

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2010.02.23	(73) Titular(es): THE BOEING COMPANY 100 NORTH RIVERSIDE PLAZA CHICAGO, IL 60606-2016 US
(30) Prioridade(s): 2009.03.02 US 396418	
(43) Data de publicação do pedido: 2012.01.11	
(45) Data e BPI da concessão: 2014.08.13 196/2014	(72) Inventor(es): DOUGLAS A. MCCARVILLE US JOSEPH L. SWEETIN US JUAN C. GUZMAN US
	(74) Mandatário: ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES, N.º 74, 4.º AND 1249-235 LISBOA PT

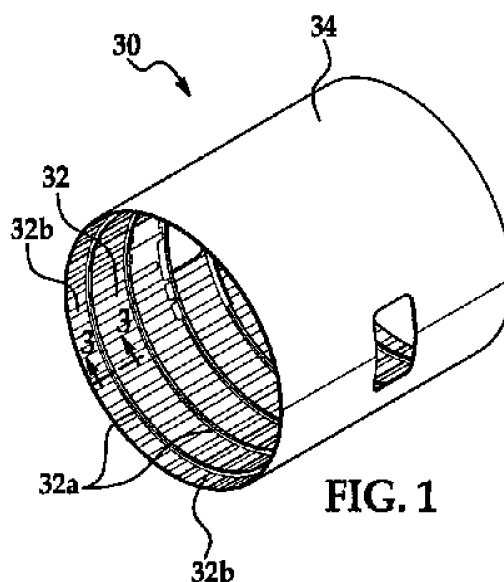
(54) Epígrafe: **MÉTODO PARA PRODUZIR ESTRUTURAS COMPÓSITAS COM CONTORNOS**

(57) Resumo:

UMA ESTRUTURA COMPÓSITA COM CONTORNOS É FABRICADA AO ASSENTAR UMA CARGA COMPÓSITA QUE INCLUI PELO MENOS UMA CAMADA FORMADA POR SEGMENTOS DE CAMADA PRÉ-IMPREGNADOS DE FIBRA UNIDIRECCIONAIS QUE TÊM LARGURAS SUBSTANCIALMENTE CONSTANTES. OS SEGMENTOS DE CAMADA ESTÃO COLOCADOS NUMA RELAÇÃO DE SOBREPOSIÇÃO LADO A LADO COM AS SUAS LINHAS CENTRAIS LONGITUDINAIS ALINHADAS NUMA ORIENTAÇÃO POLAR RELACIONADA COM O CONTORNO DA ESTRUTURA. A CARGA É FORMADA NA FORMA DA ESTRUTURA E CURADA.

RESUMO**"Método para produzir estruturas compósitas com contornos"**

Uma estrutura compósita com contornos é fabricada ao assentar uma carga compósita que inclui pelo menos uma camada formada por segmentos de camada pré-impregnados de fibra unidireccionais que têm larguras substancialmente constantes. Os segmentos de camada estão colocados numa relação de sobreposição lado a lado com as suas linhas centrais longitudinais alinhadas numa orientação polar relacionada com o contorno da estrutura. A carga é formada na forma da estrutura e curada.



DESCRIÇÃO

"Método para produzir estruturas compósitas com contornos"

CAMPO TÉCNICO

Esta descrição refere-se em geral às técnicas para fabricar peças compósitas e lida, mais em particular, com um método para produzir estruturas compósitas de coordenadas não Cartesianas com muitos contornos ao utilizar fita compósita pré-impregnada unidireccional e equipamento de colocação de fita automatizado.

ANTECEDENTES

As estruturas de múltiplas pernas com muitos contornos que têm elevada resistência e leveza podem ser utilizadas em várias aplicações, tais como em veículos aeroespaciais. Por exemplo, armações aeroespaciais, longarinas de extradorso, nervuras, longarinas e estruturas similares, podem ter múltiplas pernas as quais são providas de contornos ao longo do comprimento da estrutura. Fabricar tais estruturas com muitos contornos a partir de materiais compósitos é desafiante e, assim, está amplamente limitada às técnicas de assentamento manual que não são apenas trabalhosas, mas que podem não se adequar bem para aplicações de alto volume de produção.

A US 2007/0029038 revela um método de fabricar artigos compósitos de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1, onde um dispositivo coloca uma camada compósita numa forma curva de cerca de 0° em relação a um eixo longitudinal da forma. A forma inclui uma superfície de banda e uma superfície de cobertura. O dispositivo inclui um rolo de compactação de banda e um conjunto de guias. O rolo de compactação de banda compacta um material compósito sobre a superfície de banda e gera uma camada de banda. O conjunto de rolos de guia impele contra a superfície de cobertura. O rolo de compactação é dirigido ao longo da forma pelos rolos de guia. Em outros métodos pode ser utilizado um assentamento de camada diagonal ou transversal para assentar em cima de um mandril e, de modo a formar uma flange, lado ou cobertura, a camada pode ser

cortada mais larga do que a superfície de banda de um mandril sobre o qual o material é assente, de modo que pelo menos um bordo do material possa ser dobrado sobre o lado do mandril.

Podem ser utilizadas máquinas de colocação de fibra automáticas (AFP) para fabricar algumas formas de estruturas compósitas, no entanto estas máquinas podem não ser eficientes para produzir estruturas de múltiplas pernas com muitos contornos com raios apertados, em parte porque as características estruturais mais complicadas destas estruturas podem precisar que a máquina arranque e pare, assim como mude de direcções de modo relativamente frequente. Além do mais, certas configurações de estrutura, tais como aquelas que contêm uma secção transversal em Z ou J, podem não ser fabricadas ao utilizar máquinas AFP porque as mesmas podem não ser capazes de carregar material nos cantos do lado de dentro destas estruturas.

Além do mais, existe uma necessidade de um método de fabricar estruturas compósitas contínuas com contornos e especialmente com muitos contornos que contêm características de múltiplas pernas que vão ao encontro de especificações de alto desempenho num ambiente de produção de alto volume.

SUMÁRIO

De acordo com o presente invento é proporcionado um método de fabricar uma estrutura compósita com contornos e uma estrutura fabricada que utiliza o método tal como reivindicado nas reivindicações anexas.

As concretizações descritas proporcionam um método de fabricar estruturas compósitas contínuas com muitos contornos ao utilizar materiais compósitos unidireccionais, tais como fita de fibra pré-impregnada. O método pode proporcionar uma orientação praticamente ilimitada de camadas com baixa distorção, conteúdo de resina/fibra consistente e superfícies lisas. As estruturas compósitas resultantes são leves e exibem uma característica de colocação precisa que facilita a montagem superior durante os processos de montagem da aeronave. O método descrito pode ser empregue para fabricar uma gama ampla de estruturas incluindo, mas não se limitando

às uniões de corte, longarinas, armações, longarinas de extradorso e nervuras para aeronaves e outros veículos.

Podem ser fabricadas estruturas compósitas contínuas com contornos nas quais os segmentos de fita de largura constante são colocados e alinhados de uma maneira de modo a manter a orientação de fibra polar durante o fabrico de estruturas compósitas de múltiplas pernas com muitas curvas, tais como armações, longarinas de extradorso, nervuras e longarinas. O método pode ser levado a cabo ao utilizar equipamento de colocação de fita de fibra automático para alinhar rapidamente e colocar segmentos de fita com um mínimo de movimentos da cabeça da máquina. A utilização de fita pré-impregnada unidireccional e a colocação de fibra altamente precisa sem distorção pode resultar em estruturas que são mais baixas em peso em comparação com as estruturas fabricadas ao utilizar métodos alternativos. O método inclui assentar uma carga compósita, incluindo pelo menos uma camada de segmentos de camada pré-impregnados de fibra unidireccionais que têm larguras substancialmente constantes. Os segmentos de camada estão colocados numa relação de sobreposição lado a lado com as linhas centrais longitudinais dos segmentos de camada alinhados numa orientação polar que está relacionada com o contorno da estrutura. A carga compósita é formada substancialmente na forma da estrutura e a carga conformada é então curada. Os segmentos de camada estão colocados numa maneira que mantém uma quantidade substancialmente constante de sobreposição entre os segmentos de camada. Os segmentos de camada podem ser formados ao cortar um comprimento de fita compósita.

A carga compósita pode ser produzida ao utilizar uma cabeça de colocação de fita controlada automaticamente. A cabeça é utilizada para colocar cada um de uma pluralidade de segmentos de fita pré-impregnados de largura substancialmente constante numa relação de sobreposição lado a lado sobre um substrato. A cabeça também é utilizada para alinhar os segmentos de fita numa orientação polar que está relacionada com o contorno da estrutura. A carga é formada substancialmente na forma da estrutura e depois curada. Os segmentos de camada são colocados ao mover a cabeça através de um substrato e cortando um comprimento de fita compósita

em segmentos os quais são depois colocados pela cabeça em cima do substrato.

O método inclui formar uma pilha plana de camadas pré-impregnadas reforçadas com fibra, incluindo colocar individualmente segmentos de fita de fibra compósita de largura substancialmente constante numa relação de sobreposição lado a lado, e numa orientação polar que está relacionada com o contorno da estrutura. O método pode incluir formar primeira e segunda pernas da secção de armação e compactar e curar a pilha formada.

O método do invento está definido na reivindicação 1.

As concretizações descritas satisfazem a necessidade de um método de fabricar estruturas compósitas com muitos contornos, em particular aquelas que têm múltiplas pernas, as quais são bem adequadas para utilizar com máquinas de colocação de fita automáticas em ambientes de produção mais elevada.

Outras características, benefícios e vantagens das concretizações descritas irão tornar-se evidentes a partir da descrição que se segue das concretizações, quando vistas em conformidade com os desenhos anexos e reivindicações anexas.

BREVE DESCRIÇÃO DAS ILUSTRAÇÕES

A FIG. 1 é uma ilustração em perspectiva de uma secção cilíndrica de uma fuselagem de aeronave.

A FIG. 2 é uma ilustração em perspectiva de uma secção de armação compósita com muitos contornos utilizada na fuselagem mostrada na FIG. 1.

A FIG. 3 é uma ilustração em secção tirada ao longo da linha 3-3 na FIG. 1.

A FIG. 4 é uma ilustração em secção que mostra uma formação de camadas para a secção de armação mostrada na FIG. 2.

A FIG. 5 é uma ilustração em perspectiva de uma pilha plana de camadas utilizada no fabrico da secção de armação mostrada na FIG. 2.

A FIG. 6 é uma ilustração em perspectiva de uma máquina automatizada AFP utilizada para colocar a pilha de camadas.

A FIG. 7 é uma ilustração em perspectiva de uma máquina AFP utilizada como um dispositivo de extremidade de braço de autómato no autómato mostrado na FIG. 6.

A FIG. 8 é uma ilustração esquemática que mostra os sistemas de coordenadas polar e Cartesiana utilizados para definir orientações de camada na secção de armação da FIG. 2.

A FIG. 9 é uma ilustração planificada de uma camada que contém fibras orientadas em 0 graus.

A FIG. 10 é uma ilustração esquemática que ilustra camadas que contêm respectivamente fibras orientadas em 45 e 90 graus, e que ilustram a utilização de cunhas de estopa e fita.

A FIG. 11 é uma ilustração em perspectiva de uma pilha plana de camadas.

A FIG. 12 é uma ilustração em perspectiva similar à FIG. 11 mas que mostra recortes que foram formados ao longo de um bordo da pilha de camadas.

A FIG. 13 é uma ilustração em secção transversal que mostra um aparelho de formação de drapeado utilizado para formar em drapeado uma corda interna da secção de armação.

A FIG. 14 é uma ilustração em perspectiva de uma pilha plana de camadas posicionada num mandril de formação que compreende parte do aparelho de formação de drapeado da FIG. 13.

A FIG. 15 é uma ilustração similar à FIG. 14 mas que mostra a corda interna que foi totalmente formada em torno do mandril de formação.

A FIG. 16 é uma ilustração em perspectiva do aparelho de formação de drapeado com uma membrana flexível oscilada para uma posição aberta.

A FIG. 17 é uma ilustração similar à FIG. 16 mas que mostra a membrana flexível que foi fechada e arrastada para baixo em torno da montagem de ferramenta.

A FIG. 18 é uma ilustração em secção de um aparelho de formação de drapeado a quente para formar em drapeado a corda externa da secção de armação.

A FIG. 19 é uma ilustração em perspectiva do aparelho de formação de drapeado a quente mostrado na FIG. 18.

A FIG. 20 é uma ilustração em perspectiva de um mandril de formação/cura que compreende parte da montagem de ferramenta de formação de drapeado da FIG. 18, e representando a secção de armação parcialmente formada ali posicionada.

A FIG. 21 é uma ilustração similar à FIG. 20 mas que mostra a corda externa que foi formada completamente sobre o mandril de formação/cura.

A FIG. 22 é uma ilustração em secção de uma montagem de saco de mandril de formação/cura que se utiliza para curar a secção de armação.

A FIG. 23 é um fluxograma que ilustra um método para fabricar estruturas compósitas contínuas com contornos.

A FIG. 24 ilustra geometrias em secção transversal de estruturas compósitas contínuas que podem ser formadas de acordo com as concretizações descritas.

A FIG. 25 ilustra uma vista planificada de segmentos de fita a serem colocados sobre um substrato em relação ao seu alinhamento num sistema de coordenadas polares.

A FIG. 26 é uma ilustração aumentada da área designada por "A" na FIG. 25.

A FIG. 27 é uma ilustração de uma vista planificada de um único segmento de fita que mostra um corte de extremidade alternativo.

A FIG. 28 é uma ilustração em perspectiva de uma máquina de colocação de fita automática.

A FIG. 29 ilustra um fluxograma de um método de fabricar uma estrutura compósita com contornos que utiliza segmentos de fita de largura constante.

A FIG. 30 ilustra um fluxograma de produção de aeronaves e metodologia de serviço.

A FIG. 31 ilustra um diagrama de blocos de uma aeronave.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Fazendo primeiro referência às FIGS. 1-3, uma secção de fuselagem conformada em cilindro 30 compreende uma película exterior 34 formada sobre e presa a uma estrutura de armação 32. A estrutura de armação 32 compreende uma pluralidade de armações de cilindro espaçadas longitudinalmente 32a e longarinas que se prolongam longitudinalmente 32b, as quais passam através das armações de cilindro 32a. Cada uma das armações de cilindro 32a pode compreender múltiplas secções de armação 36 que são conjuntamente unidas ao utilizar quaisquer meios adequados, tais como sem limitação, pratos de união (não mostrados) e prendedores (não mostrados). Em algumas aplicações, no entanto, podem ser possíveis secções de meia armação e armação completa (não mostradas).

Tal como se vê melhor na FIG. 3, a secção de armação 36 pode ter uma secção transversal geralmente conformada em Z e inclui uma corda externa 38 ligada a uma corda interna 40 por uma banda geral 42. As cordas externa e interna 38, 40, quando vistas em secção transversal (FIG. 3), formam efectivamente "pernas" que se prolongam transversalmente à banda 42. Assim, tal como aqui utilizado, os termos "perna" e

"pernas" referem-se a uma ou mais características estruturais tais como, sem limitação, coberturas ou abas que se prolongam transversalmente a outras características de uma estrutura com contornos tais como, sem limitação, uma banda. Na concretização ilustrada, a banda 42 pode incluir uma almofada de reforço opcional 44. A corda externa 38 forma uma união de corte à qual a película 34 pode ser acoplada e/ou presa. A corda externa 38, assim como um bordo da banda 42, pode incluir uma pluralidade de recortes espaçados conformados em buraco de rato 53 através dos quais as longarinas 32b se prolongam. Tal como irá ser discutido abaixo, a secção de armação 36 é formada a partir de camadas laminadas de uma resina sintética reforçada de fibra, tal como epóxi de fibra de carbono. Tal como mostrado na FIG. 4, a secção de armação 36 pode incluir uma formação de camadas que compreende camadas inteiras 46 e camadas parciais 48, as quais estão dispostas e orientadas para proporcionar um desempenho estrutural máximo ao mesmo tempo que se facilita a utilização de um método de fabrico discutido mais tarde que tanto é eficiente como repetível.

Fazendo agora referência às FIGS. 5-7, pode ser utilizada uma máquina AFP 58 como um dispositivo de extremidade de braço de autómato num autómato 60 para depositar estopas de fibra ou tiras de fita pré-impregnada de fibra para formar uma pilha plana de camadas 50. A máquina AFP 58 pode incluir pentes 64 que recebem as estopas pré-impregnadas que entram 62, que passam através de um aplicador de fita 66 antes de serem cortadas por um cortador de estopa 68. As estopas cortadas 72 passam por baixo de um rolo compatível 70 que aplica e compacta as estopas 62 sobre um substrato (não mostrado) ou uma camada subjacente (não mostrada). Tal como se vê melhor na FIG. 5, a máquina AFP 58 pode ser utilizada para depositar estopas de fibra 62 ou fitas em que as fibras estão orientadas em ângulos pré-seleccionados num sistema de coordenadas Cartesianas 47. No exemplo ilustrado, a pilha de camadas 50 inclui estopas de fibra 52 orientadas em 0 graus, estopas de fibra 56 orientadas em +45 graus e estopas de fibra 54 orientadas em -45 graus. Não mostrado, mas embutido na pilha de camadas 50, encontram-se estopas de fibra orientadas em 90 graus.

A FIG. 8 ilustra melhor a relação entre a orientação de um sistema de coordenadas Cartesianas 47 no qual as estopas de fibra ou fitas unidireccionais se depositam numa pilha de camadas 50, e um sistema de coordenadas polares que define o contorno da secção de armação 36. O contorno da secção de armação 36, designado pelo número 37, pode ser definido por uma coordenada radial "r" que tem origem a partir de um pólo 39 e formando um ângulo polar em relação a uma coordenada de referência indicada por 0 graus. Assim, cada característica contornada pela secção de armação 36 pode ser definida por um valor "r" (coordenada radial) num ângulo . Deve notar-se aqui que, muito embora a secção de armação ilustrada 36 tenha um raio constante (curvatura) e a banda 42 tenha um calibre constante (espessura), a curvatura da secção de armação 36, o calibre da banda 42, o calibre da corda interna 40 e o calibre da corda externa 38 podem, cada um deles, ser variáveis ao longo do comprimento da secção de armação 36.

No exemplo ilustrado, a pilha de camadas 50 é formada por múltiplas camadas 52 em que as fibras pré-impregnadas unidireccionais estão orientadas dentro de um sistema de coordenadas Cartesianas 47 que está tangencialmente alinhado com a coordenada radial "r". Tal como irá ser discutido abaixo em maior detalhe, no exemplo ilustrado, são empregues orientações de fibra de 0 graus, -45 graus, +45 graus e +90 graus, no entanto são possíveis outras orientações angulares, dependendo de uma variedade de factores, incluindo a aplicação particular e a geometria da secção de armação 36.

É agora dirigida a atenção para as FIGS. 9-12 as quais ilustram a orientação da fibra em várias camadas de uma pilha plana de camadas 50. A FIG. 9 ilustra uma camada 52 na qual as estopas ou tiras de fita são depositadas pela máquina AFP 58 com uma orientação de 0 graus, prolongando todo o comprimento da secção de armação 36. Tal como aqui utilizado, "fita" refere-se a fibras unidireccionais pré-impregnadas, e "estopas" podem compreender fita que é fendida ao longo do seu comprimento em bandas estreitas as quais podem ter, por exemplo e sem limitação, 0,318, 0,635 ou 1,27 cm (0,125, 0,25 ou 0,5 polegadas) de largura. Um "curso" refere-se a estopas aplicadas como uma banda pela máquina AFP 58. "Lançamentos"

referem-se à máquina AFP 58 descontinuar uma ou mais estopas e podem compreender a distância entre estopas ou fitas adjacentes. Uma zona de convergência de cortar/adicionar significa que um curso termina num curso de orientação diferente dentro da mesma camada, criando deste modo áreas de intervalos e sobreposições.

As camadas de 0 graus 52 podem ser formadas ao utilizar a máquina AFP 58 para "direccionar" o depósito de fita fendida em que a conformabilidade e os lançamentos acentuados determinam a largura da camada 52. Uma camada completa 52 está ilustrada na FIG. 9, no entanto uma camada parcial ou uma camada com lançamentos acentuados também é possível. As secções da camada 52 que mais tarde irão ser formadas na corda externa, corda interna e banda são respectivamente designadas pelos números 38, 40 e 42. Deve ser aqui notado que, em algumas aplicações, as camadas que formam a corda externa 40 podem ser formadas ao utilizar uma banda separada de estopas ou camada de fita que é pré-cortada à largura e colocada em ferramentas mais tarde discutidas, em vez de ser depositada ao utilizar a máquina AFP 58.

As camadas que contêm estopas ou fita orientadas em ângulos para além dos 0 graus são formadas por grupos ou segmentos lado a lado 55, 74 de estopas/fitas em que cada um tem uma forma de cunha afunilada. Os segmentos 55, 74 podem ser formados ao utilizar fita com inclinação para cima e permissão de lançamento que determinam os lados. Por exemplo, a FIG. 10 ilustra uma camada 54 formada por segmentos 55 em que a orientação da fibra em cada um dos segmentos 55 é geralmente +45 graus.

A FIG. 11 ilustra uma camada 76 formada por segmentos 74 dispostos lado a lado, em que as fibras em cada segmento 74 estão orientadas geralmente em 90 graus, substancialmente alinhadas com o ângulo da coordenada radial "r" que define o contorno 37 (FIG. 8) da secção de armação 36. Nos casos em que as estopas 72 são depositas para formar os segmentos 74, as estopas individuais ficam anguladas na direcção da curvatura da camada 76. As estopas anguladas 72 estão colocadas individualmente numa relação lado a lado entre si. De modo alternativo, os segmentos podem ser formados por

cunhas afuniladas 75 de fita de fibra que são depositas numa relação lado a lado entre si pela máquina AFP 58 ou um aparelho similar.

Fazendo agora referência à FIG. 12, depois da pilha plana de camadas 50 ter sido completamente colocada, podem ser criados recortes de buraco de rato 53 ao longo de um bordo 51 da pilha de camadas 50. Os recortes 53 podem ser criados ao utilizar quaisquer das várias técnicas tais como, por meio de exemplo e sem limitação, utilizar um cortador ultrasónico controlado NC (não mostrado).

No exemplo ilustrado, os recortes 53 proporcionam aberturas através das quais as longarinas 32b se prolongam (FIG. 1). No entanto, em outras aplicações pode ser desejável proporcionar recortes similares 53 para reduzir o peso e/ou reduzir a possibilidade do enrugamento da camada durante os processos de fabrico subsequentes.

É agora dirigida a atenção para as FIGS. 13-17, as quais ilustram a formação da corda interna 40 ao utilizar um processo de formação de drapeado. A pilha de camadas 50 é colocada sobre a superfície plana superior 80a de um mandril de formação 80. O mandril de formação 80 inclui uma superfície curvada ou com contornos 80b a qual, no exemplo ilustrado, forma um ângulo substancialmente em 90 graus em relação à superfície plana superior 80a. Quaisquer camadas de 0 graus que possam ser utilizadas para formar a corda externa 40 são colocadas directamente sobre a superfície com contornos 80b. Um bordo externo 50a da pilha de camadas 50 prolonga-se passando o bordo curvado 80b e pode ser suportado durante a colocação da camada por um apoio de assentamento 86 que é subsequentemente movido para a posição mostrada na FIG. 13. O mandril de formação 80 é suportado numa ferramenta de saco de vácuo 84, separada por um respirador de fibra de vidro 82. Um saco de vácuo 88 está colocado sobre a pilha de camadas 50 e mandril de formação 80. Um respirador 90 e uma camada 92 de FEP (propileno-etileno fluorado) pode ser colocado entre o saco 88 e a pilha de camadas 50. O saco 88 também pode ter canais (não mostrados) na sua superfície interna, caso no qual o respirador 90 não é necessário.

Com o bordo 50a da pilha de camadas 50 drapeado sobre o bordo de ferramenta 80b, é arrastado vácuo para o saco 88 que aplica pressão à pilha de camadas 50, fazendo com que o bordo 50a dobre para baixo no sentido da seta 94 na FIG. 13 até que o bordo 50a assente substancialmente plano contra e assuma substancialmente o contorno da face dianteira 80b do mandril de formação 80. Um bordo de pilha de camadas 50a é assim formado na corda interna 40 que tem um raio substancialmente idêntico ao raio R da face de ferramenta dianteira 80b.

O processo de formação acima descrito pode ser realizado num aparelho de formação de drapeado 96 mostrado nas FIGS. 16 e 17. O saco 88 pode compreender uma membrana impermeável ao gás, formada, por exemplo e sem limitação, por silicone que está montada numa armação 102 que está fixa de modo a girar a uma mesa de vácuo 98 suportada em pernas 100. A mesa de vácuo 98 inclui orifícios ou perfurações (não mostrados) que permitem que o ar seja arrastado através da mesa 98. O mandril de formação 80 junto com a pilha de camadas 50 e o apoio de assentamento 86 pode ser colocado sobre a mesa de vácuo 98 com a armação 102 fechada contra a mesa de vácuo 98.

Tal como mostrado na FIG. 17, pode ser utilizado um sistema de vácuo (não mostrado) para evacuar o ar na cavidade selada formada pela armação 102 e mesa 98. A evacuação desta cavidade resulta na membrana 88 ser arrastada para baixo sobre o mandril de formação 80, formando deste modo o bordo 50a em baixo sobre a face frontal 80b do mandril de formação 80. O apoio de assentamento 86 suporta parcialmente a membrana 88 durante o processo de formação, controlando deste modo e dirigindo a força aplicada para o bordo 50a da membrana 88.

Tendo sido formada completamente a corda interna 40, o próximo passo no método de fabrico está ilustrado nas FIGS. 18-21 nas quais a corda externa 38 está formada. A corda externa 38 pode ser fabricada por tensão, formação de drapeado a quente utilizando, por exemplo e sem limitação, o aparelho de formação de drapeado 124 mostrado na FIG. 19. O aparelho de formação de drapeado 124 inclui uma mesa de vácuo aquecida 130 retida numa armação inferior 128 suportada por pernas 134. Uma armação giratória superior 126 inclui uma

membrana impermeável ao gás 132 a qual pode compreender silicone, por exemplo. Uma ferramenta na forma de um mandril de formação/cura 106 e um bloco com contornos 112 são suportados na mesa de vácuo 130 e são cobertos pela membrana 132 quando a armação 126 está fechada e selada contra a armação inferior 128.

Tal como se vê melhor na FIG. 18, o mandril de formação/cura 106 inclui uma superfície de ferramenta superior plana 106a que suporta a pilha de camadas 50. A segunda superfície plana 106b no mandril de formação/cura 106 prolonga-se para cima a partir da superfície de ferramenta 106a e engata na corda interna 40. O mandril de formação/cura 106 inclui ainda uma terceira superfície 106c que se prolonga para baixo a partir da superfície de ferramenta 106a e é utilizado para formar a corda externa 38.

O mandril de formação/cura 106 é suportado na mesa de vácuo 130. Um respirador opcional 110, formado a partir de fibra de vidro ou outro material adequado, pode ser colocado entre a mesa de vácuo 130 e o mandril de formação/cura 106. Um intensificador com contornos 120 pode ser colocado sobre a pilha de camadas 50 de modo a assegurar que o raio 122 seja totalmente mantido adjacente à corda interna 40. Uma camada 116 de um material tal como o Teflon®, mas não limitado ao mesmo, assim como um respirador 118, podem colocar-se entre o intensificador e a pilha de camadas 50. Uma camada adicional 123 de FEP pode ser colocada entre um bordo do mandril de formação/cura e a pilha de camadas 50. A camada de FEP 123 é drapeada sobre o bloco 112 que, em combinação, funciona para controlar o ângulo no qual a membrana de saco 132 aplica pressão ao bordo externo 50b da pilha de camadas 50 durante o processo de formação de drapeado.

A corda externa 38 pode ser formada por drapear a quente sobre o mandril de formação/cura 106 que pode depois aquecer-se dentro de um forno ou por outros meios tais como lâmpadas infravermelhas, até uma temperatura pré-seleccionada, por exemplo de aproximadamente 60 graus C (140 graus F). Um vácuo é arrastado na membrana de saco 132 e mantido por períodos de tempo pré-seleccionados. Durante o processo de formação de drapeado a quente de tensão controlada, as fibras podem

deslizar dentro de uma camada como um resultado da viscosidade da resina da matriz diminuir devido ao aquecimento. Isto permite que as fibras se amontoem ou espalhem ou, de outro modo, se rearranjem elas próprias, conforme necessário. Manter a tensão por baixo da pilha 50 minimiza o enrugamento. O intensificador de raio 120 retém o raio de corda interna 122 (40a na FIG. 3) enquanto forma a corda externa 38.

A FIG. 20 ilustra a pilha de camadas parcialmente formada 50 posicionada sobre o mandril de formação/cura 106 com a corda interna formada 40 retida contra a superfície de ferramenta 106a. O bordo externo 50b da pilha de camadas 50 está em cantilever sobre a superfície de ferramenta 106b. Tal como mostrado na Fig. 21, quando a membrana 132 é arrastada para baixo sobre o mandril de formação/cura 106, a membrana 132 aplica pressão ao bordo externo 50b num ângulo que é parcialmente controlado pelo bloco 112. O bordo 50b da pilha de camadas 50 é então dobrado para baixo no sentido da seta 114 até que esteja totalmente formado contra a superfície de ferramenta 106c e forme a corda externa 38.

Quando as cordas interna e externa 38, 40 da secção de armação 36 tiverem sido formadas é então necessário curar a secção de armação 36 e, em ligação com isto, é dirigida a atenção para a FIG. 22. A secção de armação formada 36 e mandril de formação/cura 106 são removidos do aparelho de formação de drapeado a quente 124. Uma placa de molde 139 pode ser colocada sobre a corda externa 38 de modo a ajudar a compactar o raio 141. De modo similar, um intensificador 142 pode ser instalado de modo a ajudar na compactação do raio 122. Um saco de vácuo convencional 138 é colocado sobre a secção de armação 36 e selado por um vedante 140 no mandril de cura 136. Um respirador (não mostrado) e uma camada de descasque (não mostrada) de FEP também se podem colocar entre o mandril de formação/cura 106 e o saco 138.

É dirigida agora a atenção para a FIG. 23 a qual ilustra os passos todos utilizados no método para produzir estruturas compósitas com contornos. Matérias primas, incluindo estopas de fibra pré-impregnada e/ou fita são recebidas e inspeccionadas em 144. Em 146, o mandril de formação 80

previamente discutido e o mandril de formação/cura 106 são limpos e preparados. A seguir, em 148, uma camada de fibra de vidro exterior pode ser colocada sobre o mandril de formação 80.

No passo 150, todas as várias camadas na pilha 50 são depositadas ao utilizar uma ou mais máquinas AFP 58. Tendo-se formado a pilha plana de camadas 50, os recortes de buraco de rato 53 são então colocados na pilha de camadas 50, conforme necessário no passo 152. A seguir, no passo 154, a pilha de camadas 50 é colocada sobre o mandril de formação 80 e apoio de assentamento 86. Depois em 156, o apoio de assentamento 86 é movido para uma posição onde é utilizado no processo de formação subsequente. No passo 158, a corda interna 40 é formada ao utilizar a técnica de formação de drapeado acima descrita.

No passo 160, a pilha de camadas parcialmente formada 50 é colocada no mandril de formação/cura 106. Em 162, a corda externa 38 é formada em drapeado a quente sobre o mandril de formação/cura 106. A seguir, no passo 164, a secção de armação formada 36 é transferida para a ferramenta de cura 136 e uma camada de fibra de vidro interna é colocada sobre a armação. A seguir, em 166, a placa de molde 139 e o intensificador 142 são instalados, a seguir ao que o conjunto é ensacado a vácuo em preparação para a cura por autoclave. Em 168, a secção de armação 36 é curada num autoclave (não mostrado) a seguir ao que, em 170, a secção de armação totalmente formada, curada, 36 é desensacada e rebarbada. A secção de armação 36 pode ser aparada em 172 ao utilizar um cortador controlado numericamente e a secção de armação aparada 36 pode então ser inspeccionada em 174 ao utilizar técnicas de avaliação não destrutivas convencionais.

Embora as concretizações descritas ilustrem a utilização do método para fabricar uma estrutura compósita com contornos que tem uma secção transversal conformada em Z, são possíveis várias outras estruturas com contornos nas quais uma ou mais pernas se prolongam para fora a partir de uma característica estrutural tal como uma banda. Por exemplo, tal como mostrado na FIG. 24, as concretizações descritas podem ser empregues para fabricar estruturas contínuas com contornos que têm

outras configurações de perna ou formas de secção transversal, tais como, sem limitação, uma forma de C 176, uma forma de J 178, uma forma de L 180, uma forma de I 182, uma forma de J modificada 184 e uma ou mais formas de uma forma de U 186.

É dirigida agora a atenção para as FIGS. 25 e 26 as quais ilustram um outro método para assentamento de uma camada com contornos 201 ao utilizar segmentos de camada sobrepostos 188 formados por fita de fibra pré-impregnada unidireccional de largura substancialmente constante. Os segmentos de camada de largura constante 188 podem ser cortados a partir de fita arrastada a partir de um carrinho (não mostrado) de fita de largura normalizada ou não normalizada. No exemplo mostrado nas FIGS. 25 e 26, os segmentos de camada 188 são substancialmente rectangulares em forma, no entanto, os mesmos podem ter outras formas, desde que os segmentos de camada 188 tenham substancialmente as mesmas larguras. Os segmentos de camada 188 são colocados sobre um substrato (não mostrado) e dispostos ao longo da linha central 192 com contornos de uma camada 201 com contornos a ser assente. Cada um dos segmentos de camada 188 prolonga-se radialmente para além das cordas interna e externa 38, 40, respectivamente, para formar extensões 200 que são mais tarde aparadas de modo que a camada completa 201 formada pelos segmentos de camada 188 coincida substancialmente com o contorno da estrutura 36 (FIG. 2).

Cada um dos segmentos de camada 188 inclui uma linha central longitudinal 194 que é alinhada durante o processo de colocação com uma coordenada radial "r" que tem origem a partir de um pólo 39 num sistema de coordenadas polares 190. Cada uma das linhas centrais 194 forma um ângulo em relação a uma linha de referência mostrada como "0°" na FIG. 25. O sistema de coordenadas polares 190 é utilizado para definir um ou mais contornos da estrutura 36 (FIG. 2). De acordo com as concretizações descritas, os segmentos de fita de largura constante 188 são colocados numa relação de sobreposição 191 em relação um ao outro, de tal modo que a quantidade de sobreposição é de preferência mantida substancialmente constante. Assim que cada segmento de camada 188 é colocado, fica orientado num ligeiro ângulo 193 (FIG. 26) a partir do

segmento adjacente anteriormente colocado 188. Colocar os segmentos de camada 188 numa relação de sobreposição 191 resulta nos adjacentes dos segmentos de camada 188a, 188b formarem uma volta em forma de sector 196 perto da corda interna 38, e um intervalo em forma de sector 198 adjacente à corda externa 40. As voltas 196 e intervalos 198 podem ser ajustados para irem ao encontro dos requisitos estruturais de uma aplicação particular ao mudar a largura dos segmentos de fita 188. O método de assentamento de fita de largura constante acima descrito permite o assentamento de camadas não zero a uma velocidade relativamente elevada, mesmo em estruturas compósitas pequenas com muitos contornos.

Tal como se vê melhor na FIG. 26, a volta 196 prolonga-se em geral a partir da linha central 192 da camada 201 em que a largura 204 da volta 204 cresce progressivamente maior com a distância crescente a partir da linha central 192. De modo similar, a largura 202 do intervalo 198 entre segmentos de camada adjacentes 188a, 188b cresce maior com o aumento da distância a partir da linha central 192. De acordo com as concretizações descritas, ambas as voltas 196 e os intervalos 198 são substancialmente minimizados. Em contraste com os segmentos de fita cortados pela periferia 74 utilizados na concretização mostrada na FIG. 11, a utilização de segmentos de camada simples cortados pela extremidade 188 de largura constante facilita a utilização de equipamento automatizado (abaixo discutido) para colocar os segmentos de camada 188 de uma maneira predeterminada que minimiza as voltas 196 e intervalos 198.

A colocação sobreposta dos segmentos de camada de largura constante 188 tal como acima descrita resulta numa camada 201 que tem descontinuidades deslocadas substancialmente de modo regular definidas pelas voltas 196 e intervalos 198.

A largura escolhida para os segmentos de fita 188 irá variar com a aplicação. Podem ser utilizados segmentos de fita mais estreitos 188 de modo a reduzir a volta 196 e/ou o intervalo 198. De modo similar, podem ser empregues larguras de fita mais amplas para aumentar a taxa de depósito. As voltas 196 e intervalos 199 para camadas de 45 graus 201

podem ser reduzidas ao mudar os segmentos de camada 188 para orientações de ± 60 graus.

Fazendo referência à FIG. 27, as extremidades de sobreposição 200 de cada segmento de fita 188 podem ser cortadas em 206, num ângulo , de modo a coincidir substancialmente com os contornos exteriores da corda interna 38 e da corda externa 40, respectivamente. As extremidades cortadas 206 dos segmentos 188 podem, por conseguinte, seguir substancialmente o contorno da estrutura 36 (FIG. 2), resultando no segmento 188 ter uma forma geralmente trapezoidal.

De acordo com as concretizações descritas, cada um dos segmentos de camada 188 pode ser colocado sobre um substrato (não mostrado) ao utilizar equipamento de colocação de fita automático 208 mostrado na FIG. 28, o qual alinha as linhas centrais 194 (FIGS. 25 e 26) em orientações polares relacionadas com o contorno da estrutura 36 (FIG. 2). Fazendo referência à FIG. 28, o equipamento de colocação de fita automático 208 inclui cabeças de colocação de fita giratórias 210, 212 montadas num pórtico 214 para movimento giratório em relação ao contorno de um substrato 214, o qual pode ser uma ferramenta. Cada uma das cabeças 210, 212 inclui um abastecimento de fita compósita (não mostrado) junto com mecanismos de corte e colocação (não mostrados) que cortam a fita ao comprimento e colocam os comprimentos cortados de fita sobre o substrato 214. As cabeças de fita 210, 212 e/ou o substrato 214 são movidos em relação um ao outro de modo que as cabeças de fita 210, 212 atravessem através do substrato 214 e coloquem a fita compósita automaticamente, tipicamente sob o controlo de um controlador CNC (não mostrado). Detalhes adicionais de uma máquina de colocação de fita automática adequada 208 são descritos na Patente US número 7 137 182 concedida em 21 de Novembro de 2006, cuja totalidade do conteúdo está aqui incorporada por referência.

É agora dirigida a atenção à FIG. 29 a qual ilustra todos os passos do método para fazer uma estrutura compósita com contornos que tem uma ou mais pernas. Uma camada 201 é assente numa série de passos 216 que começam em 218, sendo a produção dos segmentos de camada 188 pelo corte de fita pré-

impregnada de fibra unidireccional de largura constante nos comprimentos desejados. A seguir em 220, os segmentos de camada 188 são colocados sobre um substrato numa relação de sobreposição lado a lado que segue o contorno da estrutura compósita. Durante o processo de colocação, as linhas centrais longitudinais 194 dos segmentos de camada 188 são alinhadas numa orientação polar relacionada com o contorno da estrutura. Em 222, é controlada a sobreposição 196 e intervalos 198 entre segmentos de camada adjacentes 188a, 188b. Tipicamente, este controlo é implementado automaticamente quando se utiliza equipamento de colocação de fita automatizado do tipo mostrado na FIG. 28.

Em 224, cada camada completa 201, ou uma pilha de camadas 201, pode depois ser aparada na forma final, conforme seja necessário. Em 226, a pilha de camadas completada 50 (FIG. 8) pode ser formada na forma ao utilizar técnicas previamente aqui descritas, as quais podem incluir formar uma ou mais pernas. Finalmente, em 228, a pilha de camadas conformada 50 pode ser compactada e curada.

As concretizações da descrição podem encontrar utilização numa variedade de potenciais aplicações, em particular na indústria dos transportes, incluindo por exemplo, aplicações aeroespaciais, marítimas e automóveis. Assim, fazendo agora referência às FIGS. 30 e 31, as concretizações da descrição podem ser utilizadas no contexto de um método de fabrico e serviço de aeronaves 230 tal como mostrado na Figura 30 e uma aeronave 232 tal como mostrada na Figura 31. As aplicações de aeronave das concretizações descritas podem incluir, por exemplo, sem limitação, membros endurecidos compósitos tais como endurecedores, vigas e longarinas, para falar apenas de alguns. Durante a pré-produção, o método exemplificativo 230 pode incluir especificação e concepção 234 da aeronave 230 e aprovisionamento de material 236, em que as estruturas com contornos descritas são especificadas para utilizar na aeronave 232. Durante a produção, tem lugar o fabrico de componentes e subconjuntos 238 e integração de sistema 240 da aeronave 230, em que vários componentes e subconjuntos são fabricados ao utilizar o método descrito. Depois disso, a aeronave 232 poderá passar por uma certificação e

distribuição 242 de modo a ser colocada em serviço 244. Enquanto em serviço por um cliente, a aeronave 232 é programada para manutenção e serviço de rotina 246 (o que também pode incluir modificação, reconfiguração, renovação e por aí fora), o que pode incluir a utilização das estruturas com contornos descritas.

Cada um dos processos do método 230 pode ser realizado ou levado a cabo por um integrador de sistema, terceiros e/ou um operador (por exemplo, um cliente). Para a finalidade desta descrição, um integrador de sistema pode incluir sem limitação qualquer número de fabricantes e subempreiteiros de sistema principal de aeronave; os terceiros podem incluir sem limitação qualquer número de fornecedores, subempreiteiros e fornecedores; e um operador pode ser uma companhia aérea, companhia de aluguer de longa duração (leasing), entidade militar, organização de serviços e por aí fora.

Tal como mostrado na FIG. 31, a aeronave 232 produzida pelo método exemplificativo 230 pode incluir uma fuselagem 248 com uma pluralidade de sistemas 250 e um interior 252. Os exemplos de sistemas de alto nível 250 incluem um ou mais de um sistema de propulsão 254, um sistema eléctrico 256, um sistema hidráulico 258 e um sistema ambiental 260. Pode ser incluído qualquer número de outros sistemas. Muito embora seja mostrado um exemplo aeroespacial, os princípios da descrição podem ser aplicados a outras indústrias, tais como a marítima e a automóvel.

Os sistemas e métodos aqui concretizados podem ser empregues durante qualquer uma ou mais das etapas do método de produção e serviço 230. Por exemplo, os componentes ou subconjuntos que correspondem ao processo de produção 208 podem ser fabricados ou manufacturados de uma maneira similar aos componentes ou subconjuntos produzidos enquanto a aeronave 232 está em serviço. Além disso, uma ou mais concretizações do aparelho, concretizações do método, ou uma sua combinação podem utilizar-se durante as etapas de produção 238 e 240, por exemplo, ao expedir substancialmente o conjunto de ou reduzindo o custo de uma aeronave 232. De modo similar, pode utilizar-se uma ou mais das concretizações do aparelho, concretizações do método ou uma sua combinação

enquanto a aeronave 232 está em serviço, por exemplo e sem limitação, para manutenção e serviço 246.

Muito embora as concretizações desta descrição tenham sido descritas em relação a certas concretizações exemplificativas, é para ser entendido que as concretizações específicas são para fins de ilustração e não para limitação, dado que ocorrerão outras variações àqueles que são peritos na arte dentro do âmbito das reivindicações.

Lisboa, 2014-10-01

REIVINDICAÇÕES

1 - Método de fabricar uma estrutura compósita com contornos que compreende:

assentar uma carga compósita para formar uma pilha de camadas (50), incluindo assentar pelo menos uma camada de segmentos de camada pré-impregnados de fibra unidireccionais (118) que têm larguras substancialmente constantes, incluindo colocar os segmentos de camada numa relação de sobreposição lado a lado e alinhar as linhas centrais longitudinais (194) dos segmentos de camada (118) numa orientação polar relacionada com o contorno da estrutura;

formar a carga compósita substancialmente na forma da estrutura ao utilizar um processo de formação de drapeado, sendo o processo de formação de drapeado caracterizado por incluir:

proporcionar um apoio de assentamento (86);

colocar a pilha de camadas (50) em cima de um mandril de formação (80), tendo o mandril de formação uma superfície superior (80a) e uma superfície com contornos (80b) que tem um raio (R), de tal modo que um bordo externo (50a) da pilha de camadas (50) se prolongue passando a superfície com contornos (80b);

suportar o bordo externo (50a) da pilha de camadas (50), quando se prolonga ao passar a superfície com contornos, com o apoio de assentamento (86) quando a pilha de camadas está colocada em cima do mandril de formação (80);

mover o apoio de assentamento (86) para fora do mandril e pilha de camadas (50) de modo que não suporte mais o referido bordo externo da pilha de camadas depois da referida colocação de camada;

colocar um saco de vácuo (88) sobre a pilha de camadas (50) e mandril de formação (80); e

arrastar um vácuo no saco de vácuo (88), aplicando deste modo pressão à pilha de camadas (50), fazendo com que o bordo (50a) dobre até assentar substancialmente plano contra a superfície com contornos (80b), para formar a forma da estrutura com um raio substancialmente idêntico ao raio (R) da superfície com contornos; e

curar a carga conformada.

2 - Método da reivindicação 1, em que depois de mover o apoio de assentamento (86) o mesmo suporta parcialmente o saco de vácuo (88) durante a etapa de arrastamento.

3 - Método de qualquer reivindicação precedente, que compreende ainda um segundo passo de formação que inclui:

colocar a estrutura formada previamente sobre um segundo mandril de formação (106) que tem uma superfície plana superior (106a), uma segunda superfície plana (106b) para suportar a estrutura formada previamente e uma terceira superfície (106c) que se prolonga para baixo a partir da superfície superior (106a) na extremidade oposta à segunda superfície, de tal modo que um bordo externo (50b) da pilha de camadas se prolongue passando a terceira superfície (106c); e

drapear a quente o bordo externo (50b) sobre o mandril de formação (106) para formar uma corda externa (38).

4 - Método da reivindicação 3, em que uma camada de propileno-etileno fluorado (FEP) (123) é colocada entre um bordo do mandril de formação (106) e a pilha de camadas (50) e é drapeada sobre um bloco (112) afastado da extremidade do bordo externo (50b) da pilha de camadas.

5 - Método da reivindicação 3 ou reivindicação 4, que inclui ainda:

colocar um intensificador com contornos (120) sobre a pilha de camadas (50) para manter o raio da estrutura formada previamente.

6 - Método de qualquer reivindicação precedente, em que colocar os segmentos de camada (188) numa relação lado a lado inclui manter uma quantidade substancialmente constante de sobreposição entre os segmentos de camada à medida que os segmentos de camada estão a ser colocados.

7 - Método de qualquer reivindicação precedente, em que assentar a camada inclui cortar os segmentos de camada (188) a partir de um comprimento de fita compósita.

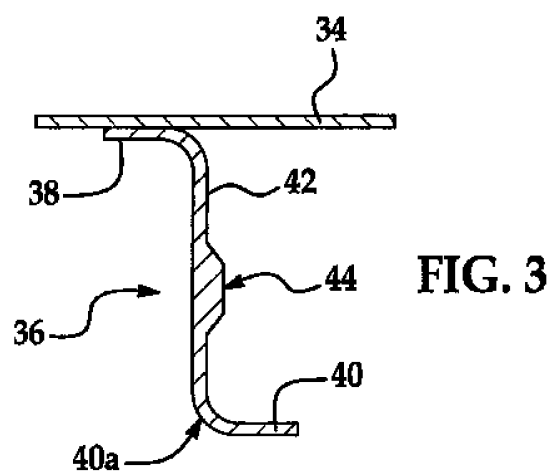
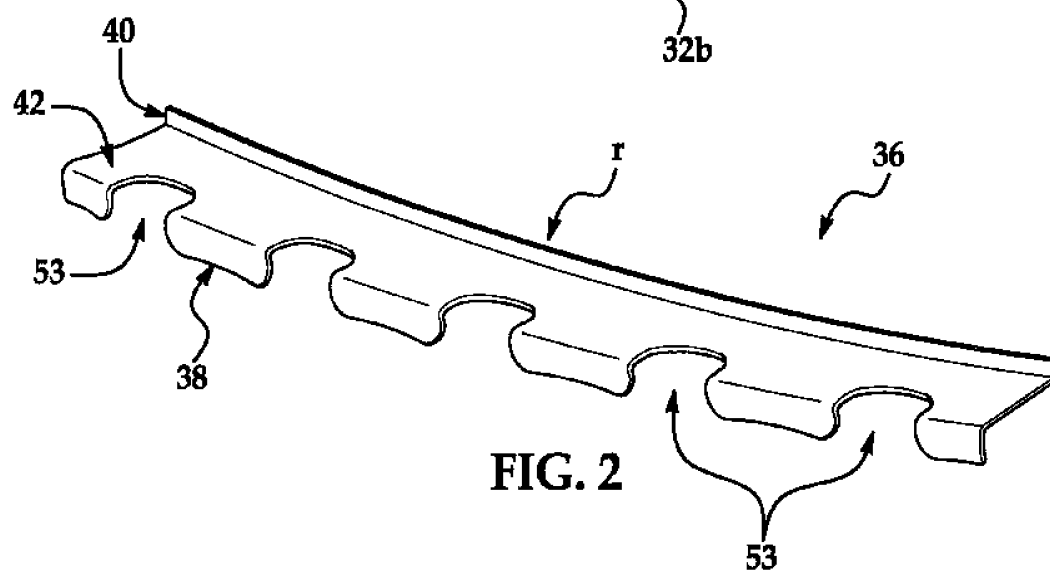
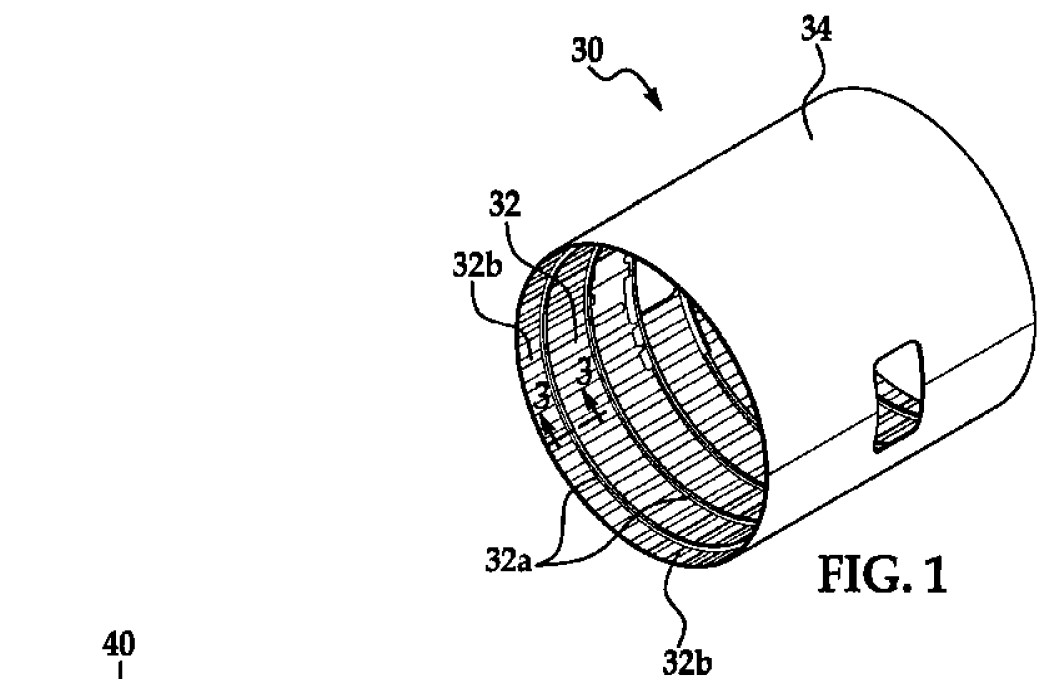
8 - Método da reivindicação 7, em que cortar a fita inclui cortar o comprimento de fita num ângulo que em geral coincide com o contorno da estrutura.

9 - Método de qualquer reivindicação precedente, em que são criados intervalos (198) entre os adjacentes dos segmentos de camada (188) devido à orientação polar dos segmentos de camada, e assentar a camada inclui ainda minimizar substancialmente os intervalos (198).

10 - Método de qualquer reivindicação precedente, que compreende ainda aparar os bordos dos segmentos de camada (188) para coincidir em geral com o contorno da estrutura.

11 - Método de qualquer reivindicação precedente, em que a colocação dos segmentos de camada e o alinhamento das suas linhas centrais (194) é realizado por uma cabeça de aplicação de fita controlada automaticamente (210, 212).

Lisboa, 2014-10-01



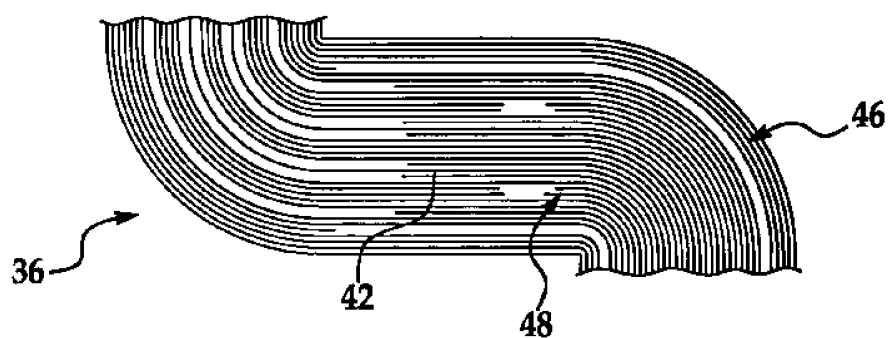


FIG. 4

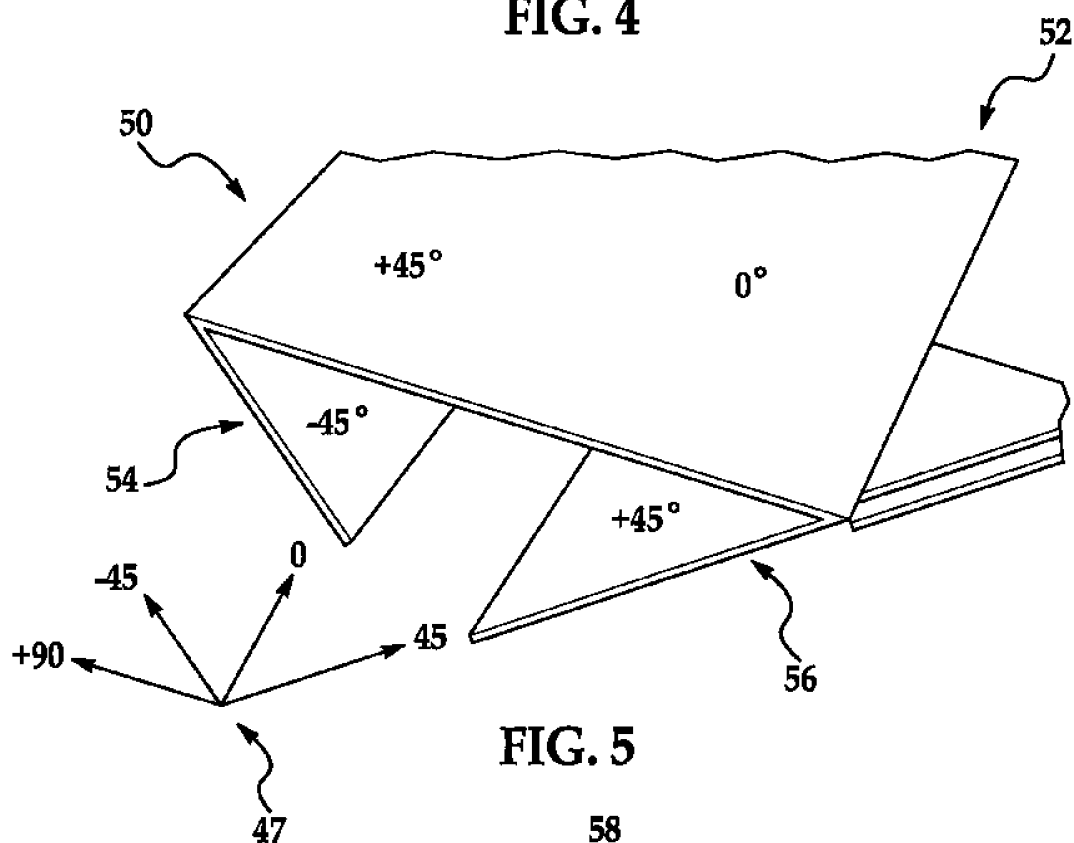


FIG. 5

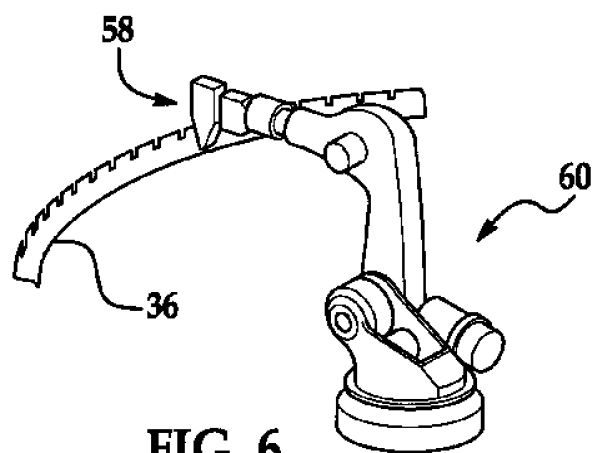


FIG. 6

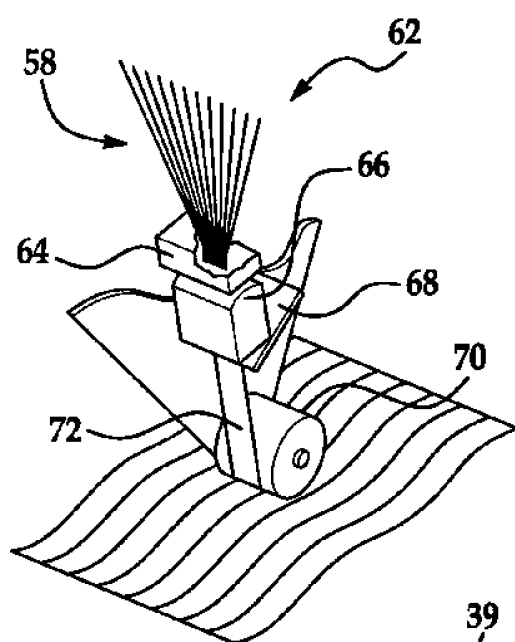


FIG. 7

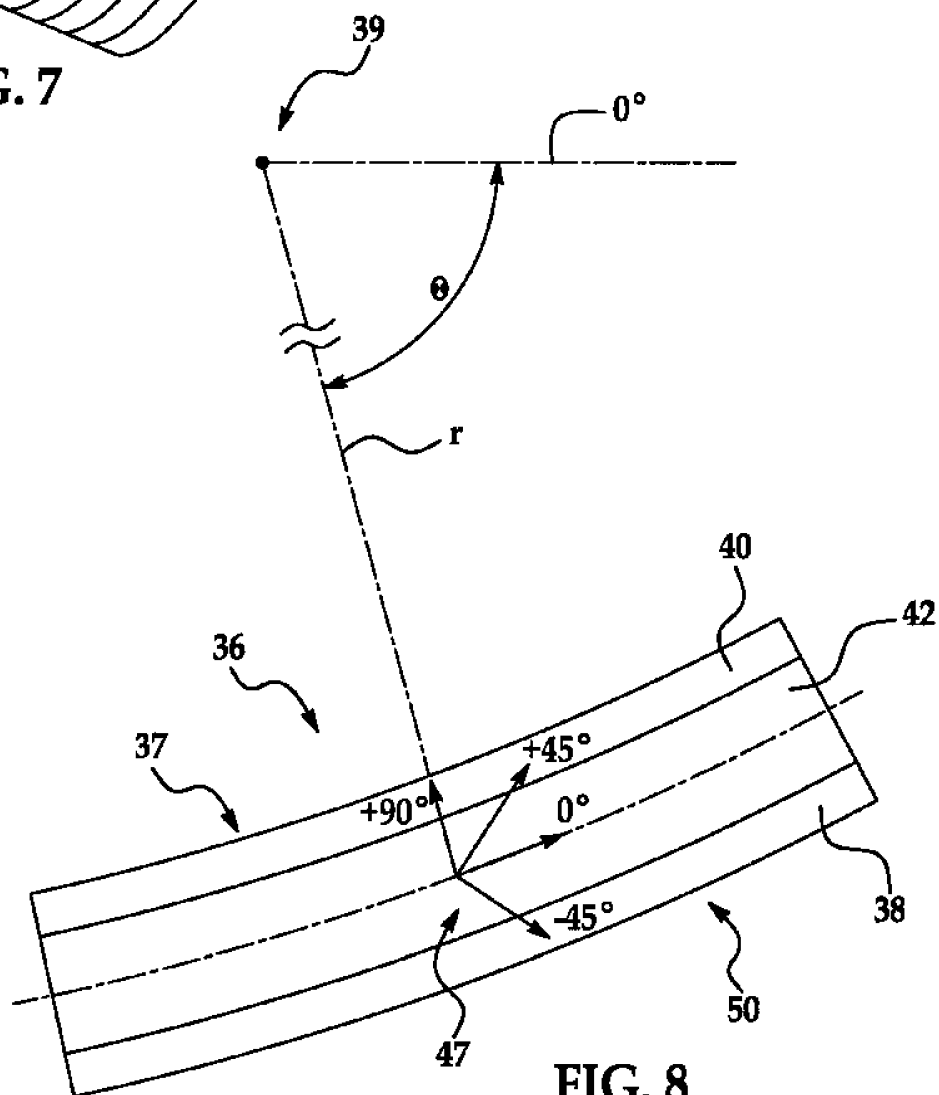


FIG. 8

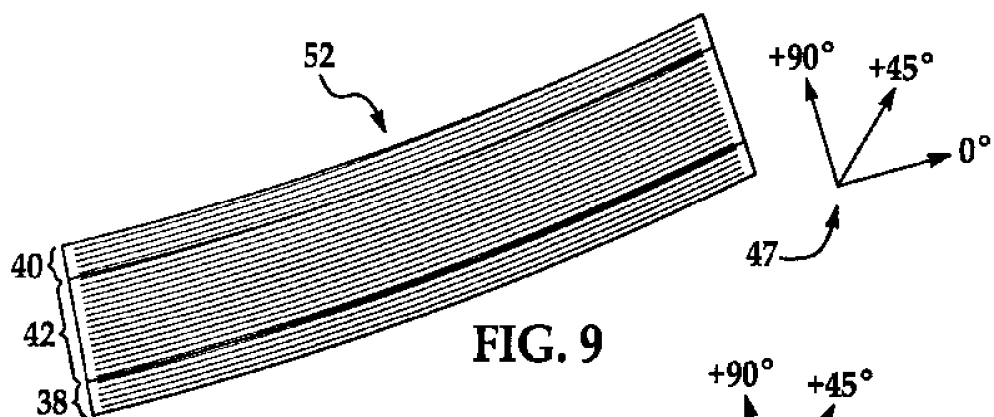


FIG. 9

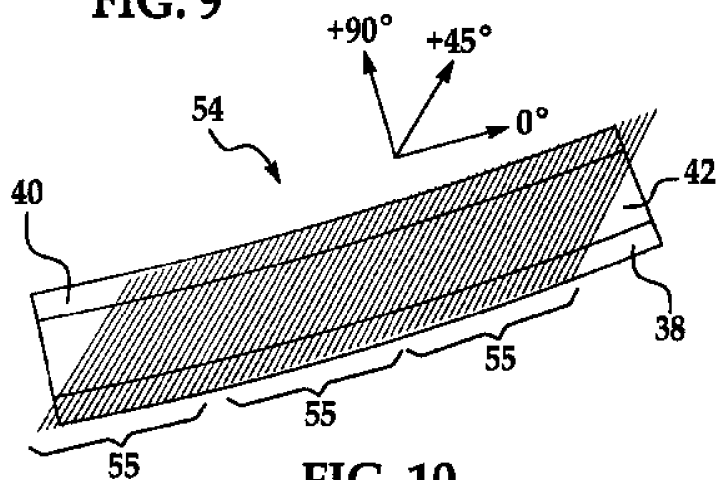


FIG. 10

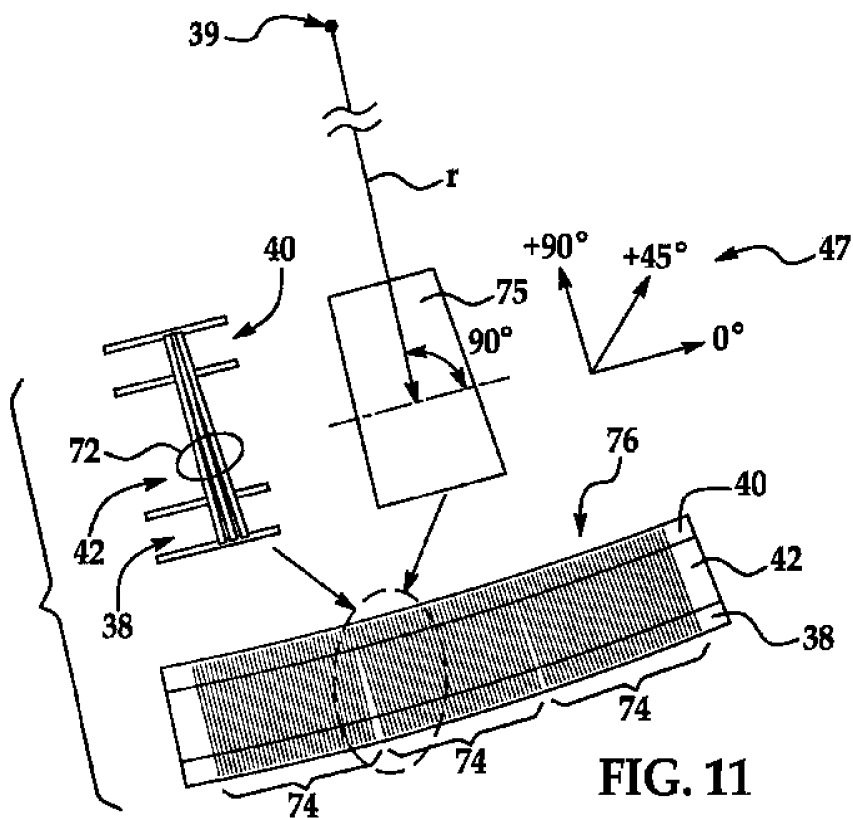
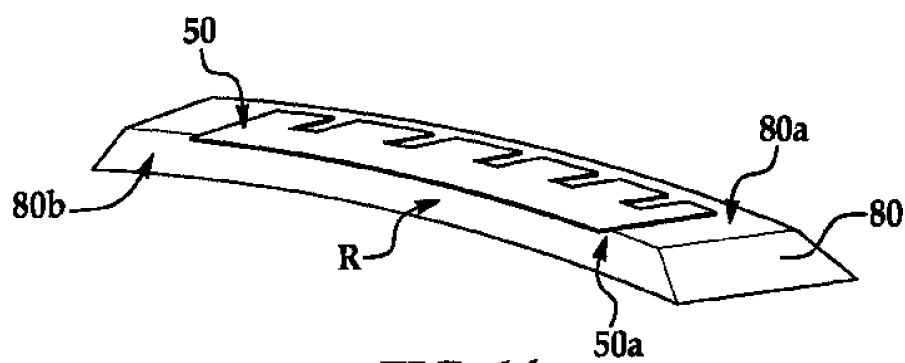
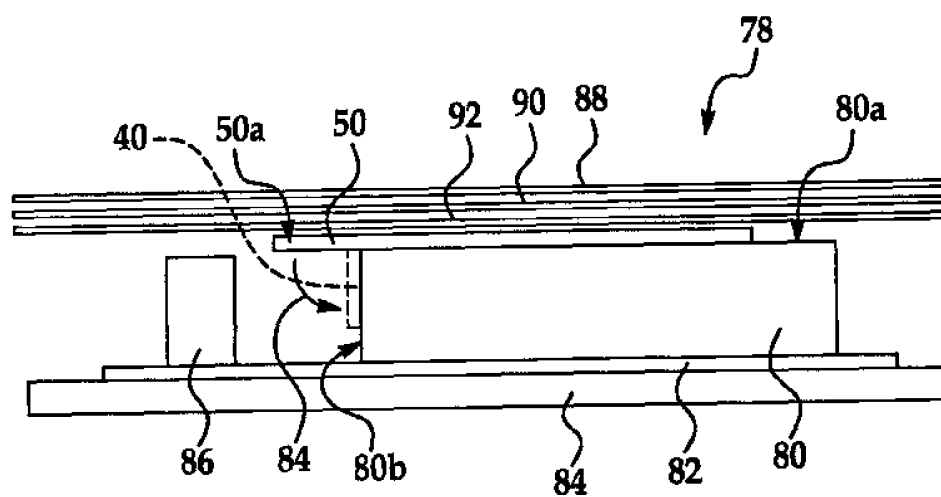
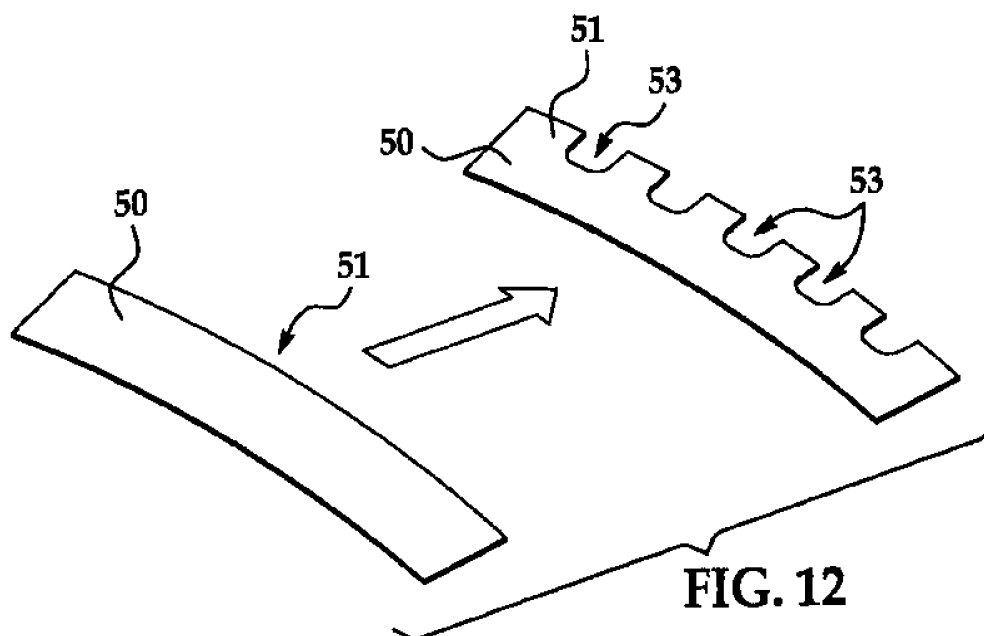
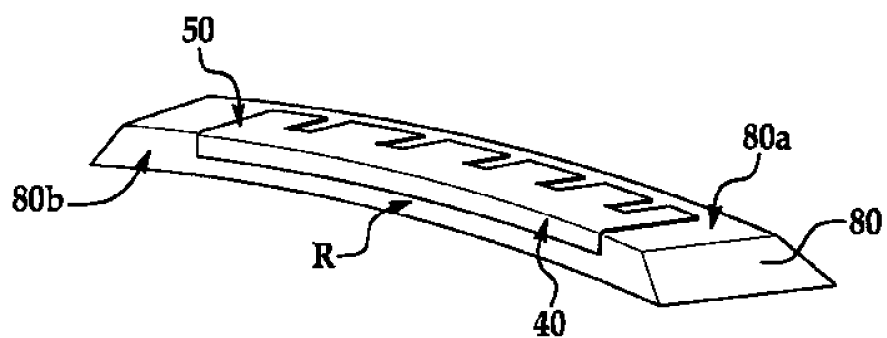
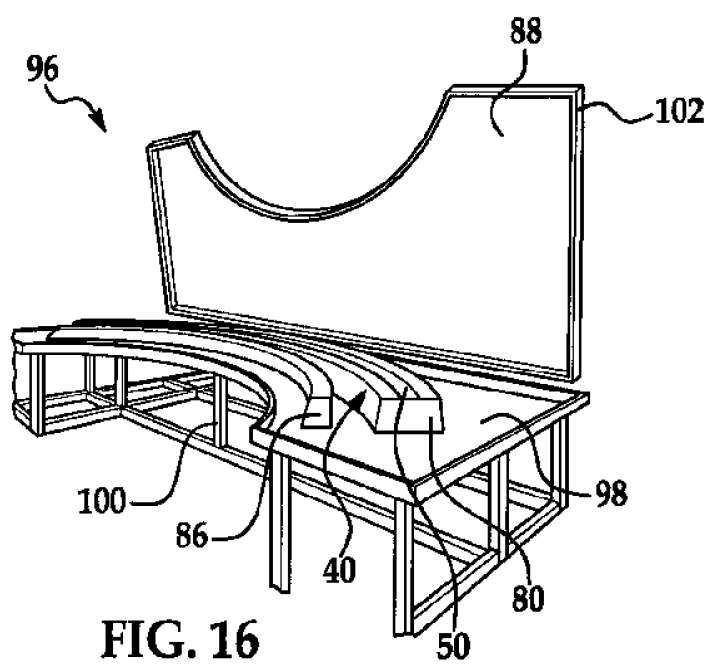
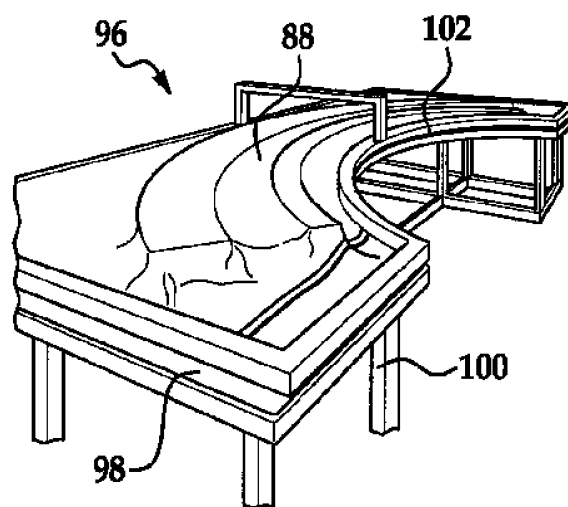


FIG. 11



**FIG. 15****FIG. 16****FIG. 17**

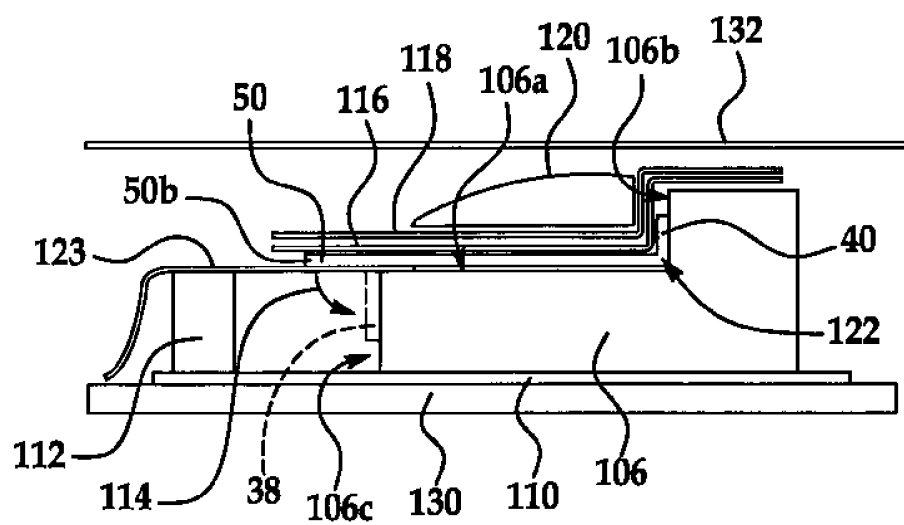


FIG. 18

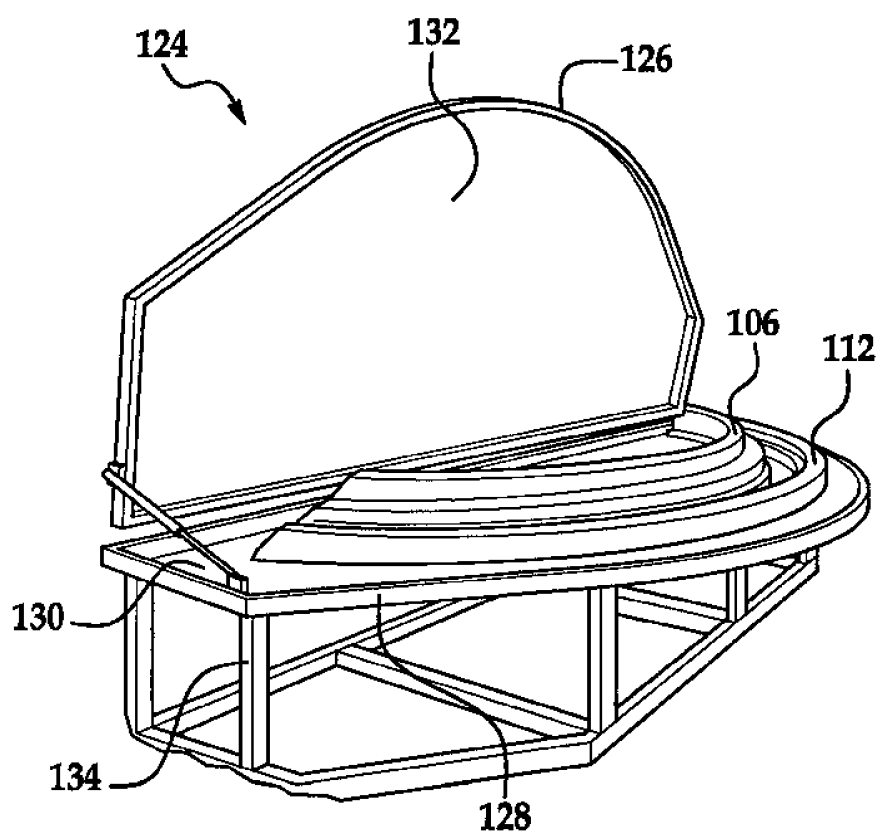
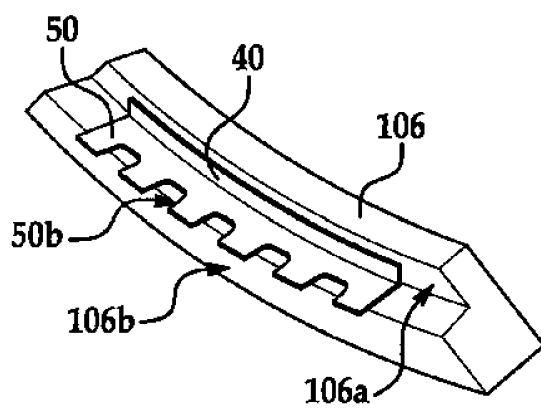
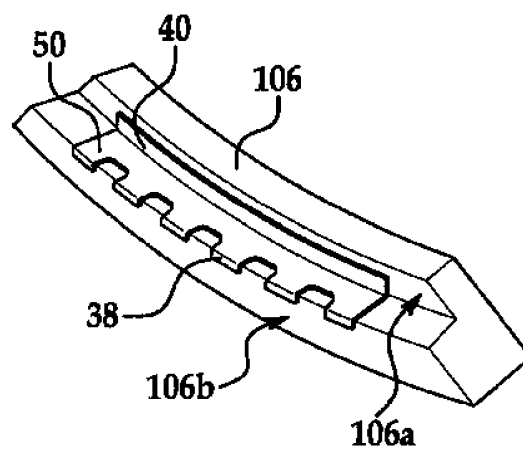
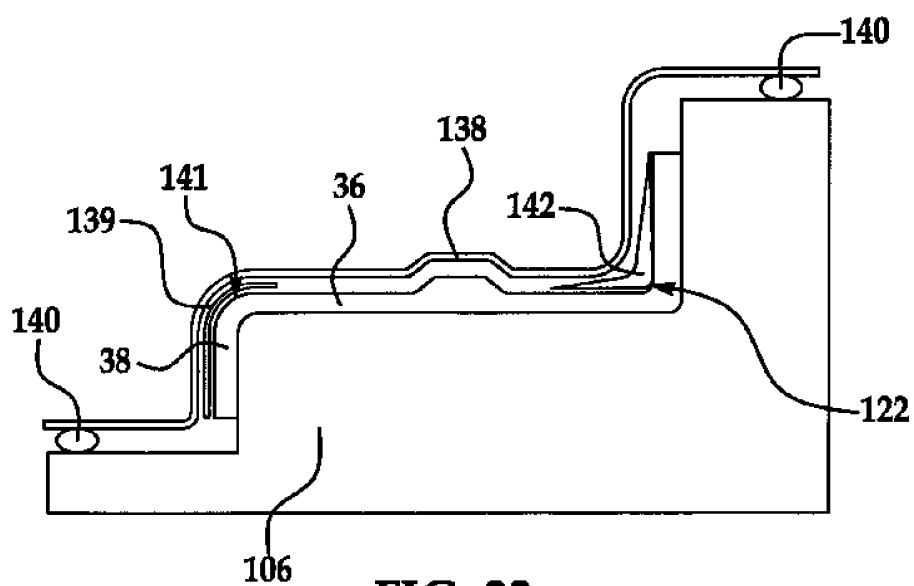


FIG. 19

**FIG. 20****FIG. 21****FIG. 22**

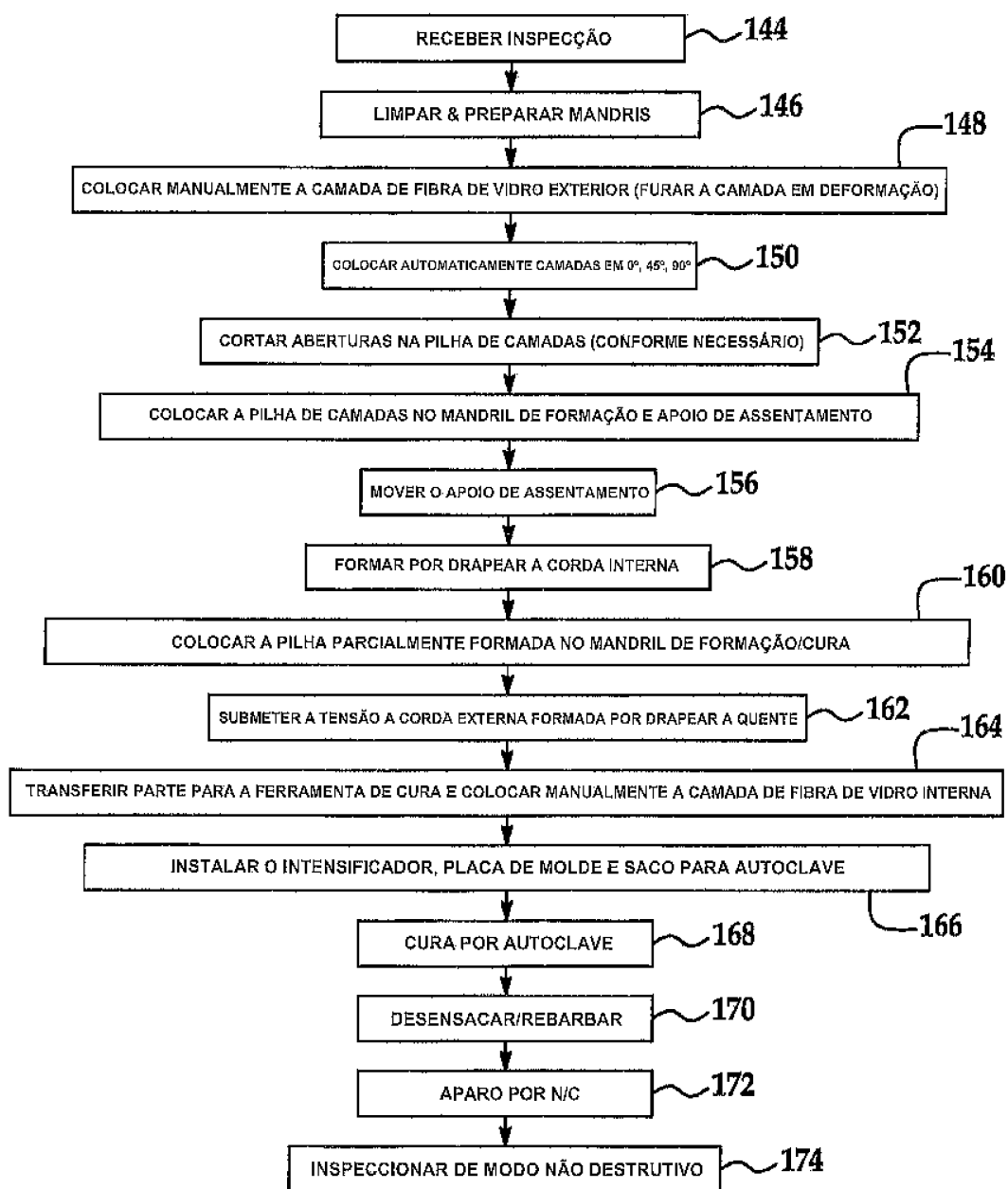


FIG. 23

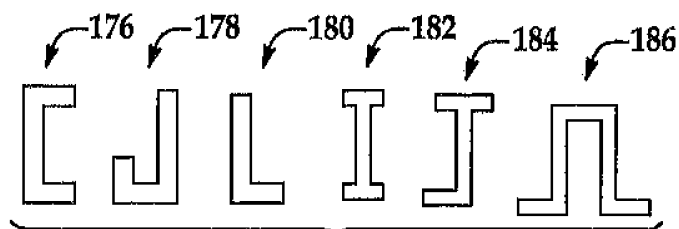


FIG. 24

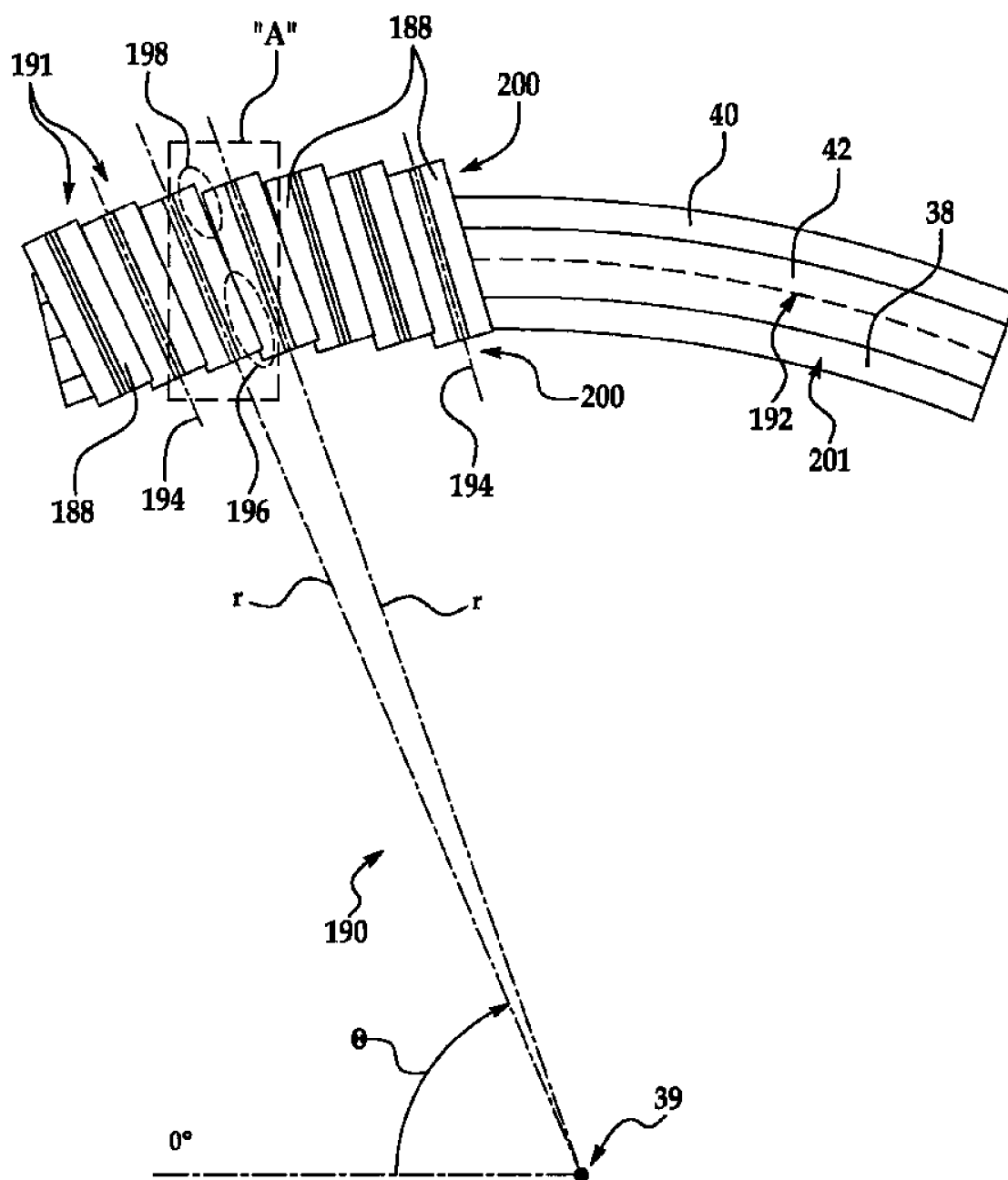


FIG. 25

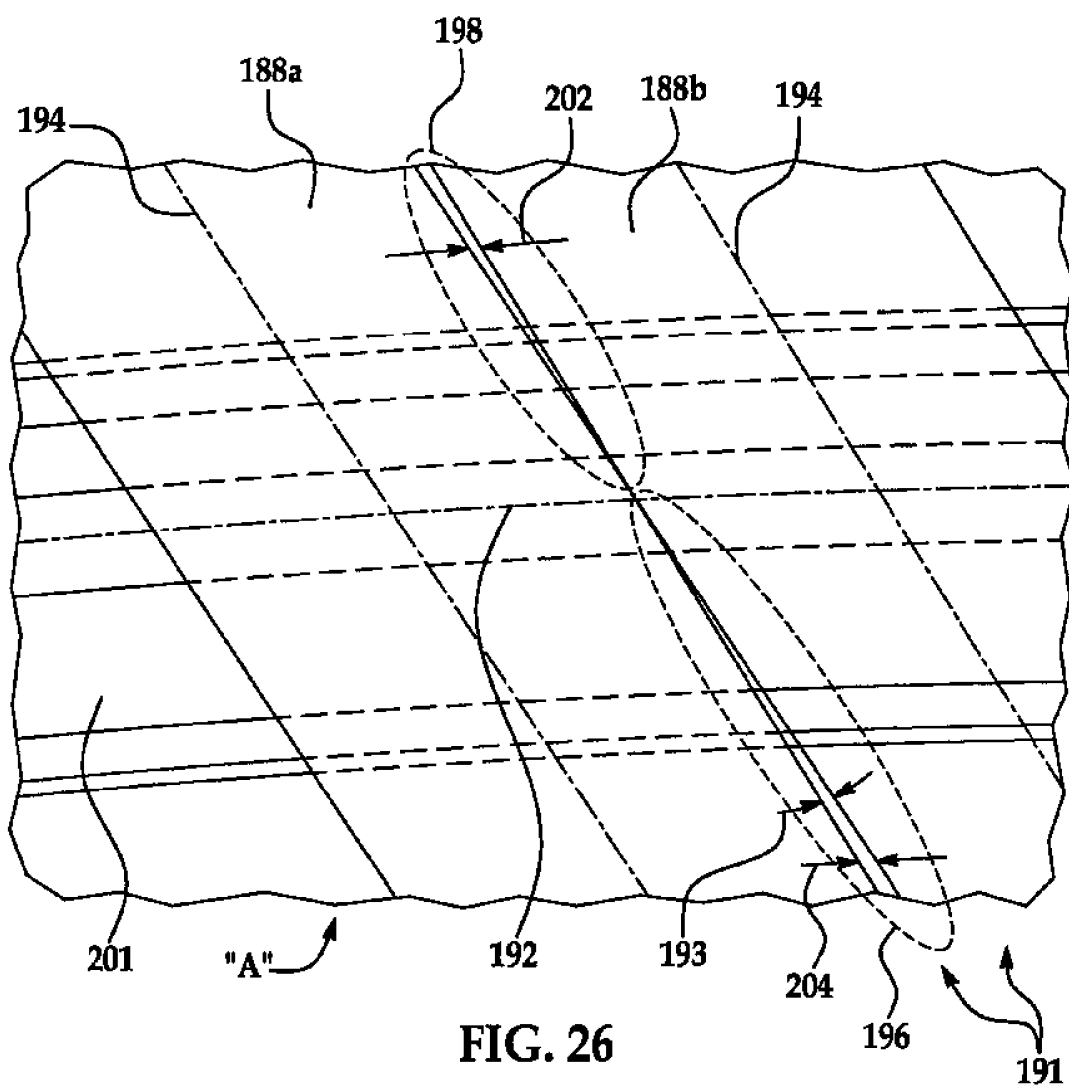


FIG. 26

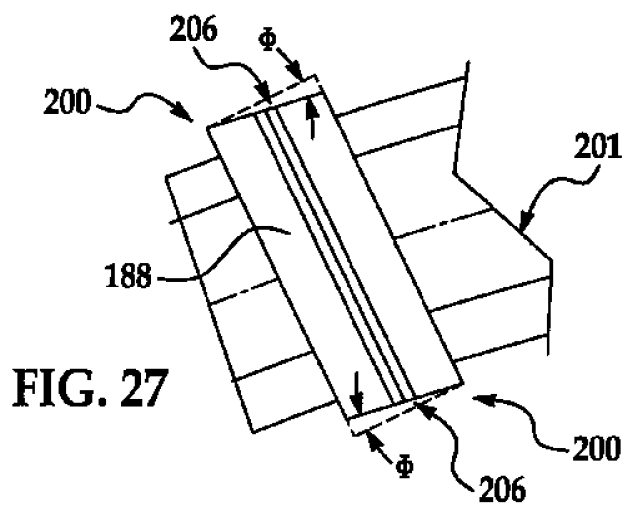


FIG. 27

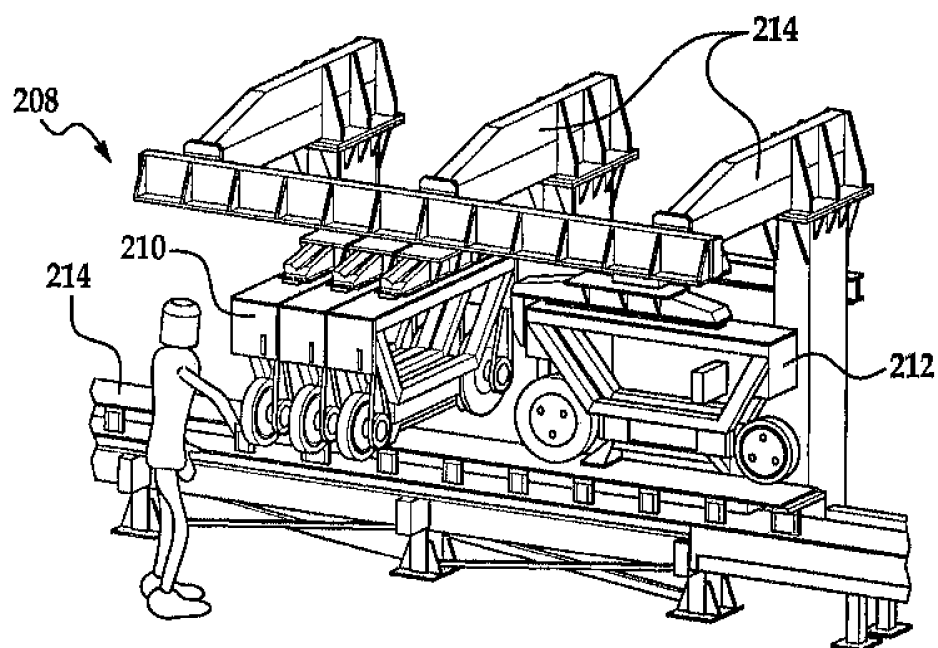


FIG. 28

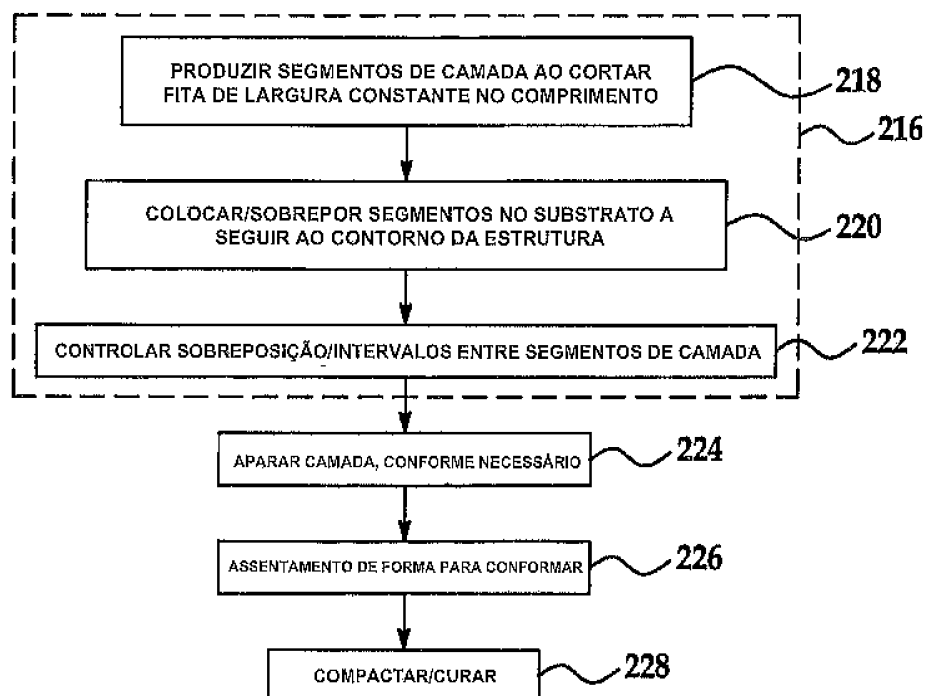


FIG. 29

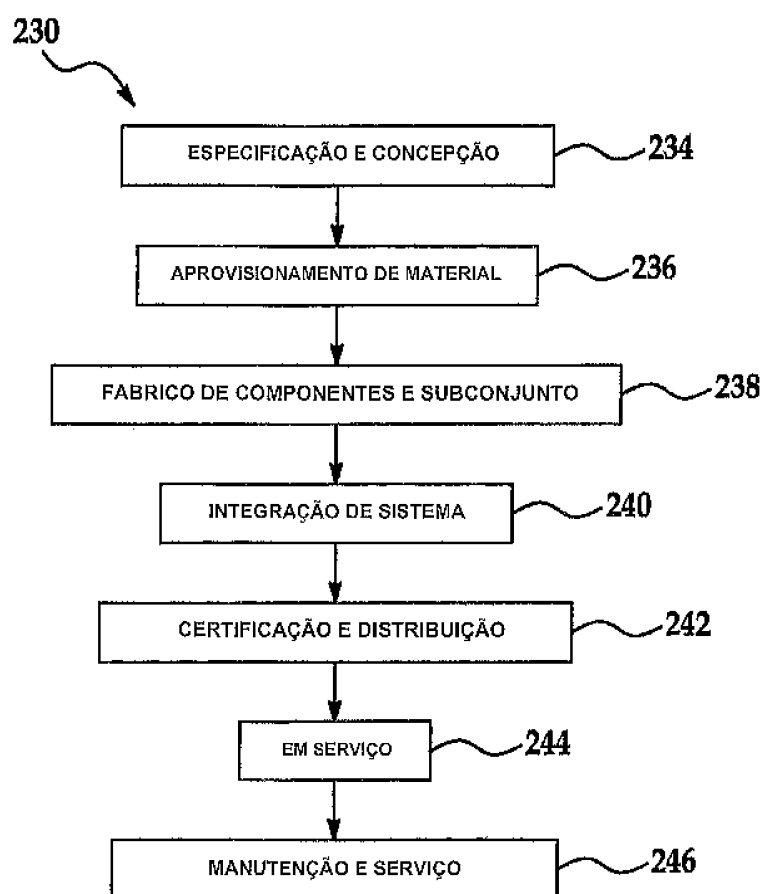


FIG. 30

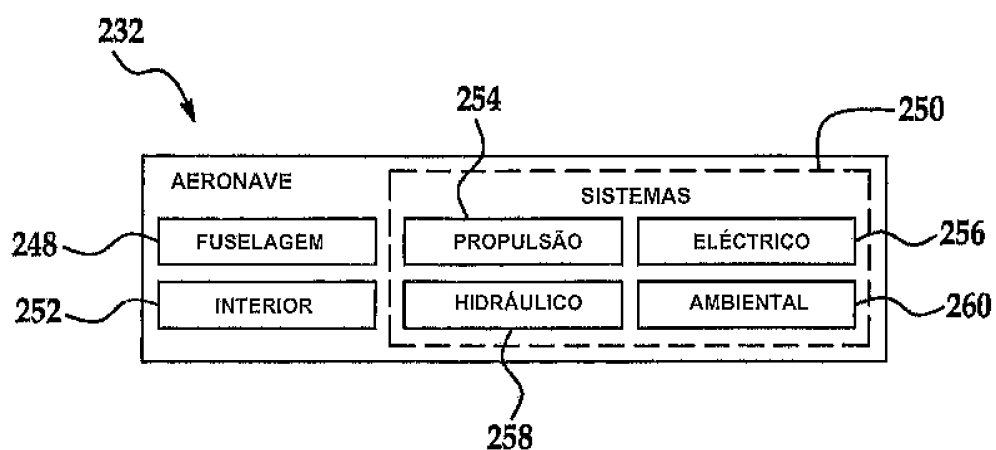


FIG. 31