplicação de vácuo, impelindo a referida câmara de vácuo o conjunto laminado compósito colocando-o em contacto íntimo com os blocos de moldagem de mandril; e

uma pluralidade de actuadores suportando a placa estriada, podendo os referidos actuadores ser posicionados de modo a induzir uma curvatura desejada da placa estriada.

O sistema de ferramentas compreende, ainda, de um modo preferido, uma ferramenta de conformação engatando-se na placa estriada, impelindo os actuadores a placa estriada e colocando-a em contacto íntimo com a ferramenta de conformação para induzir a curvatura desejada.

O tabuleiro de carga incorpora, de um modo preferido, aquecedores para aquecer o conjunto laminado compósito levando-o a atingir a temperatura de moldagem.

O sistema de ferramentas compreende, ainda, de um modo preferido, uma ferramenta de transferência incorporando punções com uma determinada forma tendo uma curvatura substancialmente equivalente à curvatura desejada da placa estriada e podendo ser posicionada em relação ao mandril para receber um conjunto laminado compósito moldado.

O sistema de ferramentas compreende, ainda, de um modo preferido, uma ferramenta de cura com contorno que pode ser posicionada para receber o conjunto laminado compósito moldado proveniente da ferramenta de transferência, podendo a referida ferramenta de cura ser manipulada para suportar o conjunto laminado compósito moldado numa autoclave para a cura.

A ferramenta de cura pode, de um modo preferido, rodar para uma posição invertida para engatar o conjunto laminado compósito moldado na ferramenta de transferência e pode rodar para uma posição vertical para suportar o conjunto laminado compósito

moldado para cura e o referido sistema compreende, ainda, meios para a fixação do conjunto laminado compósito moldado na ferramenta de cura para a rotação da posição invertida para a posição vertical.

Os ensinamentos da presente invenção também podem ser implementados num método de moldagem de componentes estruturais compósitos pré-impregnados compreendendo

a colocação de um conjunto laminado compósito multicamada de material pré-impregnado sobre uma folha elastomérica que reveste os lados e o fundo de um tabuleiro alongado que tem paredes laterais e de extremidade verticais;

o aquecimento do conjunto laminado compósito até uma temperatura de moldagem de, aproximadamente, 54 graus C (130 graus F);

a colocação de um mandril de moldagem flexível com um eixo neutro de curvatura sobre a sua superfície superior, no topo do conjunto laminado compósito, de modo a criar uma câmara estanque entre o mandril e o tabuleiro alongado revestido a elastómero;

a aplicação de um vácuo na câmara estanque, afastando, assim, a folha elastomérica e o conjunto laminado compósito pré-impregnado da superfície do tabuleiro alongado e em torno da superfície do mandril de moldagem;

a elevação do mandril de moldagem do tabuleiro alongado e o ajuste do referido mandril de moldagem ao contorno desejado numa direcção longitudinal, enquanto o referido vácuo é, ainda, aplicado à folha elastomérica e conjunto laminado compósito;

a movimentação do tabuleiro alongado de debaixo do conjunto laminado compósito moldado e conjunto de mandril e a sua substituição por uma ferramenta de transferência para suportar o conjunto laminado compósito moldado;

a libertação do vácuo entre o conjunto laminado compósito e o mandril de moldagem, transferindo o conjunto laminado compósito para a ferramenta de transferência;

a movimentação da ferramenta de moldagem de cima do conjunto laminado compósito suportado e a colocação de um mandril de cura acima do conjunto laminado compósito suportado;

a fixação do conjunto laminado compósito ao mandril de cura, a elevação do mandril de cura e conjunto laminado compósito da ferramenta de suporte, a rotação da ferramenta de cura e conjunto laminado compósito em cento e oitenta graus até uma orientação vertical;

a remoção da folha elastomérica e ensacamento de vácuo do mandril e conjunto laminado compósito da forma normal; e,

a cura do conjunto laminado compósito numa autoclave.

Outras características e vantagens podem ser obtidas da descrição que se segue e dos desenhos anexos.

Deve compreender-se que as características acima mencionadas e as que ainda serão explicadas a seguir podem ser utilizadas não só nas respectivas combinações indicadas, mas também em outras combinações ou isoladamente, sem divergir do âmbito da presente invenção, como reivindicada. Em particular, as

características definidas em qualquer reivindicação podem ser utilizadas em qualquer combinação com outras características definidas em qualquer outra reivindicação. Além disso, as características mencionadas em relação com uma forma de realização também podem ser utilizadas em outras formas de realização descritas no pedido.

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

Estas e outras características e vantagens das formas de realização da divulgação serão melhor compreendidas após recorrer à descrição detalhada que se segue quando considerada em associação com os desenhos anexos, em que:

A FIG. 1A é uma vista de topo de uma forma de realização de um mandril flexível com placa estriada e um conjunto laminado compósito plano formado ao longo de uma secção transversal do mandril;

A FIG. 1B é uma vista lateral da forma de realização da FIG. 1A;

A FIG. 2A é uma vista de topo da forma de realização da FIG. 1A após a flexão do mandril e placa estriada;

A FIG. 2B é uma vista lateral da forma de realização flectida da FIG. 2A;

A FIG. 3A é uma vista de topo de ferramentas de suporte exemplificativas para accionamento do mandril flexível com placa

estriada que mostra a inserção inicial de um conjunto laminado compósito plano;

A FIG. 3B é uma vista em corte lateral da linha média das ferramentas exemplificativas e conjunto laminado compósito da FIG. 3A;

A FIG. 4A é uma vista de topo que mostra o conjunto laminado compósito dobrado suportado pela câmara de vácuo no mandril;

A FIG. 4B é uma vista lateral em semi-corte do conjunto laminado compósito da FIG. 4A;

A FIG. 5A é uma vista de topo que mostra o conjunto laminado compósito moldado;

A FIG. 5B é uma vista lateral em semi-corte do conjunto laminado compósito moldado da FIG. 5A;

A FIG. 6 é uma vista de topo da ferramenta de transferência recebendo o conjunto laminado compósito moldado;

A FIG. 7 é uma vista de topo do mandril de cura invertido na posição coincidente com o conjunto laminado compósito moldado;

A FIG. 8 é uma vista de topo do mandril de cura invertido com o conjunto laminado compósito moldado no lugar;

A FIG. 9 é uma vista de topo do mandril de cura com o conjunto laminado compósito curado;

A FIG. 10A é uma vista de topo do conjunto laminado compósito curado mostrando a linha de separação simétrica;

A FIG. 10B é uma vista lateral parcial do conjunto laminado compósito curado;

A FIG. 11A é um esquema isométrico de uma linha de ferramentas exemplificativa para a realização do método exemplificativo;

A FIG. 11B é um fluxograma para um fluxo de fabrico exemplificativo empregando a linha de ferramentas da FIG. 11A para a modelagem de peças;

A FIG. 12A é uma vista isométrica de um conjunto estrutural compósito exemplificativo alternativo;

A FIG. 12B é uma vista em corte do conjunto estrutural compósito da FIG. 12A;

A FIG. 13 é uma vista de topo que mostra uma unidade de conjunto laminado compósito para o conjunto estrutural compósito das FIG. 12A e B;

FIG. 14 é uma vista de topo de uma primeira unidade alternativa de conjunto laminado compósito para o conjunto estrutural compósito das FIG. 12A e B;

A FIG. 15 é uma vista de topo de uma segunda unidade alternativa de conjunto laminado compósito para o conjunto estrutural compósito das FIG. 12A e B;

A FIG. 16 é uma vista de topo de um mandril flexível e de uma configuração de ferramentas de suporte para a moldagem de um eixo múltiplo de curvatura;

A FIG. 17 é uma vista lateral de um mandril flexível e de uma configuração de ferramentas de suporte para a moldagem de um eixo múltiplo de curvatura;

A FIG. 18 é uma vista isométrica das FIG. 16 e 17;

A FIG. 19 é uma vista detalhada dos elementos de mandril flexível; e,

A FIG. 20 é uma peça estrutural moldada exemplificativa;

A FIG. 21 é um fluxograma de metodologia de produção e manuseamento de aeronaves; e,

A FIG. 22 é um diagrama de blocos de uma aeronave.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

As formas de realização aqui descritas empregam um mandril flexível segmentado recebendo um conjunto laminado compósito plano para formar e engatar uma placa estriada afastada radialmente do conjunto compósito laminado para o interior em relação ao centro de curvatura e proporcionando um eixo neutro para manter todo o conjunto laminado compósito em tensão durante a formatação. A FIG. 1A mostra, numa vista de topo, o mandril 10 engatado numa placa 12 estriada com um conjunto 14 laminado compósito plano (mostrado na sua configuração inicial a

tracejado 14') engatado na superfície 16 externa do mandril e envolvido em torno dos lados 18 do mandril, como descrito posteriormente em maior detalhe. O conjunto laminado compósito para a forma de realização mostrada destina-se à moldagem de cordões de nervuras numa estrutura de aeronave. No caso da forma de realização mostrada, a unidade tem camadas contínuas para auxiliar a moldagem. A FIG. 1B mostra, em vista lateral, o conjunto laminado compósito estendido em torno da superfície lateral do mandril, que é segmentado em blocos de moldagem (com segmentos exemplificativos identificados como elementos 10a, 10b e 10c) engatados na placa estriada.

As FIG. 2A e 2B mostram o mandril numa posição formada sobre um centro de curvatura designado pela seta 20 direccional. O raio de curvatura mostrado no desenho é constante, mas, em formas de realização alternativas, varia ao longo do comprimento do mandril segmentado com conjuntos de segmentos formando raios de curvatura variável. O reforço 22 de cordão de nervura exemplificativo e flange 24 podem ser vistos com uma linha 25 de separação para as partes esquerda e direita. Como mostrado nas figuras, a placa estriada está deslocada para dentro em relação a todos os elementos do conjunto laminado compósito dobrado em contacto com os blocos de moldagem numa superfície 11 de formação e proporcionando um eixo neutro. Os segmentos de mandril expandem-se em resposta à curvatura da placa estriada mantendo todo o conjunto laminado compósito em tensão para a moldagem.

As FIG. 3A e 3B mostram uma primeira forma de realização exemplificativa de ferramentas de suporte e moldagem para o mandril 10 e placa 12 estriada e um método para moldar as peças compósitas desejadas será descrito começando com estas figuras.

Um tabuleiro 28 é utilizado para receber o conjunto 14' laminado compósito plano, que foi construído com a estrutura de camadas desejada utilizando uma Máquina de Laminagem de Fita Plana (FTLM), máquina de laminagem de compósitos ou Laminadora com Movimento Alternado de Longarinas Compósitas (CSSRL) ou máquinas de construção semelhantes conhecidas na técnica. Uma folha 29 elastomérica é aplicada no tabuleiro 28 antes de inserir o conjunto laminado compósito plano para utilização, como será descrito posteriormente em maior detalhe. Aquecedores 30 de tira estão ligados ao fundo do tabuleiro para o aquecimento do conjunto laminado compósito plano no tabuleiro, reduzindo, assim, a viscosidade total do sistema resinoso no interior do conjunto compósito para facilitar a moldagem conformada do laminado plano. A placa 12 estriada estende-se para além da extensão lateral dos blocos de moldagem de mandril e incorpora vedantes 32 piramidais, que se engatam por compressão descendente na folha 29 elastomérica, como um vedante de vácuo. Actuadores móveis, sob a forma de hastes 34 de suporte retrácteis, estão montados na placa estriada e uma ferramenta 36 de conformação de cordão proporciona um contorno de superfície para coincidir com a placa 12 estriada para conferir o contorno desejado. Embora se empregue uma ferramenta de conformação na forma de realização mostrada, formas de realização alternativas podem empregar um maior número de hastes de suporte com um menor espaçamento e com uma placa estriada mais espessa para conferir directamente o contorno da placa.

O conjunto 14' laminado compósito plano é aquecido até à temperatura de moldagem utilizando os aquecedores 30 de tira e o mandril 10 é arriado (ou, em alternativa, o tabuleiro é elevado) para se engatar no conjunto laminado compósito na superfície 16 externa do mandril 16, como mostrado nas FIG. 4A e 4B. O vácuo é

criado fazendo com que a folha 29 elastomérica adopte o contorno do mandril 10 envolvendo o conjunto 14 laminado compósito plano sobre os lados do mandril 10.

O mandril 10 é, depois, elevado do tabuleiro 28 por retracção das hastes 34 de suporte, que também engatam a placa 12 estriada com a ferramenta 36 de conformação, como mostrado nas FIG. 5A e 5B. Os segmentos individuais ou blocos de moldagem (10a, 10b a título de exemplo) do mandril deslocam-se de um modo consistente com a curvatura induzida da placa estriada formando o conjunto 14 laminado compósito, que é mantido no lugar pela folha elastomérica sob vácuo. Curvaturas alternativas são obtidas pela utilização de diferentes ferramentas de conformação ou, no caso da forma de realização descrita, empregando actuadores em que se programa apenas o comprimento de retracção dos diversos actuadores para conseguir a curvatura desejada da placa estriada.

A FIG. 6 mostra uma ferramenta 38 de transferência, que é inserida sob as ferramentas de suporte do mandril para receber o conjunto 14 laminado compósito moldado. No caso da forma de realização mostrada, a ferramenta 38 de transferência emprega múltiplos punções 40 ajustáveis que, para a forma de realização mostrada, correspondem aos segmentos no mandril, suportados por braços 42 estendidos desde elementos 44 de suporte verticais. Material 46 de fixação é colocado nos punções para receber o conjunto laminado compósito. O conjunto 14 laminado compósito é libertado do mandril 10 pela libertação do vácuo na folha 29 elastomérica. O mandril e estrutura de suporte associada e a ferramenta de transferência são, depois, separados e um mandril 48 de cura é invertido sobre o conjunto laminado compósito suportado, como mostrado na FIG. 7. O mandril 48 de

cura tem um perfil adaptado para receber o conjunto laminado compósito moldado e é arriado até entrar em contacto com o conjunto 14 laminado compósito 14. A fixação 46 é, depois, acoplada ao mandril 48 de cura para suportar o conjunto 14 laminado compósito e o mandril de cura é, então, afastado, por elevação, da estrutura de suporte possuindo o conjunto laminado compósito, como mostrado na FIG. 8. O mandril 48 de cura é, depois, rodado para suportar o conjunto 14 laminado compósito, as fixações 46 são removidas e o mandril e conjunto laminado compósito são inseridos numa autoclave ou outro elemento de aquecimento para a cura do conjunto laminado compósito. Uma peça acabada para o cordão de nervura de asa é mostrada na FIG. 10. No caso da forma de realização mostrada, emprega-se um único conjunto 14 laminado compósito para moldar peças simetricamente idênticas com a linha 25 de separação anteriormente descrita para separar os elementos esquerdo e direito.

O método e ferramentas descritos são facilmente adaptáveis a uma produção de cadência elevada empregando uma linha, como mostrado na FIG. 11A. O tabuleiro 28 está instalado sobre um trilho de rolos 50. Um conjunto laminado compósito plano e pré-impregnado é preparado, indexado e colocado no tabuleiro 28, na parte superior de uma folha elastomérica, como descrito anteriormente. O tabuleiro 28 é colocado sobre a mesa de alimentação. O conjunto laminado compósito pré-impregnado é aquecido até uma temperatura de moldagem; no caso da forma de realização exemplificativa, aproximadamente 54 graus C (130 graus F). O tabuleiro 28 é deslocado ao longo dos trilhos 50 até ficar posicionado sob a placa 12 estriada, que é suportada pelos seus actuadores 34 a partir de uma estrutura 52 vertical. Os actuadores 34 fazem descer a placa 12 estriada até ao topo do tabuleiro 28. Com o tabuleiro unido de modo estanque

à placa estriada, aplica-se vácuo à cavidade. Isto puxa a folha 29 elastomérica e o conjunto laminado compósito pré-impregnado para cima até ao mandril 10 de moldagem segmentado. O conjunto laminado compósito enrola-se em torno dos segmentos de moldagem criando uma forma de canal. O tabuleiro 28 de carregamento é removido para a sua posição original.

Os actuadores 34 elevam a placa 12 estriada, conjunto 14 laminado compósito e folha 29 elastomérica para fora do tabuleiro. Ainda sob vácuo, os actuadores 34 movimentam-se para posições programadas para curvar a placa 12 estriada e conjunto 14 laminado compósito de canal. Enquanto o conjunto laminado compósito moldado arrefece, uma mesa de vaivém com a ferramenta 38 de transferência com punções correspondentes desliza para uma posição predeterminada por baixo do conjunto 14 laminado compósito e suportes são elevados para suportar o conjunto laminado compósito moldado. O vácuo é libertado, permitindo que o conjunto 14 laminado compósito fique totalmente suportado na mesa de vaivém possuindo a ferramenta 38 de transferência. A mesa de vaivém movimenta o conjunto laminado compósito na direcção do manipulador de ferramenta de cura.

A ferramenta 48 de cura, numa atitude invertida, é arriada para coincidir com o conjunto 14 laminado compósito moldado. Depois de a ferramenta 48 de cura estar assente no conjunto laminado compósito moldado, o conjunto laminado compósito moldado e folha elastomérica são presos à ferramenta de cura. A ferramenta 48 de cura e o conjunto 14 laminado compósito moldado são retirados, no sentido ascendente, da ferramenta 38 de transferência e a ferramenta de cura é rodada para a posição vertical. A fixação e folha elastomérica são removidas deixando o conjunto laminado compósito moldado na ferramenta de cura. A

ferramenta de cura é removida da célula. O conjunto laminado compósito moldado é ensacado a vácuo na ferramenta de cura e enviado para uma autoclave para cura. Embora não mostrado nos desenhos, se o tempo de cura e processos anteriormente observados forem aproximadamente equivalentes, a autoclave pode ser localizada numa extensão dos trilhos permitindo que os suportes da ferramenta de cura sejam montados nos trilhos para movimentar a ferramenta e ensacar directamente o conjunto laminado compósito na autoclave.

Uma forma de realização do processo empregando o sistema de ferramentas da FIG. 11A é descrita na FIG. 11B. O processo é iniciado pela colocação de uma carga multi-camada de material pré-impregnado sobre uma folha elastomérica que reveste os lados e fundo de um tabuleiro alongado que tem paredes laterais e de extremidade verticais no passo 1102. O tabuleiro alongado está assente numa mesa horizontal e plana. A carga é aquecida até uma temperatura de moldagem de, aproximadamente, 54 graus C (130 graus F) no passo 1104. Um mandril de moldagem flexível é colocado com um eixo neutro de curvatura sobre a sua superfície superior no topo da carga, de modo a criar uma câmara estanque entre o mandril e o tabuleiro alongado revestido a elastómero no passo 1106. Um vácuo é aplicado na câmara estanque no passo 1108, afastando, assim, a folha elastomérica e carga pré-impregnada da superfície do tabuleiro alongado e em torno da superfície do mandril de moldagem. O mandril de moldagem é elevado do tabuleiro alongado no passo 1110 e o mandril de moldagem é ajustado ao contorno desejado na direcção longitudinal, enquanto o referido vácuo está, ainda, a ser aplicado à folha elastomérica e carga compósita no passo 1112. O tabuleiro alongado é movimentado sendo retirado de baixo da carga moldada e conjunto de mandril no passo 1114 e substituído

por uma ferramenta de transferência para suportar a carga moldada no passo 1116. O vácuo é, depois, libertado entre a carga e o mandril de moldagem no passo 1118 e a carga é transferida para o suporte da ferramenta de transferência no passo 1120. A ferramenta de conformação é, depois, deslocada, sendo retirada de cima da carga suportada no passo 1122 e um mandril de cura é colocado por cima da carga suportada no passo 1124. A carga é, depois, acoplada ao mandril de cura no passo 1126, o mandril de cura e carga são elevados a partir da ferramenta de suporte no passo 1128 e a ferramenta de cura e carga são rodadas em cento e oitenta graus para assumir uma orientação vertical no passo 1130. A folha elastomérica é, depois, removida no passo 1132 e o mandril e carga são ensacados a vácuo de um modo normal no passo 1134. A carga é, depois, curada numa autoclave no passo 1136.

Formas de realização alternativas para as ferramentas e processo descritos prevêem várias formas e contornos de elementos estruturais com a capacidade de criar pares estruturais simétricos. A FIG. 12A mostra um segundo elemento estrutural exemplificativo, uma nervura em T 60. A nervura em T é formada a partir de elementos inversamente simétricos conjugados, um cordão 62 convencional e um cordão 64 invertido. Como mostrado na FIG. 12B, os cordões convencional e invertido são unidos num braço e, no caso da forma de realização mostrada, a folga do raio está preenchida com uma fita compósita pré-formada com uma secção transversal triangular denominada massa 66. Como mostrado na FIG. 13, as ferramentas anteriormente descritas podem ser adaptadas ao fabrico de elementos de acoplamento, tais como a Nervura em T. Unidades de conjuntos laminados compósitos planos individuais ou unidades individuais com linhas de separação são formadas no mandril 10 ao aplicar

vácuo a materiais de ensacamento elastoméricos, como descrito anteriormente para permitir dobrar os elementos 14a, 14b, 14c e 14d de conjunto laminado compósito. A conformação da placa 12 estriada, então, forma simultaneamente um par 14a e 14c de cordões convencional e invertido, bem como o par 14b e 14d de cordões oposto convencional e invertido. Conseguem-se fazer até quatro cantos de cordão de uma só vez com esta configuração de mandril. Cantos diagonalmente opostos são combinados em tês. Os segmentos 10d de blocos de moldagem do mandril são altos e largos para acomodar os múltiplos elementos das peças.

A FIG. 14 mostra uma configuração alternativa de mandril e conjunto laminado compósito fazendo dois cantos de cordão, um de cada vez. Esta configuração produz um par esquerdo e direito de cantos de cordões (14e e 14f) convencional ou (14g e 14h) invertido. O mandril segmentado emprega blocos 10e de moldagem de baixo perfil. Da mesma forma, a FIG. 15 mostra uma segunda alternativa para fazer dois cantos 14i e 14j ou 14k e 14l de cordões de uma só vez, para montar de modo a formar um cordão em tê. Embora semelhantes aos blocos de moldagem da FIG. 13 em termos de configuração, os blocos 10f de moldagem na FIG. 15 não necessitam de ser tão largos, dado que os pares individuais são formados separadamente.

O presente método também é aplicável a elementos estruturais compósitos tendo um centro de curvatura complexo. Como mostrado nas FIG. 16, 17 e 18, as placas 70 e 72 estriadas, que são curvadas com diferentes centros de curvatura, reflectidos pelas setas 74 e 76, respectivamente, são incorporadas num suporte em forma de sela enquanto estrutura de suporte para a superfície de formação dos segmentos de bloco de moldagem de mandril flexível, como melhor visto na FIG. 19. A curvatura da placa 70 estriada

no suporte em forma de sela é exagerada para maior clareza. Uma superfície 11 de formação dos blocos de moldagem engata-se numa placa estriada, enquanto uma segunda superfície 13 de formação engata-se na segunda placa estriada. A segunda superfície estriada é proporcionada na forma de realização mostrada por uma protuberância 75 para conferir um desvio ao eixo neutro do mandril em relação ao segundo centro de curvatura, para assegurar que o conjunto laminado compósito dobrado é mantido em tensão em todos os pontos. Os blocos de moldagem de mandril estão ligados ao longo de um eixo 77 neutro para a curvatura de moldagem com um cabo 78 de aço tendo um estiramento mínimo, mas flexibilidade lateral. No caso da forma de realização mostrada, um parafuso 79 de fixação em cada bloco de moldagem de segmento impede o movimento do bloco ao longo do cabo. Um cabo 80 de endireitamento posicionado no centro relativamente aos blocos de moldagem emprega fixadores de tensionamento nas suas extremidades para aproximar os segmentos para um envolvimento inicial do conjunto laminado compósito plano sobre o mandril e a sua tensão pode ser aliviada ao aliviar a tensão sobre os fixadores. Pinos 82 de alinhamento localizados diametralmente opostos relativamente ao cabo de endireitamento a partir do cabo 78 rígido mantêm o alinhamento relativo dos cantos opostos dos segmentos de mandril, permitindo, ao mesmo tempo, a expansão dos segmentos após o alívio do cabo de endireitamento. No caso da forma de realização mostrada, empregam-se camadas com descontinuidade nula com um pleno ensacamento a vácuo para formar o conjunto laminado compósito no mandril, como descrito anteriormente.

Depois de o conjunto laminado compósito ser envolvido no mandril, a tensão do cabo de endireitamento é aliviada e o mandril assenta de modo relaxado nas placas estriadas de sela em

duas direcções, proporcionando um centro de curvatura resultante perpendicular ao eixo neutro, como representado pela seta 84 direccional. O mandril é flexionado sobre a ferramenta de sela submetido a calor e vácuo. O conjunto laminado compósito é deixado a arrefecer e, em seguida, removido do mandril flexível e colocado sobre um mandril de cura rígido para cura, como anteriormente descrito.

A peça resultante com uma curvatura multidimensional, uma longarina exterior, é mostrada na FIG. 20. Como exemplo da capacidade das ferramentas e método aqui divulgados, a longarina exterior tem um comprimento 86 total de, aproximadamente, 131 polegadas com uma largura 88 de flange de 4,5 polegadas e uma largura de canal interior variando de uma extremidade 90 interior de 6,6 polegadas até uma extremidade 92 externa de 4,5 polegadas. Uma altura 94 de cordão de 13 polegadas pode ser obtida com as ferramentas e método descritos.

As formas de realização aqui divulgadas podem ser descritas no contexto de um método 100 de fabrico e manutenção de aviões, como mostrado na FIG. 21 e uma aeronave 102, como mostrado na FIG. 22. Durante a pré-produção, o método 100 exemplificativo pode incluir especificações e concepção 104 da aeronave 102 e aquisição 106 de material. Durante a produção, ocorre o fabrico 108 de componentes e subunidades e integração 110 de sistemas da aeronave 102. Depois disso, a aeronave 102 pode passar por certificação e entrega 112 de modo a ser colocada em serviço 114. Ao serviço de um cliente, existe um calendário de manutenção e conservação de rotina para a aeronave 102 (que também pode incluir modificação, reconfiguração, renovação, etc.).

Cada um dos processos do método 100 pode ser realizado ou implementado por um integrador de sistemas, um terceiro e/ou um operador (e. g., um cliente). Para efeitos da presente descrição, um integrador de sistemas pode incluir, sem limitação, um qualquer número de fabricantes de aeronaves e empresas subcontratadas de sistemas principais; um terceiro pode incluir, sem limitação, um qualquer número de vendedores, empresas subcontratadas e fornecedores; e um operador pode ser uma companhia aérea, empresa de *leasing*, entidade militar, organização de serviços e assim por diante.

Como mostrado na FIG. 22, a aeronave 102 produzida pelo método 100 exemplificativo pode incluir uma fuselagem 118 com uma pluralidade de sistemas 120 e um interior 122. Exemplos de sistemas 120 de alto nível incluem um ou mais de entre um sistema 124 de propulsão, um sistema 126 eléctrico, um sistema 126 hidráulico e um sistema 130 ambiental. Pode incluir-se um qualquer número de outros sistemas. Apesar de se mostrar um exemplo aeroespacial, os princípios das formas de realização aqui descritas podem ser aplicados a outras indústrias, tais como a indústria automóvel.

Os aparelhos e métodos aqui realizados podem ser empregues durante qualquer uma ou mais das fases do método 100 de produção e manutenção. Por exemplo, os componentes ou subunidades correspondendo ao processo 108 de produção podem ser fabricados ou produzidos de forma semelhante aos componentes ou subunidades produzidos quando a aeronave 102 está em serviço. Além disso, uma ou mais das formas de realização de aparelhos, formas de realização de método ou uma combinação dos mesmos podem ser utilizadas durante as fases 108 e 110 de produção, por exemplo, acelerando consideravelmente a montagem ou reduzindo o custo de

uma aeronave 102. Do mesmo modo, uma ou mais das formas de realização do aparelho, formas de realização de método ou uma combinação dos mesmos podem ser utilizadas quando a aeronave 102 está em serviço, por exemplo e sem limitação, a manutenção e conservação 116.

Tendo, agora, sido descritas formas de realização exemplificativas em detalhe, como exigido pelas leis de patentes, os especialistas na técnica reconhecerão a possibilidade de modificar e substituir as formas de realização específicas aqui divulgadas. Tais modificações estão abrangidas no âmbito e intento da presente invenção, como definida nas reivindicações seguintes.

Lisboa, 8 de Setembro de 2014

## REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta de moldagem para conjuntos laminados compósitos pré-impregnados planos compreendendo:

um mandril (10) segmentado numa pluralidade de blocos de moldagem montados contiguamente, sendo os referidos blocos de moldagem dimensionados para receber um conjunto (14) laminado compósito dobrado com todas as partes do conjunto laminado compósito numa superfície (16) espaçadas desde uma superfície (11) de formação em cada bloco;

uma placa (12) estriada engatando-se na superfície (11) de formação dos blocos de moldagem;

um meio para manter o conjunto (14) laminado compósito dobrado em contacto com os blocos de moldagem; e

um meio para deslocar os blocos (34) de moldagem de mandril de modo a adoptarem uma curvatura desejada, caracterizada por o meio para deslocar os blocos (34) de moldagem de mandril compreender uma pluralidade de actuadores ligados, em intervalos espaçados, à placa (12) estriada, podendo os referidos actuadores serem movimentados para induzir uma curvatura na placa (12) estriada.

2. Ferramenta de moldagem, como definida na reivindicação 1, em que o meio para manter o conjunto (14) laminado compósito dobrado em contacto compreender uma câmara de vácuo.

3. Ferramenta de moldagem, como definida na reivindicação 1, compreendendo, ainda, uma ferramenta (36) de conformação engatando-se na placa (12) estriada, em que os actuadores impelem a placa estriada levando-a a entrar em contacto íntimo com a ferramenta (36) de conformação.
  
4. Ferramenta de moldagem, como definida em qualquer das reivindicações 1 a 3, em que  
  
a placa (12) estriada compreende uma ferramenta em forma de sela recebendo a superfície (11) de formação dos blocos de moldagem e tendo um primeiro centro de curvatura;  
e  
  
o meio para deslocar os blocos de moldagem de mandril compreende um cabo de tensionamento apto a ser aliviado impelindo os blocos de moldagem a contactarem mutuamente.
  
5. Ferramenta de moldagem, como definida na reivindicação 4, em que a ferramenta em forma de sela inclui uma segunda placa estriada em contacto com uma segunda superfície de formação nos blocos de moldagem de mandril e tendo um segundo centro de curvatura.
  
6. Ferramenta de moldagem, como definida na reivindicação 5, compreendendo, ainda, um meio para restringir os blocos de moldagem ao nível de um eixo neutro.
  
7. Método para a moldagem de elementos estruturais pré-impregnados compreendendo os seguintes passos:

proporcionar um mandril (10) tendo uma pluralidade de blocos de moldagem em segmentos, sendo os referidos blocos de moldagem dimensionados para receber um conjunto (14) laminado compósito dobrado;

manter todas as partes do conjunto laminado compósito numa superfície (16) espaçada desde uma superfície (11) de formação em cada bloco durante a dobragem;

proporcionar uma placa (12) estriada;

engatar a superfície (11) de formação dos blocos de moldagem na placa (12) estriada;

manter o conjunto (14) laminado compósito dobrado em contacto com os blocos de moldagem; caracterizado por

proporcionar uma pluralidade de actuadores (34) ligados, em intervalos espaçados, à placa (12) estriada; e

mover os actuadores (34) para induzir uma curvatura na placa (12) estriada.

8. Método, definido na reivindicação 7, compreendendo os passos iniciais de

proporcionar um conjunto (14') laminado compósito plano;

realizar uma indexação, para alinhar o conjunto laminado compósito relativamente ao conjunto de segmentos de blocos de moldagem; e

fazer com que o conjunto laminado compósito entre em contacto com e envolva os blocos de moldagem.

9. Método, definido na reivindicação 8, em que o passo de fazer com que o conjunto laminado compósito entre em contacto com e envolva os blocos de moldagem compreende os passos de:

proporcionar uma câmara de vácuo envolvendo o conjunto (14) laminado compósito plano e engatar a placa (12) estriada; e

aplicar vácuo à câmara de vácuo para moldar o conjunto laminado compósito em torno dos blocos de moldagem.

10. Método, definido na reivindicação 8, compreendendo, ainda, o passo de proporcionar uma ferramenta (36) de conformação e em que o passo de mover os actuadores (34) compreende, ainda, colocar a placa (12) estriada em contacto íntimo com a ferramenta (36) de conformação.
11. Método, definido em qualquer das reivindicações 7 a 10, em que a placa (12) estriada compreende um suporte em forma de sela e o passo de engatar a superfície de formação compreende montar o mandril segmentado no suporte em forma de sela e o passo de deslocar os blocos de moldagem de mandril compreende assentar de forma relaxada os blocos de moldagem de mandril sobre a placa estriada.
12. Método, definido na reivindicação 11, compreendendo, ainda, o passo de proporcionar uma segunda placa estriada como parte do suporte em forma de sela com um segundo centro de curvatura.

13. Método, definido na reivindicação 12, em que o passo de proporcionar um mandril inclui restringir os blocos de moldagem ao nível de um eixo neutro.

Lisboa, 8 de Setembro de 2014

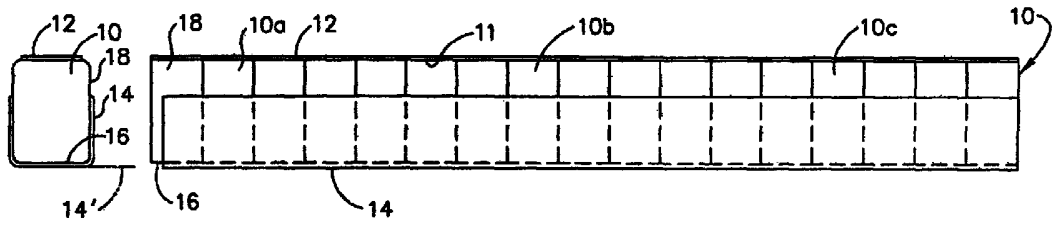


FIG. 1A

FIG. 1B

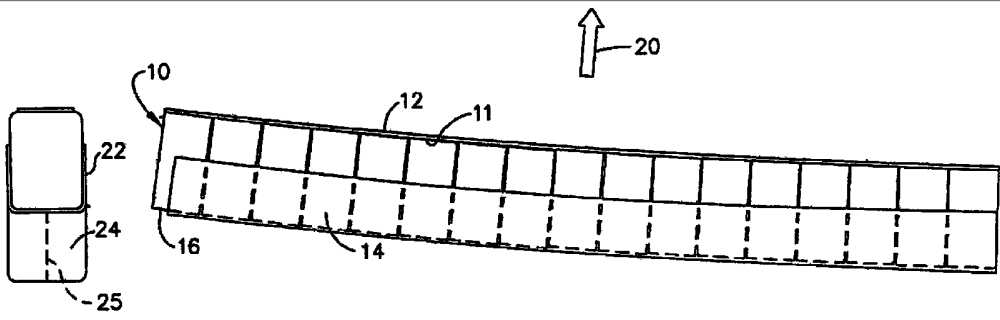


FIG. 2A

FIG. 2B

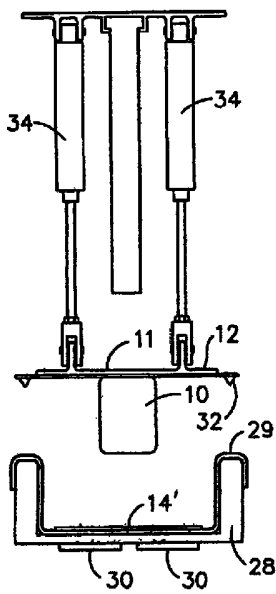


FIG. 3A

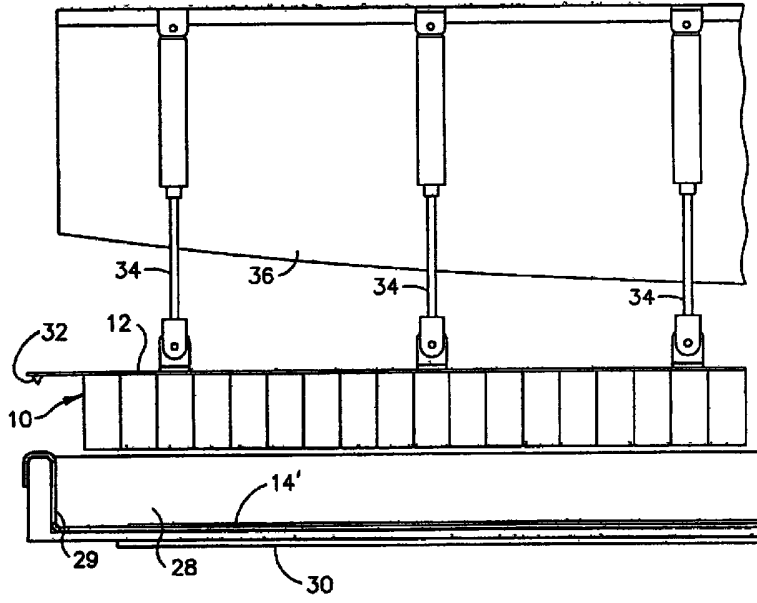


FIG. 3B

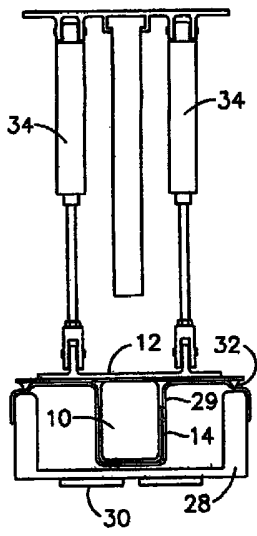


FIG. 4A

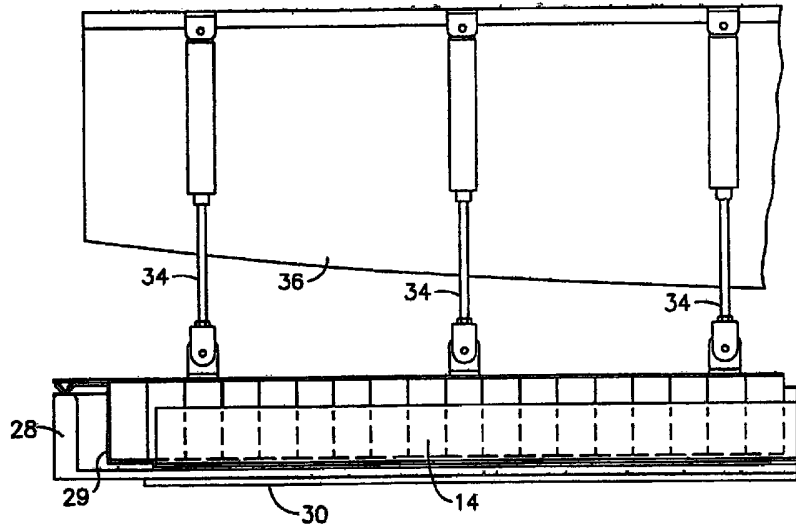


FIG. 4B

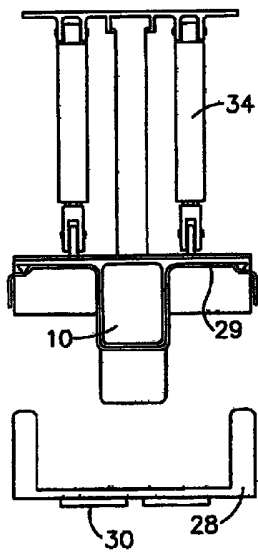


FIG. 5A

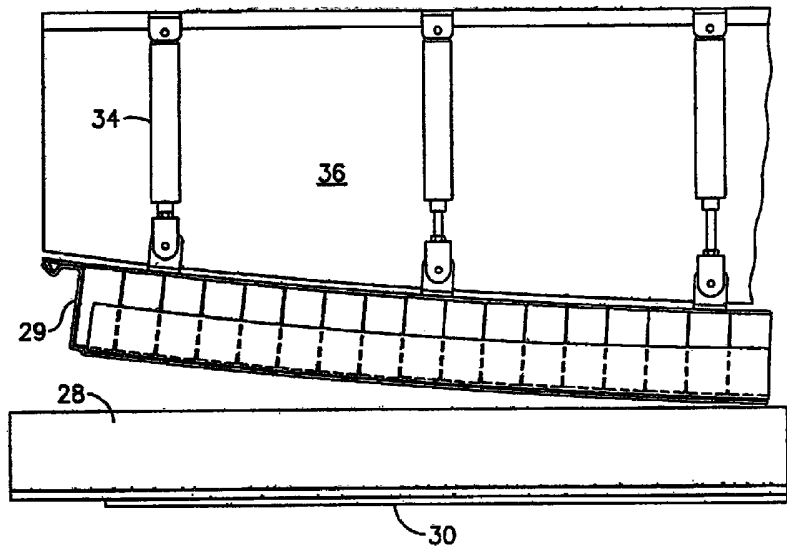
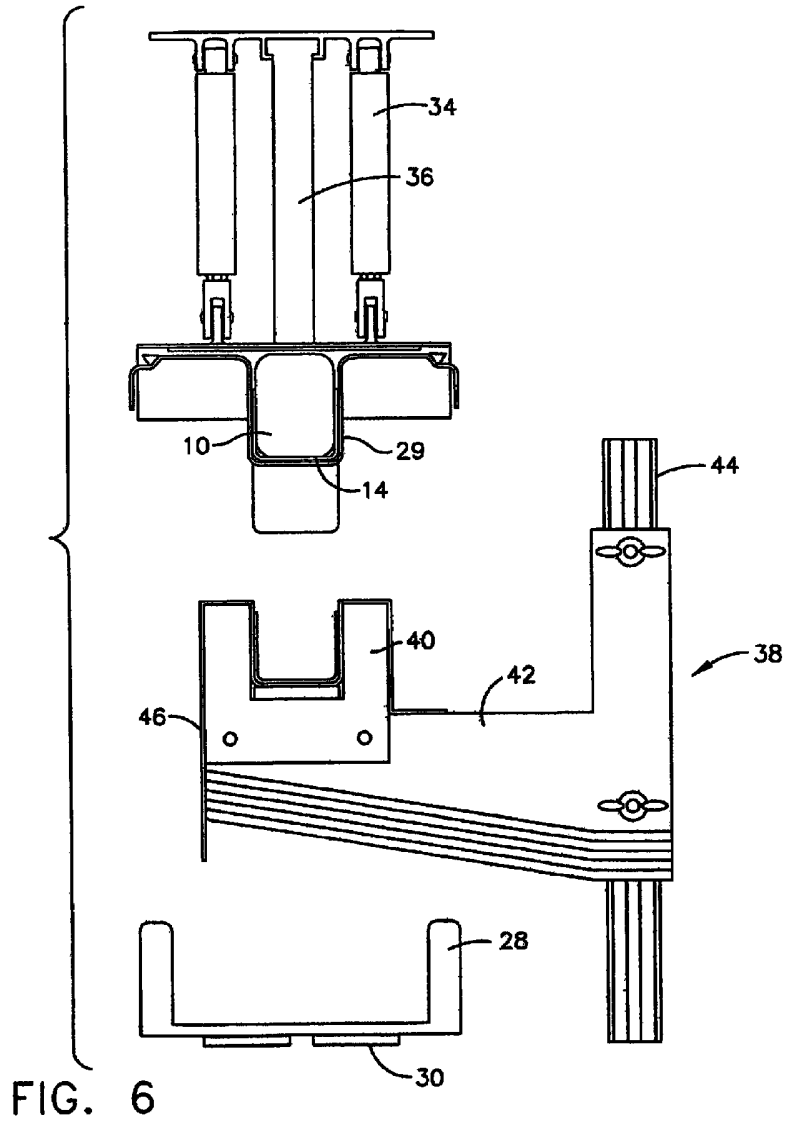


FIG. 5B



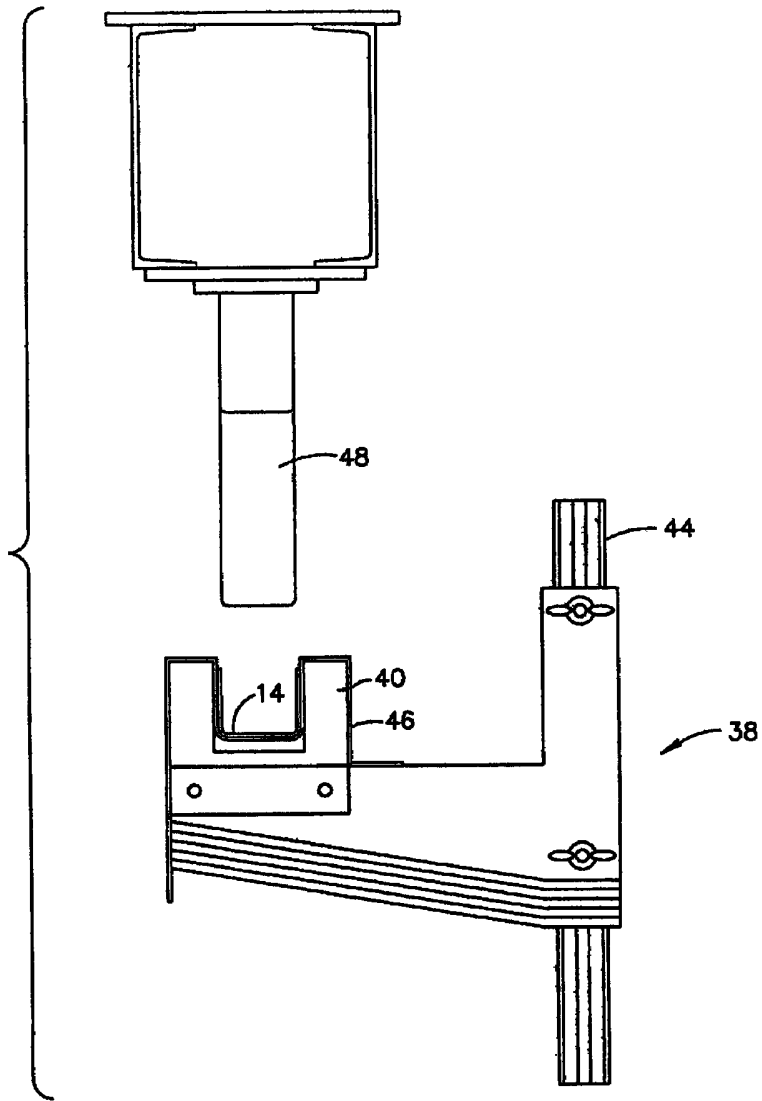


FIG. 7

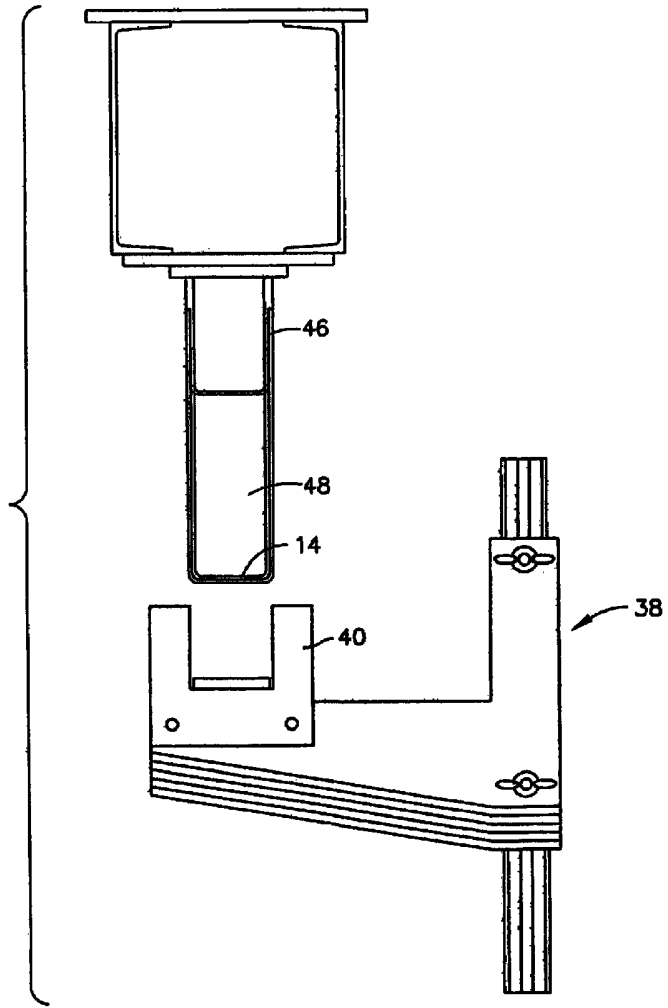


FIG. 8

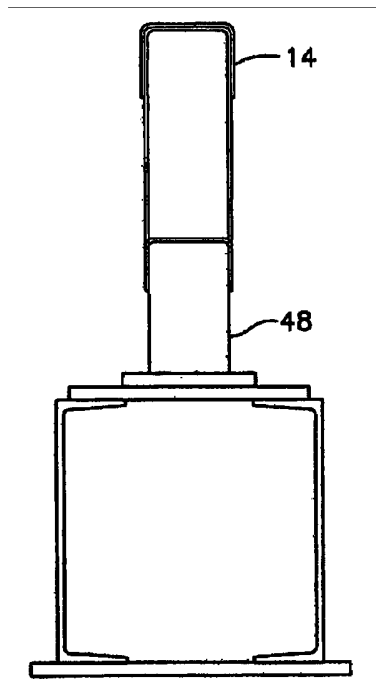


FIG. 9

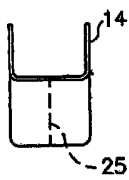


FIG. 10A

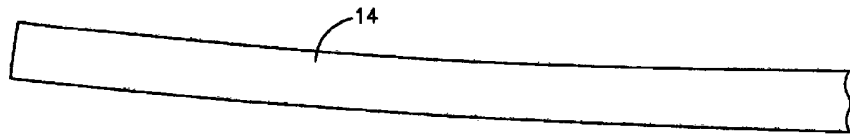


FIG. 10B

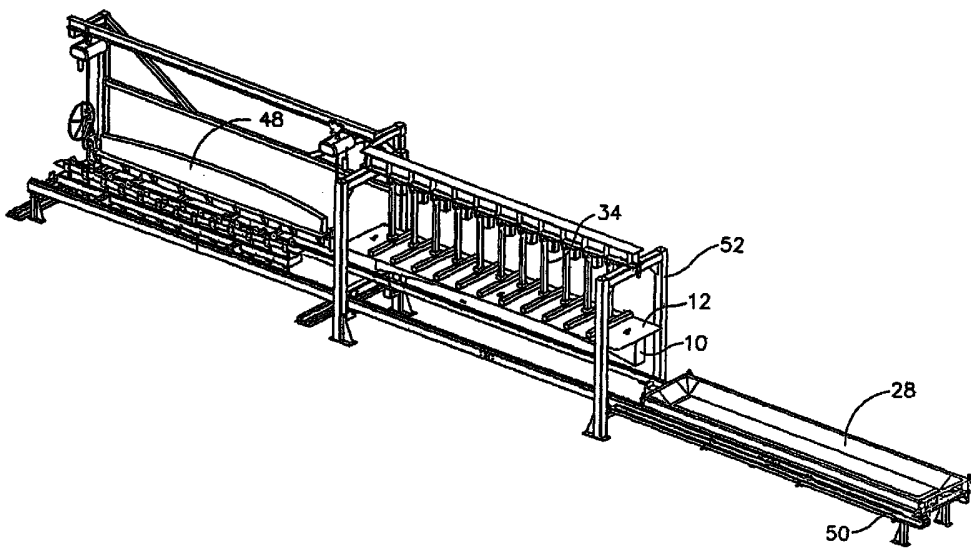


FIG. 11A

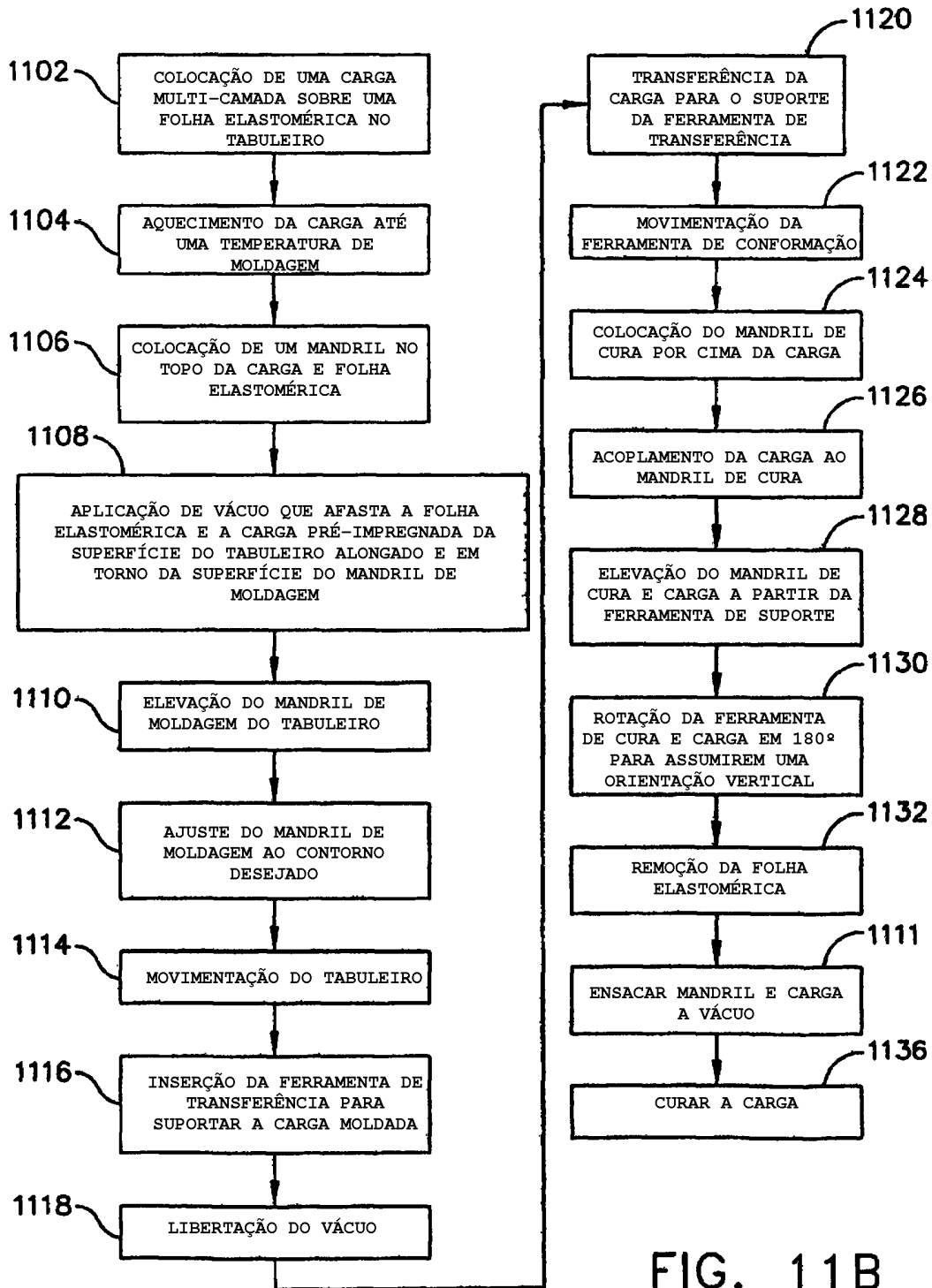


FIG. 11B

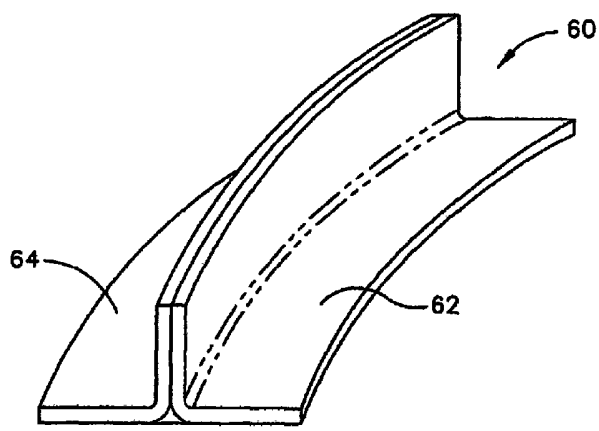


FIG. 12A

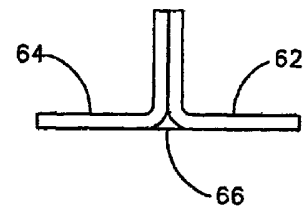


FIG. 12B

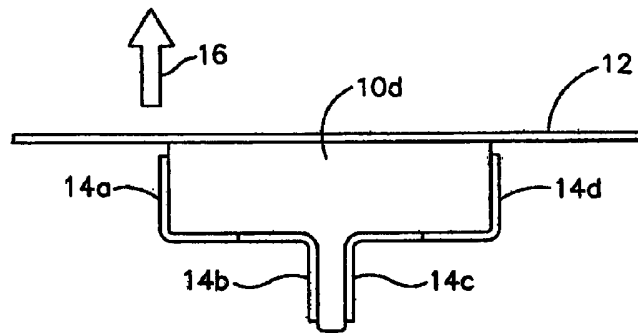


FIG. 13

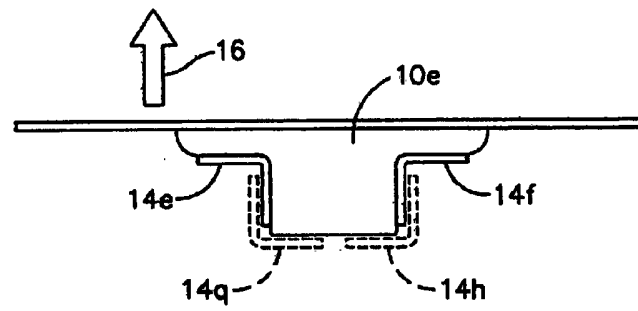


FIG. 14

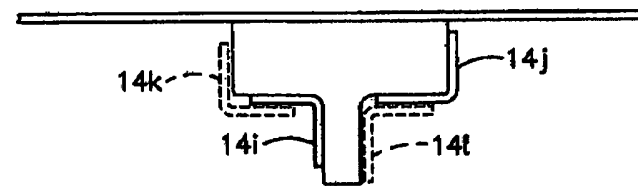


FIG. 15

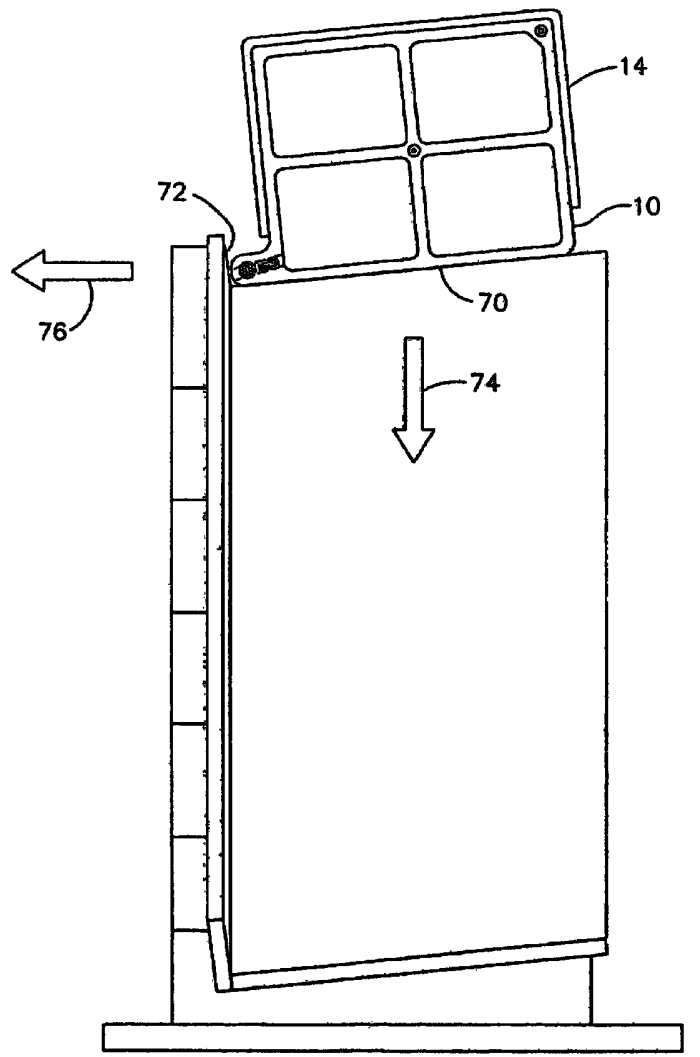


FIG. 16

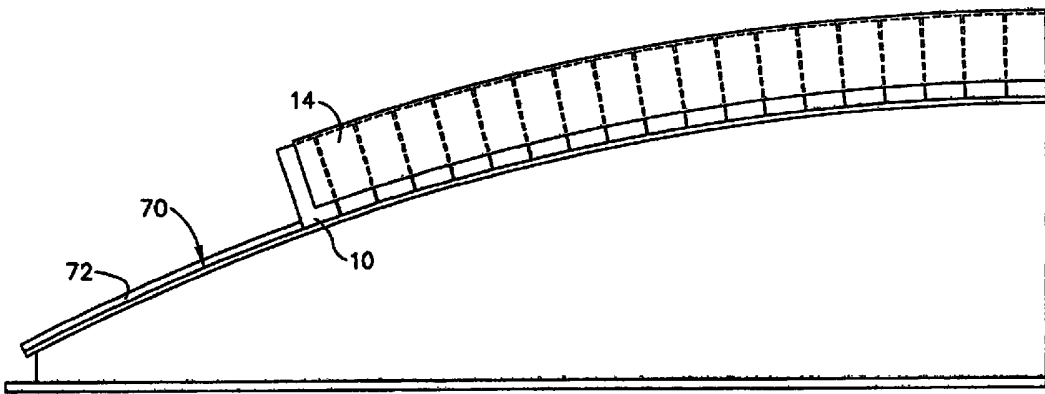


FIG. 17

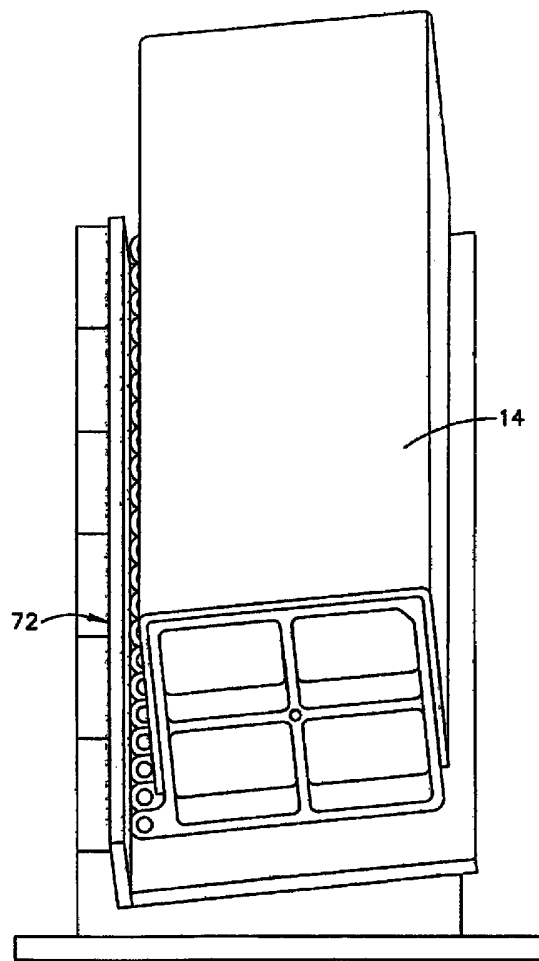
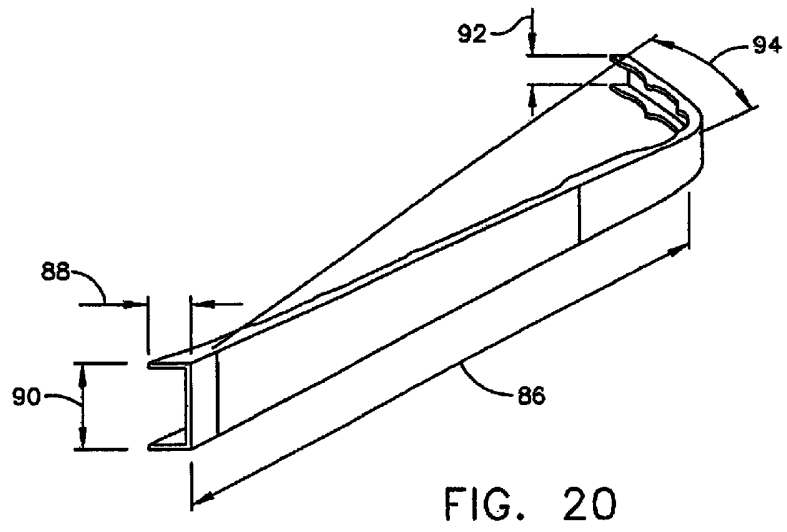
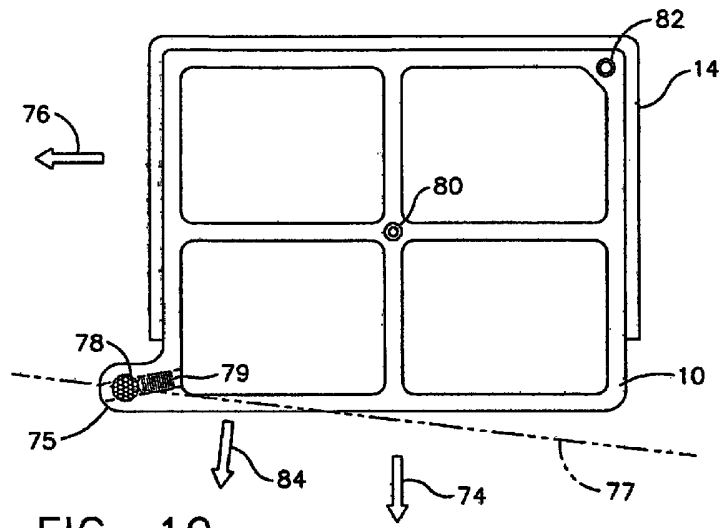


FIG. 18



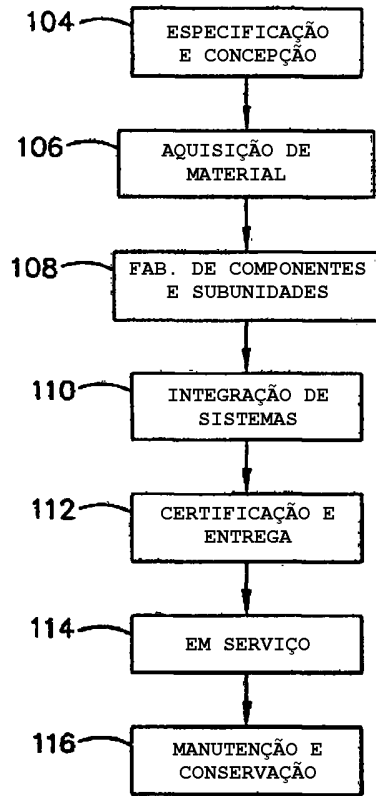


FIG. 21

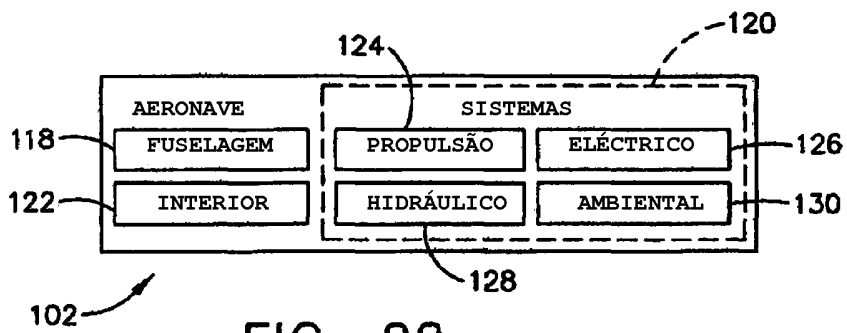


FIG. 22