



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

(11) BR 112015016158-8 B1



(22) Data do Depósito: 21/11/2013

(45) Data de Concessão: 20/04/2021

(54) Título: APARELHO PARA FABRICAR CADA ESTRUTURA LAMINADA DE UMA PLURALIDADE DE ESTRUTURAS LAMINADAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE ESTRUTURAS COM RECURSOS COMUNS, E, MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE CADA PEÇA DE UMA PLURALIDADE DE PEÇAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE PEÇAS COM RECURSOS COMUNS

(51) Int.Cl.: B29C 70/38; B29C 70/54; B29D 99/00.

(30) Prioridade Unionista: 07/01/2013 US 61/749,881; 24/05/2013 US 13/901,813.

(73) Titular(es): THE BOEING COMPANY.

(72) Inventor(es): JAMES N. BUTTRICK; DAVID P. BANKS; DENNIS W. STEWART; JESUS SANCHEZ; ANDREW E. MODIN; EDOARDO P. DEPASE.

(86) Pedido PCT: PCT US2013071124 de 21/11/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/107243 de 10/07/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 03/07/2015

(57) Resumo: APARELHO PARA FABRICAR CADA ESTRUTURA LAMINADA DE UMA PLURALIDADE DE ESTRUTURAS LAMINADAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE ESTRUTURAS COM RECURSOS COMUNS, E, MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE CADA PEÇA DE UMA PLURALIDADE DE PEÇAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE PEÇAS COM RECURSOS COMUNS. Uma pluralidade de módulos de fabricação idênticos são ligados entre si e são configuráveis para fabricar qualquer estrutura laminada de uma pluralidade de estruturas laminadas diferentes numa família de estruturas com recursos comuns. Cada um desses módulos de fabricação é localmente adaptado para fabricar uma seção da estrutura laminada numa ferramenta correspondente. Um controlador controla e coordena a operação automatizada dos módulos de fabricação.

“APARELHO PARA FABRICAR CADA ESTRUTURA LAMINADA DE UMA PLURALIDADE DE ESTRUTURAS LAMINADAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE ESTRUTURAS COM RECURSOS COMUNS, E, MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE CADA PEÇA DE UMA PLURALIDADE DE PEÇAS DIFERENTES NUMA FAMÍLIA DE PEÇAS COM RECURSOS COMUNS”

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

1. Campo da Invenção

[001] A presente descrição da invenção diz respeito, em termo geral, à fabricação de laminados, especialmente aqueles laminados que são contornados, e diz a respeito, mais particularmente, de um método e de um aparelho para a disposição e para a formação automática de estruturas laminadas diferentes em uma família de estruturas com recursos comuns.

2. Fundamentos da Técnica

[002] Estruturas de materiais compósitos, especialmente aquelas que apresentam contornos, algumas vezes possuem características que exigem que a estrutura seja formada de múltiplas peças. Por exemplo, na indústria de aviação ou indústria aeronáutica, seções da armação de barril da fuselagem de material compósito contornadas podem ser formadas empregando um conjunto de duas peças compreendendo uma armação da seção ‘tipo’ canal e uma ligação ou um vínculo de cisalhamento, mecanicamente presos entre si. Mais recentemente, seções da armação de material compósito em peça única foram propostas que empregam materiais compósitos trançados, porém tal abordagem de fabricação é demorada e de mão de obra em demasia, e pode resultar numa armação que é mais pesada do que aquela desejada. O problema de fabricar aquelas seções da armação de material compósito em peça única é mais difícil em ambientes de elevada taxa de produção onde espaços de tempo de escoamento da produção podem ser importantes para atingir eficiências de fabricação.

[003] Consequentemente, existe a necessidade de um método e de um

aparelho para produzir estruturas laminadas em peça única, especialmente aquelas que são contornadas, que reduzem a mão de obra e o tempo de montagem por meio de automação. Existe também uma necessidade de um método e aparelho para produzir diferentes estruturas laminadas dentro de uma família de estruturas com recursos comuns a fim de reduzir os custos de material e mão-de-obra, aumentando ainda as taxas de produção. Além disso, existe uma necessidade de um método e aparelho para fabricar estruturas laminadas usando certas formas de material, tal como fita de prepreg unidirecional, que não podem ser produzidas usando métodos de fabricação manual convencionais.

SUMÁRIO

[004] As modalidades descritas fornecem um método e aparelho para produzir diferentes estruturas laminadas de materiais compósitos dentro de uma família de estruturas com recursos comuns. O aparelho compreende um sistema de formação de material compósito reconfigurável automático especialmente projetado para formar fita de prepreg unidirecional na produção de elementos estruturais, tais como armações de fuselagem de aeronave. O aparelho compreende uma pluralidade de módulos de formação substancialmente idênticos ligados entre si para formar um formador simples que pode ser reconfigurado para conformar com uma ampla faixa de ferramentas definindo formas estruturais correspondentes. Cada qual dos módulos de formação tem a capacidade de localmente adaptar ou transformar no desenho, forma ou recursos únicos da ferramenta. Em uma aplicação de aeronave, o aparelho pode ser empregado para fabricar seções da armação de material compósito multicamadas com uma forma seccional transversal de Z, dispondo, formando e compactando cada camada da seção da armação. As camadas são formadas de uma corda interna para fora até uma corda externa, algumas vezes referida como uma ligação de cisalhamento. Cada qual dos módulos de formação adapta à forma local da ferramenta. Os módulos são

ligados entre si de uma maneira a formar um formador simples que ajusta a toda ferramenta. Diferentes comprimentos de arco da ferramenta podem ser acomodados adicionando ou removendo módulos de formação. Não é necessário que os módulos de formação casem exatamente com o comprimento de arco total de uma ferramenta naqueles casos onde a estrutura é contornada. O aparelho emprega um sistema de controle adaptativo baseado em um perfil da forma estrutural genérica das estruturas dentro de uma família de estruturas. O sistema de controle adaptativo forma cada camada da estrutura com base em uma combinação de realimentação de força e controle posicional. Cada módulo de formação tem dois servoeixos geométricos e emprega realimentação de força em um desses dois eixos geométricos por vez. O uso de realimentação de força depende da área da estrutura que está sendo formada. Durante o processo de formação, a realimentação comuta para frente e para trás entre os dois eixos geométricos. A comutação entre os dois eixos geométricos é controlada pelo sistema adaptativo e é determinada pelos parâmetros de forma genéricos da estrutura que está sendo formada. Poder contar com um perfil de movimento genérico permite que o aparelho forme qualquer de uma pluralidade de estruturas únicas, camada por camada, sem a necessidade de programação NC (controle numérico). O aparelho é facilmente ajustável na escala para fabricar estruturas de diferentes tamanhos dentro de uma família de estruturas adicionando ou removendo módulos de formação, e arranjando os módulos para casar substancialmente com formas de ferramenta correspondentes.

[005] De acordo com uma modalidade descrita, é provido um sistema para fabricar uma pluralidade de peças únicas. O sistema compreende uma pluralidade de ferramentas de superposição únicas, respectivamente, correspondente à pluralidade de peças a ser fabricadas, e uma pluralidade de módulos formadores configurada para que sejam combinados entre si para definir uma pluralidade de formadores únicos, respectivamente,

correspondente à pluralidade de peças e à pluralidade de ferramentas de superposição. Cada qual dos formadores é adaptado para dispor material em uma correspondente das ferramentas de superposição para formar uma correspondente das peças. Os módulos formadores são substancialmente idênticos, e cada da pluralidade de formadores únicos é configurado acoplando cada dos módulos formadores substancialmente na ferramenta de sobreposição única correspondente. Os módulos formadores são ligados entre si e são montados em bases que permitem que os módulos formadores movam em múltiplas direções. Cada dos módulos formadores inclui uma cabeça de formação adaptada para formar o material em uma correspondente das ferramentas de superposição. Cada das cabeças de formação é maleável. A peça pode ser uma estrutura laminada, e a estrutura laminada pode ser um plástico reforçado com fibra de carbono.

[006] De acordo com uma outra modalidade descrita, é provido um aparelho para fabricar cada de uma pluralidade de diferentes estruturas laminadas em uma família de estruturas com recursos comuns. O aparelho compreende uma pluralidade de módulos de fabricação separados, cada qual localmente adaptado para fabricar uma seção da estrutura laminada em uma ferramenta correspondente. Os módulos de fabricação são reconfiguráveis para fabricar cada das estruturas laminadas na sua família. O aparelho também inclui um controlador para controlar e coordenar a operação automática dos módulos de fabricação. O aparelho pode compreender adicionalmente um elemento de formação adaptado para formar camadas laminadas através da ferramenta. O elemento de formação estende-se ao longo de um comprimento dos módulos de fabricação, e é montado em cada dos módulos de fabricação para movimento através da ferramenta ao longo de pelo menos dois eixos geométricos. O elemento de formação é contínuo ao longo do comprimento dos módulos de fabricação. O elemento de formação é controlado ao longo de dois eixos geométricos, mas tem uma forma que

adapta a mudanças entre diferentes áreas da estrutura que está sendo formada, tal como, no caso de uma armação da fuselagem de aeronave em peça única, entre um raio da corda interna e um raio da ligação de cisalhamento da armação. Cada dos módulos de fabricação inclui uma trilha na qual uma porção do elemento de formação é localmente montado. Um simples elemento de formação pode ser usado para fabricar uma estrutura particular, entretanto, o elemento de formação é removivelmente montado na trilha para permitir intercambialidade de uma pluralidade de elementos de formação, respectivamente, com diferentes formas para fabricar estruturas diferentemente modeladas. A trilha permite deslizamento lateral (ou tangencial) do elemento de formação em relação a cada módulo à medida que o comprimento de arco da estrutura muda à medida que o elemento de formação move sobre a estrutura. O elemento de formação é adaptado para varrer camadas laminadas através da ferramenta, e é maleável. Cada dos módulos de fabricação inclui um prendedor adaptado para prender uma porção de uma camada laminada contra uma porção da ferramenta. Cada dos módulos de fabricação inclui uma unidade motriz acoplada com o elemento de formação para varrer o elemento de formação sobre as camadas laminadas e compactar as camadas laminadas na ferramenta. O aparelho pode compreender adicionalmente um suporte de camada flexível adaptado para conter pelo menos uma camada laminada nele, em que cada qual dos módulos de fabricação inclui um par de trilhas espaçadas adaptado para conter de forma liberável o suporte de camada, e um conjunto de controle do suporte de camada para manter o suporte de camada sob tensão à medida que o elemento de formação forma a camada através da ferramenta. O elemento de formação é encaixável com o suporte de camada para varrer o suporte de camada junto com a camada nele através da ferramenta, e o conjunto de controle do suporte de camada inclui acionamentos para ajustar a posição do suporte de camada ao longo dos dois eixos geométricos. Cada dos módulos de fabricação

adicionalmente inclui um sensor de força para sensorear um nível de força aplicado nas camadas laminadas pelo elemento de formação, e um sensor de posição para sensorear a posição do elemento de formação. Cada dos módulos de fabricação adicionalmente inclui um prendedor para prender o módulo de fabricação na ferramenta. O aparelho pode também compreender articulação entre os módulos de fabricação para acoplar os módulos de fabricação entre si e alinhar os módulos de fabricação em relação à ferramenta. A articulação é configurada para permitir que os módulos de formação girem ao longo de um arco que é substancialmente o mesmo do arco retraído do elemento de formação que estende-se continuamente. Os módulos de fabricação são substancialmente idênticos e intercambiáveis entre si. O aparelho também inclui um controlador central para controlar e coordenar a operação dos módulos de fabricação para coletivamente fabricar a estrutura laminada.

[007] De acordo com ainda uma outra modalidade, é provido um método de fabricar uma pluralidade de diferentes peças em uma família de peças com recursos comuns, em que cada das peças é fabricada usando uma ferramenta única. O método compreende arranjar uma pluralidade de módulos de fabricação substancialmente idênticos separados para casar substancialmente com uma ferramenta na qual uma das peças deve ser fabricada, e adaptar cada dos módulos de fabricação a uma seção local da ferramenta. O método compreende adicionalmente controlar e coordenar a operação dos módulos de fabricação para fabricar porções da peça sobre uma seção correspondente da ferramenta. Arranjar os módulos de fabricação inclui mover cada dos módulos de fabricação para perto da ferramenta, e ligar os módulos de fabricação entre si. O método pode compreender adicionalmente prender cada dos módulos de fabricação na ferramenta. Adaptar cada dos módulos de fabricação inclui aprender, por cada dos módulos de fabricação, a localização das superfícies na ferramenta na qual a peça deve ser fabricada. O método pode também compreender varrer materiais através das superfícies da

ferramenta usando um elemento de formação, e usar o elemento de formação para aprender a localização das superfícies na ferramenta. Aprender a localização das superfícies inclui sensorear a posição do elemento de formação à medida que o elemento de formação varre materiais através das superfícies da ferramenta, e registrar a posição sensoreada do elemento de formação. Adaptar cada dos módulos de fabricação inclui ajustar a elevação dos módulos de fabricação em uma linha de água comum. O método pode compreender adicionalmente formar uma estria contínua ao longo de todos os módulos de fabricação. Formar a estria contínua inclui montar um elemento de formação contínuo substancialmente ao longo de todo o comprimento dos módulos de fabricação. Cada dos módulos de fabricação pode ser um módulo formador de camada laminada para formar uma seção local de uma camada. Arranjar os módulos de fabricação inclui ligar os módulos de fabricação entre si para formar um formador de camada laminada simples.

[008] De acordo com uma outra modalidade descrita, é provido um método de fabricar uma estrutura laminada de material compósito. O método compreende arranjar uma pluralidade de módulos de formação substancialmente idênticos para no geral casar com uma ferramenta na qual camadas de material compósito devem ser formadas para fabricar a estrutura laminada, e ligar os módulos de formação entre si para formar um formador simples para formar toda uma estrutura laminada de material compósito. O método compreende adicionalmente montar um elemento de formação contínuo nos módulos de formação, o elemento de formação contínuo definindo uma estria estendendo-se substancialmente por todo o comprimento do formador, e usar o elemento de formação para formar e compactar as camadas de material compósito na ferramenta. O método pode também incluir colocar as camadas de material compósito em um suporte de camada. O elemento de formação é usado para encaixar e varrer o suporte de camada junto com as camadas através da ferramenta.

[009] De acordo com ainda uma outra modalidade descrita, é provido um módulo de formação para formar uma peça de laminado compósito através de uma ferramenta. O módulo de formação compreende uma base e um conjunto de controle do suporte de camada adaptados para controlar a posição de um suporte de camada flexível no qual camadas de resina de material compósito são montadas. O módulo de formação compreende adicionalmente uma seção da cabeça montada na base e adaptada para automaticamente formar as camadas de resina de material compósito do suporte de camada através da ferramenta. A base é adaptada para mover sobre uma superfície de apoio, e a seção da cabeça inclui controle adaptativo para aprender um perfil da ferramenta. O módulo de formação pode adicionalmente incluir um prendedor para prender a seção da cabeça na ferramenta, e um elemento de formação automaticamente controlado para formar as camadas através da ferramenta.

[0010] De acordo com um aspecto da presente descrição, é provido um sistema para fabricar uma pluralidade de peças únicas, compreendendo: uma pluralidade de ferramentas de superposição únicas, respectivamente, correspondente à pluralidade de peças a ser fabricadas, e uma pluralidade de módulos formadores configurada para que sejam combinados entre si para definir uma pluralidade de formadores únicos, respectivamente, correspondente à pluralidade de peças e à pluralidade de ferramentas de superposição, cada qual dos formadores sendo adaptado para dispor material em uma correspondente das ferramentas de superposição para formar uma correspondente das peças. Vantajosamente, o sistema é tal que os módulos formadores são substancialmente idênticos, e cada da pluralidade de formadores únicos é configurado acoplando cada dos módulos formadores substancialmente idênticos na ferramenta de sobreposição correspondente única. Vantajosamente, o sistema é tal que os módulos formadores são montados em bases que permitem que os módulos formadores movam em

múltiplas direções. Vantajosamente, o sistema é tal que módulos formadores são rigidamente ligados entre si. Vantajosamente, o sistema é tal que cada dos módulos formadores inclui uma seção da cabeça de formação adaptada para formar o material em uma correspondente das ferramentas de superposição. Vantajosamente, o sistema é tal que cada das seções de cabeça de formação é maleável. Vantajosamente, o sistema é tal que a maleabilidade é removida quando os módulos formadores são acoplados na ferramenta de sobreposição. Vantajosamente, o sistema é tal que a peça é uma estrutura laminada. Vantajosamente, o sistema é tal que a peça é um plástico reforçado com fibra de carbono.

[0011] De acordo com um aspecto adicional da presente descrição, é provido um aparelho para fabricar cada de uma pluralidade de diferentes estruturas laminadas em uma família de estruturas com recursos comuns, compreendendo: uma pluralidade de módulos de fabricação separados, cada qual localmente adaptado para fabricar uma seção da estrutura laminada em uma ferramenta correspondente, os módulos de fabricação sendo reconfiguráveis para fabricar cada das estruturas laminadas na sua família, e um controlador para controlar e coordenar a operação automática dos módulos de fabricação. Vantajosamente, o aparelho compreende adicionalmente um elemento de formação adaptado para formar camadas laminadas através da ferramenta, o elemento de formação estendendo-se ao longo de um comprimento dos módulos de fabricação, o elemento de formação sendo montado em cada dos módulos de fabricação para movimento através da ferramenta ao longo de pelo menos dois eixos geométricos. Vantajosamente, o aparelho é tal que o elemento de formação é contínuo ao longo do comprimento dos módulos de fabricação. Vantajosamente, o aparelho é tal que cada dos módulos de fabricação inclui uma trilha na qual uma porção do elemento de formação é montado localmente. Vantajosamente, o aparelho é tal que o elemento de formação é removivelmente montado nas

trilhas para permitir intercambialidade de uma pluralidade de elementos de formação respectivamente com diferentes formas. Vantajosamente, o aparelho é tal que o elemento de formação é adaptado para varrer camadas laminadas através da ferramenta, e é maleável. Vantajosamente, o aparelho é tal que cada dos módulos de fabricação inclui um prendedor adaptado para prender uma porção de uma camada laminada contra uma porção da ferramenta. Vantajosamente, o aparelho é tal que cada dos módulos de fabricação inclui uma unidade motriz acoplada com o elemento de formação para varrer o elemento de formação sobre as camadas laminadas e compactar camadas laminadas na ferramenta. Vantajosamente, o aparelho compreende adicionalmente: um suporte de camada flexível adaptado para conter pelo menos uma camada laminada nele, e em que cada dos módulos de fabricação inclui um par de trilhas espaçadas adaptado para conter de forma liberável o suporte de camada, e um conjunto de controle do suporte de camada para manter o suporte de camada sob tensão à medida que o elemento de formação forma a camada através da ferramenta. Vantajosamente, o aparelho é tal que: o elemento de formação é encaixável com o suporte de camada para varrer o suporte de camada junto com a camada nele através da ferramenta, e o conjunto de controle do suporte de camada inclui acionadores para ajustar a posição do suporte de camada ao longo de dois eixos geométricos. Vantajosamente, o aparelho é tal que cada dos módulos de fabricação adicionalmente inclui: um sensor de força para sensorear um nível de força aplicado nas camadas laminadas pelo elemento de formação, e um sensor de posição para sensorear a posição do elemento de formação. Vantajosamente, o aparelho é tal que cada dos módulos de fabricação inclui um prendedor para prender o módulo de fabricação na ferramenta. Vantajosamente, o aparelho compreende adicionalmente articulação entre os módulos de fabricação para acoplar rigidamente os módulos de fabricação entre si e para alinhar os módulos de fabricação em relação à ferramenta. Vantajosamente, o aparelho é

tal que os módulos de fabricação são substancialmente idênticos e intercambiáveis entre si. Vantajosamente, o aparelho compreende adicionalmente um controlador central para controlar e coordenar a operação dos módulos de fabricação para fabricar coletivamente a estrutura laminada.

[0012] De acordo com também um aspecto adicional da presente descrição, é provido um método de fabricar cada de uma pluralidade de diferentes peças em uma família de peças com recursos comuns, em que cada das peças é fabricada usando uma ferramenta única, compreendendo: arranjar uma pluralidade de módulos de fabricação substancialmente idênticos separados para casar substancialmente com uma ferramenta na qual uma das peças deve ser fabricada, adaptar cada dos módulos de fabricação a uma seção local da ferramenta, e controlar e coordenar a operação dos módulos de fabricação para fabricar porções da peça sobre uma seção da ferramenta correspondente. Vantajosamente, o método é tal que arranjar os módulos de fabricação inclui: mover cada dos módulos de fabricação para perto da ferramenta, e ligar rigidamente os módulos de fabricação entre si. Vantajosamente, o método compreende adicionalmente: prender cada dos módulos de fabricação na ferramenta. Vantajosamente, o método é tal que adaptar cada dos módulos de fabricação inclui aprender, por cada dos módulos de fabricação, a localização de superfícies na ferramenta na qual a peça deve ser fabricada. Vantajosamente, o método compreende adicionalmente: varrer materiais através das superfícies da ferramenta usando um elemento de formação, e usar o elemento de formação para aprender a localização das superfícies na ferramenta. Vantajosamente, o método é tal que aprender a localização das superfícies inclui: sensorear uma posição do elemento de formação à medida que o elemento de formação varre materiais através das superfícies da ferramenta, e registrar a posição sensoreada do elemento de formação. Vantajosamente, o método é tal que adaptar cada dos módulos de fabricação inclui ajustar a elevação dos módulos de fabricação a

uma linha de água comum. Vantajosamente, o método compreende adicionalmente: formar uma estria contínua ao longo de todos os módulos de fabricação. Vantajosamente, o método é tal que formar a estria contínua inclui montar um elemento de formação contínuo substancialmente ao longo de todo o comprimento dos módulos de fabricação. Vantajosamente, o método é tal que: cada dos módulos de fabricação é um módulo formador de camada laminada para formar uma seção local de uma camada, e arranjar os módulos de fabricação inclui ligar os módulos de fabricação entre si para formar um formador de camada laminada simples.

[0013] De acordo com também um aspecto adicional da presente descrição, é provido um método de fabricar uma estrutura laminada de material compósito, compreendendo: arranjar uma pluralidade de módulos de formação substancialmente idênticos para no geral casar com uma ferramenta na qual camadas de material compósito devem ser formadas para fabricar a estrutura laminada, ligar os módulos de formação entre si para formar um formador simples para formar toda uma estrutura laminada de material compósito, montar um elemento de formação contínuo nos módulos de formação, o elemento de formação contínuo definindo uma estria estendendo-se substancialmente por todo o comprimento do formador, e usar o elemento de formação para formar e compactar as camadas de material compósito na ferramenta. Vantajosamente, o método compreende adicionalmente: colocar as camadas de material compósito em um suporte de camada, e em que usar o elemento de formação inclui encaixar e varrer o suporte de camada junto com as camadas através da ferramenta.

[0014] De acordo com também um aspecto adicional da presente descrição, é provido um módulo de formação para formar uma peça de laminado compósito através de uma ferramenta, compreendendo: uma base, um conjunto de controle do suporte de camada adaptado para controlar a posição de um suporte de camada flexível no qual camadas de resina de

material compósito são montadas, e uma seção da cabeça montada na base e adaptada para automaticamente formar as camadas de resina de material compósito do suporte de camada através da ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a base é adaptada para mover sobre uma superfície de apoio. Vantajosamente, o módulo de formação compreende adicionalmente um prendedor para prender a seção da cabeça na ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a seção da cabeça inclui um controle adaptativo para aprender um perfil da ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação compreende adicionalmente uma peça do nariz para encaixar o suporte de camada e formar as camadas na ferramenta, a peça do nariz sendo montada para movimento na seção da cabeça ao longo do primeiro e segundo eixos geométricos. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a seção da cabeça inclui uma célula de carga para sensorear a magnitude de uma força aplicada pela peça do nariz no suporte de camada e na ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a base inclui um conjunto de deslizamento mecânico para mover a seção da cabeça ao longo de um terceiro eixo geométrico substancialmente ortogonal ao primeiro e segundo eixos geométricos. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a seção da cabeça inclui pelo menos um sensor de posição para sensorear a posição da peça do nariz. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a peça do nariz tem maleabilidade que permite que a peça do nariz conforme aos recursos da ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que o conjunto de controle do suporte de camada inclui um dispositivo para controlar a tensão no suporte de camada flexível. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que o conjunto de controle do suporte de camada é montado na seção da cabeça. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que o conjunto de controle do suporte de camada inclui um braço motorizado automaticamente controlado para apoiar e deslocar o suporte de camada à medida que as camadas vão sendo formadas do suporte

de camada através da ferramenta. Vantajosamente, o módulo de formação é tal que a seção da cabeça inclui um localizador de dados para localizar um dado a respeito da ferramenta.

[0015] Os recursos, funções e vantagens podem ser alcançados independentemente em várias modalidades da presente descrição, ou podem ser combinados em também outras modalidades nas quais detalhes adicionais podem ser vistos com referência à descrição seguinte e desenhos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0016] Os recursos inéditos considerados característica das modalidades ilustrativas são apresentados nas reivindicações anexas. As modalidades ilustrativas, entretanto, bem como um modo preferido de uso, seus objetivos e vantagens adicionais, ficarão entendidos pela referência à descrição detalhada seguinte de uma modalidade ilustrativa da presente descrição quando lida em conjunto com os desenhos anexos, em que:

[0017] Figura 1 é uma ilustração de um diagrama de blocos de um sistema para fabricar qualquer de uma pluralidade de peças dentro de uma família com recursos comuns usando ferramentas e módulos de fabricação correspondentes de acordo com as modalidades descritas.

[0018] Figura 2 é uma ilustração de uma vista plana diagramática de aparelho para fabricar estruturas laminadas de materiais compósitos contornadas.

[0019] Figura 3 é uma ilustração de uma vista em perspectiva de uma seção da armação laminada de material compósito com uma seção transversal em forma de Z.

[0020] Figura 4 é uma ilustração de uma vista seccional transversal da seção da armação mostrada na figura 3.

[0021] Figura 5 é uma ilustração de uma vista de extremidade de uma ferramenta com a seção da armação mostrada nas figuras 3 e 4 disposta e compactada nela.

[0022] Figura 6 é uma ilustração de um diagrama de blocos funcional do aparelho da figura 2, mostrado prendido na ferramenta ilustrada na figura 5.

[0023] Figura 7 é uma ilustração de uma vista em perspectiva do aparelho, antes de ser movimentado para perto e prendido em uma ferramenta, um suporte de camada não mostrado por questão de clareza.

[0024] Figura 8 é uma ilustração de uma vista em perspectiva frontal de três módulos de fabricação adjacentes formando peça do aparelho mostrado na figura 7.

[0025] Figura 9 é uma ilustração de uma vista em perspectiva frontal de um dos módulos de fabricação mostrados na figura 8, representando detalhes adicionais do módulo.

[0026] Figura 10 é uma ilustração de uma vista plana de um suporte de camada com uma camada montada nele.

[0027] Figura 11 é uma ilustração de uma vista frontal de uma peça de formação de trilha da peça do nariz de cada dos módulos de fabricação mostrados na figuras 7–9.

[0028] Figura 12 é uma ilustração de uma vista em perspectiva de uma porção do comprimento de uma peça do nariz adaptada para ser montada na trilha da peça do nariz mostrado na figura 11.

[0029] Figura 13 é uma ilustração de um fluxograma de um método de fabricar cada de uma pluralidade de diferentes peças em uma família de peças com recursos comuns.

[0030] Figura 14 é uma ilustração de um fluxograma de um método de fabricar uma estrutura laminada de material compósito.

[0031] Figura 15 é uma ilustração de um fluxograma do método usado para configurar e ensinar cada dos módulos de fabricação.

[0032] Figura 16 é uma vista de extremidade da ferramenta mostrada na figura 5, ilustrando o movimento progressivo da peça do nariz durante a

fase de configuração e ensinamento mostrada na figura 15.

[0033] Figura 17 é uma ilustração de um fluxograma de um método de controle adaptativo empregado por cada dos módulos de fabricação

[0034] Figura 18 é uma ilustração de um fluxograma de metodologia de produção e serviço de aeronave.

[0035] Figura 19 é uma ilustração de um diagrama de blocos de uma aeronave.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0036] Referindo-se primeiro à figura 1, é provido um sistema 38 para fabricar qualquer de uma pluralidade de peças únicas 54 dentro de uma família 56 de peças 54 com recursos ou características comuns. As peças únicas 54 podem ser fabricadas usando ferramentas únicas correspondentes 48, que podem ser ferramentas de superposição, e uma combinação 43 de módulos de fabricação 42 arranjada e configurada para formar um fabricante 40, algumas vezes a seguir também referido como um formador 40. Como será discutido a seguir com mais detalhes, os módulos de fabricação 42 podem ser idênticos e intercambiáveis. O número e arranjo dos módulos de fabricação 42 são casados com a ferramenta particular 48 necessária para fabricar uma peça particular 54. O fabricante 40 fabrica a peça 54 colocando e formando material 46 na ferramenta particular 48. Em uma aplicação, a peça 54 pode ser um laminado de material compósito multicamadas, e o material 46 pode ser um plástico reforçado com fibra de carbono (CFRP).

[0037] A atenção volta-se agora para a figura 2, que ilustra uma modalidade do sistema 38 mostrado na figura 1. Neste exemplo, uma pluralidade de módulos formadores 42 é arranjada em uma configuração no geral casando com a forma de uma ferramenta de sobreposição 48 na qual uma peça particular (não mostrada na figura 2) deve ser formada. No exemplo ilustrado, os módulos formadores 42 são arranjados em uma forma de arco que casa substancialmente com a ferramenta de sobreposição em forma de

arco 48, entretanto, uma variedade de outras formas é possível. O formador 40 forma e lamina camadas de material compósito 46 na ferramenta 48. Os módulos formadores 42 são rigidamente conectados entre si pela articulação 44 para formar um formador 40. O formador 40 se adapta e se alinha com cada ferramenta particular 48 necessária para produzir uma peça particular 54 (Figura 1). Os módulos formadores 42 podem ser substancialmente idênticos entre si e são assim intercambiáveis 50 com os módulos 42a com propósitos de reparo, troca ou reconfiguração do formador 40 para formar peças únicas dentro de uma família de peças com recursos ou características comuns. Cada dos módulos formadores 42 é acoplado com um controlador central 52 que pode compreender um computador de uso geral ou especial, ou um PLC (controlador de lógica programável). O controlador central 52 controla e coordena a operação automática dos módulos formadores 42.

[0038] Como previamente mencionado, o formador 40 pode ser usado para formar uma variedade de peças de material compósito dentro de uma família de peças com recursos ou características comuns. Por exemplo, referindo-se às figuras 3 e 4, o formador 40 pode ser usado para formar e laminar uma seção da armação de material compósito 58 usada em uma fuselagem de aeronave (não mostrada). A seção da armação 58 é curva ou contornada ao longo de seu comprimento e tem um raio “R”. O formador 40 pode ser usado para formar qualquer de uma faixa de seções da armação 58 com diferentes comprimentos de arco, raios ou outros recursos comuns dentro de uma família de seções da armação 58. Esses recursos, incluindo contornos ou raios, podem ser contínuos ou não contínuos ao longo do comprimento da seção da armação 58 ou outras peças que estão sendo formadas. A seção da armação 58 é no geral em forma de Z na seção transversal, e compreende um flange da corda interna 62 e um flange da corda externa 64 (algumas vezes também referido como uma ligação de cisalhamento 64). Os flanges da corda interna e externa 62, 64 respectivamente são conectados por uma alma central

60. A ligação de cisalhamento 64 é conectada na alma 60 por um raio da ligação de cisalhamento 68, e o flange da corda interna 62 é conectado na alma 60 por um raio da corda interna 70. Embora tenha sido ilustrada uma seção da armação em forma de Z 58 na modalidade exemplar, deve-se notar que o método e aparelho descritos podem ser empregados para fabricar peças laminadas de material compósito com uma variedade de outras formas seccionais transversais, incluindo, mas sem limitações, formas seccionais transversais em L, I e C.

[0039] Referindo-se agora à figura 5, o formador 40 forma e lamina camadas de prepreg de material compósito 46 em uma ferramenta 48. A ferramenta 48 tem recursos da ferramenta casando com a seção da armação 58. Neste exemplo, a ferramenta 48 inclui um flange da ferramenta da corda interna 72, um raio da ferramenta da corda interna 74, uma alma da ferramenta 76, raio da ferramenta da ligação de cisalhamento 78 e um flange da ferramenta da corda externa 80. A ferramenta 48 também inclui um flange de prensão 82 estendendo-se em torno de toda sua corda interna. Outros tipos de ferramentas de superposição 48 podem ser usados com relação ao método e aparelho descritos para formar outros tipos e tamanhos de peças laminadas de material compósito, com formas seccionais transversais sem ser seções transversais em Z. Além disso, a ferramenta ilustrada 48 pode ser empregada para dispor uma seção da armação laminada de material compósito curva ou outra peça com uma seção transversal em forma de L.

[0040] A atenção agora é direcionada para as figuras 6–9, que ilustram uma modalidade do formador 40. A figura 6 é um diagrama de blocos funcional mostrando um dos módulos formadores 42, no processo de dispor uma camada de prepreg simples 46 na ferramenta 48. A camada 46 é apoiada em uma posição desejada, ou indexada, em um suporte de camada 84 discutido a seguir com mais detalhes. O suporte de camada 84 é mantido ao longo de sua borda superior em uma trilha do suporte 120 na extremidade de

um braço de apoio 95 que forma peça do módulo formador 42. O módulo formador 42 compreende no geral um conjunto de controle do suporte de camada 86 montado em uma seção da cabeça 92 que é apoiada em uma base móvel 106. A base 106 pode incluir um controlador a bordo 110 que é acoplado com o controlador central 52 (Figura 2) previamente discutido. Rodas ou rodízios 112 na base 106 permitem que o módulo formador 42 seja movimentado ao longo de uma superfície de apoio tal como um chão de fábrica (não mostrado) em qualquer direção a fim de permitir que o módulo formador 42 seja posicionado em uma configuração desejada com outros módulos formadores 42, de maneira tal que a geometria coletiva dos módulos formadores 42 case substancialmente com a da ferramenta 48. A base 106 inclui um conjunto de deslizamento no eixo geométrico Z 108 que move a seção da cabeça 92 e o conjunto de controle do suporte de camada 86 na direção vertical, no eixo geométrico Z dentro de um sistema de coordenadas da máquina 124.

[0041] O conjunto de controle do suporte de camada 86 controla a atitude e tensão no suporte de camada 84 a fim de apoiar e continuamente refazer a posição da camada 46 à medida que ela está sendo formada na ferramenta 48. O conjunto de controle do suporte de camada 86 pode incluir um sistema de acionamento elétrico que move o braço de apoio 95 e assim a trilha de apoio ao suporte 120 ao longo de ambos os eixos geométricos Y e Z. Por exemplo, o sistema de acionamento elétrico pode compreender um servomotor 88 para acionar a trilha de apoio ao suporte 120 ao longo do eixo geométrico Y, e um cilindro pneumático 90 para acionar o braço de apoio 95 e a trilha de apoio ao suporte 120 ao longo do eixo geométrico Z. Outros arranjos de acionamento são possíveis.

[0042] A seção da cabeça 92 inclui um elemento de formação de camada, referido a seguir como uma peça do nariz 116, que encaixa o suporte de camada 84 e segue a forma da ferramenta 48 para formar e compactar a

camada 46 na ferramenta 48. A peça do nariz 116 é removivelmente montada em uma trilha da peça do nariz 118 discutida posteriormente com mais detalhes. A peça do nariz 116 estende-se continuamente por todo o comprimento de arco da ferramenta 48, e efetivamente forma uma estria entre os módulos de formação 42. Tanto a peça do nariz 116 quanto a trilha 120 pode ser flexível ao longo de seu comprimento para conformar com a curvatura e outros recursos da ferramenta 48. A trilha da peça do nariz 118 é acoplada com um sistema de acionamento elétrico que pode compreender, por exemplo, e sem limitação, uma pluralidade de cilindros pneumáticos 102 que move a peça do nariz 116 na direção Y.

[0043] O movimento da peça do nariz 116 na direção Z pode ser feito pelo movimento da seção da cabeça 92 pelo conjunto de deslizamento do eixo geométrico Z 108 na base 106. A seção da cabeça 92 adicionalmente inclui um prendedor da corda interna 122 acionado na direção Y pelos cilindros pneumáticos 104 ou acionamentos de motor similares. O prendedor da corda interna 122 grampeia a borda inferior do suporte de camada 84 e a camada 46 contra o flange da ferramenta da corda interna 72 (Figura 5) enquanto a camada 46 está sendo formada sobre outras superfícies da ferramenta 48. A seção da cabeça 92 pode incluir um localizador de dados 98, que pode compreender, por exemplo, e sem limitações, um sensor de proximidade, bem como servomotores 94 e codificadores 96. Os servomotores 94 e os codificadores 96 podem ser usados para determinar a posição da peça do nariz 116, e assim a localização de superfícies na ferramenta 48, durante um processo de aprendizado de ferramenta adaptativo discutido a seguir. Uma ou mais células de carga 100 na seção da cabeça 92 podem ser usadas para sensorear a quantidade de força que está sendo aplicada pela peça do nariz 116 durante tanto os processos de aprendizado quanto de formação de camada.

[0044] Como pode-se perceber pela descrição apresentada, o

formador 40 permite varredura controlada de 2 eixos geométricos (Y-Z) das camadas de prepreg com movimento coordenado em 2 eixos geométricos. Entretanto, o movimento não está limitado a 2 eixos geométricos. Por exemplo, o movimento exigido pode ser conseguido usando múltiplos robôs (não mostrados) operando em uníssono. O controle adaptativo empregado pelo formador 40 permite que o formador 42 adapte a cada ferramenta particular 48 usada para fabricar qualquer das diversas peças dentro de uma família de peças, usando um perfil genérico das peças na família, e realimente de força para aprender e seguir a geometria da ferramenta e peça específicas. O controle adaptativo usado pelo formador 40 também adapta ou ajusta automaticamente à forma da peça 54 à medida que a espessura da peça 54 aumenta com a disposição de cada sucessiva camada 46. O uso de uma combinação de controle de posição e realimentação de torque do motor permite que pressão constante seja aplicada pela peça do nariz 116 na peça 54 durante o processo de formação.

[0045] Como mostrado na figura 7, a ferramenta 48 pode ser apoiada em um carrinho com rodas 126 para movimento para perto de um formador 40 compreendendo uma pluralidade de módulos formadores 42 que foi configurada para casar substancialmente com a geometria da ferramenta 48. Os módulos formadores 42 são rigidamente conectados entre si por articulações mecânicas 44 (vide Figura 8) entre as bases 106 de módulos formadores adjacentes 42. Referindo-se particularmente à figura 9, o conjunto de controle do suporte de camada 86 (Figura 6) inclui um apoio correção do eixo geométrico Z que permite movimento do braço de apoio 95 (vide Figuras 6–8) ao longo do eixo geométrico Z, e um correção 130 provendo movimento do braço de apoio 95 ao longo do eixo geométrico Y. Prendedores de ferramenta 114 acionados pelos cilindros pneumáticos 136 funcionam para prender o flange 82 (Figura 5) da ferramenta 48 contra um chapa de índice 132 que estabelece uma “linha de água” comum, ou dado de referência, para

todos os módulos formadores 42, alinhando automaticamente todos os módulos formadores 42 em relação à ferramenta 48. Cada dos módulos formadores 42 inclui uma ligeira quantidade de "flutuação" que permite que cada das seções de cabeça 92 alinhe com a linha de água da ferramenta e então trave na posição. Em decorrência deste recurso, a ferramenta 48 não tem que ficar localizada em uma plataforma precisa, e o processo de formação pode ser realizado em chãos de fábrica padrões que podem ser irregulares. Embora não mostrado nos desenhos, a ferramenta 48 e/ou as camadas 46 podem ser aquecidas durante um processo de disposição a fim de amolecer a resina e facilitar a formação. Aquecimento pode ser feito usando qualquer técnica adequada, incluindo, mas sem limitações, radiação infravermelha usando lâmpadas de calor IR.

[0046] Referindo-se à figura 10, o suporte de camada 84 pode ser formado de um material durável e flexível que pode ser esticado em uma ou mais direções, por exemplo, ao longo de sua largura "W". Uma ou mais camadas 46 podem ser colocadas em posições indexadas pré-selecionadas no suporte de camada 84 antes que o suporte de camada 84 seja carregado no formador 40. O suporte de camada 84 pode incluir guias de suporte superior e inferior 140, 142 que são usadas para montar removivelmente o suporte de camada no formador 40. Por exemplo, o guia de suporte superior 140 pode incluir elementos de guia individuais (não mostrados) no fundo do suporte de camada 84 que são recebidos em um entalhe (não mostrado) na trilha de apoio ao suporte 120. Similarmente, a guia de suporte inferior 142 pode compreender uma tira de guia contínua (não mostrada) no fundo do suporte de camada 84 que é recebida em um entalhe (não mostrado) estendendo-se ao longo do prendedor da corda interna 122.

[0047] A figura 11 ilustra detalhes adicionais de uma modalidade da trilha 118 da peça do nariz. Neste exemplo, a trilha 118 da peça do nariz compreende uma pluralidade de segmentos espaçados 144 que permite que a

trilha 118 flexione da maneira exigida para permitir que a peça do nariz 116 conforme com os recursos da ferramenta 48. Como mostrado na figura 12, a peça do nariz 116 inclui uma ponta de formação externa 146 que tem um perfil adequado para a aplicação particular e recursos da ferramenta 48. A peça do nariz 116 é montada na trilha 118 da peça do nariz por uma guia em forma de T 148 que é recebida de forma deslizante em um entalhe 145 na trilha 118 da peça do nariz. A peça do nariz 116 pode ser removivelmente instalada na trilha 118 da peça do nariz deslizando no sentido do comprimento através do entalhe 145. Assim, peças de nariz 116 com diferentes tamanhos e formas são intercambiáveis, permitindo a seleção de uma peça do nariz 116 que é adequada para a aplicação e forma da ferramenta. A peça do nariz 116 pode ser maleável a fim de conformá-la melhor com os recursos da ferramenta 48 durante o processo de formação.

[0048] A figura 13 ilustra no geral as etapas de um método de fabricar cada da pluralidade de diferentes peças 54 em uma família 56 de peças 54 com recursos comuns, em que cada das peças 54 é fabricada usando uma ferramenta única 48. Começando em 154, módulos de fabricação idênticos 42 são arranjados para casar com uma ferramenta 48 na qual a peça 54 será fabricada. Em 156, cada dos módulos de fabricação 42 é adaptado a uma seção local da ferramenta 48. Em 158, a operação dos módulos de fabricação 42 é controlada e coordenada para fabricar porções da peça 54 sobre uma seção correspondente da ferramenta 48.

[0049] A figura 14 ilustra no geral as etapas de um método de fabricar uma estrutura laminada de material compósito 54. Começando em 160, uma pluralidade de módulos de formação 42 é arranjada para casar com uma ferramenta 48 na qual a estrutura 54 deve ser formada. Em 162, 40 os módulos 42 são ligados entre si para formar um formador simples 40 para formar toda a estrutura laminada de material compósito 54. Em 164, um elemento de formação contínuo 116 é montado nos módulos de formação 42.

O elemento de formação 116 define uma estria estendendo-se substancialmente por todo o comprimento do formador 40. Em 166, o elemento de formação 116 é usado para formar e compactar camadas de material compósito 46 na ferramenta 48.

[0050] A atenção é direcionada agora para a figura 15 que ilustra no geral as etapas que podem ser realizadas para configurar e ensinar cada dos módulos de formação 42 em preparação para um processo de formação usando uma ferramenta particular 48. Em 168, o formador 40 é configurado arranjando e ligando os módulos formadores 42 entre si usando articulações 44, e iniciando os ajustes de cada dos módulos 42. Então, em 170, os módulos formadores ligados 42 são movimentados para encaixar e travar a ferramenta 48. Os prendedores de ferramenta 114 (Figura 9) prendem o flange 82 (Figura 5) da ferramenta 48 contra a chapa de índice da linha de água da ferramenta 132. Os módulos formadores 42 são alinhados para casar com a curvatura da ferramenta 48, e a articulação 44 mantém a forma e alinhamento dos módulos formadores 42. Em 172, o módulo formador 42 aprende a posição do prendedor da corda interna em relação à ferramenta 48 e, em 174, a posição da peça do nariz em relação à ferramenta 48 é aprendida. Em 176, os servomotores 94 (Figura 6) e os codificadores 96 são usados para inicialmente aprender a forma da ferramenta, e então reaprender a superfície das camadas laminadas 46 à medida que cada das camadas 46 é disposta.

[0051] A atenção volta-se agora para as figuras 16 e 17, que ilustram detalhes adicionais do método de formação descrito. Começando em 178 (Figura 17), a ferramenta 48 é movimentada para perto do formador 40 e, em 180, a ferramenta 48 é grampeada no formador 40. Em 182, uma ou mais camadas 46 são montadas no suporte de camada 84. Em 184, o suporte de camada 84 com a camada 46 montada nele é carregada no formador 40. Este processo de carregamento é feito inserindo a guia de suporte inferior 142 no formador em 186 e, na etapa 188, inserindo a guia superior 140 na trilha do

trilho guia superior 120 no formador 40. Em 190, a posição da peça do nariz 116 ao longo do eixo geométrico Y é determinada acionando a peça do nariz 116 para a frente ao longo do eixo geométrico Y para contato com o flange da corda interna 72 usando um torque do motor predeterminado. Um codificador 96 acoplado com o servomotor 94 está pronto para indicar a posição da peça do nariz 116. Em 192, a peça do nariz 116 é pressionada contra o flange da corda interna com uma quantidade predeterminada de força. Em 194, a peça do nariz 116 é movimentada para cima ao longo do eixo geométrico Z em uma velocidade predeterminada. A camada 46 é varrida e compactada contra a superfície da ferramenta da corda interna 72, na etapa 194.

[0052] Em 196, a transição da peça do nariz 116 da superfície da ferramenta da corda interna 72 para a superfície da ferramenta da alma 76 é sensoreada pelo monitoramento de um codificador do eixo geométrico Y 96 para uma mudança. Em 198, o controle da peça do nariz 116 ao longo do eixo geométrico Y é comutado de um modo de torque para um modo de posição, e ao longo do eixo geométrico Z de um modo de posição para um modo de torque. A peça do nariz 116 mantém a pressão de compactação contra a camada 46 durante a transição sobre a quina interna 74 da corda interna para o raio da alma. Em 200, a peça do nariz 116 varre e compacta a camada contra a superfície da ferramenta da alma 76 na ferramenta 48. Em 202, movimento da peça do nariz 116 é terminado quando a peça do nariz 116 está a uma curta distância do raio da ligação de cisalhamento 78. Em 204, a peça do nariz 116 é usada para "descobrir" a forma do raio da ligação de cisalhamento 78. Isto é feito avançando a peça do nariz 116 ao longo do eixo geométrico Y até que um limite de torque pré-selecionado seja atingido. Na etapa 206, o controle da peça do nariz 116 é comutado para o modo de torque ao longo do eixo geométrico Y e ao longo do eixo geométrico Z. Em 208, a peça do nariz 116 varre e compacta e para aplicar força contra a superfície da ferramenta da ligação de cisalhamento 80. Durante esta etapa, a peça do nariz 116 aplica

força ao longo do eixo geométrico Y no modo de torque, ainda sendo acionada para cima ao longo do eixo geométrico Z no modo de posição. Na etapa 210, o processo de formação de camada é completado e as etapas 182-208 podem ser repetidas para dispor, formar e compactar camadas adicionais.

[0053] Modalidades da descrição podem encontrar uso em uma variedade de aplicações potenciais, particularmente na indústria de transporte, incluindo, por exemplo, aplicações aeroespaciais, marinhas, automotivas e outras aplicações que exigem fabricação automática de uma variedade de peças dentro de uma família de peças com recursos ou características comuns. Assim, referindo-se agora às figuras 18 e 19, modalidades da descrição podem ser usadas no contexto de um método de fabricação e serviço de aeronave 212 mostrado na figura 18 e uma aeronave 214 mostrada na figura 19. Aplicação de aeronaves das modalidades descritas pode incluir, por exemplo, sem limitação, seções da armação da fuselagem, longarinas, longarinas longitudinais e outros elementos estruturais, para citar somente alguns. Durante pré-produção, o método exemplar 212 pode incluir especificação e projeto 216 da aeronave 214 e aquisição de material 218. Durante produção, ocorrem fabricação de componente e subconjunto 220 e integração do sistema 222 da aeronave 214. Em seguida, a aeronave 214 pode passar por certificação e entrega 224 a fim de ser colocada em serviço 226. Enquanto em serviço por um cliente, a aeronave 214 é programada para manutenção e serviço de rotina 228, que podem também incluir modificação, reconfiguração, remanufatura, e assim por diante.

[0054] Cada qual dos processos do método 212 pode ser feito ou realizado por um integrador do sistema, uma terceira peça e/ou um operador (por exemplo, um cliente). Com os propósitos desta descrição, um integrador do sistema pode incluir, sem limitações, qualquer número de fabricantes de aeronave e subcontratantes do sistema principal; uma terceira peça pode incluir, sem limitações, qualquer número de vendedores, subcontratantes e

fornecedores; e um operador pode ser uma linha aérea, empresa de arrendamento, entidade militar, organização de serviço, e assim por diante.

[0055] Como mostrado na figura 19, a aeronave 214 produzida pelo método exemplar 212 pode incluir uma armação principal 230 com uma pluralidade de sistemas 232 e um interior 234. Exemplos de sistemas de alto nível 232 incluem um ou mais de um sistema de propulsão 236, um sistema elétrico 238, um sistema hidráulico 240 e um sistema ambiental 242. Qualquer número de outros sistemas pode ser incluído. Embora um exemplo aeroespacial esteja mostrado, os princípios da descrição podem ser aplicados a outras indústrias, tais como indústrias marinhas e automotivas.

[0056] Sistemas e métodos concebidos aqui podem ser empregados durante qualquer um ou mais dos estágios do método de produção e serviço 212. Por exemplo, componentes ou subconjuntos correspondentes ao processo de produção 220 podem ser feitos ou fabricados de uma maneira similar aos componentes ou subconjuntos produzidos enquanto a aeronave 214 está em serviço. Também, uma ou mais modalidades de aparelho, modalidades de método, ou uma combinação destes podem ser utilizadas durante os estágios de produção 220 e 222, por exemplo, despachando substancialmente o conjunto ou reduzindo o custo de uma aeronave 214. Similarmente, uma ou mais de modalidades de aparelho, modalidades de método ou uma combinação destas pode ser utilizada enquanto a aeronave 242 está em serviço, por exemplo, e sem limitações, para manutenção e serviço 228.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para fabricar cada estrutura laminada (54) de uma pluralidade de estruturas laminadas diferentes numa família (56) de estruturas (54) com recursos comuns, compreendendo:

uma pluralidade de módulos de fabricação separados (42), cada qual localmente adaptado para fabricar uma seção da estrutura laminada (54) numa ferramenta correspondente (48), os módulos de fabricação (42) sendo reconfiguráveis para fabricar cada uma das estruturas laminadas (54) na família (56) da mesma;

um controlador (52) para controlar e para coordenar operação automatizada dos módulos de fabricação (42);

caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente um elemento de formação (116) adaptado para formar camadas laminadas (46) através da ferramenta (48), o elemento de formação (116) estendendo-se ao longo de um comprimento dos módulos de fabricação (42), o elemento de formação (116) sendo montado em cada um dos módulos de fabricação (42) para movimento, através da ferramenta (48), ao longo de pelo menos dois eixos geométricos (Y, Z),

em que cada um dos módulos de fabricação (42) inclui uma trilha (118) na qual uma porção (148) do elemento de formação (116) é montada no local.

2. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o elemento de formação (116) é contínuo ao longo do comprimento dos módulos de fabricação (42).

3. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o elemento de formação (116) é removivelmente montado nas trilhas (118) para permitir intercambialidade de uma pluralidade de elementos de formação (116), respectivamente, com formas diferentes.

4. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a

3, caracterizado pelo fato de que o elemento de formação (116) é adaptado para varrer camadas laminadas (46) através da ferramenta (48), e é maleável.

5. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que cada um dos módulos de fabricação (42) inclui um prendedor (122) adaptado para prender uma porção de uma camada laminada (46) contra uma porção da ferramenta (48).

6. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que cada um dos módulos de fabricação (42) inclui uma unidade motriz (102) acoplada com o elemento de formação (116) para varrer aquele elemento de formação (116) sobre as camadas laminadas (46), e compactar camadas laminadas (46) sobre a ferramenta (48).

7. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

um suporte de camada flexível (84) adaptado para conter pelo menos uma camada laminada (46) sobre o mesmo, e

em que cada um dos módulos de fabricação (42) inclui um par de trilhas espaçadas (120), adaptadas para manter de forma liberável o suporte de camada (84), e um conjunto de controle do suporte de camada (86) para manter o suporte de camada (84) sob tensão, à medida que aquele elemento de formação (116) forma a camada através da ferramenta (48).

8. Aparelho de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que:

o elemento de formação (116) é engatável com o suporte de camada (84) para varrer o suporte de camada (84) junto com a camada (46) sobre o mesmo através da ferramenta (48), e

o conjunto de controle do suporte de camada (86) inclui acionamentos (88, 90) para ajustar uma posição do suporte de camada (84) ao longo de dois eixos geométricos (Y, Z).

9. Aparelho de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que cada um dos módulos de fabricação (42) adicionalmente inclui:

uma célula de carga (100) para sensorar um nível de força aplicado às camadas laminadas (46) pelo elemento de formação (116), e
um sensor de posição (98) para sensorar a posição do elemento de formação (116).

10. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de cada um dos módulos de fabricação (42) incluir um prendedor (114) para prender o módulo de fabricação (42) à ferramenta (48).

11. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

articulação (44) entre os módulos de fabricação (42) para acoplar rigidamente os módulos de fabricação (42) entre si e para alinhar os módulos de fabricação (42) em relação à ferramenta (48).

12. Método de fabricação, usando o aparelho conforme definido na reivindicação 1, de cada estrutura laminada (54) de uma pluralidade de estruturas laminadas diferentes em uma família (56) de estruturas laminadas (54) com recursos comuns, em que cada uma das estruturas laminadas (54) é fabricada utilizando uma ferramenta única (48), o método compreendendo as etapas de:

arranjar uma pluralidade de módulos de fabricação (42) separados, idênticos, para casar com uma ferramenta (48), sobre a qual uma das estruturas laminadas (54) deve ser fabricada;

adaptar cada um dos módulos de fabricação (42) a uma seção local da ferramenta (48);

controlar e coordenar a operação dos módulos de fabricação (42) para fabricar porções da estruturas laminadas (54) através de uma seção correspondente daquela ferramenta (48); e

formar uma estria contínua ao longo de todos os módulos de

fabricação (42),

caracterizado pelo fato de que cada um dos módulos de fabricação (42) inclui uma trilha (118) na qual uma porção (148) do elemento de formação (116) é montada no local; e

varrer materiais (46) através das superfícies (72, 74, 76, 78, 80) da ferramenta (48) usando um elemento de formação (116).

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que arranjar uma pluralidade de módulos de fabricação (42) inclui:

mover cada um dos módulos de fabricação (42) para perto da ferramenta (48), e

ligar rigidamente os módulos de fabricação (42) entre si.

14. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 ou 13, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

prender cada um dos módulos de fabricação (42) na ferramenta (48).

15. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 14, caracterizado pelo fato de que adaptar cada um dos módulos de fabricação (42) inclui aprender, por cada um dos módulos de fabricação (42), a localização de superfícies (72, 74, 76, 78, 80) na ferramenta (48), sobre as quais a peça (54) deve ser fabricada.

16. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente:

usar o elemento de formação (116) para aprender a localização das superfícies (72, 74, 76, 78, 80) na ferramenta (48).

17. Método de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que aprender a localização das superfícies (72, 74, 76, 78, 80) inclui:

sensorear uma posição do referido elemento de formação (116) à medida que o elemento de formação (116) varre materiais (46) através das superfícies (72, 74, 76, 78, 80) da ferramenta (48), e

registrar a posição sensoreada do referido elemento de formação (116).

18. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 17, caracterizado pelo fato de que adaptar cada um dos módulos de fabricação (42) inclui ajustar a elevação dos módulos de fabricação (42) em uma linha de água comum (132).

19. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que formar uma estria contínua inclui montar um elemento de formação (116) contínuo ao longo de todo o comprimento dos referidos módulos de fabricação (42).

20. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que:

cada um dos módulos de fabricação (42) é um módulo formador de camada laminada (42) para formar uma seção local de uma camada (56), e

arranjar uma pluralidade de módulos de fabricação (42) inclui ligar os módulos de fabricação (42) entre si para formar um simples formador de camada laminada (40).

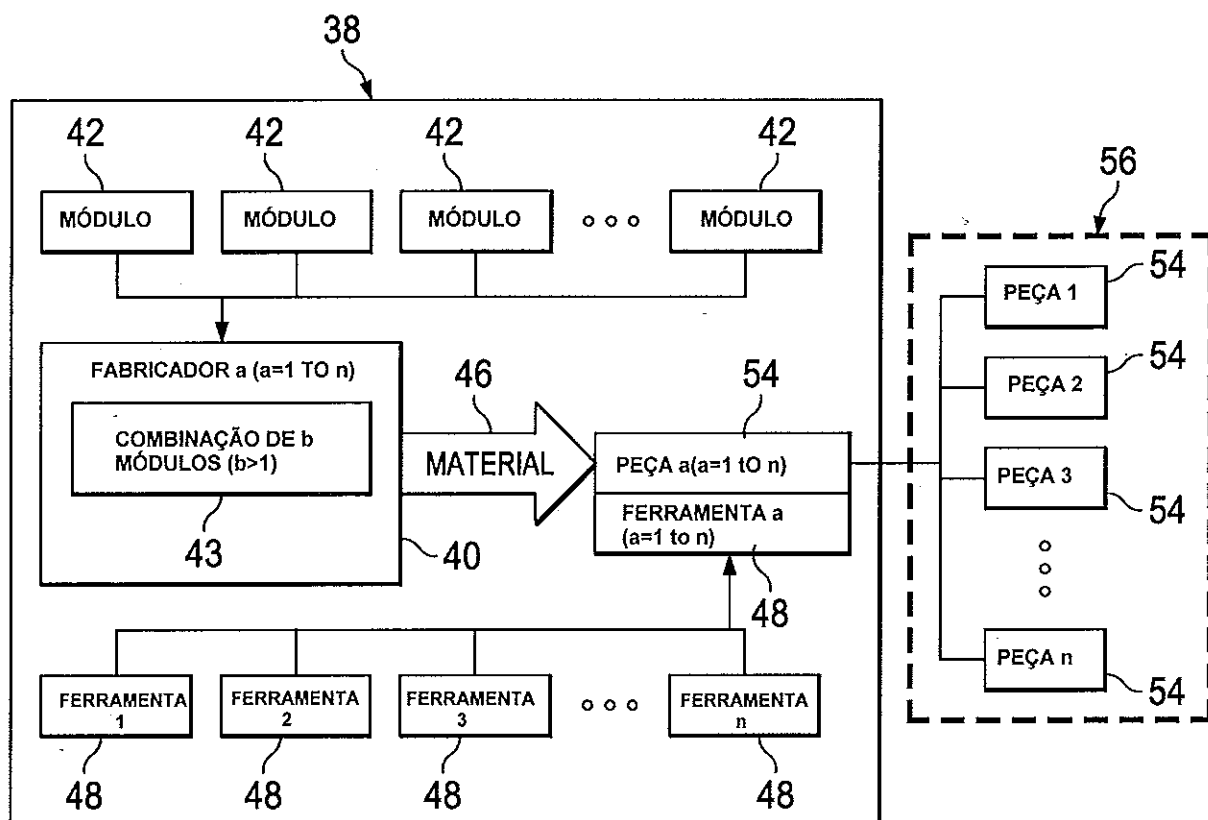


FIG. 1

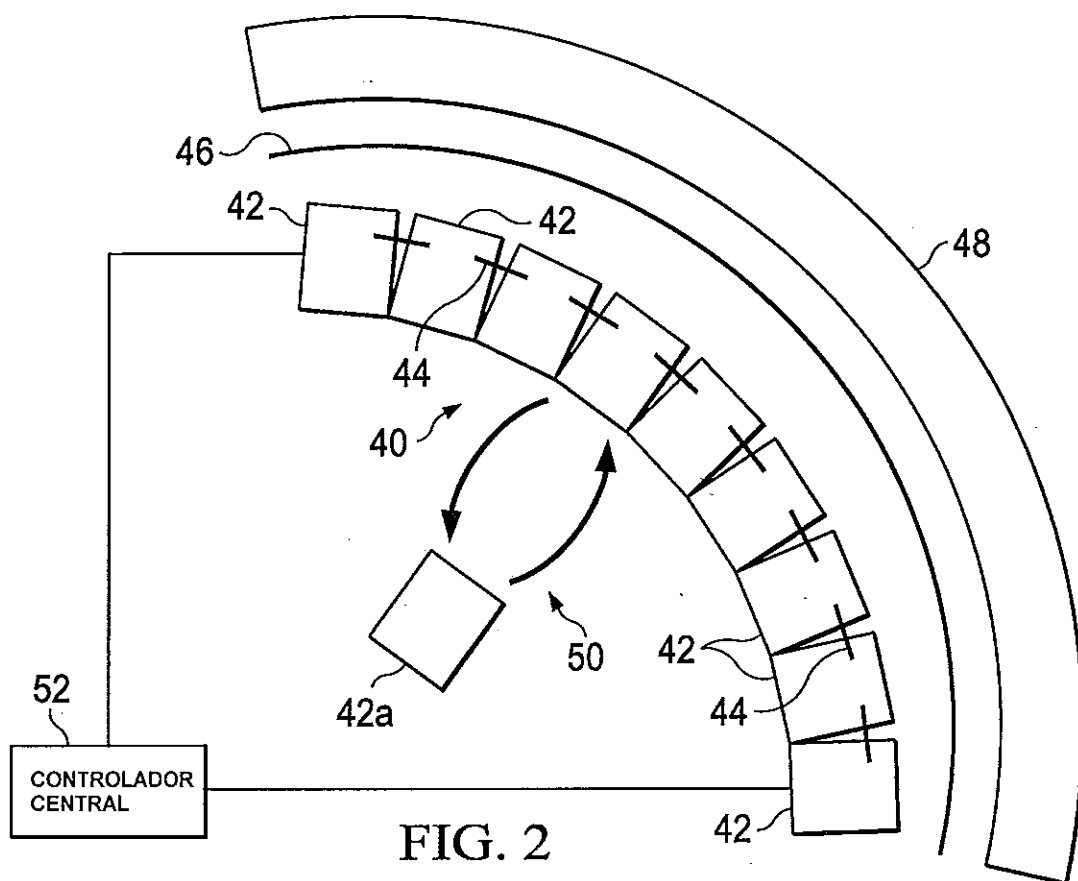
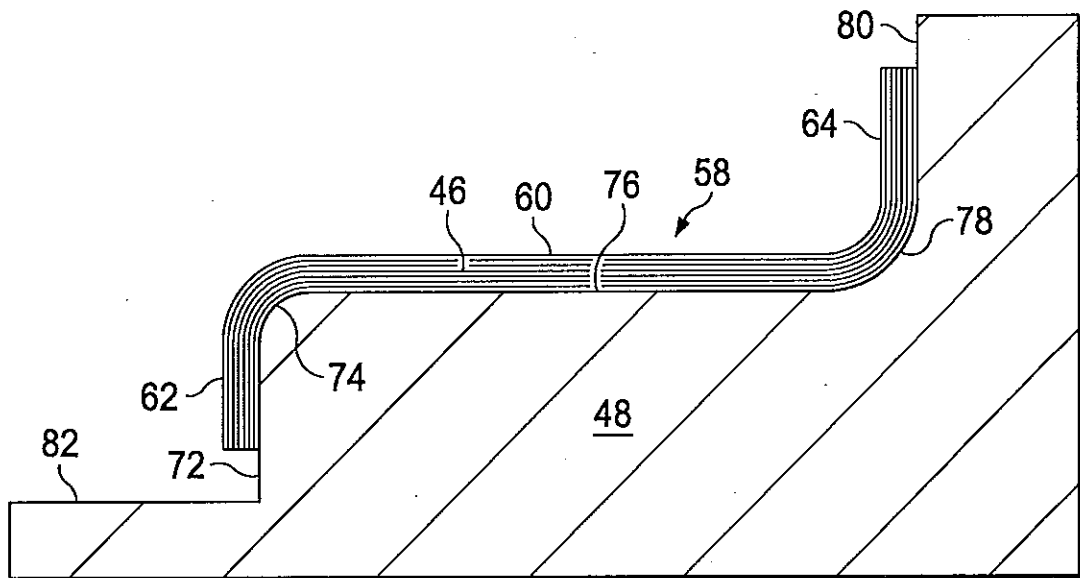
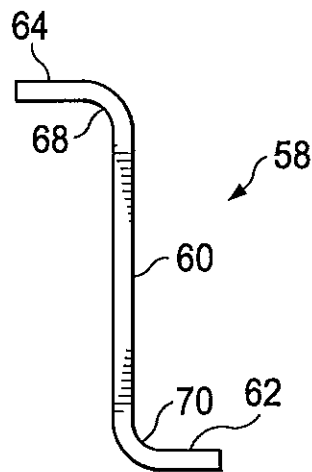
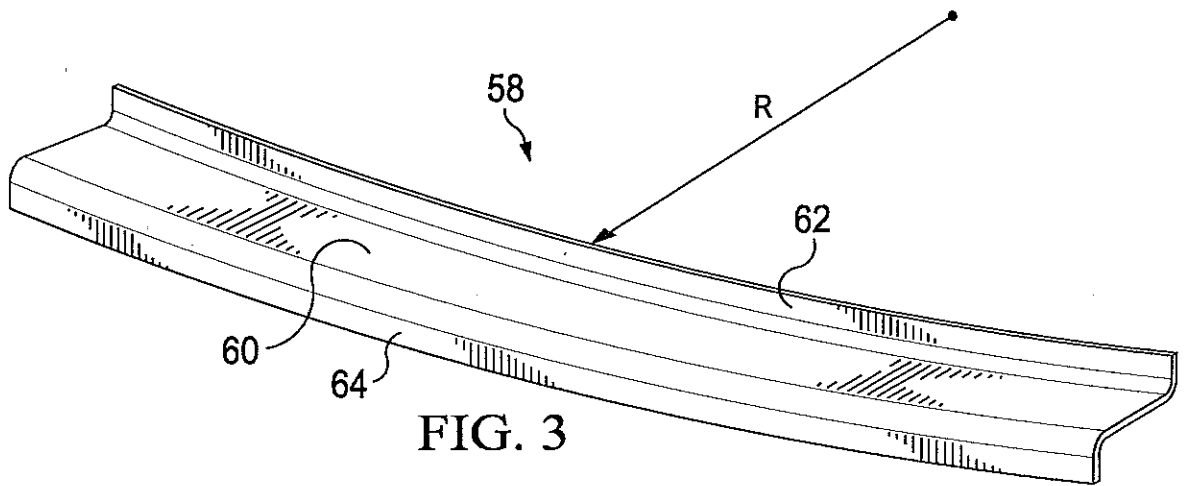
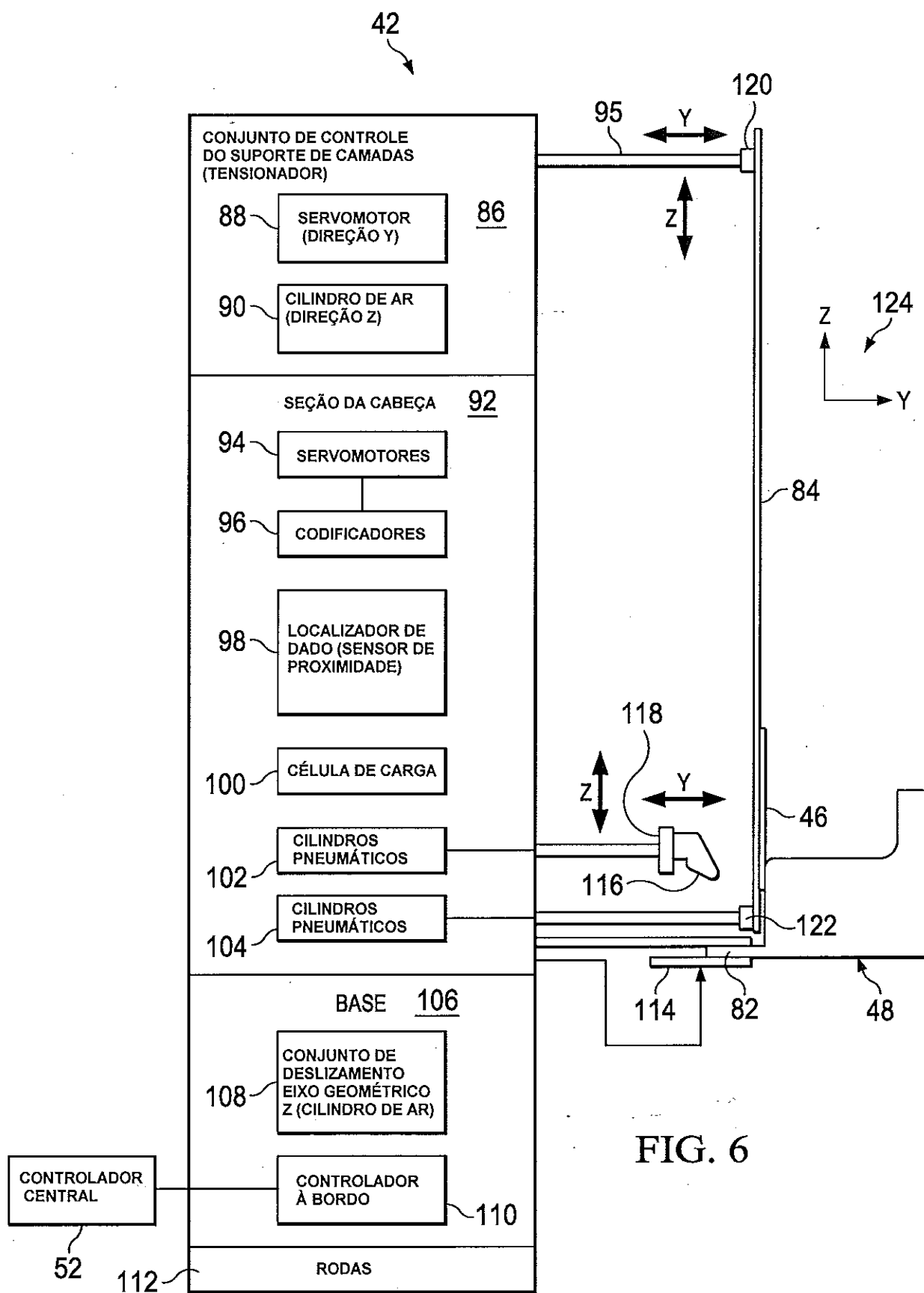
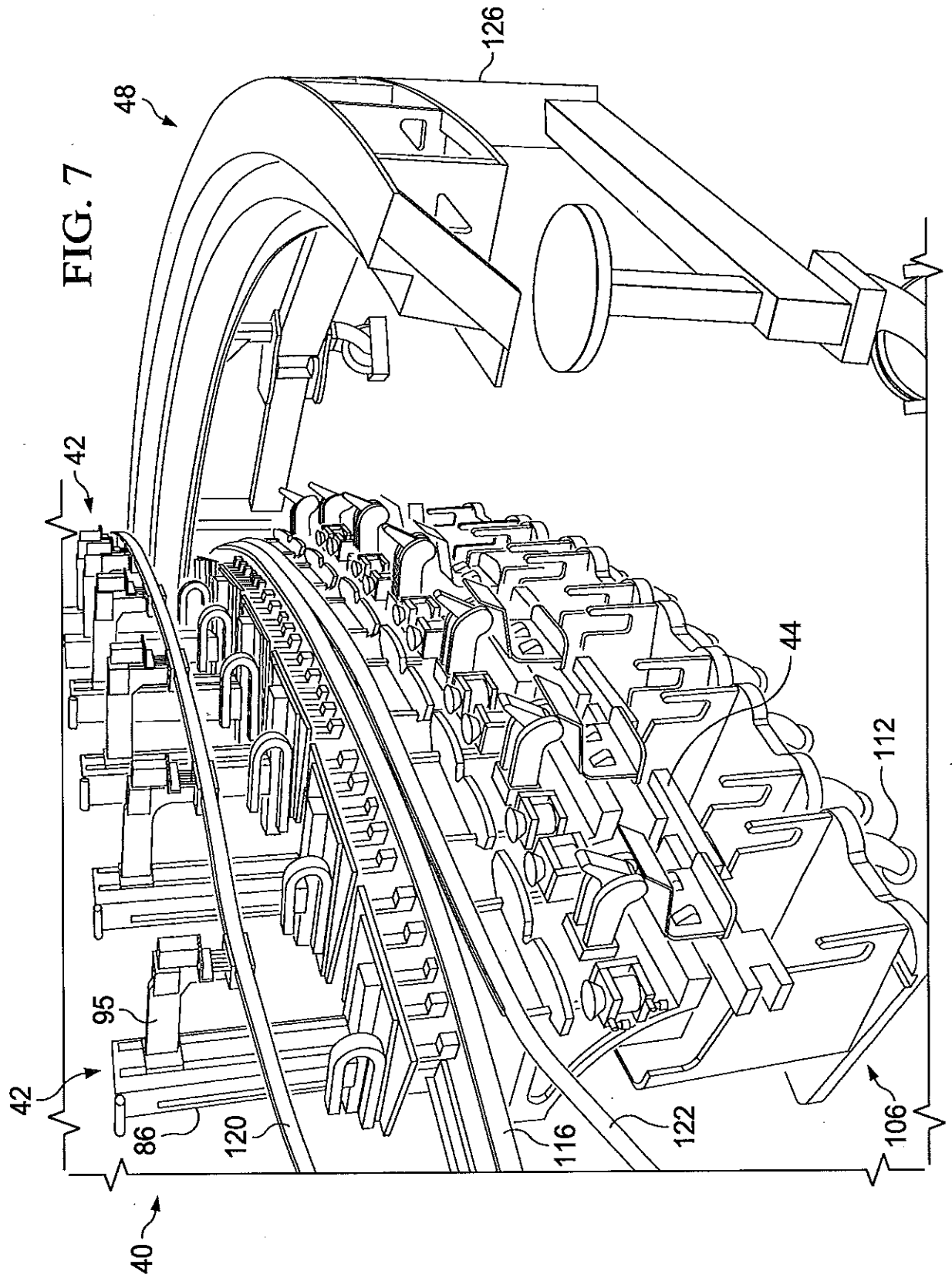


FIG. 2







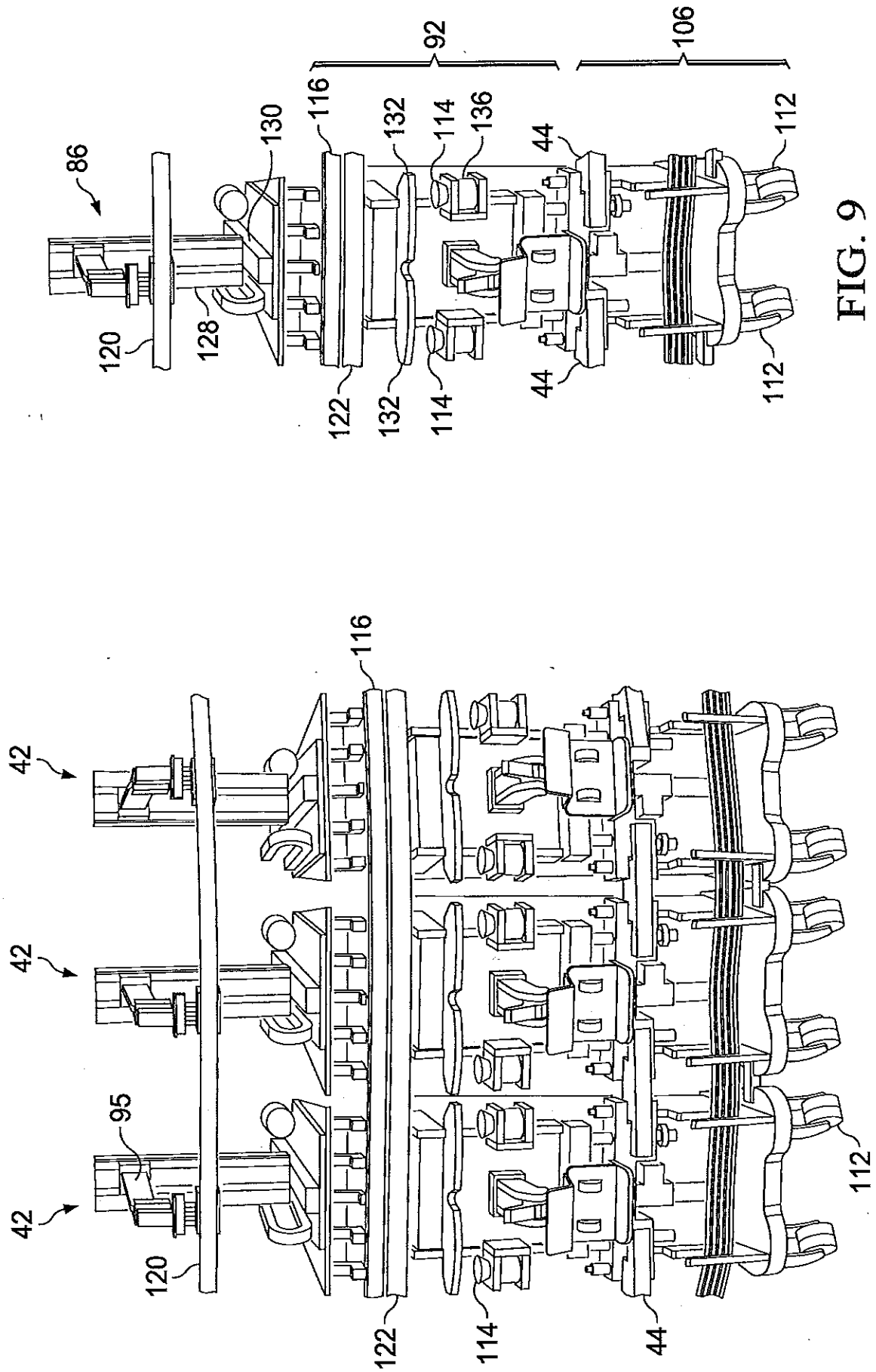


FIG. 8

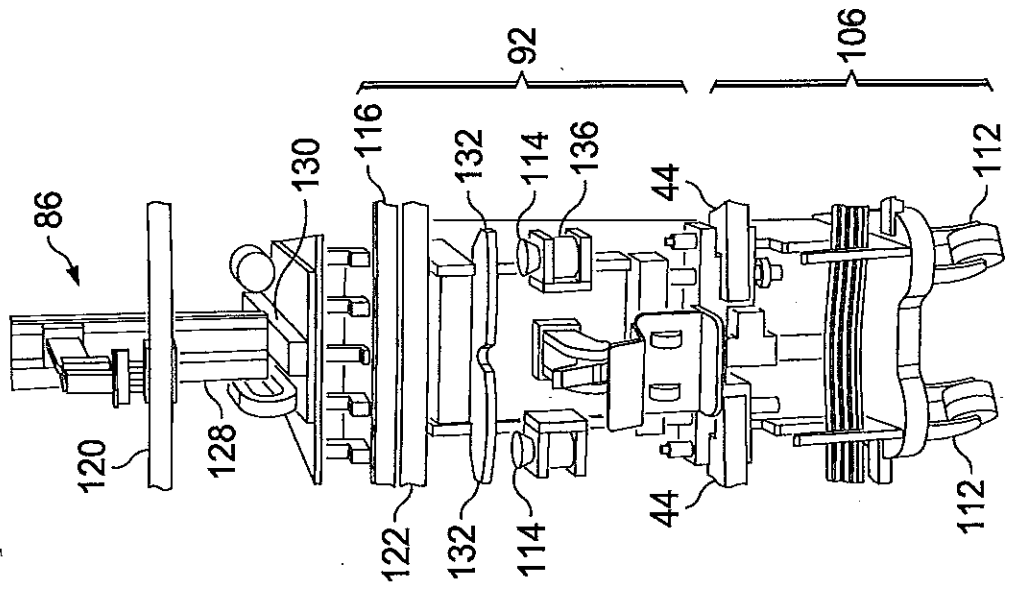


FIG. 9

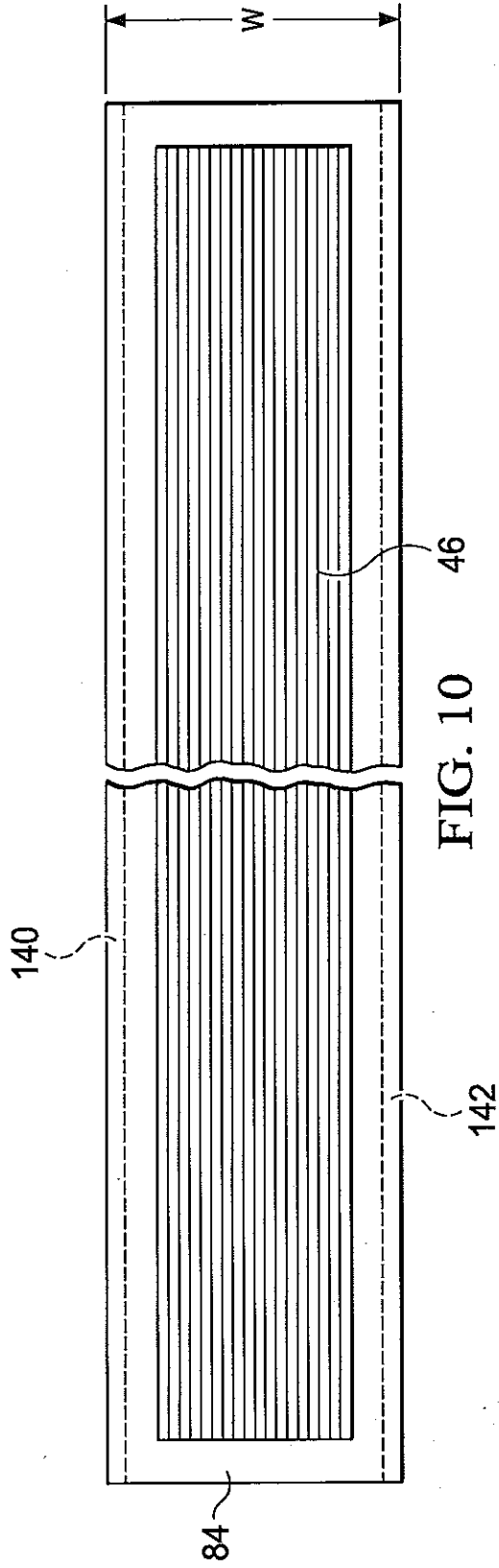


FIG. 10

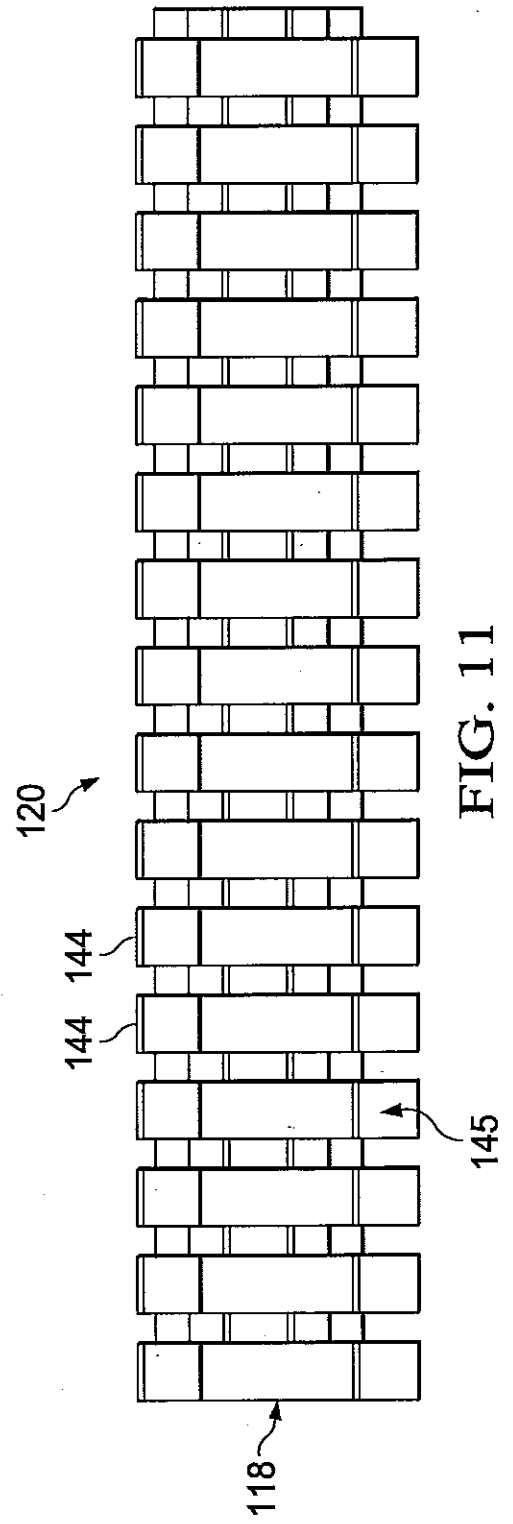


FIG. 11

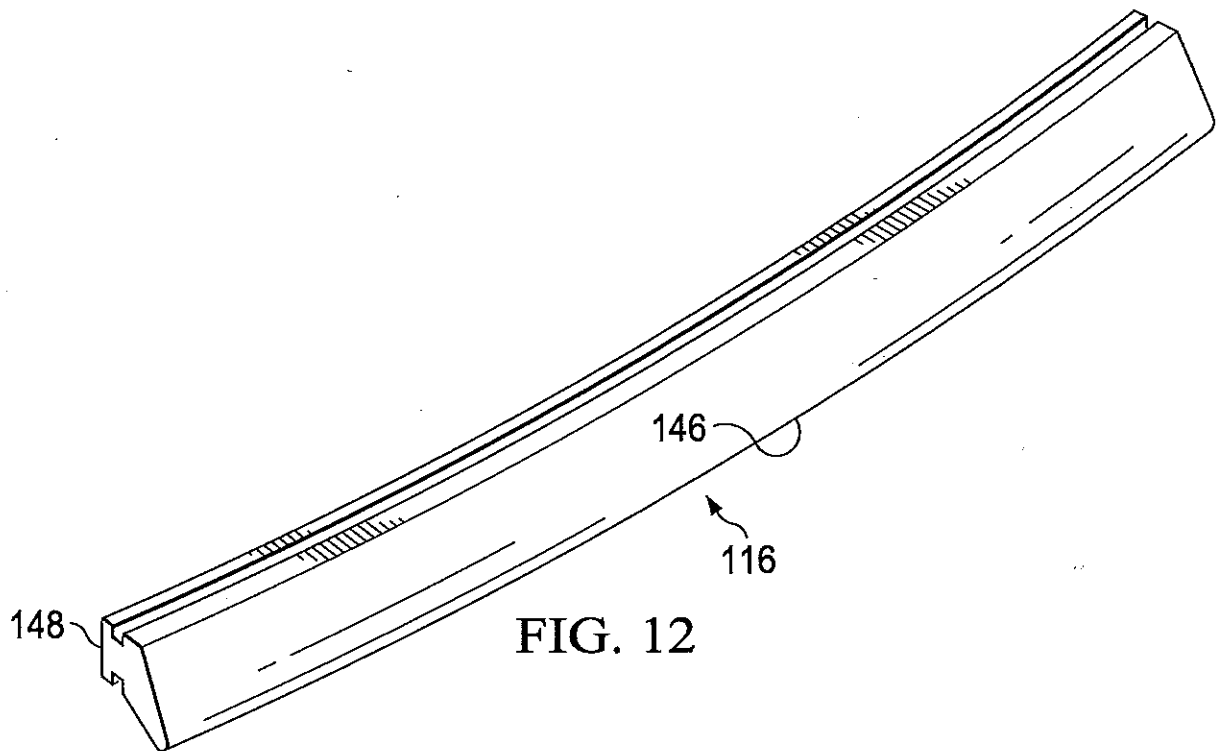
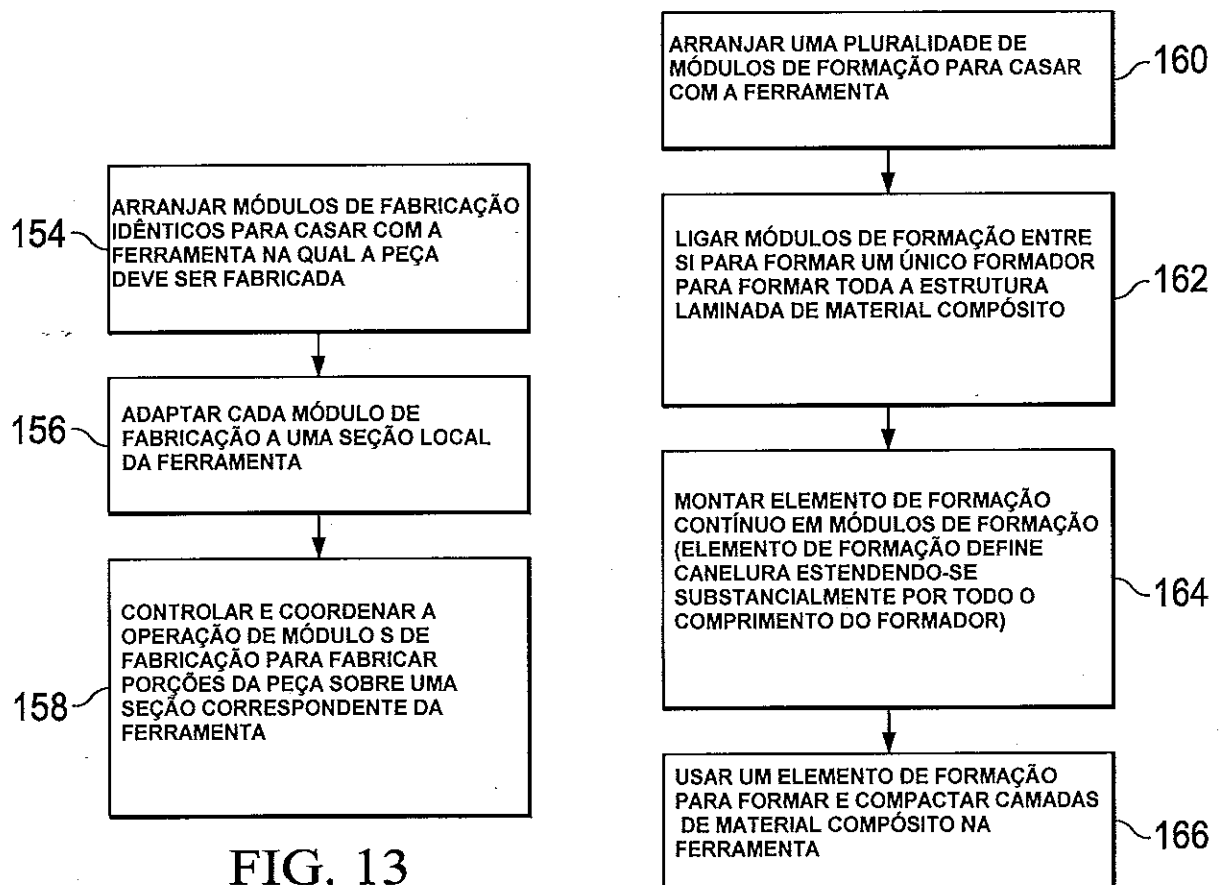


FIG. 12



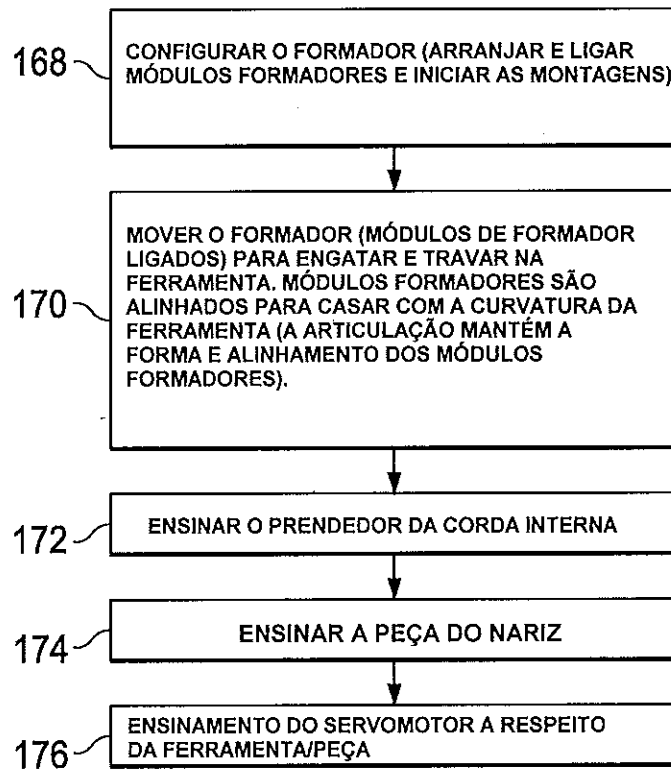


FIG. 15

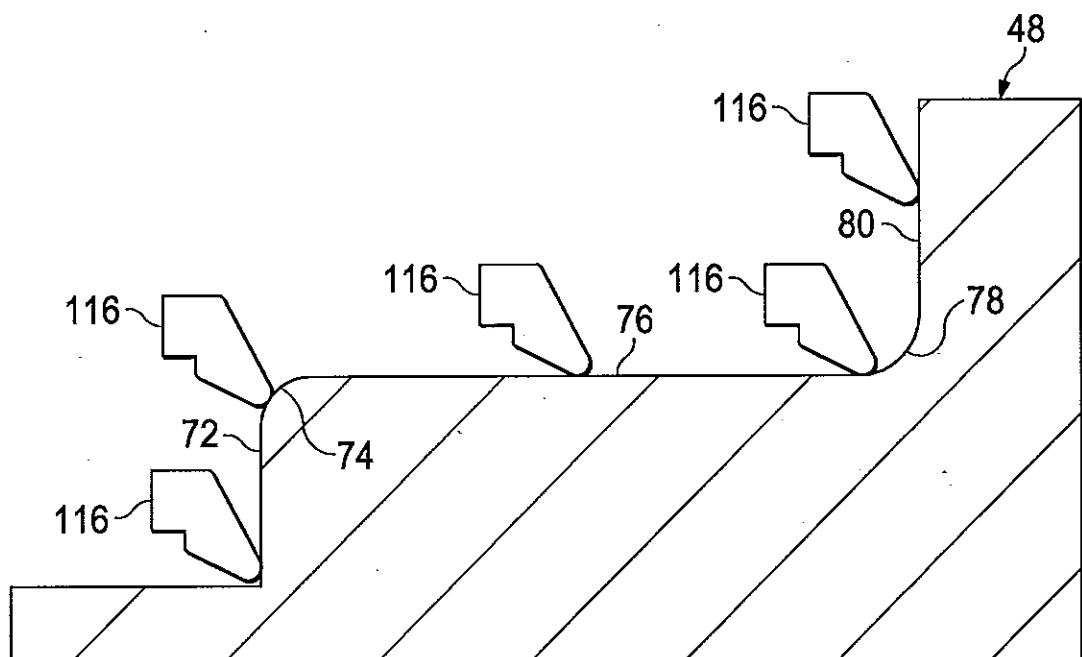


FIG. 16

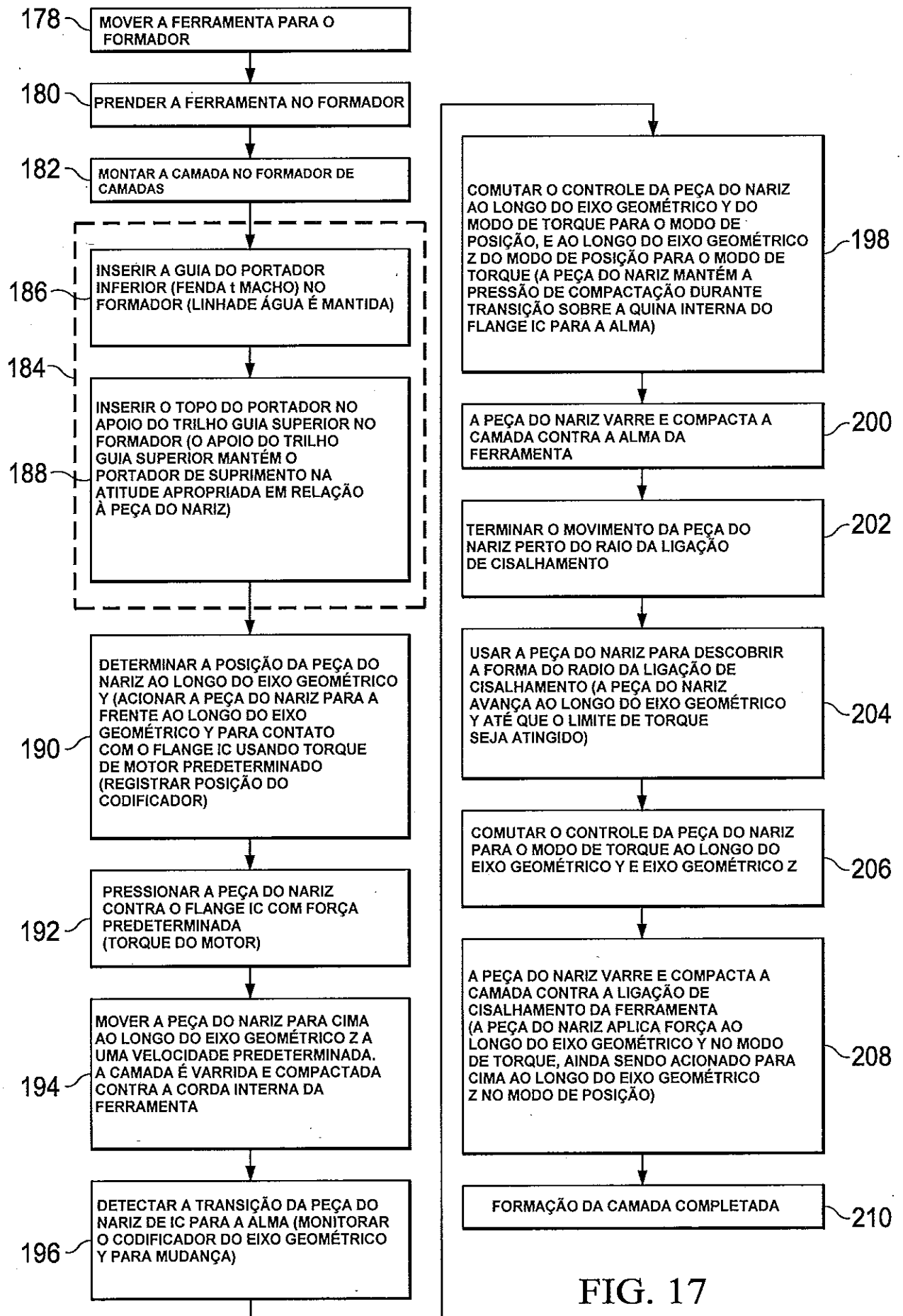


FIG. 17

