



República Federativa do Brasil  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102016004143-0 A2

(22) Data do Depósito: 25/02/2016

(43) Data da Publicação: 18/10/2016



(54) **Título:** APARELHO PARA FORMAR UMA CAMADA DE MATERIAL SOBRE UMA FERRAMENTA DE CONFORMAÇÃO, E, MÉTODO PARA DEPOSITAR UMA CAMADA DE MATERIAL

(51) **Int. Cl.:** B32B 37/14; B32B 38/10; B32B 41/00

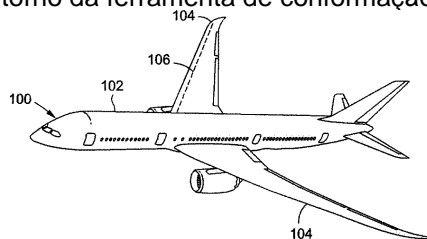
(30) **Prioridade Unionista:** 12/03/2015 US 14/656424

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

(72) **Inventor(es):** MATTHEW R. DESJARDIEN, Engenheiro, arquiteto e afins, BLAKE RAFFERTY, Engenheiro, arquiteto e afins, MICHAEL KARAS, Engenheiro, arquiteto e afins, MARK S. BUNKER, Engenheiro, arquiteto e afins, ERIK LUND, Engenheiro, arquiteto e afins, GARRETT C. HANSON, Engenheiro, arquiteto e afins, STEPHEN G. HOLLEY, Engenheiro, arquiteto e afins, BENJAMIN B. LEE, Engenheiro, arquiteto e afins, JOHN D. O'CONNELL, Engenheiro, arquiteto e afins, JOHN D. MORRIS, Engenheiro, arquiteto e afins, DEREK J. FLOLID, Engenheiro, arquiteto e afins, BRUCE S. HOWARD, Engenheiro, arquiteto e afins, MARK C. BOBERG, Engenheiro, arquiteto e afins, ERIC J. WALKER, Engenheiro, arquiteto e afins, SILAS L. STUDLEY, Engenheiro, arquiteto e afins, DEREK WILLIS, Engenheiro, arquiteto e afins

(74) **Procurador(es):** KASZNAR LEONARDOS PROPRIEDADE INTELECTUAL

(57) **Resumo:** Um aparelho (200) para formar uma camada de material (458) sobre uma ferramenta de conformação (220) pode incluir pelo menos uma peça de nariz (552) configurada para varrer lateralmente um portador de lâmina (450) sobre o contorno de uma ferramenta de conformação (236). O aparelho (200) pode incluir um par de braços de tração (414) configurados para suportar lados laterais opostos (454) de um portador de lâmina (450) tendo uma camada de material (458) montada em uma superfície inferior (452) do mesmo. O aparelho (200) pode incluir um ou mais atuadores (406, 410) configurados para posicionar os braços de tração (414) durante a conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236). O um ou mais atuadores (406, 410) podem ser configurados para sensorear e controlar tração lateral (462) no portador de lâmina (450) durante a conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).



“APARELHO PARA FORMAR UMA CAMADA DE MATERIAL SOBRE UMA FERRAMENTA DE CONFORMAÇÃO, E, MÉTODO PARA DEPOSITAR UMA CAMADA DE MATERIAL”

#### CAMPO

[001] A presente invenção se refere geralmente à fabricação de compósitos e, mais particularmente, a sistemas e métodos para depositar estruturas compósitas.

#### FUNDAMENTOS

[002] Estruturas compósitas são usadas em uma ampla variedade de aplicações. Na construção de aeronaves, compósitos são usados em quantidades crescentes para formar a fuselagem, asas, seção de cauda e outros componentes. Por exemplo, as asas de uma aeronave podem ser construídas de películas de asas de compósito com elementos de enrijecimento compósitos tais como longarinas estendendo-se em uma direção transversal ao longo das películas de asa. As longarinas podem ser ligadas às películas de asa para aumentar a resistência à flexão e a rigidez das películas de asa. Longarinas podem ser providas em uma ampla variedade de formatos de seção transversal. Por exemplo, uma longarina pode ser provida como uma longarina em chapéu tendo uma seção transversal em formato de chapéu incluindo uma porção de base e um par de almas estendendo-se a partir da porção de base. A porção de base pode incluir um par de flanges para acoplamento (por exemplo, ligação) a um membro de película tal como uma película de asa. Uma longarina pode também ser provida como uma longarina de lâmina tendo uma seção transversal em formato de T e que pode ser formada montando um par de metades de longarina em formato de L. Cada metade de longarina pode ter um flange e uma alma. As almas de um par de metades de longarina em formato de L podem ser reunidas em relação dorso com dorso para formar longarina em lâmina. Os flanges da longarina em lâmina podem ser ligados a um membro de película tal como uma película de

asa.

[003] Longarinas compósitas podem ser formadas depositando uma pluralidade de lâminas compósitas sobre um mandril ou ferramenta de conformação tendo o formato final da longarina. Após a deposição estar completa, calor e/ou pressão podem ser aplicados para curar as lâminas compósitas. Métodos atuais para depositar de lâminas compósitas individuais sobre uma ferramenta de conformação são realizados manualmente ou por máquina. A deposição manual é um processo demorado requerendo um grande número de pessoas realizando uma grande quantidade de trabalho manual para depositar múltiplas lâminas compósitas. A quantidade de trabalho manual pode ser significativa para estruturas em larga escala e altas taxas de produção. Máquinas tais como as máquinas de deposição de fita automatizadas (ATL) podem reduzir a quantidade de trabalho manual para depositar uma estrutura compósita. Porém, máquinas de ATL são tipicamente grandes e complexas e podem ser proibitivamente caras pela quantidade total de máquinas de ATL que iriam ser necessárias para suportar um programa de produção em larga escala. Além disso, máquinas de ATL podem requerer uma grande quantidade de programação de trajeto de máquina, o que pode impactar o custo e a programação de produção.

[004] Como pode ser visto, existe uma necessidade na técnica para um sistema e método para depositar lâminas compósitas sobre uma ferramenta de conformação com mínimo trabalho manual e de uma maneira eficiente e efetiva em termos de custo.

### BREVE SUMÁRIO

[005] As necessidades acima descritas associadas com a formação de longarinas compósitas são especificamente solucionadas e aliviadas pela presente invenção que, em uma modalidade, provê um aparelho para formação automatizada de uma camada de material sobre uma ferramenta de conformação. O aparelho pode incluir pelo menos uma peça de nariz

configurada para varrer lateralmente um portador de lâmina sobre um contorno da ferramenta de conformação. O aparelho pode adicionalmente incluir um par de braços de tração configurados para suportar lados laterais opostos de um portador de lâmina tendo uma camada de material montada em uma superfície inferior do mesmo. O aparelho pode também incluir um ou mais atuadores configurados para posicionar os braços de tração durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação. O um ou mais atuadores podem ser configurados para sensorear e controlar tração lateral no portador de lâmina durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

[006] Em uma outra modalidade, é descrita um aparelho de formação de longarina para depositar um segmento de material compósito sobre uma ferramenta de conformação. O aparelho pode incluir um sistema de gerenciamento de tração tendo um par de braços de tração configurados para suportar lados laterais opostos de um portador de lâmina tendo um segmento montado no mesmo. O sistema de gerenciamento de tração pode incluir um ou mais atuadores configurados para sensorear e controlar tração lateral no portador de lâmina durante a conformação a um contorno da ferramenta de conformação. O aparelho pode incluir adicionalmente um sistema de detenção tendo um grupo de atuadores de pé de detenção configurados para sujeitar o portador de lâmina sobre a ferramenta de conformação. O aparelho pode também incluir um sistema de conformação tendo um grupo de módulos de conformação cada um incluindo uma peça de nariz configurada para conformar o portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação e sensorear e controlar a pressão de compactação aplicada pela peça de nariz sobre o portador de lâmina.

[007] Também é descrito um método para depositar uma camada de material. O método pode incluir posicionar um portador de lâmina sobre uma ferramenta de conformação. Uma camada de material pode ser montada em

uma superfície inferior do portador de lâmina. O método pode incluir adicionalmente conformar o portador de lâmina a um contorno da ferramenta de conformação. Além disso, o método pode incluir manter tração lateral no portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

[008] As características, funções e vantagens que foram discutidas podem ser obtidas independentemente em várias modalidades da presente invenção ou podem ser combinadas em ainda outras modalidades, de que mais detalhes podem ser vistos com referência à seguinte descrição e desenhos abaixo.

#### BREVE DESCRIÇÃO DE THE DESENHOS

[009] Estas e outras características da presente invenção vão se tornar mais aparentes por referência aos desenhos em que números idênticos referem-se a partes idênticas em tudo e em que:

a figura 1 é uma vista em perspectiva de uma aeronave;

a figura 2 é uma vista lateral de uma longarina de uma asa de aeronave;

a figura 3 é uma vista em corte transversal de uma longarina em lâmina tomada ao longo da linha 3 da figura 2 e ilustrando uma seção transversal em formato de T da longarina em lâmina formada por reunião de um par de metades de longarina em arranjo dorso com dorso uma com a outra e reunidas com uma carga de base;

a figura 4 é uma vista em corte transversal da longarina em lâmina tomada ao longo da linha 4 da figura 2 e ilustrando o flange da longarina orientado em um ângulo de flange não perpendicular em relação à alma;

a figura 5 é uma vista em corte transversal da longarina em lâmina tomada ao longo da linha 5 da figura 2 e ilustrando os flanges da

longarina orientados a um ângulo de flange aumentado em relação ao ângulo de flange da figura 4;

a figura 6 é um diagrama de blocos de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina para deposição automatizada de uma estrutura compósita tal como as uma longarina em lâmina ou uma longarina em chapéu;

a figura 7 é uma vista em perspectiva de um sistema de conformação de longarina incluindo um aparelho de conformação de longarina para conformar uma longarina em lâmina e que pode ser móvel ao longo de uma pista de conformação de longarina para deposição sequencial de lâminas compósitas sobre uma ferramenta de conformação;

a figura 8 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina configurado para ser móvel ao longo de um par de trilhos para carrinho;

a figura 9 é uma vista lateral do aparelho de conformação de longarina da figura 8 e ilustrando uma armação de corda;

a figura 10 é uma vista lateral da armação de corda orientada a um ângulo de passo que se conjuga geralmente com um ângulo local da ferramenta de conformação;

a figura 11 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 8 montada sobre uma ferramenta de conformação de lâmina para conformar uma longarina em lâmina;

a figura 12 é uma vista em corte transversal da mesa de ferramenta e ferramenta de conformação de lâmina tomada ao longo da linha 12 da figura 7 e ilustrando o contorno de flange da ferramenta de conformação de lâmina orientada perpendicularmente em relação ao contorno da alma sobre lados opostos da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 13 é uma vista em corte transversal da mesa de ferramenta e ferramenta de conformação de lâmina tomada ao longo da linha

13 da figura 7 e ilustrando o contorno de flange da ferramenta de conformação de lâmina orientada a um ângulo de flange não perpendicular em relação ao contorno verticalmente orientado da alma da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 14 é uma vista em corte transversal da mesa de ferramenta e ferramenta de conformação de lâmina tomada ao longo da linha 14 da figura 7 e ilustrando o contorno de flange orientada a um ângulo de flange aumentado em relação ao ângulo de flange mostrado na figura 13;

a figura 15 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de detenção, um sistema de gerenciamento de tração e um sistema de conformação reunido à armação de corda;

a figura 16 é uma vista de topo do sistema de detenção, do sistema de gerenciamento de tração e do sistema de conformação da figura 15 reunidos à armação de corda;

a figura 17 é uma vista lateral do sistema de detenção, do sistema de gerenciamento de tração e do sistema de conformação montados na armação de corda;

a figura 18 é uma vista de extremidade do sistema de detenção, do sistema de gerenciamento de tração e do sistema de conformação montados na armação de corda;

a figura 19 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de gerenciamento de tração incluindo um braço de tração e um atuador de posição vertical e atuador de posição de rotação e correspondente cilindro de contrabalanceamento vertical e cilindro de contrabalanceamento em rotação;

a figura 20 é uma vista de extremidade do sistema de gerenciamento de tração da figura 19;

a figura 21 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de detenção configurado para sujeitar um portador de lâmina e uma

camada de material sobre a ferramenta de conformação;

a figura 22 é uma vista lateral do sistema de detenção da figura 21;

a figura 23 é uma vista em perspectiva de um grupo de atuadores de pé de detenção suportados por uma viga de detenção;

a figura 24 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de conformação para conformar um portador de lâmina e uma camada de material ao contorno da ferramenta de conformação e que pode incluir um par de vigas de conformação cada uma para suportar um grupo de módulos de conformação;

a figura 25 é uma vista de topo do sistema de conformação da figura 24;

a figura 26 é uma vista lateral do sistema de conformação da figura 24;

a figura 27 é uma vista de extremidade do sistema de conformação da figura 24 e ilustrando um módulo de conformação montado em cada uma das vigas de conformação;

a figura 28 é uma vista em perspectiva de um módulo de conformação incluindo um cilindro de força vertical e um cilindro de força lateral para atuar uma peça de nariz;

a figura 29 é uma vista lateral de um módulo de conformação com uma placa lateral removida para ilustrar uma articulação interconectando um cilindro de força lateral a uma braçadeira lateralmente deslizável suportando a peça de nariz;

a figura 30 é uma vista lateral de um módulo de conformação com o cilindro de força vertical em uma posição retraída;

a figura 31 é uma vista lateral do módulo de conformação com o cilindro de força vertical em uma posição estendida;

a figura 32 é uma ilustração de um fluxograma de uma ou mais

operações que podem ser incluídas em um método para depositar uma longarina;

a figura 33 é uma vista de extremidade de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina para conformar uma longarina em lâmina e mostrando o sistema de gerenciamento de tração, o sistema de detenção e o sistema de conformação em suas respectivas posições iniciais antes do começo antes de do processo de conformar um portador de lâmina sobre uma ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 34 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando os atuadores de pé de detenção estendidos em contato com o portador de lâmina;

a figura 35 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando o pé de detenção capturando o portador de lâmina contra a ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 36 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando as peças de nariz sobre os lados esquerdo e direito do ponto de dados central conformando o portador de lâmina contra os contornos de flange sobre lados opostos da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 37 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 depois que as peças de nariz sobre os lados esquerdo e direito do ponto de dados central tenham alcançado os respectivos pontos de transição de raio sobre lados opostos da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 38 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando os braços de tração rotados para baixo;

a figura 39 é uma vista de extremidade do aparelho de

conformação de longarina da figura 33 mostrando rotação adicional dos braços de tração à medida que as peças de nariz conformam o portador de lâmina ao contorno da alma sobre lados opostos da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 40 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando os braços de tração tendo sofrido translação para cima e o portador de lâmina destacado para fora a partir dos contornos de alma da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 41 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 mostrando uma translação para cima adicional dos braços de tração à medida que o portador de lâmina é destacado para fora a partir dos contornos de flange da ferramenta de conformação de lâmina;

a figura 42 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 33 depois que o portador de lâmina é destacado para fora a partir da ferramenta de conformação de lâmina;

as figuras 43-44 são vistas em corte transversal de ferramentas de conformação de lâmina simétricas para conformar respectivamente um par de primeira e segunda metades de longarina;

as figuras 45-46 são vistas em corte transversal de longarinas em lâmina cada uma reunida a partir de uma primeira metade de longarina e uma segunda metade de longarina;

a figura 47 é uma vista em corte transversal de uma ferramenta de conformação em chapéu para depositar uma longarina em chapéu;

a figura 48 é uma vista em corte transversal de uma longarina em chapéu que pode ser formada usando um aparelho de conformação de longarina descrito aqui;

a figura 49 é uma vista em perspectiva de um outro exemplo de um aparelho de conformação de longarina;

a figura 50 é uma vista de extremidade tomada ao longo da linha 50 da figura 49 e ilustrando o aparelho de conformação de longarina montado sobre uma ferramenta de conformação em chapéu para conformar uma longarina em chapéu como mostrado na figura 48;

a figura 51 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de gerenciamento de tração do aparelho de conformação de longarina da figura 49 e incluindo um par de braços de tração cada um tendo um atuador de posição de rotação e um cilindro de contrabalanceamento em rotação em cada extremidade de cada braço de tração;

a figura 52 é uma vista em corte transversal tomada ao longo da linha 52 da figura 51 e ilustrando o par de braços de tração cada um tendo um atuador de posição de rotação e um cilindro de contrabalanceamento em rotação em cada extremidade de cada braço de tração;

a figura 53 é uma vista de extremidade de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina e mostrando o sistema de gerenciamento de tração, o sistema de detenção e as peças de nariz em suas respectivas posições iniciais antes do começo do processo de conformar um portador de lâmina sobre uma ferramenta de conformação em chapéu;

a figura 54 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 53 mostrando os atuadores de pé de detenção capturando o portador de lâmina contra a ferramenta de conformação em chapéu e as peças de nariz estendidas em contato com o portador de lâmina;

a figura 55 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 53 depois da conformação do portador de lâmina aos contornos de alma sobre lados opostos da ferramenta de conformação em chapéu e mostrando as peças de nariz tendo alcançado o raio interno sobre cada lado da ferramenta de conformação em chapéu;

a figura 56 é uma vista de extremidade do aparelho de

conformação de longarina da figura 53 depois que as peças de nariz tenham conformado o portador de lâmina aos contornos de flange sobre lados opostos da ferramenta de conformação em chapéu;

a figura 57 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 53 mostrando os braços de tração tendo sofrido rotação e translação para cima fazendo o portador de lâmina se destacar para fora a partir da ferramenta de conformação em chapéu;

a figura 58 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina da figura 53 mostrando o portador de lâmina destacado para fora a partir da ferramenta de conformação em chapéu.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

[0010] Com referência agora aos desenhos em que as representações são para fins de ilustrar e várias modalidades preferidas da invenção, mostrada na figura 1 é uma aeronave 100 tendo uma fuselagem 102 e uma seção de cauda. A aeronave 100 pode incluir um par de asas 104 estendendo-se para fora a partir da fuselagem 102. A fuselagem 102, as asas 104, e/ou a seção de cauda podem ser formadas de material compósito e podem incluir componentes de enrijecimento tais como longarinas compósitas 106 para aumentar a resistência e/ou a rigidez em flexão dos membros de película cobrindo a fuselagem 102, as asas 104 e a seção de cauda. Por exemplo, a asa 104 pode incluir uma pluralidade de longarinas transversais 106 estendendo-se a partir de uma seção de raiz interior de cada asa 104 até uma seção de ponta exterior para aumentar a resistência e/ou a rigidez em flexão da película de asa.

[0011] A figura 2 é uma vista lateral de um exemplo de uma longarina em lâmina em formato de T 122 conformada usando um aparelho de conformação de longarina 200 (figura 6) e método descritos aqui. A longarina em lâmina 122 pode ter curvatura transversal que pode se conjugar com a curvatura transversal da película de asa. As figuras 3-5 ilustram a variação em

formato de seção transversal da longarina em lâmina 122 em diferentes locais ao longo da envergadura da longarina 106 a partir da seção de raiz interior até a seção de ponta exterior. A figura 3 mostra um corte transversal da longarina em lâmina 122 na seção de raiz mostrando a seção transversal em formato de T que pode ser formada por reunião de um par de metades de longarina em formato de L dorso a dorso 108 com uma carga de base 114 cobrindo os flanges 116. Na figura 3, o flange 116 de cada uma das metades de longarina 108 é orientado perpendicularmente a uma alma 120 de cada uma das metades de longarina 108. A figura 4 mostra os flanges 116 da longarina em lâmina 122 orientados em um ângulo de flange não perpendicular 118 em relação às almas 120. A figura 5 mostra os flanges 116 da longarina em lâmina 122 orientados em um ângulo de flange crescente 118 em relação à figura 4.

[0012] A figuras 2-5 representam exemplos não limitativos da curvatura transversal e variação em formato de seção transversal que podem ser incluídos em uma estrutura compósita depositada usando o aparelho de conformação de longarina 200 (figura 6) e o método descritos aqui. Embora o aparelho de conformação de longarina 200 e método sejam descritos no contexto de depositar uma longarina em lâmina 122 tal como as para uma asa 104 (figura 1) de uma aeronave 100 (figura 1), o aparelho de conformação de longarina 200 e método podem ser implementados para formar estruturas compósitas de qualquer tamanho, formato e configuração, sem limitação. Além disso, o aparelho de conformação de longarina 200 e método não são limitados a formar estruturas compósitas de comprimento estendido ou tendo uma alta razão de aspecto de comprimento para largura tal como o exemplo de longarina 106 descrito aqui. A este respeito, o aparelho de conformação de longarina 200 e método podem ser implementados para depositar estruturas compósitas relativamente pequenas e/ou depositar estruturas compósitas que podem ter uma razão de aspecto de comprimento para largura relativamente pequena.

[0013] A figura 6 é um diagrama de blocos de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina 200. O aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir um conjunto de armação 262 configurado para suportar um ou mais componentes do aparelho de conformação de longarina 200. Por exemplo, o conjunto de armação 262 pode incluir uma armação de corda 280 que pode ser configurada para suportar um sistema de detenção 300, um sistema de gerenciamento de tração 400 e um sistema de conformação 500, todos os quais podem ser operados de uma maneira coordenada para depositar um ou mais segmentos 460 de material (por exemplo, lâminas compósitas) sobre um mandril ou ferramenta de conformação 220. A ferramenta de conformação 220 pode ser suportada sobre uma superfície tal como uma mesa de ferramenta 246. A armação de corda 280 pode ser montada no conjunto de armação 262 por um ou mais atuadores Z 288. Em uma modalidade, um par de atuadores Z 288 pode ser localizado em cada uma das extremidades opostas da armação de corda 280. Os atuadores Z 288 podem ser configurados para ajustar a posição vertical de cada extremidade da armação de corda 280 em relação à ferramenta de conformação 220. Os atuadores Z 288 podem também ser operados para variar um ângulo de passo da armação de corda 280 para se conjugar com o ângulo local em um dado local transversal local da ferramenta de conformação 220 para facilitar a deposição de um segmento 460 de material compósito sobre a ferramenta de conformação 220.

[0014] Na figura 6, o aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir o sistema de detenção 300 para sujeitar um portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220 antes do começo do processo de conformação. O portador de lâmina 450 pode incluir uma camada de material 458 (por exemplo, um segmento de material compósito) montada em ou afixada em uma superfície inferior do portador de lâmina 450. A camada de material 458 pode ser formada de qualquer material sem limitação. Por

exemplo, a camada de material 458 pode ser um segmento 460 de material compósito tal como uma lâmina compósito pré-impregnada de material de matriz de polímero reforçado com fibra (por exemplo, prepreg) tal como prepreg de fibra de epóxi-carbono. O segmento 460 pode ser formado de qualquer tipo de material compósito incluindo, mas não limitado a, fita unidirecional, pano unidirecional, tecido tecido, esteira de fibra cortada qualquer uma de uma variedade de outras formas de fibra.

[0015] Em qualquer uma das modalidades do aparelho de conformação de longarina 200 descritas aqui, o portador de lâmina 450 pode ser formado de material que tem um grau ou módulo de elasticidade mais alto (por exemplo, capacidade de estiramento no plano) ao longo de uma direção longitudinal do portador de lâmina 450 em relação à capacidade de estiramento no plano ou módulo de elasticidade do portador de lâmina 450 ao longo da direção lateral. Por exemplo, o portador de lâmina 450 pode ser formado de um material de látex e tecido configurado para ser estirável ou elástico ao longo da direção longitudinal e não estirável ou não elástico ao longo da direção lateral. Como indicado acima, as peças de nariz 552 movem-se geralmente ao longo de uma direção lateral ao conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 à ferramenta de conformação 220. O módulo de elasticidade mais alto ou a rigidez no plano mais alta do portador de lâmina 450 ao longo da direção lateral paralela à direção de varredura da peça de nariz 552 pode impedir que a pressão de compactação das peças de nariz arrastadas 552 distorçam o portador de lâmina 450 e a camada de material 458. A capacidade de estiramento alimentada do portador de lâmina 450 ao longo da direção longitudinal pode permitir que o aparelho de conformação de longarina 200 conforme o portador de lâmina 450 e camada de material 458 à curvatura transversal no contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 12) sem a ocorrência de distorção, rugas ou pregas na camada de material 458.

[0016] Na figura 6, o sistema de detenção 300 pode incluir uma viga de detenção 302 que pode ser atuada por um ou mais atuadores de viga de detenção 304. Os atuadores de viga de detenção 304 podem ser operados para posicionar verticalmente a viga de detenção 302 em relação à armação de corda 280 durante o processo de conformação. Em um exemplo, cada uma das extremidades opostas da viga de detenção 302 pode ser acoplada a uma extremidade correspondente da armação de corda 280 por meio de um atuador de viga de detenção 304. O sistema de detenção 300 pode incluir um grupo de atuadores de pé de detenção 310 montados na viga de detenção 302. Cada um dos atuadores de pé de detenção 312 pode incluir um pé de detenção 310. Os atuadores de pé de detenção 312 podem ser operados de uma maneira coordenada para sujeitar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220 e travar a posição do portador de lâmina 450 contra movimento durante o processo de conformação.

[0017] O aparelho de conformação de longarina 200 (figura 6) pode incluir o sistema de gerenciamento de tração 400 que pode ser montado na armação de corda 280 e pode ser configurado para posicionar e gerenciar tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 (figura 6) durante o processo de conformação. O sistema de gerenciamento de tração 400 pode incluir um ou mais braços de tração 414 cada um suportando um dos lados laterais opostos 454 (figura 20) do portador de lâmina 450. O sistema de gerenciamento de tração 400 pode incluir um ou mais atuadores para ajustar a posição vertical e/ou a posição angular dos braços de tração 414 em relação à armação de corda 280 (figura 6). Por exemplo, cada extremidade de cada um dos braços de tração 414 pode incluir um atuador de posição vertical de braço de tração 406 acoplado a extremidade do braço de tração 414 à armação de corda 280. Os atuadores de posição vertical do braço de tração 406 (figura 6) podem ser configurados para ajustar a posição vertical do braço de tração 414 em relação à armação de corda 280. O sistema de gerenciamento de tração

400 pode incluir adicionalmente um ou mais atuadores de posição de rotação 410 configurados para ajustar a posição angular dos braços de tração 414 (figura 6) em relação à armação de corda 280.

[0018] Na figura 6, o sistema de gerenciamento de tração 400 pode também incluir um ou mais dispositivos para contrabalançar a massa do braço de tração 414 de modo que a tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 pode ser precisamente sensoreada durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220. A este respeito, o sistema de gerenciamento de tração 400 pode sensorear tração lateral 462 no portador de lâmina 450 e manter a tração lateral 462 dentro de uma faixa de tração predeterminada de modo que a camada de material 458 pode ser aplicada à ferramenta de conformação 220 sem a formação de rugas ou pregas. Como descrito em maior detalhe abaixo, o sistema de gerenciamento de tração 400 pode manter a tração lateral 462 do portador de lâmina 450 de uma maneira tal que a camada de material 458 é tesa o bastante para impedir que o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 entre em contato com a ferramenta de conformação 220 exceto no local onde a peça de nariz 552 está conformando o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 à ferramenta de conformação 220.

[0019] O sistema de gerenciamento de tração 400 (figura 6) pode também manter a tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 (figura 6) de modo que a camada de material 458 é frouxa o bastante para permitir que um grupo de peças de nariz 552 (figura 6) aplique uma quantidade desejada de pressão de compactação à camada de material 458 (figura 6) contra a ferramenta de conformação 220 (figura 6) de modo que a camada de material 458 pode se conformar ao contorno da ferramenta de conformação 236. Além disso, o sistema de gerenciamento de tração 400 pode manter a tração lateral 462 dentro de uma faixa predeterminada para permitir que as peças de nariz 552 apliquem um nível apropriado de pressão

de compactação sobre o portador de lâmina 450 para permitir que a camada de material 458 (figura 6) vá aderir ao substrato (por exemplo, à ferramenta de conformação 220 ou a uma camada de material previamente aplicada 458) devido a pegajosidade (por exemplo, adesividade) do segmento 460 (figura 6) ou camada de material 458 de modo que o segmento 460 ou camada de material 458 permanecem aderidos ao substrato durante o processo de destacar o portador de lâmina 450 para fora a partir da ferramenta de conformação 220.

[0020] A este respeito, o sistema de gerenciamento de tração 400 (figura 6) pode incluir um ou mais cilindros de contrabalanceamento. Por exemplo, um cilindro de contrabalanceamento vertical 408 (figura 6) pode ser incluído para cada atuador de posição vertical 406 (figura 6) para contrabalançar a massa do braço de tração 414 (figura 6) tal como durante translação vertical do braço de tração 414. Um cilindro de contrabalanceamento em rotação 412 (figura 6) pode ser incluído para cada atuador de posição de rotação 410 (figura 6) para contrabalançar a massa do braço de tração 414 durante pivotamento ou posicionamento angular do braço de tração 414. Os dispositivos de contrabalanceamento podem vantajosamente remover a massa do braço de tração 414 de mecanismos sensores de força que podem ser incluídos com os atuadores de posição vertical e de rotação 406, 410 e deste modo permitir que tais e atuadores de posição vertical e de rotação 406, 410 sensores e mantenham precisamente a tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 dentro da faixa desejada. Ainda a este respeito, o sistema de gerenciamento de tração 400 pode também sensorar e gerenciar a tração no portador de lâmina 450 (figura 6) durante o processo de conformação de uma maneira tal que distorção, pregueamento ou enrugamento da camada de material 458 são evitados e de modo que separação prematura da camada de material 458 (figura 6) é impedida durante destacamento para fora do portador de lâmina 450 a partir

da ferramenta de conformação 220 (figura 6).

[0021] O sistema de conformação 500 (figura 6) pode ser operado em coordenação com o sistema de detenção 300 (figura 6) e a gerenciamento de tração durante o processo de conformação e compactação do portador de lâmina 450 (figura 6) e da camada de material 458 (figura 6) sobre a ferramenta de conformação 220 e durante o destacamento para fora do portador de lâmina 450 a partir da ferramenta de conformação 220 (figura 6). Em alguns exemplos, o sistema de conformação 500 pode incluir um par de vigas de conformação 502 (figura 6). As vigas de conformação 502 podem ser operativamente acopladas à armação de corda 280 (figura 6) por um ou mais atuadores de conformação. Por exemplo, cada extremidade de cada viga de conformação 502 pode ser acoplada à armação de corda 280 por um atuador de conformação Z' 504 e um atuador de conformação Y 514 (figura 6) que pode ser configurado para posicionar a viga de conformação 502 ao longo dos respectivos eixo geométrico Z' e eixo geométrico Y. O sistema de conformação 500 pode também incluir um grupo de módulos de conformação 520 (figura 6) montados em cada uma das vigas de conformação 502. Cada um dos módulos de conformação 520 pode incluir um cilindro de força vertical 532 (figura 6) e um cilindro de força lateral 540 (figura 6) para manipular a peça de nariz 552 (figura 6) durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236. O cilindro de força vertical 532 e o cilindro de força lateral 540 de cada módulo de conformação 520 podem ser configurados para sensorear a pressão de compactação aplicada pela peça de nariz 552 contra o portador de lâmina 450 e manter a pressão de compactação de cada peça de nariz 552 dentro de uma faixa predeterminada durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 12).

[0022] A figura 7 mostra um exemplo de um aparelho de conformação de longarina 200 tendo pelo menos uma pista de conformação

de longarina 202 ao longo de que um aparelho de conformação de longarina 200 pode sofrer translação. Cada pista de conformação de longarina 202 pode incluir uma mesa de ferramenta 246 sobre que a ferramenta de conformação 220 pode ser montada. A mesa de ferramenta 246 pode incluir trilhos para carrinho 204 para guiar a translação do aparelho de conformação de longarina 200 em depositar sequencialmente lâminas compósitas para formar uma longarina. Por exemplo, em um modo de operação, o aparelho de conformação de longarina 200 pode ser posicionado em um primeiro local transversal local da pista de conformação 202 tal como em uma extremidade da ferramenta de conformação 220 (figura 6). Um segmento pré-tricotado (não mostrado) de material (por exemplo, uma lâmina compósita tecida ou prepreg unidirecional) pode ser afixado à superfície inferior 452 (figura 20) do portador de lâmina 450 (figura 6). Os lados laterais 454 (figura 20) do portador de lâmina 450 podem ser afixados aos braços de tração 414 do sistema de gerenciamento de tração 400. O sistema de detenção 300 (figura 6), o sistema de gerenciamento de tração 400 e o sistema de conformação 500 (figura 6) podem ser operados de uma maneira coordenada para conformar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220 (figura 6) no primeiro local transversal, depois que o portador de lâmina 450 pode ser destacado para fora deixando o segmento 460 (figura 6) sobre a ferramenta de conformação 220. O portador de lâmina vazio 450 pode ser destacado dos braços de tração 414 (figura 6) do sistema de gerenciamento de tração 400 e um novo portador de lâmina 450 contendo um segmento 460 pode ser afixado aos braços de tração 414.

[0023] O aparelho de conformação de longarina 200 (figura 7) pode ser movido para o próximo local transversal ao longo da pista de conformação de longarina 202 e um segundo segmento de material pode ser aplicado à ferramenta de conformação 220 em relação extremidade com extremidade com o primeiro segmento de material. O processo pode ser repetido para

depositar uma série de segmentos 460 (figura 6) em relação extremidade com extremidade ao longo de um comprimento desejado da ferramenta de conformação 220 (figura 6). Lâminas adicionais podem ser aplicadas sobre lâminas previamente depositadas da maneira acima descrita até que a sequência desejada de empilhamento de lâminas da longarina é obtida. Após a deposição estar completa, o depósito acabado pode ser removido da ferramenta de conformação 220 para curar e/ou se reunir para formar uma longarina completa. Embora a figura 7 mostre uma única pista de conformação de longarina 202, qualquer número de pistas de conformação de longarina 202 pode ser provido. Por exemplo, uma pluralidade de pistas de conformação 202 de longarina em lâmina 122 (figura 2) e uma pluralidade de pistas de conformação 202 de longarina em chapéu 124 (figura 48) podem ser operadas no mesmo local.

[0024] A figura 8 mostra um exemplo de um aparelho de conformação de longarina 200 configurado como um carrinho de conformação 260 adaptado para ser móvel ao longo de um par de trilhos para carrinho 204 para facilitar a aplicação sequencial de uma série de segmentos individuais 460 (figura 6) em diferentes locais transversais ao longo da ferramenta de conformação 220. A ferramenta de conformação 220 pode ser provida em qualquer comprimento. Por exemplo, em uma asa de aeronave, uma ferramenta de conformação 220 para uma longarina pode ter um comprimento de até 40 metros ou mais. Na figura 8, os trilhos para carrinho 204 são montados sobre a mesa de ferramenta 246 que suporta a ferramenta de conformação 220. Porém, os trilhos para carrinho 204 podem ser montados sobre um piso da oficina ou sobre uma outra superfície. Como indicado acima, a ferramenta de conformação 220 pode ser configurada como uma ferramenta de conformação de lâmina 222 para conformar uma longarina em lâmina 122 tendo uma seção transversal em formato de T. Em um outro exemplo, a ferramenta de conformação 220 pode ser configurada como uma

ferramenta de conformação em chapéu 224 para conformar uma longarina em chapéu 124 tendo uma seção transversal em formato de chapéu. Porém, a ferramenta de conformação 220 pode ser provida em qualquer um de uma variedade de formatos de seção transversal alternativos, sem limitação.

[0025] Na presente invenção, a estrutura e a operação dos vários componentes do aparelho de conformação de longarina 200 podem ser descritas com referência a sistemas de coordenadas retangulares. Por exemplo, nas figuras 8-9, a direção X pode ser descrita como a direção longitudinal da mesa de ferramenta 246. Como indicado acima, o aparelho de conformação de longarina 200 pode se mover ao longo da direção X. A direção Y pode ser descrita como uma direção lateral 230 através da largura da mesa de ferramenta 246. As vigas de conformação individuais 502 (figura 6) podem se mover ao longo da direção Y. A direção Z pode ser descrita como normal ao plano X-Y. Cada extremidade da armação de corda 280 pode se mover independentemente ao longo da direção Z.

[0026] Na figura 8, o aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir um conjunto de armação 262 para suportar a armação de corda 280. O conjunto de armação 262 pode ser montado sobre um sistema de trilhos tal como os trilhos para carrinho paralelos 204. Porém, em uma modalidade não mostrada, o aparelho de conformação de longarina 200 pode ser estacionário ou não móvel e pode ser acoplado a um piso da oficina ou a um outro elemento não móvel. Na presente invenção, o conjunto de armação 262 pode ter um par oposto de armações de extremidade 264. Cada uma das armações de extremidade 264 pode ter pernas de armação 266 que podem terminar em pés de armação 268 que podem ser suportados sobre os trilhos para carrinho 204. Cada extremidade da armação de corda 280 pode ser acoplada a uma armação de extremidade 264. O aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir um ou mais alojamentos elétricos 270 para alojar dispositivos elétricos, comutadores, fiação, interconexões e outros componentes. O

aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir um ou mais portadores de cabo 296 para suportar fiação elétrica estendendo-se entre os componentes das armações de extremidade 264 e da armação de corda 280. Dispositivos adicionais tais as um tanque de ar 272 para atuadores e cilindros pneumáticos podem também ser montados sobre a armação de corda 280.

[0027] A figura 9 é uma vista lateral do aparelho de conformação de longarina 200 mostrando um exemplo da maneira pela qual a armação de corda 280 pode ser acoplada às armações de extremidade 264 do conjunto de armação 262. A armação de corda 280 pode incluir um par de vigas laterais 282 estendendo-se ao longo de uma direção longitudinal da armação de corda 280. No presente exemplo do aparelho de conformação de longarina 200, as vigas laterais 282 podem ser interconectadas por vigas de extremidade 284 estendendo-se entre as vigas laterais 282, como visto melhor na figura 19. As vigas de extremidade 284 podem ser localizadas em extremidades opostas da armação de corda 280. As vigas laterais 282 podem também ser interconectadas por um ou mais vigas transversais 286 (figura 15). As vigas transversais 286 podem ser orientadas paralelas às vigas de extremidade 284 e podem se estender entre as vigas laterais 282. No exemplo mostrado, as vigas transversais 286 podem ser montadas sobre o topo das vigas laterais 282.

[0028] Com referência às figuras 9-10, cada extremidade da armação de corda 280 pode ser acoplada a uma armação de extremidade 264 por um par de trilhos de guia de armação de corda 294 que podem permitir movimento de deslizamento das extremidades da armação de corda 280 ao longo do eixo geométrico Z. Um par de atuadores Z 288 (por exemplo, servomotores) pode ser acoplado a cada armação de extremidade 264. Cada um dos atuadores Z 288 pode ser móvel ao longo de um trilho de guia de atuador Z 290 montado em uma armação de extremidade 264. Cada atuador Z 288 pode ser acoplado por um elo de armação 292 à armação de corda 280. Os atuadores Z 288 em cada extremidade da armação de corda 280 podem ser

independentemente operados de maneira sincronizada para ajustar a posição vertical das respectivas extremidades da armação de corda 280 ao longo da direção Z. A atuação diferencial dos atuadores Z 288 pode permitir ajustar o ângulo de passo B da armação de corda 280 em relação a um topo da mesa de ferramenta 246. Por exemplo, os atuadores Z 288 podem ser ajustados de modo que o ângulo de passo B da armação de corda 280 é orientado geralmente paralelo a uma tangente local (não mostrada) de uma curvatura transversal 228 da ferramenta de conformação 220 em um dado local (por exemplo, um ponto médio) entre as armações de extremidade 264.

[0029] A figura 11 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 mostrando as armações de extremidade 264 montadas nos trilhos para carrinho 204. As pernas de armação 266 são mostradas cavalcando a ferramenta de conformação 220 suportada sobre a mesa de ferramenta 246. Também mostrado são os trilhos de guia de atuador Z 290 para guiar o movimento vertical dos atuadores Z 288 quando se ajusta a posição vertical das extremidades da armação de corda 280. O portador de lâmina 450 é mostrado suportado pelos braços de tração 414 acima da ferramenta de conformação 220. Posicionados acima do portador de lâmina 450 estão grupos esquerdo e direito de peças de nariz 552 sobre lados opostos de um grupo centralmente localizado de pés de detenção 310.

[0030] As figuras 12-14 são vistas em corte transversal de um exemplo de uma ferramenta de conformação 220 que pode ser implementada para conformar uma longarina em lâmina 122 (figura 2). A ferramenta de conformação 220 é montada sobre uma mesa de ferramenta 246 (figura 11) e é localizada entre os trilhos para carrinho 204. A ferramenta de conformação 220 tem um ponto de dados central 234 para sujeitar o portador de lâmina 450 (figura 11) na ferramenta de conformação 220 durante o processo de conformação. A ferramenta de conformação 220 também tem um contorno de ferramenta 236 para depositar uma metade esquerda de longarina 108 e uma

metade direita de longarina 108. Após a deposição estar completa, as metades esquerda e direita de longarina 108 podem ser removidas da ferramenta de conformação 220 e reunidas para formar uma longarina em lâmina 122 completa como mostrado nas figuras 2-5 e descrito acima.

[0031] Na figura 12, os contornos de flange 238 sobre lados opostos do ponto de dados central 234 sobre o topo da ferramenta de conformação 220 são orientados perpendicularmente em relação ao contorno das almas 240 sobre os lados da ferramenta de conformação 220. Os contornos de flange 238 são separados pelo ponto de dados central 234 plano, horizontalmente orientado que pode se estender ao longo do comprimento da ferramenta de conformação 220. O ponto de dados central 234 vantajosamente provê uma região plana sobre a ferramenta de conformação 220 onde o grupo de pés de detenção 310 (figura 11) pode sujeitar o portador de lâmina 450 (figura 11) na ferramenta de conformação 220. A este respeito, o ponto de dados central 234 funciona como um elemento de alinhamento para a ferramenta de conformação 220.

[0032] A figura 13 mostra o contorno da ferramenta de conformação 236 em um outro local transversal ao longo da ferramenta de conformação 220. Os contornos de flange 238 são orientados em um ângulo de flange não perpendicular 118 em relação ao contorno vertical das almas 240 sobre lados opostos da ferramenta de conformação 220. A figura 14 mostra o contorno da ferramenta de conformação 236 em um outro local transversal ao longo da ferramenta de conformação 220 tendo um ângulo de flange aumentado 118 em relação ao ângulo de flange 118 mostrado na figura 13. Como indicado acima, a ferramenta de conformação 220 pode ser provido em qualquer uma variedade de diferentes contornos da ferramenta de conformação 236 e não é limitada à ferramenta de conformação de lâmina 222 mostrada nas figuras 12-14. Por exemplo, a ferramenta de conformação 220 pode ser configurada como uma ferramenta de conformação em chapéu 224 (figura 47) para

conformar uma longarina em chapéu 124 (figura 48) tendo uma configuração em formato de chapéu, com descrito em maior detalhe abaixo.

[0033] A figura 15 é uma vista em perspectiva do sistema de detenção 300, do sistema de gerenciamento de tração 400 e do sistema de conformação 500 reunidos à armação de corda 280. A orientação e o movimento de sistemas montados sobre a armação de corda 280 podem ser descritos em termos de um eixo geométrico X' (X primo), um eixo geométrico Y' (Y primo) e um eixo geométrico Z' (Z primo). O eixo geométrico X' pode ser descrito como se estendendo ao longo de um comprimento das vigas de conformação 502. O eixo geométrico Y' é orientado perpendicular ao eixo geométrico X' e pode ser descrito como a orientação das vigas de extremidade 284 e/ou das vigas transversais 286 da armação de corda 280. O eixo geométrico Z' é orientado normal ao plano X'-Y'. Os braços de tração 414 do sistema de gerenciamento de tração 400 e as vigas de conformação 502 do sistema de conformação 500 podem ser descritos como se movendo ao longo do eixo geométrico Z'.

[0034] A figura 16 é uma vista de topo do sistema de detenção 300, do sistema de gerenciamento de tração 400 e do sistema de conformação 500 reunidos à armação de corda 280. No exemplo mostrado, o sistema de detenção 300 pode incluir uma viga de detenção centralmente localizada 302 que pode se estender entre as vigas de extremidade 284 da armação de corda 280. O sistema de gerenciamento de tração 400 pode incluir um par de braços de tração paralelos 414 orientado paralelo aos lados laterais da armação de corda 280. O sistema de conformação 500 pode incluir um par de vigas de conformação paralelas 502 cada uma localizada entre a viga de detenção central 302 e uma viga lateral 282 da armação de corda 280. Um grupo de módulos de conformação 520 é mostrado montado em cada uma das vigas de conformação 502 sobre lados opostos da viga de detenção central 302.

[0035] A figura 17 é uma vista lateral do sistema de detenção 300, do

sistema de gerenciamento de tração 400 e do sistema de conformação 500 montados na armação de corda 280. Os atuadores de viga de detenção 304 podem estar localizados em extremidades opostas da viga de detenção 302. Igualmente, os atuadores de conformação Z' 504 e atuadores de conformação Y 514 do sistema de conformação 500 podem estar localizados em extremidades opostas das vigas de conformação 502. Um grupo de módulos de conformação 520 pode ser uniformemente distribuído ao longo do comprimento de cada uma das vigas de conformação 502. Os atuadores 406, 410 (figura 18) e cilindros de contrabalanceamento 408, 412 (figura 18) do sistema de gerenciamento de tração 400 podem estar localizados nas extremidades opostas da armação de corda 280.

[0036] A figura 18 é uma vista de extremidade do sistema de gerenciamento de tração 400 mostrando o jogo de atuadores 406, 410 e cilindros de contrabalanceamento 408, 412 para controlar o movimento do par de braços de tração 414. Os braços de tração 414 estendem-se ao longo de lados opostos da armação de corda 280 e podem ser verticalmente móveis e angularmente rotativos (por exemplo, pivotáveis) em torno de um ponto pivô 420. Como indicado acima, cada braço de tração 414 é móvel independente do outro braço de tração 414. Porém, os braços de tração 414 podem ser operados de uma maneira sincronizada para suportar e posicionar o portador de lâmina 450 (figura 11) em relação à ferramenta de conformação 220 (figura 11). Além disso, os braços de tração 414 podem ser configurados para manter a tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada. Como indicado acima, o portador de lâmina 450 pode ser configurado para suportar uma camada de material 458 (figura 6), tal como um segmento 460 de material compósito. Em alguns exemplos, a camada de material 458 pode ser aderida de modo liberável a uma superfície inferior 452 do portador de lâmina 450.

[0037] A figura 19 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um

dos braços de tração 414 do sistema de gerenciamento de tração 400 que pode ser configurado e operado de uma maneira similar ao outro braço de tração 414 do par. Como indicado acima, cada um dos braços de tração 414 pode incluir um jogo de atuadores e cilindros de contrabalanceamento. Cada braço de tração 414 pode incluir uma viga de tração 416 configurada para suportar um trilho esticador 456 (figuras 33-42) estendendo-se ao longo de um lado lateral 454 do portador de lâmina 450. O braço de tração 414 pode ser montado como um par de braços pivôs 418 estendendo-se lateralmente a partir de respectivas extremidades opostas de uma viga de tração 416.

[0038] A figura 20 é uma vista de extremidade do sistema de gerenciamento de tração 400. Cada extremidade do braço de tração 414 pode incluir um atuador de posição vertical de braço de tração 406 que pode acoplar o braço de tração 414 à armação de corda 280 e pode controlar a posição vertical do braço de tração 414 em relação à armação de corda 280. Em um exemplo, cada atuador de posição vertical de braço de tração 406 pode ser montado em uma viga de extremidade 284 da armação de corda 280 por uma braçadeira de montagem de braço de tração 404. Uma braçadeira de suporte de braço de tração 402 pode ser acoplada ao atuador de posição vertical do braço de tração 406. Embora descrito como um atuador eletromecânico (por exemplo, um servomotor), o atuador de posição vertical de braço de tração 406 pode ser provido em qualquer configuração que facilite translação vertical do braço de tração 414 em relação à armação de corda 280. Em um exemplo, o atuador de posição vertical de braço de tração 406 pode ser um atuador de esfera-parafuso para posicionar verticalmente o braço de tração 414 em relação à armação de corda 280.

[0039] Na figura 20, um atuador de posição de rotação 410 pode ser acoplado a cada um dos braços pivôs 418. O par de atuadores de posição de rotação 410 para cada braço de tração 414 pode ser operado de uma maneira coordenada para rotar os braços pivôs 418 em torno de um ponto pivô 420 e

ajustar a posição angular dos braços pivôs 418 em relação à armação de corda 280. Um cilindro de contrabalanceamento vertical 408 pode ser montado em cada braçadeira de suporte de braço de tração 402. Os cilindros de contrabalanceamento vertical 408 de cada braço de tração 414 podem ser operados de uma maneira coordenada para contrabalançar a massa do braço de tração 414 durante vertical translação e para sensorear e manter tração lateral 462 (figura 33) no portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada.

[0040] Além disso, um ou mais cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 podem ser montados em cada braçadeira de suporte de braço de tração 402 (figura 20). Os cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 (figura 20) de cada braço de tração 414 podem ser operados de uma maneira para contrabalançar a massa do braço de tração 414 (figura 20) durante pivotamento do braço de tração. Desta maneira, os cilindros de contrabalanceamento 408, 412 (figura 20) podem permitir que os atuadores de posição vertical e de rotação 406, 410 (figura 20) sensoreiem e mantenham tração lateral 462 (figura 33) dentro do portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada durante o processo de conformar e compactar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 (figura 20) sobre a ferramenta de conformação 220 (figura 11) e durante o processo de destacamento do portador de lâmina 450 (figura 20). Quando os atuadores de posição vertical 406 e os cilindros de contrabalanceamento vertical 408 estão ativos, os atuadores de posição de rotação 410 e os cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 podem estar inativos (e vice-versa) de modo que os atuadores de posição vertical 406 podem sensorear precisamente força lateral no portador de lâmina 450 sem influência a partir dos atuadores de posição de rotação 410.

[0041] Em um exemplo da magnitude de tração lateral 462 (figura 33) em um segmento de material de lâmina de fibra de carbono unidirecional

depositado sobre a ferramenta de conformação de lâmina 222 (figura 8), o sistema de gerenciamento de tração 400 pode ser configurado para sensorar e manter a tração lateral 462 dentro de uma faixa de aproximadamente 0,036-0,143 kg/cm ao longo dos lados laterais 454 (figura 11) do portador de lâmina 450 (figura 20) e, mais preferivelmente, aproximadamente 0,09 kg/cm. Para um portador de lâmina 450 tendo um comprimento de 152,4 cm, a magnitude total de tração lateral 462 sobre cada braço de tração 414 (figura 20) pode ser aproximadamente 13,71 kg (por exemplo, 0,09 kg/cm x 152,4 cm). Como pode ser apreciado, a magnitude da tração lateral 462 pode ser dependente do sistema de material a partir de que o segmento 460 (figura 20) é formado, do material a partir de que o portador de lâmina 450 é formado, da geometria da ferramenta de conformação 220 (figura 11), da largura lateral do portador de lâmina 450 e de outros fatores.

[0042] A figura 21 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de detenção 300 configurado para sujeitar o portador de lâmina 450 (figura 11) e camada de material 458 (figura 11) sobre a ferramenta de conformação 220 (figura 11). A figura 22 é uma vista lateral do sistema de detenção 300. A viga de detenção 302 pode se estender entre vigas de extremidade opostas 284 da armação de corda 280. Uma braçadeira de extremidade de viga de detenção 306 pode ser montada em cada extremidade da viga de detenção 302. Cada braçadeira de extremidade de viga de detenção 306 pode ser acoplada a um atuador de viga de detenção 304. Uma braçadeira 308 de atuador de viga de detenção pode ser operativamente acoplada ao atuador de viga de detenção 304. No exemplo mostrado, os atuadores de viga de detenção 304 podem ser configurados como servomotores elétricos. Porém, os atuadores de viga de detenção 304 podem ser providos como atuadores pneumáticos, atuadores eletromecânicos ou qualquer outra configuração de atuador ou combinação destes. Os atuadores de viga de detenção 304 podem ser operados de uma maneira coordenada para mover a

viga de detenção 302 ao longo do eixo geométrico Z' para posicionar a viga de detenção 302 em relação à armação de corda 280.

[0043] A figura 23 é uma vista em perspectiva de um grupo de atuadores de pé de detenção 312 suportados pela viga de detenção 302. No exemplo mostrado, os atuadores de viga de detenção 304 (figura 22) podem ser montados em um lado de baixo da viga de detenção 302. Cada um dos atuadores de pé de detenção 312 pode ser configurado como um cilindro pneumático guiado 314 com realimentação de posição. Cada pé de detenção 310 pode se mover ao longo de um eixo geométrico Z'' (Z duplo primo) definido pela direção de extensão e retração do cilindro pneumático 314. A extremidade operativa de cada atuador de pé de detenção 312 pode incluir um segmento de detenção 316 com um canal para receber um pé de detenção 310. Um ou mais dos pés de detenção 310 pode opcionalmente incluir uma câmara de vácuo para retenção assistida a vácuo do portador de lâmina 450 (figura 11) durante sujeição do portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220 (figura 11). No exemplo mostrado, uma tira de detenção flexível 318 pode se estender através de uma pluralidade dos segmentos de detenção 316. A tira de detenção 318 pode ser uma tira contínua configurada para se conformar com a curvatura transversal 228 (figura 10) da ferramenta de conformação 220. A tira de detenção 318 pode distribuir as cargas pontuais aplicadas por cada pé de detenção 310 no portador de lâmina 450 contra a ferramenta de conformação 220.

[0044] Como descrito em maior detalhe abaixo, os atuadores de viga de detenção 304 (figura 22) podem ser operativos para sujeitar o portador de lâmina 450 (figura 11) e camada de material 458 (figura 11) sobre o ponto de dados central 234 (figura 12) da ferramenta de conformação 220 (figura 11). Os atuadores de viga de detenção 304 podem travar a posição lateral do portador de lâmina 450 e deste modo impedir movimento lateral do portador de lâmina 450 em relação à ferramenta de conformação 220 durante o

processo de conformação. Como descrito em maior detalhe abaixo, um ou mais dos atuadores de pé de detenção 312 (figura 22) podem incluir um sensor de posição para sensores de contato do pé de detenção 310 com a ferramenta de conformação 220 durante a sujeição inicial à ferramenta de conformação 220.

[0045] As figuras 24-27 mostram um exemplo de um sistema de conformação 500 para conformar e compactar o portador de lâmina 450 (figura 11) e a camada de material 458 (figura 11) na ferramenta de conformação 220 (figura 11) usando grupos paralelos de módulos de conformação 520. Cada módulo de conformação 520 pode atuar uma peça de nariz. A este respeito, o sistema de conformação 500 provê grupos paralelos de peças de nariz 552 que podem ser operadas independentemente de uma maneira sincronizada para varrer em uma direção lateral 230 ao longo dos contornos da ferramenta de conformação 220 e conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 ao contorno da ferramenta de conformação 236. Além disso, os módulos de conformação 520 podem sensores e controlar a magnitude de pressão de compactação aplicada pelas peças de nariz 552 (figura 29) compactando a camada de material 458 sobre o substrato. Na presente invenção, o substrato pode ser descrito como ou a ferramenta de conformação 220 ou uma camada de material 458 previamente depositada.

[0046] As figuras 25-26 são respectivas vistas de topo e lateral do sistema de conformação 500 que pode ser suportado sobre a armação de corda 280 (figura 33). Como indicado acima, o sistema de conformação 500 pode incluir um par de vigas de conformação 502 que podem ser móveis de maneira sincronizada em relação à armação de corda 280 para posicionar os grupos de módulos de conformação 520 (figura 6) próximos da ferramenta de conformação 220. Cada viga de conformação 502 pode ser acoplada de modo móvel à armação de corda 280.

[0047] No exemplo mostrado, as extremidades opostas e o ponto médio aproximado de cada viga de conformação 502 (figura 25) podem ser acopladas a uma respectiva viga transversal 286 (figura 25) da armação de corda 280 (figura 33) por uma braçadeira de guia Z' 508 em cada local. Uma braçadeira deslizante Z' 512 (figura 25) pode ser engatada de modo verticalmente deslizável com um trilho de guia Z' 510 (figura 25) que pode ser incluído com cada braçadeira de guia Z', possibilitando movimento da viga de conformação 502 ao longo do eixo geométrico Z'. Cada braçadeira deslizante Z' 512 pode também ser engatada de modo deslizável a um trilho de viga transversal 518 (figura 26) que pode ser montado em um lado de baixo de uma viga transversal 286 e possibilitando movimento da viga de conformação 502 ao longo do eixo geométrico Y'.

[0048] Cada uma das extremidades das vigas de conformação 502 (figura 26) pode incluir um atuador de conformação Z' 504 (figura 26). A braçadeira 506 do atuador de conformação Z' (figura 26) pode acoplar a braçadeira deslizante Z' 512 (figura 26) ao atuador de conformação Z' 504 para atuar as vigas de conformação 502 ao longo da direção Z' em relação à armação de corda 280 (figura 18). Cada extremidade de cada uma das vigas de conformação 502 pode também incluir um atuador de conformação Y 514 (figura 26) que pode ser operativamente acoplado à braçadeira deslizante Z' 512 via uma braçadeira 516 de atuador de conformação Y (figura 26). Os atuadores de conformação Y 514 podem aplicar translação às as vigas de conformação 502 ao longo da direção Y em relação à armação de corda 280. Os atuadores de conformação Z' 504 e os atuadores de conformação Y 514 podem ser operados de uma maneira coordenada para posicionar as vigas de conformação 502 em relação à ferramenta de conformação 220 (figura 14).

[0049] A figura 27 é uma vista de extremidade do sistema de conformação 500 mostrando um exemplo de módulos de conformação 520 montado nas vigas de conformação 502 do sistema de conformação 500. Os

módulos de conformação 520 podem ser móveis ao longo da direção Z'' (Z duplo primo) para posicionar as peças de nariz 552 em relação à ferramenta de conformação 220 (figura 11) durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 e camada de material 458 à ferramenta de conformação 220. Os módulos de conformação 520 podem também ser operativos para mover as peças de nariz 552 ao longo da direção Y' (Y primo) durante o processo de conformação.

[0050] A figura 28 mostra um exemplo de um módulo de conformação 520. Como indicado acima, um grupo dos módulos de conformação 520 pode ser em montado em cada uma das vigas de conformação 502 (figura 27). Cada um dos módulos de conformação 520 pode incluir uma peça de nariz 552 (figura 29) que pode ser atuada de uma maneira a conformar e compactar o portador de lâmina 450 (figura 11) e a camada de material 458 (por exemplo, um segmento 460 de material compósito) (figura 11) sobre o contorno de ferramenta 236 (figura 12) ou em uma camada de material 458 previamente aplicada (figura 11). No exemplo mostrado, o módulo de conformação 520 pode incluir uma armação de módulo de conformação 522 acoplada à viga de conformação 502 por uma braçadeira de montagem de módulo 524. A braçadeira de montagem de módulo 524 pode ser fixada à viga de conformação 502, tal como em um lado de baixo da viga de conformação 502. A braçadeira de montagem de módulo 524 pode incluir uma braçadeira de montagem de módulo deslizante 528 que pode ser engatada de modo deslizável com um trilho de guia 526 de módulo de conformação da armação de módulo de conformação 522 para guiar o movimento vertical (por exemplo, ao longo de um eixo geométrico Z'') do módulo de conformação 520 em relação à viga de conformação 502 quando atuada por um cilindro de força vertical 532. Embora as figuras 27-31 ilustrem o eixo geométrico Z'' como sendo verticalmente orientado, os módulos de conformação 520 podem ser montados como vigas de

conformação 502 de modo que o eixo geométrico  $Z''$  está ligeiramente fora da vertical ou é não vertical.

[0051] A este respeito, cada um dos módulos de conformação 520 (figura 28) pode incluir um ou mais mecanismos ou atuadores 530 de módulo de conformação (figura 27) para controlar a posição vertical e/ou a posição lateral das peças de nariz 552 (figura 29) em relação à ferramenta de conformação 220 (figura 11) durante o processo de conformação. Além disso, o um ou mais mecanismos para controlar a posição vertical e/ou a posição lateral da peça de nariz 552 pode incluir a capacidade de sensorear e modular dinamicamente a pressão de compactação aplicada pela peça de nariz 552 sobre o portador de lâmina 450 (figura 11) contra a ferramenta de conformação 220.

[0052] No exemplo do aparelho de conformação 200 mostrado nas figuras 8-31 e 33-42 para conformar uma longarina em lâmina, os mecanismos ou atuadores de módulo de conformação 530 (figura 27) para controlar a posição vertical e/ou a posição lateral da peça de nariz 552 (figura 29) pode incluir um cilindro de força vertical 532 (figura 28) e um cilindro de força lateral 540 (figura 28) para cada módulo de conformação 520 (figura 28). Em alguns exemplos, o cilindro de força vertical 532 e/ou o cilindro de força lateral 540 podem ser cilindros pneumáticos operando via pressão pneumática que pode ser fornecida pelo tanque de ar 272 (figura 8). O cilindro de força vertical 532 pode ser montado na armação de módulo de conformação 522 (figura 28) e pode incluir realimentação de posição via servocontrole de posição elétrico. O cilindro de força vertical 532 pode controlar a posição e o movimento do módulo de conformação 520 e da peça de nariz afixada 552 ao longo de uma direção  $Z''$  ( $Z$  duplo primo), como mencionado acima. A direção  $Z''$  duplo primo, pode ser paralela à direção de atuação de uma haste de cilindro vertical 534 (figura 28) extensível e retraível a partir do cilindro de força vertical 532. As figuras 30-31 mostram

respectivamente um módulo de conformação 520 com o cilindro de força vertical 532 em uma posição retraída (figura 30) e em uma posição estendida (figura 31).

[0053] O cilindro de força vertical 532 (figura 28) pode incluir um mecanismo para travar a posição da haste de cilindro vertical. Por exemplo, o cilindro de força vertical 532 pode incluir uma trava 536 de haste de cilindro vertical (figura 28) para travar a posição vertical do módulo de conformação 520 (figura 28) e peça de nariz 552 (figura 29) por comando. Além disso, o cilindro de força vertical 532 pode incluir realimentação de posição para sensores a pressão de compactação aplicada pela peça de nariz 552 sobre o portador de lâmina 450 (figura 11) durante o processo de conformação. A realimentação de posição pode permitir que o cilindro de força vertical 532 mantenha a pressão de compactação da peça de nariz 552 dentro de uma faixa predeterminada.

[0054] O cilindro de força lateral 540 (figura 28) pode ser parte de um mecanismo de força lateral 538 (figura 28) do módulo de conformação 520 (figura 28). O cilindro de força lateral 540 pode controlar o movimento lateral da peça de nariz 552 (figura 29) em relação à ferramenta de conformação 220 (figura 11). O cilindro de força lateral 540 pode ser montado na armação de módulo de conformação 522 (figura 28) e pode incluir realimentação de posição (por exemplo, servocontrole de posição elétrico). O movimento de força lateral 538 pode controlar a posição e movimento da peça de nariz 552 ao longo da direção Y' controlando a extração e retração da haste de força lateral a partir do cilindro de força lateral 540. A direção Y' pode ser paralela a orientação longitudinal de um ou mais trilhos de peça de nariz 548 (figura 28) que podem ser incluídos com o módulo de conformação.

[0055] As figuras 28-31 mostram um par de trilhos de peça de nariz 548 montados no módulo de conformação 520 tal como no lado de baixo da armação de módulo de conformação 522. Uma braçadeira deslizante 546 de

peça de nariz pode ser de modo deslizável engatada com e montada sobre os trilhos de peça de nariz 548. A braçadeira deslizante 546 de peça de nariz pode ser lateralmente móvel ao longo dos trilhos de peça de nariz 548 por extração e retração da haste de cilindro lateral 542 estendendo-se a partir do cilindro de força lateral 540. Uma articulação 544 pode acoplar a haste de cilindro lateral 542 à braçadeira deslizante 546 da peça de nariz e pode converter movimento linear (por exemplo, vertical) da haste de cilindro lateral 542 em movimento lateral da braçadeira deslizante 546 da peça de nariz. A figura 29 é uma vista lateral de um módulo de conformação 520 com uma placa lateral removida para ilustrar a articulação 544 interconectando o cilindro de força lateral 540 à peça de nariz lateralmente deslizável. A braçadeira deslizante 546 da peça de nariz pode incluir um segmento de canal 550 da peça de nariz. O segmento de canal 550 da peça de nariz pode ser configurado para suportar a peça de nariz.

[0056] No exemplo mostrado, o segmento de canal 550 da peça de nariz pode incluir fendas para permitir que o segmento de canal 550 da peça de nariz (figura 30) e a peça de nariz 552 (figura 30) flexionem e se conformem ao contorno local e curvatura transversal convexa e côncava da ferramenta de conformação 220 (figura 11). Em um exemplo, a peça de nariz 552 pode ser configurada para se conformar a uma curvatura transversal 228 variando a partir de um raio côncavo mínimo 128 (figura 2) de aproximadamente 7620 cm ou menos, a um raio convexo máximo de aproximadamente 14732 cm ou mais. Porém, a peça de nariz 552 pode ser configurada para conformar e/ou raios de curvatura convexos de menos do que 127 cm. Em alguns exemplos, a peça de nariz 552 pode ser configurada para se conformar a variações locais no contorno da ferramenta de conformação de pelo menos 0,076 cm ou mais dentro de um comprimento de 25,4 cm da ferramenta de conformação 220. O aparelho de conformação de longarina 200 pode ser configurado de modo que as peças de nariz 552 podem

conformar o portador de lâmina 450 e camada de material 458 tanto a curvatura transversal convexa quanto curvatura transversal côncava na ferramenta de conformação 220 ao longo do comprimento de um único segmento 460.

[0057] As peças de nariz 552 podem ser dimensionadas e configuradas de modo que o grupo de módulos de conformação 520 (figura 30) provê um grupo extremidade com extremidade de peças de nariz 552 (figura 30) com intervalos relativamente pequenos entre as peças de nariz adjacentes 552. As peças de nariz 552 podem ser providas em qualquer um de uma variedade de diferentes tamanhos, formatos e configurações, sem limitação. No exemplo mostrado, uma peça de nariz 552 pode ser oca. Porém, uma peça de nariz 552 pode ser formada como um elemento maciço. As peças de nariz 552 podem ser formadas de material que permite aplicação precisa de pressão de compactação sobre o portador de lâmina 450 (figura 33) dentro de uma faixa predeterminada. Uma superfície exterior da peça de nariz 552 pode ser formada de um material de baixa fricção tal como um material polimérico (por exemplo, Nylon<sup>TM</sup>) para permitir a peça de nariz 552 deslizar ao longo do portador de lâmina 450 com baixa resistência friccional durante o processo de conformação.

[0058] A figura 32 é uma ilustração de um fluxograma de uma ou mais operações que podem ser incluídas em um método 600 para depositar uma longarina. Uma ou mais das operações podem ser realizadas usando um aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11) como descrito aqui. O método 600 pode incluir montar uma camada de material 458 (por exemplo, um segmento 460 de material compósito) em um portador de lâmina 450. Por exemplo, a camada de material 458 (figura 33) pode ser aplicada a uma superfície inferior 452 (figura 33) do portador de lâmina 450 (figura 33) tal como aderindo de modo liberável a camada de material 458 à superfície inferior 452 do portador de lâmina 450. O portador de lâmina 450 pode ser

carregado no aparelho de conformação de longarina 200 afixando lados laterais 454 (figura 33) do portador de lâmina 450 aos braços de tração 414 do sistema de gerenciamento de tração 400. As extremidades opostas do portador de lâmina 450 podem ser livres e não suportadas.

[0059] A etapa 602 do método 600 pode incluir posicionar o portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220 com a camada de material 458 acoplada ao portador de lâmina 450. A figura 33 é uma vista de extremidade de um exemplo de um aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11) em uma posição de troca do portador de lâmina 450. A figura 33 mostra o sistema de gerenciamento de tração 400, o sistema de detenção 300 e o sistema de conformação 500 em suas respectivas posições iniciais antes do começo do processo de conformar o portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220. Os braços de tração 414 do sistema de gerenciamento de tração 400 suportam os lados laterais 454 do portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220. A armação de corda 280 (figura 33) pode ser posicionada em seu local o mais alto e pode ser orientada paralela à superfície de topo da mesa de ferramenta 246. Os braços de tração 414 podem também estar em seu local o mais alto e podem ser orientados de modo que o portador de lâmina 450 é geralmente plano e orientado paralelo à superfície de topo da mesa de ferramenta 246.

[0060] Cada um dos atuadores de pé de detenção 312 (figura 33) no grupo de pé de detenção 310 pode estar plenamente estendido e a viga de detenção 302 (figura 33) pode ser retraída para o seu local o mais alto. Em um tal arranjo, cada um dos pés de detenção 310 (figura 33) pode ser posicionado completamente acima e em relação de não contato com o portador de lâmina 450 geralmente plano (figura 33). O sistema de vácuo do pé de detenção, se provido, pode inicialmente permanecer desativado. Cada uma das vigas de conformação 502 (por exemplo, uma viga de conformação esquerda e uma viga de conformação direita) (figura 31) pode ser posicionada em seu local o

mais alto em relação à armação de corda 280 (figura 33) e pode também ser posicionada em seu limite interior ao longo do eixo geométrico Y (por exemplo, o mais próximo da viga de detenção 302). Cada módulo de conformação 520 (figura 29) no grupo sobre as vigas de conformação esquerda e direita 502 pode ter suas hastes de cilindro verticais 534 (figura 30) plenamente retraídas no cilindro de força vertical 532 (por exemplo, pneumático) (figura 30). Além disso, a haste de cilindro lateral 542 (figura 29) de cada cilindro de força lateral 540 pode estar plenamente estendida de modo que cada uma das peças de nariz 552 (figura 29) está em seu limite interior.

[0061] A etapa 604 do método 600 pode incluir ajustar um ângulo de passo B (figura 10) do portador de lâmina 450 (figura 11) para ser complementar a um ângulo de corda local (não mostrado) da porção da ferramenta de conformação 220 (figura 11) a ser coberta pelo segmento ou camada de material. A etapa de ajustar o ângulo de passo B pode incluir atuar pelo menos um dos atuadores Z 288 (figura 11) em uma ou ambas extremidades da armação de corda 280 (figura 33) e ajustar o ângulo de passo da armação de corda 280 em relação à ferramenta de conformação 220 em resposta à atuação do atuador Z 288. O ângulo de passo B pode ser sensoreado por um ou mais sensores ópticos ((não mostrado) que pode opcionalmente estar localizado em cada extremidade da armação de corda 280. A armação de corda 280 pode ser abaixada até que os feixes ópticos emitidos pelos sensores ópticos sobre cada extremidade são quebrados. Em alguns exemplos, a armação de corda 280 pode ser abaixada até que o portador de lâmina 450 fica aproximadamente 15,24 cm acima do ponto de dados central 234 da ferramenta de conformação 220.

[0062] A etapa 606 do método 600 pode incluir deter o portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220 de modo que a porção central longitudinal do portador de lâmina 450 se conforma com uma curvatura

longitudinal da ferramenta de conformação 220. A etapa de deter pode incluir a translação vertical da viga de detenção 302 em relação à armação de corda 280 usando pelo menos um atuador de viga de detenção 304 até que o grupo de pés de detenção 310 contacte a ferramenta de conformação 220 e sujeite o portador de lâmina 450 na ferramenta de conformação 220 para deste modo travar a posição lateral do portador de lâmina 450 em relação à ferramenta de conformação 220. Mais especificamente, com referência à figura 34, a etapa 606 pode incluir pré-formatar o portador de lâmina 450 estendendo cada um dos atuadores de pé de detenção 312 (por exemplo, cilindro pneumáticos) e atuando os atuadores de viga de detenção 304 para abaixar a viga de detenção 302 até que os pés de detenção 310 toquem o topo do portador de lâmina 450.

[0063] Se vácuo foi provido, um vácuo de detenção pode ser aplicado para acoplar a vácuo o portador de lâmina 450 (figura 34) ao grupo de pés de detenção 310 (figura 34) como um meio de estabelecer um índice de linha de centro do portador de lâmina 450. Os atuadores de viga de detenção 304 (figura 22) podem continuar a abaixar a viga de detenção 302 até que a realimentação de posição de cada um dos atuadores de pé de detenção 312 indique que os pés de detenção 310 contactaram o ponto de dados central 234 (figura 34) da ferramenta de conformação 220 (figura 34), deste modo capturando o portador de lâmina 450 contra a ferramenta de conformação 220. Os atuadores de pé de detenção 312 (figura 34) podem ser continuamente pressurizados e podem inicialmente estar plenamente estendidos. Um sensor de posição em cada um dos atuadores de pé de detenção 312 pode sensorear contato do pé de detenção 310 com a ferramenta de conformação 220. Por indicação de sujeição completa do portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220, o vácuo do pé de detenção 310 pode ser desativado.

[0064] À medida que a linha de centro do portador de lâmina 450 (figura 34) é empurrada para baixo pelos pés de detenção 310 (figura 34) em

contato com o índice de centro da ferramenta de conformação 220 (figura 34), os braços de tração do sistema de gerenciamento de tração 400 (figura 34) podem ser rotados para relaxar a tração induzida por deslocamento para baixo dos pés de detenção 310. A este respeito, os atuadores de posição vertical e de rotação acima descritos 406, 410 (figura 20) e os cilindros de contrabalanceamento vertical e em rotação 408, 412 (figura 20) do sistema de gerenciamento de tração 400 podem cooperar para permitir que os atuadores 406, 410 sensores e mantenham a tração lateral 462 (figura 34) sobre cada lado do portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada para impedir que o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 (figura 20) se empenem e contactem a ferramenta de conformação 220, embora ainda provejam folga o bastante para permitir que os pés de detenção 310 sujeitem o portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 220.

[0065] Quando o atuador final de pé de detenção 312 no grupo contacta a ferramenta de conformação 220 (ou contacta uma camada de material previamente aplicada 458), o sensor de posição no atuador final de pé de detenção 312 pode transmitir um sinal aos atuadores de viga de detenção 304 (figura 22) para parar a translação vertical da viga de detenção 302. Com o portador de lâmina 450 detido sobre a ferramenta de conformação 220, cada lado do portador de lâmina 450 pode ser orientado em um ângulo C do portador de lâmina que impede que cada lado do portador de lâmina 450 entre em contato com a ferramenta de conformação 220 em qualquer local exceto onde sujeitado ao índice de centro. No arranjo mostrado na figura 34, cada lado do portador de lâmina 450 pode ser orientado em um ângulo C do portador de lâmina de aproximadamente 20-25° em relação à horizontal. A figura 35 mostra o pé de detenção 310 capturando o portador de lâmina 450 contra a ferramenta de conformação 220.

[0066] A etapa 608 do método 600 pode incluir conformar o portador de lâmina 450 (figura 35) e a camada de material afixada 458 (figura 35) ao

contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 35). A etapa de conformação pode incluir varrer lateralmente grupo esquerdo e direito de peças de nariz 552 (figura 34) através da ferramenta de conformação 220 (figura 35) em uma direção geralmente para dentro-para fora e compactar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 (por exemplo, o segmento 460) contra a ferramenta de conformação 220 durante a varredura das peças de nariz 552. A compactação do portador de lâmina 450 pode ser realizada por translação do grupo de peças de nariz 552 usando o grupo de módulos de conformação 520. Em alguns exemplos, os grupos esquerdo e direito de módulos de conformação 520 (figura 30) podem ser operados independentemente, mas simultaneamente durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220. Durante o processo de conformação, a armação de corda 280 (figura 33) e a viga de detenção 302 (figura 35) podem ser mantidas na mesma posição do que na etapa anterior. Ambas as vigas de conformação 502 (figura 30) podem ser abaixadas (por exemplo, aproximadamente 5,08 cm) em relação à armação de corda 280 usando os atuadores de conformação Z' 504 (figura 11). As vigas de conformação 502 podem ser movidas lateralmente usando os atuadores de conformação Y 514 (figura 27) para posicionar o grupo de peças de nariz 552 acima da borda interior do contorno de flange 238 sobre cada lado do ponto de dados central 234. As hastes de cilindro laterais 542 (figura 29) de cada cilindro de força lateral 540 podem permanecer plenamente estendidas de modo que cada peça de nariz 552 (por exemplo, a braçadeira deslizante 546 da peça de nariz) está em seu limite interior. As hastes de cilindro verticais 534 podem ser estendidas para fora dos cilindros de força vertical 532 até que as peças de nariz 552 contactem o portador de lâmina 450 e compactem a camada de material 458 (figura 35) contra a ferramenta de conformação 220 sobre cada lado do ponto de dados central 234.

[0067] A figura 36 mostra o começo do processo de conformação de

flange em que as peças de nariz 552 sobre os lados esquerdo e direito do ponto de dados central 234 varrem em direções lateralmente opostas e conformando o portador de lâmina 450 contra os contornos de flange 238 sobre lados opostos da ferramenta de conformação de lâmina 222 (figura 11). A armação de corda 280 (figura 33) e os pés de detenção 310 podem ser mantidos na mesma posição do que na etapa anterior. Cada uma das vigas de conformação 502 pode também ser mantida na mesma posição Z' do que na etapa anterior. Os atuadores de conformação Y 514 podem aplicar translação a cada uma das vigas de conformação 502 (figura 30) lateralmente exteriores, puxando as peças de nariz 552 lateralmente através do portador de lâmina 450 sobre cada lado do ponto de dados central 234. Os cilindros de força vertical 532 (por exemplo, pneumáticos) dos módulos de conformação 520 podem seguir passivamente o contorno de flange 238 da ferramenta de conformação 220 até que cada uma das peças de nariz 552 alcance o ponto de transição de raio 242 (figura 38) na interseção do contorno de flange 238 e do contorno da alma 240 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220.

[0068] A etapa 610 do método 600 pode incluir sensorear e manter a pressão de compactação da peça de nariz 552 (figura 36) sobre o portador de lâmina 450 (figura 36) dentro de uma faixa predeterminada durante a conformação do portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 36). Como indicado acima, a realimentação de posição do cilindro de força vertical 532 (figura 30) e do cilindro de força lateral 540 (figura 28) de cada um dos módulos de conformação 520 pode sensorear pressão de compactação aplicada pela peça de nariz 552 sobre o portador de lâmina 450 durante o processo de conformação. A realimentação de posição pode permitir que o cilindro de força vertical 532 e o cilindro de força lateral 540 mantenham a pressão de compactação da peça de nariz 552 dentro de uma faixa predeterminada.

[0069] A figura 37 é uma vista de extremidade do aparelho de

conformação de longarina 200 (figura 18) na extremidade do processo de conformação de flange em que as peças de nariz 552 sobre os lados esquerdo e direito da ferramenta de conformação 220 alcançaram o respectivo raio 242 sobre lados opostos da ferramenta de conformação 220. A este respeito, a posição Z'' e a posição Y de cada módulo de conformação 520 (figura 30) podem ser monitoradas durante o processo de conformação de flange. O raio 242 pode ser sensoreado quando a variação na posição Z'' (por exemplo, o delta Z''') e a variação na posição Y (por exemplo, o delta Y) são iguais entre si. Uma vez que o ponto de transição de raio 242 é alcançado pela última peça de nariz 552 no grupo sobre um dado lado da ferramenta de conformação 220, esse movimento dos grupos Y pode ser interrompido. The movimento Z'' pode também ser interrompido ativando a trava de gaste de cilindro 536 (figura 28) do cilindro de força vertical 532. Durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação 220, a largura lateral do portador de lâmina 450 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220 pode ser consumida à medida que a camada de material 458 é aderida à ferramenta de conformação 220 ou aderida a uma camada de material previamente-aplicada 458. Como mostrado na figura 37, cada lado do portador de lâmina 450 pode ser orientado em um ângulo C para cima do portador de lâmina em relação à horizontal. A este respeito, a direção da tração lateral 462 em cada lado do portador de lâmina 450 pode ser lateral ou ligeiramente para cima. Durante o processo de conformação o portador de lâmina 450 ao contorno de flange 238 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220, os braços de tração 414 podem rotar para baixo em torno do ponto pivô 420 para relaxar a tração no portador de lâmina 450.

[0070] A figura 38 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11) no começo do deslocamento para baixo do portador de lâmina 450 e no começo do processo de conformação de alma. Na figura 38, a armação de corda 280 (figura 33), o grupo de pés de

detenção 310, os módulos de conformação 520 (figura 28) e as vigas de conformação 502 (figura 30) mantêm a mesma posição do que na etapa anterior. Após todas as peças de nariz 552 terem alcançado o ponto de transição de raio 242, os braços de tração 414 podem ser rotados para baixo até um determinado ângulo C do portador de lâmina em relação a horizontal. No exemplo mostrado, o portador de lâmina 450 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220 pode ser orientado em um ângulo C para baixo do portador de lâmina em relação a horizontal. Os braços de tração 414 podem sofrer translação vertical para baixo sobre seus eixos geométricos Z' individuais até que a tração lateral 462 em cada lado de um portador de lâmina 450 alcança um valor mínimo determinado. Com o ângulo C do portador de lâmina orientado para baixo, o vetor de tração lateral 462 pode também ser orientado geralmente para baixo.

[0071] A etapa 612 do método 600 pode incluir sensorear e manter a tração lateral 462 (figura 38) no portador de lâmina 450 (figura 38) dentro de uma faixa determinada durante o processo de conformação do portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 38). Como indicado acima, o sistema de gerenciamento de tração 400 (figura 38) é configurado para controlar a tração lateral 462 no portador de lâmina 450 quando se conforma o portador de lâmina 450 aos contornos de flange 238 (figura 38) e contornos de alma 240 de uma maneira tal que a camada de material 458 é retesada o bastante para impedir que a camada de material 458 (figura 38) toque a ferramenta de conformação 220 (figura 38) exceto no local onde as peças de nariz 552 estão conformando a camada de material 458 à ferramenta de conformação 220 e a camada de material 458 é frouxa o bastante para permitir que as peças de nariz 552 apliquem a quantidade desejada de pressão de compactação para aderir a camada de material 458 à a ferramenta de conformação 220 ou à camada de material previamente aplicada 458. No aparelho de conformação de longarina 200 presentemente

descrito, a etapa de sensorar e manter tração lateral 462 no portador de lâmina 450 pode incluir suportar os lados laterais 454 (figura 38) do portador de lâmina 450 usando o par de braços de tração 414 (figura 38). O método pode incluir adicionalmente ajustar a posição vertical e/ou posição angular de cada um dos braços de tração 414 em relação à ferramenta de conformação 220 usando um ou mais atuadores tais como o atuador de posição vertical 406 e o atuador de posição de rotação 410 acima descritos (figura 18).

[0072] O método pode adicionalmente incluir contrabalançar a massa de cada um dos braços de tração 414 (figura 38) durante movimento vertical e/ou angular dos braços de tração 414 usando um ou mais cilindros de contrabalanceamento 408, 412 (figura 18). Por exemplo, um cilindro de contrabalanceamento vertical 408 pode balancear a massa do braço de tração 414 para o atuador de posição vertical 406 (figura 18). Um cilindro de contrabalanceamento em rotação 412 pode balancear a massa do braço de tração 414 para o atuador de posição de rotação 410 (figura 18). O método pode adicionalmente incluir sensorar, usando os atuadores, a força sobre os braços de tração 414 ausente a força devida à massa (por exemplo, inércia) dos braços de tração 414 e ajustar, usando os atuadores, a posição vertical e/ou angular dos braços de tração 414 de uma maneira a manter a tração lateral 462 (figura 38) no portador de lâmina 450 (figura 38) dentro de uma faixa predeterminada. O processo acima descrito de sensorar e manter tração lateral 462 no portador de lâmina 450 pode ser realizado continuamente ou em um ou mais pontos durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236 (figura 38). O processo de sensorar e manter tração lateral 462 no portador de lâmina 450 pode também ser realizado quando se destaca o portador de lâmina 450 para fora da ferramenta de conformação 220 (figura 38). A tração no portador de lâmina 450 pode ser gerenciada durante a conformação de modo a não formar pregas ou rugas na camada de material 458 (figura 38). A posição dos braços de

tração 414 pode ser controlada para controlar o ângulo C do portador de lâmina sobre cada lado do portador de lâmina 450. A este respeito, a posição do braço de tração 414 e o resultante ângulo C do portador de lâmina podem ser controlados de uma maneira que impede separação prematura de uma ou mais porções da camada de material 458 do portador de lâmina 450.

[0073] A figura 39 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11) mostrando o processo de conformar o portador de lâmina 450 (figura 38) e a camada de material 458 aos contornos de alma 240 sobre lados opostos da ferramenta de conformação 220. A armação de corda 280 (figura 33), o grupo de pés de detenção 310 e os módulos de conformação 520 (figura 28) podem manter a mesma posição do que na etapa anterior. Os braços de tração 414 podem ser posicionados para manter um ângulo constante do braço de tração 414 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220. A capacidade de movimento Y e movimento Z” de cada um dos módulos de conformação 520 pode ser imobilizada de modo que os eixos geométricos Z’ e Y’ são ativos com respeito ao movimento das vigas de conformação 502 e módulos de conformação 520 quando as peças de nariz 552 são varridas ao longo dos contornos de alma 240 da ferramenta de conformação 220. O sistema de gerenciamento de tração 400 pode também ser ativos ao longo do eixo geométrico Z’ quando as peças de nariz 552 são varridas ao longo dos contornos de alma 240.

[0074] As vigas de conformação 502 (figura 30) podem ser atuadas (por exemplo, via os atuadores de conformação Z’ 504) para mover o respectivo grupo de módulos de conformação 520 ao longo da direção Z’ pelo menos ao longo do comprimento do contorno da alma 240 sobre o respectivo lado da ferramenta de conformação 220. Com o grupo de peças de nariz 552 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220 compactado contra o contorno da alma 240, os atuadores de conformação Y 514 (figura 27) de cada viga de conformação 502 podem ser travados e quaisquer variações no

contorno da alma 240 na direção lateral podem ser seguidas pelo cilindro de força lateral 540 (por exemplo, cilindro pneumático) de cada módulo de conformação 520. À medida que a largura lateral de cada lado do portador de lâmina 450 é consumida à medida que as peças de nariz 552 (figura 29) se movem para baixo ao longo dos contornos de alma 240, a tração lateral 462 em cada lado do portador de lâmina 450 pode ser relaxada por pivotamento de cada braço de tração 414 para baixo. Como indicado acima, os módulos de conformação 520 podem sensorear continuamente pressão de compactação nas peças de nariz 552 enquanto o sistema de gerenciamento de tração 400 sensoreia continuamente pressão lateral em cada lado do portador de lâmina 450 durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 aos contornos de flange 238 e aos contornos de alma 240 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220. A faixa de pressão de compactação pode ser dependente do sistema de material, da orientação de fibra do segmento 460 (figura 6) sendo aplicada à ferramenta de conformação 220 (por exemplo, ângulo de fibra de 0°, 45°, 90°) e de outros fatores.

[0075] A etapa 614 do método 600 pode incluir destacar o portador de lâmina 450 (figura 38) para fora a partir da ferramenta de conformação 220 (figura 39) de uma maneira tal que a camada de material 458 (figura 39) permanece sobre a ferramenta de conformação 220. Uma vez que as peças de nariz 552 (figura 39) alcançam o fundo do contorno da alma 240 (figura 39), o curso máximo do atuador de conformação Z' 504 pode ter sido alcançado. Em preparação para o processo de destacar o portador de lâmina 450 para fora da ferramenta de conformação 220, o cilindro de força lateral 540 de cada módulo de conformação 520 pode ser retraído o que pode retirar o grupo de peças de nariz 552 de contato com o portador de lâmina 450. Alternativamente, as peças de nariz 552 podem permanecer em contato com o portador de lâmina 450 com pressão de compactação reduzida ou negligenciável e os atuadores de conformação Z' 504 (figura 26) podem

inverter o sentido e aplicar translação aos módulos de conformação 520 para cima forçando o portador de lâmina 450 a se destacar para fora do contorno da alma 240 e do contorno de flange 238 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220.

[0076] Durante o processo de destacamento, a armação de corda 280 (figura 33) pode manter a mesma posição do que na etapa anterior. As vigas de conformação 502 (figura 26) podem ser plenamente retraídas na direção Z'. A trava de haste de cilindro 536 (figura 28) de cada um dos cilindros de força verticais 532 (figura 28) pode ser desativada e cada uma das hastes de cilindro vertical 534 (figura 28) pode ser plenamente retraída em seu cilindro de força vertical 532. As vigas de conformação 502 podem retornar à sua posição interior máxima Y. Além disso, o grupo de pés de detenção 310 (figura 39) pode ser plenamente retraído ao longo dos eixos geométricos de seu atuador de pé de detenção 312 (figura 39).

[0077] A figura 40 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 mostrando o portador de lâmina 450 depois destacamento para fora a partir do contorno da alma 240 e o começo do destacamento para fora a partir do contorno de flange 238 sobre cada lado da ferramenta de conformação 220. A figura 41 mostra ainda translação para cima dos braços de tração 414 à medida que o portador de lâmina 450 é destacado para fora a partir dos contornos de flange 238 da ferramenta de conformação 220. Em alguns exemplos, os braços de tração 414 podem ser posicionados para manter um ângulo C constante do portador de lâmina em relação à horizontal por toda a etapa de destacamento. Em outros exemplos, o ângulo C do portador de lâmina pode variar à medida que o portador de lâmina 450 é destacada para fora da ferramenta de conformação 220. Os atuadores de posição vertical do braço de tração 406 (figura 6) podem ser ativados para translação vertical dos braços de tração 414 para cima para sua posição plenamente retraída Z' que pode fazer o portador de lâmina 450 se

destacar do resto dos contornos de almas 240.

[0078] A figura 42 mostra o aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11) depois que o portador de lâmina 450 (figura 41) é destacado para fora a partir da ferramenta de conformação 220 depois que o sistema de gerenciamento de tração 400, o sistema de detenção 300 e sistema de conformação 500 (figura 30) estão em suas respectivas posições iniciais. Após os braços de tração 414 terem sido retraídos em sua direção Z', a armação de corda 280 (figura 33) pode ser rotada de volta por um ângulo de passo B de 0° em relação à horizontal. Rotar a armação de corda 280 de volta a uma orientação horizontal pode iniciar o destacamento do portador de lâmina 450 para fora de um ponto baixo sobre o contorno de flange 238 (figura 41) da ferramenta de conformação 220. A armação de corda 280 pode ser elevada ao longo da direção Z para sua altura máxima o que pode completar o processo de destacar o portador de lâmina 450 a partir da ferramenta de conformação 220 (figura 34). Cada um dos braços de tração 414 pode retornar a um ângulo de rotação de 0° de modo que a viga de detenção 302, o sistema de gerenciamento de tração 400 e o sistema de conformação 500 podem estar na posição de troca de portador mostrada na figura 33 e descrita acima. O aparelho de conformação de longarina 200 pode ser movido ao longo dos trilhos para carrinho 204 para a próxima posição transversal 206 (figura 7) ao longo da ferramenta de conformação 220. O portador de lâmina vazio 450 pode ser removido a partir dos braços de tração e substituído por um portador de lâmina 450 suportando uma nova camada de material 458 (figura 41). O ciclo acima descrito de deter, conformar e destacar o portador de lâmina 450 pode ser repetido para aplicar a nova camada de material 458 na nova posição transversal 206 sobre a ferramenta de conformação 220.

[0079] A figuras 43-44 são vistas em corte transversal de modalidades alternativas de uma ferramenta de conformação 220 (figura 34) que pode ser

implementada para uso com o aparelho de conformação de longarina 200 (figura 11). Como distinguido da ferramenta de conformação de lâmina 222 das figuras 33-42 que é usada para deposição de tanto uma primeira metade de longarina 110 (por exemplo, a esquerda) e uma segunda metade de longarina 112 (por exemplo, a direita) de uma longarina completa 106 (figuras 3-5), cada uma das ferramentas de conformação de lâmina 222 nas figuras 43-33 é simétrica e pode ser usada para deposição de um par de primeiras metades de longarina 110 e um par de segundas metades de longarina 112. Por exemplo, a ferramenta de conformação de lâmina 222 da figura 43 pode ser usada para deposição de um par de primeiras metades de longarina 110. A ferramenta de conformação de lâmina 222 da figura 44 pode ser usada para deposição de um par de segundas metades de longarina 112.

[0080] A figuras 45-46 são vistas em corte transversal de cargas da longarina em lâmina 122 das quais cada uma foi reunida a partir de uma primeira metade de longarina 110 e uma segunda metade de longarina 112. A figura 45 mostra uma longarina em lâmina 122 reunida a partir de uma primeira metade de longarina 110 depositada sobre a ferramenta de conformação 220 da figura 43 e uma segunda metade de longarina 112 depositada sobre a ferramenta de conformação 220 da figura 44. A figura 46 também mostra uma longarina em lâmina 122 reunida a partir de uma primeira metade de longarina 110 depositada sobre a ferramenta de conformação 220 da figura 43 e uma segunda metade de longarina 112 depositada sobre a ferramenta de conformação 220 da figura 44. Cada uma das ferramentas de conformação 220 nas figuras 43-33 pode incluir curvatura transversal 228 (figura 10) correspondendo à curvatura nas películas de asa das asas esquerda e direita 104 (figura 1) de uma aeronave 100 (figura 1). A este respeito, as longarinas em lâmina 106 das figuras 45 e 46 podem corresponder respectivamente às asas esquerda e direita 104 ou vice-versa.

[0081] A figura 47 é uma vista em corte transversal de uma

ferramenta de conformação em chapéu 224. A figura 48 é uma vista em corte transversal de uma longarina em chapéu 124 que pode ser depositada usando a ferramenta de conformação em chapéu 224 e o aparelho de conformação de longarina 200 (figura 8) descritos aqui. Como indicado acima, a longarina em chapéu 124 pode ter uma seção transversal em formato de chapéu incluindo uma tampa 126 e um par de almas 120 estendendo-se para um correspondente par de flanges 116. O processo de depositar a longarina em chapéu 124 pode ser realizado de uma maneira similar àquela descrita acima para depositar uma longarina em lâmina 122 (figura 45).

[0082] A figura 49 é uma vista em perspectiva de um outro exemplo de um aparelho de conformação de longarina 200 descrito no contexto de conformar uma longarina em chapéu 124 sobre um segmento transversal de uma ferramenta de conformação em chapéu 224. O aparelho de conformação de longarina 200 na figura 49 pode ser operado de uma maneira similar ao aparelho de conformação de longarina 200 da figura 8 descrito acima. O aparelho de conformação de longarina 200 da figura 49 pode ser configurado como um carrinho de conformação 260 (figura 7) que pode sofrer translação ao longo de trilhos para carrinho 204 da ferramenta de conformação em chapéu 224 para guiar o aparelho de conformação de longarina 200 na deposição sequencial de lâminas compósitas para formar uma longarina em chapéu 124. Porém, o aparelho de conformação de longarina 200 pode também ser estacionário.

[0083] O aparelho de conformação de longarina 200 da figura 49 pode incluir uma armação de corda 280 para suportar um sistema de gerenciamento de tração 400, um sistema de detenção 300 e um sistema de conformação 500. A armação de corda 280 da figura 49 pode ser similar à armação de corda da figura 15 em que a armação de corda 280 da figura 49 pode incluir um par paralelo de vigas laterais 282 que podem ser interconectadas por um par oposto de vigas de extremidade 284. A armação

de corda 280 pode incluir uma ou mais vigas transversais 286 para suportar a viga de detenção 302. No exemplo mostrado, a armação de corda 280 inclui um par de vigas transversais 286 cada uma composta de porções anguladas formando uma configuração de armação em A para suportar a viga de detenção 302 no ápice em das vigas transversais 286 de armação em A. Porém, as vigas transversais 286 podem ser providas em qualquer configuração, incluindo uma configuração reta como mostrado na figura 15. Embora não mostrado na figura 49, a armação de corda 280 pode ser suportada por um par de armações de extremidade 264 sobre extremidades opostas do aparelho de conformação de longarina 200. Os atuadores Z 288 podem ser montados nas armações de extremidade 264 para mover independentemente a armação de corda 280 de uma maneira para ajustar a posição vertical e o ângulo de passo B da armação de corda 280 para conjugar a tangente local da curvatura transversal da ferramenta de conformação em chapéu 224 como descrito acima.

[0084] A figura 50 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200, tomada ao longo da linha 50 da figura 49 e ilustrando o aparelho de conformação de longarina 200 suspenso sobre uma ferramenta de conformação em chapéu 224. Como indicado acima, as pernas de armação 266 (por exemplo, ver a figura 11) das armações de extremidade 264 pode cavalgar a ferramenta de conformação em chapéu 224 e pode ser acoplada de modo móvel aos trilhos para carrinho 204. Como descrito em maior detalhe abaixo, o aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir um sistema de gerenciamento de tração 400 para suportar o portador de lâmina 450 durante aplicação de uma camada de material 458 à ferramenta de conformação em chapéu 224. Uma camada de material (não mostrada) tal como uma lâmina compósita pode ser montada na superfície inferior 452 do portador de lâmina 450. A viga de detenção 302 é mostrada suportada pelas vigas transversais de armação em A 286 que são suportadas pelas vigas

laterais 282 da armação de corda 280.

[0085] A viga de detenção 302 é parte do sistema de detenção 300 e é descrita acima com respeito às figuras 21-23. O sistema de detenção 300 pode incluir um grupo de atuadores de pé de detenção 312 que podem ser operativamente acoplados à viga de detenção 302 e atuados de uma maneira coordenada para sujeitar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 à ferramenta de conformação em chapéu 224 durante o processo de conformar a camada de material 458 à ferramenta de conformação em chapéu 224. A viga de detenção 302 pode se estender entre as vigas de extremidade opostas 284 da armação de corda 280. Em contraste com o sistema de detenção 300 da figura 21 em que a viga de detenção 302 é verticalmente móvel em relação à armação de corda 280, a viga de detenção 302 mostrada nas figuras 49-50 pode ser acoplada rigidamente ou de modo não móvel à armação de corda 280 por meios das vigas transversais de armação em A 286. O posicionamento vertical da viga de detenção 302 pode ser efetuado movendo a armação de corda 280 com um todo usando os atuadores Z 288 para posicionar a viga de detenção 302 em relação à ferramenta de conformação em chapéu 224.

[0086] Na figura 50, o aparelho de conformação de longarina 200 pode incluir grupos esquerdo e direito de peças de nariz 552 sobre lados opostos do grupo centralmente-localizado de pés de detenção 310. As peças de nariz 552 são parte do grupo de módulos de conformação 520. Os módulos de conformação 520 podem ser montados em um par vigas de conformação 502 sobre respectivos lados opostos da viga de detenção 302. Cada grupo de módulos de conformação 520 pode ser uniformemente distribuído ao longo do comprimento de cada uma das vigas de conformação 502 e pode ser configurado para aplicar pressão de compactação ao portador de lâmina 450 contra contorno em chapéu da ferramenta de conformação 236 durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 ao contorno da ferramenta de conformação 236. Em cada lado da viga de

detenção 302, cada viga de conformação 502 pode ser independentemente móvel ao longo da porção angulada das vigas transversais de armação em A 286. Cada porção angulada das vigas transversais de armação em A 286 pode incluir um trilho de viga transversal 518 a que uma viga de conformação 502 pode ser de modo deslizável acoplada via uma braçadeira de atuador. Os atuadores de viga transversal 519 para cada viga de conformação 502 podem ser operados de uma maneira sincronizada para controlar o movimento da viga de conformação 502 ao longo da porção angulada das vigas transversais de armação em A 286 sobre cada lado da viga de detenção 302.

[0087] Cada um dos módulos de conformação 520 pode incluir um atuador de módulo de conformação 530. Um grupo dos atuadores de módulo de conformação 530 sobre cada lado da viga de detenção 302 pode ser operado para controlar a posição das peças de nariz 552 ao longo de uma direção perpendicular (por exemplo, 90 graus) à orientação da porção angulada das vigas transversais de armação em A 286. Porém, os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser configurados para controlar a posição das peças de nariz 552 ao longo de uma direção que não 90 graus com a orientação da porção angulada das vigas transversais de armação em A 286. Como descrito em maior detalhe abaixo, os atuadores de viga transversal 519 e os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser operados de uma maneira coordenada para varrer lateralmente as peças de nariz 552 ao longo dos contornos da ferramenta de conformação em chapéu 224 durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 ao contorno da ferramenta de conformação 236. Em algumas modalidades, os módulos de conformação 520 podem incluir atuadores tendo a capacidade para sensorar e controlar a magnitude de pressão de compactação aplicada pelas peças de nariz 552 sobre o portador de lâmina 450 via realimentação dinâmica durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 ao contorno da ferramenta de conformação 236. Porém, em outras modalidades,

os atuadores de viga transversal 519 e os atuadores de módulo de conformação 530 pode carecer da capacidade de sensores de pressão de compactação e o movimento das peças de nariz 552 podem ser pré-programados para seguir passivamente o contorno da ferramenta de conformação 236, com as peças de nariz 552 aplicando pressão de compactação sobre o portador de lâmina 450 contra a ferramenta de conformação 224 devido à solicitação ou carregamento por mola das peças de nariz 552 contra a ferramenta de conformação 224. Em ainda outras modalidades, os atuadores de viga transversal 519 e os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser configurados para variar a velocidade das peças de nariz 552 durante a varredura lateral das peças de nariz 552 para otimizar a conformação do portador de lâmina 450 e da camada de material 458 à geometria da ferramenta de conformação 220. A velocidade das peças de nariz 552 pode ser variada quando as peças de nariz 552 são operadas no modo ativo (por exemplo, os atuadores 519 e/ou 530 sensores de pressão de compactação) e/ou quando as peças de nariz 552 são operados no modo passivo (por exemplo, os atuadores 519 e/ou 530 carecem da capacidade de sensores de pressão de compactação).

[0088] A figura 51 é uma vista em perspectiva de um exemplo de um sistema de gerenciamento de tração 400 do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 49. O sistema de gerenciamento de tração 400 pode incluir um par de braços de tração 414 configurado para suportar os lados laterais do portador de lâmina 450. Cada braço de tração 414 pode compreender uma viga de tração 416 e um par de braços pivôs 418 estendendo-se lateralmente a partir de extremidades opostas da viga de tração 416. Cada braço pivô 418 pode ser rotativamente suportado em um ponto pivô 420 sobre uma braçadeira de suporte de braço de tração 402 em cada extremidade da armação de corda 280. A braçadeira de suporte de braço de tração 402 pode ser acoplada rigidamente ou de modo não móvel à armação

de corda 280 e que está em contraste com o sistema de gerenciamento de tração 400 das figuras 18-20 em que os braços de tração 414 são verticalmente móveis em relação à armação de corda 280 por meio de atuadores de posição vertical 410 sobre cada uma de extremidades opostas de cada braço de tração 414.

[0089] A figura 52 é uma vista em corte transversal tomada ao longo da linha 52 da figura 51 e ilustrando o par de braços de tração 414 cada tendo um atuador de posição de rotação 410 e um cilindro de contrabalanceamento em rotação 412 em cada extremidade de cada braço de tração 414. Cada um dos braços de tração 414 pode incluir uma viga de tração 416 configurada para suportar um trilho esticador 456 estendendo-se ao longo de um lado lateral do portador de lâmina 450. Uma camada de material 458 tal como uma lâmina de material compósito pode ser de modo liberável aderida à superfície inferior 452 do portador de lâmina 450. Em qualquer um dos modalidades do aparelho de conformação de longarinas 200 descrito aqui, um trilho esticador 456 suportando um dos lados laterais 454 do portador de lâmina 450 pode ser fixamente afixado (por exemplo, alinhado com batente duro) a uma viga de tração 416 e a viga de tração restante 416 suportando o lado lateral oposto 454 do portador de lâmina 450 pode ser carregado por mola para permitir que os trilhos esticadores 456 compensem a folga no portador de lâmina 450 como pode ocorrer devido a variações na largura manufaturada do portador de lâmina 450 e/ou devido a desgaste (por exemplo, ligeiro estiramento lateral) do portador de lâmina 450 no tempo e/ou desgaste no aparelho de conformação de longarina 200. Prover capacidade localizada por mola para os trilhos esticadores 456 para compensar a folga no portador de lâmina 450 pode permitir que a relativa precisão local da camada de material 458 seja transferida para a deposição sobre a ferramenta de conformação 220. Com respeito ao movimento dos braços de tração 414, cada braço de tração 414 pode ser rotativo em torno de um ponto pivô 420 usando um ou mais

atuadores de posição de rotação 410. O ponto pivô 420 pode ser incluído na braçadeira de suporte de braço de tração 402. Em alguns exemplos, cada braçadeira de suporte de braço de tração 402 pode se estender para baixo em um ângulo a partir da viga de detenção 302.

[0090] O atuador de posição de rotação 410 nas extremidades opostas de cada braço de tração 414 pode controlar a posição do braço de tração 414 em relação à ferramenta de conformação em chapéu 224 durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 à ferramenta de conformação em chapéu 224. A posição dos braços de tração 414 em relação à ferramenta de conformação em chapéu 224 pode também ser assistida por translação vertical da armação de corda 280 como um todo usando os atuadores Z 288 (figura 8). De uma maneira descrita acima com respeito às figuras 33-42, os cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 de cada braço de tração 414 podem contrabalancear a massa do braço de tração 414 e deste modo permitir que os atuadores de posição de rotação 410 sensores e mantenham precisamente a tração lateral 462 no portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada durante o processo de conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 sobre a ferramenta de conformação 224 e durante o processo de destacar o portador de lâmina 450 para fora a partir da ferramenta de conformação 224.

[0091] A figuras 53-58 ilustram uma sequência de operações para o processo de conformar o portador de lâmina 450 e a camada de material 458 a uma ferramenta de conformação em chapéu 224 e destacar o portador de lâmina 450 para fora a partir da ferramenta de conformação em chapéu 224 depois de completar o processo de conformação. A sequência de operações envolve movimento coordenado dos componentes do sistema de detenção 300, do sistema de gerenciamento de tração 400 e do sistema de conformação 500. Embora a sequência operacional nas figuras 53-58 seja descrita contexto de conformar uma camada de material a uma ferramenta de conformação em

chapéu, a sequência operacional pode ser implementada para conformar uma camada de material a qualquer configuração de ferramenta de conformação, sem limitação.

[0092] A figura 53 mostra uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina acima descrito 200 para conformar uma longarina em chapéu 124 e mostrando a armação de corda 280, o sistema de gerenciamento de tração 400, o sistema de detenção 300 e as peças de nariz 552 em suas respectivas posições iniciais antes do começo do processo de conformar um portador de lâmina 450 sobre uma ferramenta de conformação em chapéu 224. Os atuadores de posição de rotação 410 podem ser atuados para orientar as vigas de conformação 502 de modo que o portador de lâmina 450 é geralmente plano e é orientada geralmente paralelo à mesa de ferramenta 246 da ferramenta de conformação em chapéu 224. Os atuadores Z 288 (figura 8) sobre cada extremidade da armação de corda 280 podem ser atuados para ajustar o ângulo de passo B da armação de corda 280 de modo que o portador de lâmina 450 é geralmente paralelo a uma tangente local (não mostrada) da ferramenta de conformação 224, como descrito acima. A armação de corda 280 pode ser abaixada até que o portador de lâmina 450 fica vários centímetros acima do contorno de tampa 244 da ferramenta de conformação em chapéu 224. Os atuadores de pé de detenção 312 podem ser retraídos e os pés de detenção 310 podem ser posicionados acima e em relação de não contato com o portador de lâmina geralmente plano 450. As vigas de conformação 502 sobre os lados opostos da viga de detenção 302 podem ser posicionados em seu limite interior. Além disso, o atuador de conformação de cada módulo de conformação 520 pode ser retraído de modo que as peças de nariz 552 são posicionadas imediatamente acima e em relação de não contato com o portador de lâmina 450.

[0093] A figura 54 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 53 mostrando a extração dos

atuadores de pé de detenção 312 e o abaixamento da armação de corda 280 fazendo os pés de detenção 310 deter o portador de lâmina 450 sobre o contorno da tampa 244 da ferramenta de conformação em chapéu 224. Como indicado acima, o sistema de detenção 300 pode incluir um ou mais sensores de posição nos atuadores de pé de detenção 312 para fornecer uma indicação de quando o atuador de pé de detenção final 312 contactou a ferramenta de conformação 224. A este respeito, o atuador de pé de detenção final 312 pode enviar um sinal aos atuadores Z 288 para parar de abaixar verticalmente a armação de corda 280. A sujeição do portador de lâmina 450 sobre a ferramenta de conformação 224 pode travar a posição lateral do portador de lâmina 450 e pode também compactar a camada de material 458 contra o contorno da tampa 244 da ferramenta de conformação em chapéu 224. Uma vez que o portador de lâmina 450 é sujeitado na ferramenta de conformação 224 pelos atuadores de pé de detenção 312, os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser estendidos fazendo as peças de nariz 552 contactar o portador de lâmina 450 contra a ferramenta de conformação 224 sobre lados opostos dos pés de detenção 310.

[0094] Durante a etapa de deter, os cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 do sistema de gerenciamento de tração 400 podem contrabalancear a massa dos braços de tração 414 e deste modo permitir que os atuadores de posição de rotação 410 sensores e mantenham a tração lateral 462 sobre cada lado do portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada. Além disso, os atuadores de posição de rotação 410 podem ser operados de uma maneira a controlar o ângulo C do portador de lâmina sobre cada lado do portador de lâmina 450 para impedir que portador de lâmina 450 entre em contato com a ferramenta de conformação 224. No exemplo mostrado, cada lado do portador de lâmina 450 pode ser orientado em um ângulo C de portador de lâmina relativamente raso (por exemplo, menos do que 15°) em relação à horizontal.

[0095] A figura 55 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 53 depois que as peças de nariz 552 conformaram o portador de lâmina 450 em torno do raio 242 sobre cada lado do contorno da tampa 244. Como indicado acima, os atuadores de módulo de conformação 530 e os atuadores de viga transversal 519 podem cooperar para mover o grupo de atuadores de módulo de conformação 530 sobre cada lado da viga de detenção 302 de uma maneira a fazer o grupo de peças de nariz 552 varrer lateralmente o portador de lâmina 450 contra o contorno da ferramenta de conformação 236. Como indicado acima, os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser pré-programados para seguir o contorno da ferramenta de conformação 224 de modo que as peças de nariz 552 aplicam passivamente pressão de compactação sobre o portador de lâmina 450 contra o contorno da ferramenta de conformação 236. Em uma outra modalidade, um ou mais dos atuadores de módulo de conformação 530 podem incluir a capacidade para sensores de pressão de compactação das peças de nariz 552 sobre o portador de lâmina 450. Por exemplo, um ou mais dos atuadores de módulo de conformação 530 podem incluir realimentação de posição para permitir que os atuadores de módulo de conformação 530 sensores a força sobre as peças de nariz 552 e ajustem os atuadores de módulo de conformação para manter a pressão de compactação das peças de nariz 552 dentro de uma faixa predeterminada. Em um exemplo, os atuadores de módulo de conformação 530 podem ser configurados similares aos cilindros de força verticais 532 descritos acima.

[0096] A figura 55 ilustra as peças de nariz 552 conformando o portador de lâmina 450 aos raios internos sobre cada lado da ferramenta de conformação em chapéu 224. Os pontos pivôs 420 dos braços de tração 414 podem ser mantidos na mesma posição vertical que na figura 54 e os atuadores de posição de rotação 410 podem rotar os braços de tração 414 para baixo para manter a tração lateral 462 dentro da faixa predeterminada. Além

disso, os atuadores de posição de rotação 410 podem controlar a posição dos braços de tração 414 para controlar o ângulo C do portador de lâmina de uma maneira a impedir que cada lado do portador de lâmina 450 entre em contato com o contorno da ferramenta de conformação 236.

[0097] A figura 56 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 53 depois que as peças de nariz 552 conformaram o portador de lâmina 450 aos contornos de flange 238 sobre lados opostos da ferramenta de conformação em chapéu 224. Os pontos pivôs 420 dos braços de tração 414 podem ser mantidos na mesma posição vertical que na figura 55 e os atuadores de posição de rotação 410 podem rotar os braços de tração 414 para baixo à medida que a largura lateral do portador de lâmina 450 sobre cada lado a ferramenta de conformação 224 é consumida quando a camada de material 458 é aderida à ferramenta de conformação 224 ou a uma camada de material previamente aplicada 458. Além disso, os braços de tração 414 podem ser pivotados em torno dos pontos pivôs 420 de modo que cada lado do portador de lâmina 450 é orientado para cima em um ângulo C do portador de lâmina em relação à horizontal de modo que a tração lateral 462 sobre cada lado do portador de lâmina 450 é ligeiramente para cima.

[0098] Vantajosamente, os cilindros de contrabalanceamento em rotação 412 podem balancear a massa dos braços de tração 414 para os atuadores de posição de rotação 410 de uma maneira que permite que os atuadores de posição de rotação 410 mantenham a tração lateral 462 acima de um mínimo predeterminado para evitar a formação de pregas ou rugas na camada de material 458 como pode ocorrer de outro modo se insuficiente tração lateral 462 fosse mantida no portador de lâmina 450. Além disso, os atuadores de posição de rotação 410 podem manter a tração lateral 462 abaixo de um máximo predeterminado para impedir separação prematura da camada de material 458 em relação ao portador de lâmina 450 como pode ocorrer de

outro modo se excessiva tração lateral 462 fosse aplicada ao portador de lâmina 450. Como indicado acima, a faixa de pressão lateral sobre o portador de lâmina pode ser dependente do sistema do material, da orientação de fibra da camada de compósito sendo aplicada à ferramenta de conformação e de outros fatores.

[0099] A figura 57 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 53 mostrando o destacamento do portador de lâmina 450 para fora a partir da ferramenta de conformação 224 de uma maneira tal que a camada de material 458 permanece sobre a ferramenta de conformação 224. Como pode ser visto, o grupo de peças de nariz 552 pode ser retraído a partir da ferramenta de conformação 224, tal como por retração dos atuadores de módulo de conformação 530. Além disso, a armação de corda 280 pode sofrer translação vertical para cima tal como por atuação dos atuadores Z 288 (figura 8) e fazendo os pés de detenção 310 se desprenderem do contorno da tampa 244 da ferramenta de conformação 224 e moverem verticalmente para cima. Simultaneamente quando a armação de corda 280 é movida para cima, os braços de tração 414 sobre cada lado da ferramenta de conformação 224 podem ser rotados para baixo fazendo o portador de lâmina 450 se destacar para fora a partir da ferramenta de conformação em chapéu 224 e deixando a camada de material 458 sobre a ferramenta de conformação 224. Como indicado acima, os atuadores de posição de rotação 410 podem posicionar os braços de tração 414 para manter a tração lateral 462 sobre cada lado do portador de lâmina 450 dentro de uma faixa predeterminada durante o processo de destacamento do portador de lâmina para evitar excessiva tração lateral 462 que pode de outro modo puxar a camada de material 458 para fora da ferramenta de conformação 224. Além disso, a posição dos braços de tração 414 pode ser controlada de uma maneira a manter cada lado do portador de lâmina 450 em um predeterminado ângulo C do portador de lâmina através de todo o processo de destacamento para

evitar puxar a camada de material 458 para fora da ferramenta de conformação 224 como pode ocorrer de outro modo se o portador de lâmina 450 estivesse orientado perpendicular ao local instantâneo onde o portador de lâmina 450 está sendo destacado.

[00100] A figura 58 é uma vista de extremidade do aparelho de conformação de longarina 200 da figura 53 mostrando o portador de lâmina 450 depois do destacamento para fora a partir da ferramenta de conformação em chapéu 224. Os braços de tração 414 podem ser rotados de volta à posição mostrado na figura 53. A armação de corda 280 pode ser elevada para deixar uma folga com a ferramenta de conformação 224. Além disso, a armação de corda 280 pode ser rotada de volta a um ângulo de passo B de  $0^\circ$  em relação a horizontal para colocar o portador de lâmina 450 em uma posição de troca de portador. O aparelho de conformação de longarina 200 pode ser movido para a próxima posição transversal ao longo da ferramenta de conformação 224 e o portador de lâmina vazio 450 pode ser removido dos braços de tração 414 e substituído por um novo portador de lâmina 450 suportando uma nova camada de material 458. O processo acima descrito pode ser repetido para aplicar a nova camada de material 458 na nova posição transversal sobre a ferramenta de conformação 224.

[00101] Os exemplos acima descritos do aparelho de conformação de longarinas 200 (figuras 8 e 49) e métodos proporcionam vantajosamente um meio para depositar automaticamente uma ou mais camadas de material ou lâminas compósitas sobre uma ferramenta de conformação 220 (figuras 34 e 53) de comprimento relativamente longo de uma maneira em termos de custo e com mínima intervenção humana. Além disso, o aparelho de conformação de longarinas 200 e métodos podem permitir conformar longarinas de qualquer configuração incluindo longarinas (figura 45) e longarinas em chapéu (figura 48) em altas taxas de produção e com um alto grau de precisão e consistência. O aparelho de conformação de longarinas 200 pode ser

adaptável para uma ampla variedade de geometrias de ferramenta de conformação e não são limitadas a ferramentas de conformação em lâmina (figura 34) e ferramentas de conformação em chapéu (figura 53). Além do mais, o aparelho de conformação de longarinas 200 pode acomodar variações em contorno ao longo da direção transversal 226 e/ou ao longo da direção lateral 230 de uma ferramenta de conformação 220.

[00102] Além disso, a invenção compreende modalidades de acordo com as seguintes cláusulas:

Cláusula 1. Um aparelho para formar uma camada de material sobre uma ferramenta de conformação, compreendendo:

pelo menos uma peça de nariz configurada para varrer lateralmente um portador de lâmina sobre um contorno da ferramenta de conformação.

um par de braços de tração configurados para suportar lados laterais opostos de um portador de lâmina tendo uma camada de material montada em uma superfície inferior do mesmo;

um ou mais atuadores configurados para posicionar os braços de tração durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação; e

o um ou mais atuadores sendo configurados para sensorear e controlar tração lateral no portador de lâmina durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

Cláusula 2. O aparelho da Cláusula 1, em que os atuadores dos braços de tração incluem:

um atuador de posição vertical de braço de tração operativo para translação de pelo menos um dos braços de tração e sensorear tração lateral no portador de lâmina.

Cláusula 3. O aparelho da Cláusula 2, incluindo ainda:

um cilindro de contrabalanceamento vertical operativo para

contrabalançar uma massa do braço de tração durante translação de uma maneira tal a permitir que o atuador de posição vertical de braço de tração sensoreie e mantenha tração lateral no portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada.

Cláusula 4. O aparelho da Cláusula 1, em que os atuadores dos braços de tração incluem:

um atuador de posição de rotação operativo para ajustar uma posição angular dos braços de tração e sensorear tração lateral no portador de lâmina.

Cláusula 5. O aparelho da Cláusula 4, incluindo ainda pelo menos um de:

um cilindro de contrabalanceamento em rotação operativo para contrabalançar uma massa do braço de tração durante pivotamento de uma maneira tal a permitir que o atuador de posição de rotação sensoreie e mantenha tração lateral no portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada.

Cláusula 6. O aparelho da Cláusula 1, incluindo ainda:

uma armação de corda tendo extremidades opostas e suportando os braços de tração; e

um ou mais atuadores Z em cada extremidade da armação de corda operativos para ajustar um ângulo de passo da armação de corda em relação à ferramenta de conformação.

Cláusula 7. O aparelho da Cláusula 1, incluindo ainda:

pelo menos um atuador de pé de detenção operativo para sujeitar o portador de lâmina na ferramenta de conformação.

Cláusula 8. O aparelho da Cláusula 7, incluindo ainda:

uma viga de detenção acoplada a uma armação de corda e suportando o atuador de pé de detenção; e

pelo menos um atuador de viga de detenção configurado para

posicionar verticalmente a viga de detenção em relação à armação de corda.

Cláusula 9. O aparelho da Cláusula 1, incluindo ainda:

pelo menos uma peça de nariz configurada para varrer ao longo da ferramenta de conformação e conformar o portador de lâmina e a camada de material ao contorno da ferramenta de conformação.

Cláusula 10. O aparelho da Cláusula 9, incluindo ainda:

um ou mais atuadores de módulo de conformação configurados para sensorear e controlar pressão de compactação aplicada pela peça de nariz sobre o portador de lâmina.

Cláusula 11. O aparelho da Cláusula 9, incluindo ainda:

um par de vigas de conformação acopladas a uma armação de corda e suportando um grupo de módulos de conformação cada um tendo uma peça de nariz; e

um par de atuadores de conformação Z' e um par de atuadores de conformação Y em cada uma das extremidades opostas de cada uma das vigas de conformação e configurados para translação das vigas de conformação em relação à armação de corda.

Cláusula 12. O aparelho da Cláusula 1, em que:

o portador de lâmina tem um grau de elasticidade mais alto ao longo de uma direção longitudinal da ferramenta de conformação do que ao longo de uma direção lateral.

Cláusula 13. Um aparelho de conformação de longarina para depositar um segmento de material compósito sobre uma ferramenta de conformação, compreendendo:

um sistema de gerenciamento de tração, incluindo:

um par de braços de tração configurados para suportar lados laterais opostos de um portador de lâmina tendo um segmento montado no mesmo;

um ou mais atuadores configurados para sensorear e controlar

tração lateral no portador de lâmina durante a conformação a um contorno da ferramenta de conformação;

um sistema de detenção, incluindo:

um grupo de atuadores de pé de detenção configurados para sujeitar o portador de lâmina sobre a ferramenta de conformação; e

um sistema de conformação, incluindo:

um grupo de módulos de conformação cada um incluindo uma peça de nariz configurada para conformar o portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação e sensorear e controlar pressão de compactação aplicada pela peça de nariz sobre o portador de lâmina.

Cláusula 14. Um método para depositar uma camada de material, compreendendo as etapas de:

posicionar um portador de lâmina sobre uma ferramenta de conformação, o portador de lâmina tendo uma camada de material montada em uma superfície inferior do portador de lâmina;

conformar o portador de lâmina a um contorno da ferramenta de conformação; e

manter tração lateral no portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada durante a conformação do portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

Cláusula 15. O método da Cláusula 14, em que a etapa de manter tração lateral no portador de lâmina compreende:

suportar o portador de lâmina sobre lados laterais opostos usando um par de braços de tração atuados por um ou mais atuadores;

contrabalançar uma massa dos braços de tração;

sensorear, usando o um ou mais atuadores, a tração lateral no portador de lâmina com base em força restante sobre os braços de tração depois de contrabalançar a massa; e

ajustar, usando o um ou mais atuadores, a posição dos braços

de tração de uma maneira tal a manter a tração lateral com a faixa predeterminada.

Cláusula 16. O método da Cláusula 14, incluindo ainda a etapa de:

destacar o portador de lâmina para fora a partir da ferramenta de conformação.

Cláusula 17. O método da Cláusula 16, em que a etapa de destacar o portador de lâmina inclui:

sensorear e manter tração lateral no portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada durante o destacamento do portador de lâmina.

Cláusula 18. O método da Cláusula 14, em que a etapa de conformar o portador de lâmina inclui:

varrer lateralmente uma peça de nariz através da ferramenta de conformação.

Cláusula 19. O método da Cláusula 18, em que a etapa de varrer lateralmente a peça de nariz inclui:

compactar o portador de lâmina e a camada de material contra a ferramenta de conformação durante a varredura da peça de nariz.

Cláusula 20. O método da Cláusula 19, em que a etapa de compactar o portador de lâmina e a camada de material inclui:

sensorear e manter, usando pelo menos um de um módulo de conformação atuador e um cilindro, pressão de compactação da peça de nariz sobre o portador de lâmina dentro de uma faixa predeterminada.

Cláusula 21. O método da Cláusula 14, incluindo ainda:

deter o portador de lâmina sobre a ferramenta de conformação antes de conformar o portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

Cláusula 22. O método da Cláusula 14, em que a etapa de posicionar o portador de lâmina inclui:

ajustar um ângulo de passo do portador de lâmina para ser complementar a um ângulo de corda local da ferramenta de conformação antes de conformar o portador de lâmina ao contorno da ferramenta de conformação.

[00103] Modificações e melhorias adicionais da presente invenção podem ser evidentes a aqueles de especialização normal na técnica. Assim, a combinação particular de partes descrita e ilustrada aqui é destinada a representar apenas certas modalidades da presente invenção e não se destina a servir como limitações de modalidades ou dispositivos alternativos dentro do espírito e escopo da invenção.

## REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho (200) para formar uma camada de material (458) sobre uma ferramenta de conformação (220), caracterizado pelo fato de que compreende:

pelo menos uma peça de nariz (552) configurada para varrer lateralmente um portador de lâmina (450) sobre um contorno da ferramenta de conformação (236);

um par de braços de tração (414) configurados para suportar lados laterais opostos (454) de um portador de lâmina (450) tendo uma camada de material (458) montada em uma superfície inferior (452) do mesmo;

um ou mais atuadores (406, 410) configurados para posicionar os braços de tração (414) durante conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236); e

o um ou mais atuadores (406, 410) sendo configurados para sensorear e controlar tração lateral (462) no portador de lâmina (450) durante conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).

2. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os atuadores (406, 410) dos braços de tração (414) incluem:

um atuador de posição vertical (406) de braço de tração (414) operativo para translação de pelo menos um dos braços de tração (414) e sensoreação de tração lateral (462) no portador de lâmina (450); e um cilindro de contrabalanceamento vertical (408) operativo para contrabalançar uma massa do braço de tração (414) durante translação de uma maneira tal a permitir que o atuador de posição vertical (406) do braço de tração (414) sensoreie e mantenha tração lateral (462) no portador de lâmina (450) dentro de uma faixa predeterminada.

3. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os atuadores (406, 410) dos braços de tração (414) incluem:

um atuador de posição de rotação (410) operativo para ajustar uma posição angular dos braços de tração (414) e sensorear tração lateral (462) no portador de lâmina (450); e

um cilindro de contrabalanceamento em rotação (412) operativo para contrabalancear uma massa do braço de tração (414) durante pivotamento de uma maneira tal a permitir que o atuador de posição de rotação (410) sensoreie e mantenha tração lateral (462) no portador de lâmina (450) dentro de uma faixa predeterminada.

4. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente:

uma armação de corda (280) tendo extremidades opostas e suportando os braços de tração (414); e

um ou mais atuadores Z (288) em cada extremidade da armação de corda (280) operativo para ajustar um ângulo de passo da armação de corda (280) em relação à ferramenta de conformação (220).

5. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente:

pelo menos um atuador de pé de detenção (312) operativo para sujeitar o portador de lâmina (450) à ferramenta de conformação (220);

uma viga de detenção (302) acoplada a uma armação de corda (280) e suportando o atuador de pé de detenção (312); e

pelo menos um atuador (304) de viga de detenção configurado para posicionar verticalmente a viga de detenção (302) em relação à armação de corda (280).

6. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente:

pelo menos uma peça de nariz (552) configurada para varrer ao longo da ferramenta de conformação (220) e conformar o portador de lâmina (450) e a camada de material (458) ao contorno da ferramenta de conformação (236); e

um ou mais atuadores de módulo de conformação (530) configurados para sensorear e controlar a pressão de compactação aplicada pela peça de nariz (552) sobre o portador de lâmina (450).

7. Aparelho (200) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente:

um par de vigas de conformação (502) acopladas a uma armação de corda (280) e suportando um grupo de módulos de conformação (520) cada um tendo uma peça de nariz (552); e

um par de atuadores de conformação Z' (504) e um par de atuadores de conformação Y (514) em cada uma de extremidades opostas de cada uma das vigas de conformação (502) e configurados para translação das vigas de conformação (502) em relação à armação de corda (280)

8. Método para depositar uma camada de material (458), caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

posicionar um portador de lâmina (450) sobre uma ferramenta de conformação (220), o portador de lâmina (450) tendo uma camada de material (458) montada em uma superfície inferior (452) do portador de lâmina (450);

conformar o portador de lâmina (450) a um contorno da ferramenta de conformação (236); e

manter tração lateral (462) no portador de lâmina (450) dentro de uma faixa predeterminada durante a conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a etapa de manter tração lateral (462) no portador de lâmina (450)

compreende:

suportar o portador de lâmina (450) sobre lados laterais opostos (454) usando um par de braços de tração (414) atuados por um ou mais atuadores (406, 410);

contrabalançar uma massa dos braços de tração (414);

sensoriar, usando o um ou mais atuadores (406, 410), a tração lateral (462) no portador de lâmina (450) com base em força restante sobre os braços de tração (414) depois de contrabalançar a massa; e

ajustar, usando o um ou mais atuadores (406, 410), a posição dos braços de tração (414) de maneira tal a manter a tração lateral (462) com a faixa predeterminada.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente a etapa de:

destacar o portador de lâmina (450) para fora da ferramenta de conformação (220) sensorizando e mantendo tração lateral (462) no portador de lâmina (450) dentro de uma faixa predeterminada durante o destacamento do portador de lâmina (450).

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que etapa de conformar o portador de lâmina (450) inclui:

varrer lateralmente uma peça de nariz (552) através da ferramenta de conformação (220) para compactar o portador de lâmina (450) e a camada de material (458) contra a ferramenta de conformação (220).

12. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que inclui adicionalmente:

deter o portador de lâmina (450) sobre a ferramenta de conformação (220) antes da conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).

13. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a etapa de posicionar o portador de lâmina (450) inclui:

ajustar um ângulo de passo do portador de lâmina (450) para ser complementar a um ângulo de corda local da ferramenta de conformação (220) antes da conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).

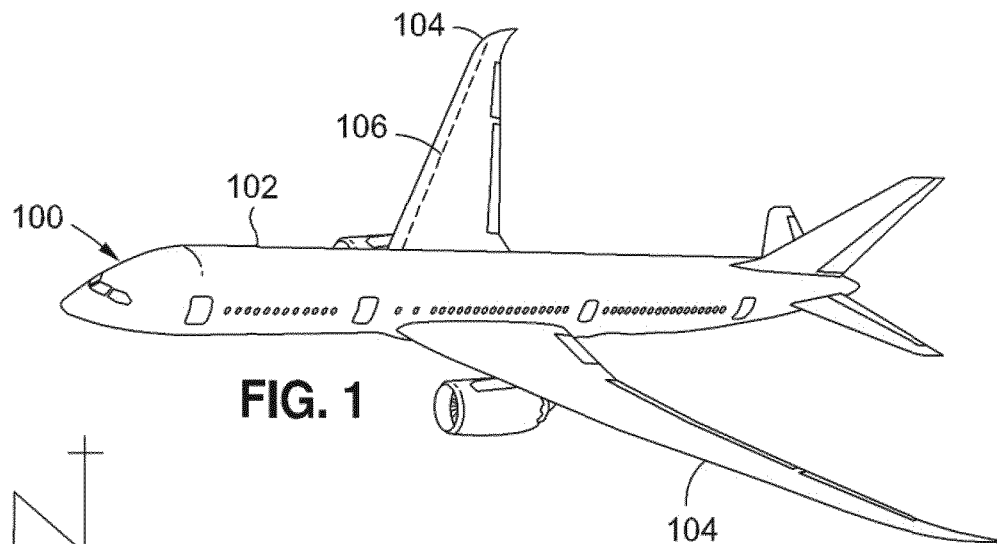


FIG. 1

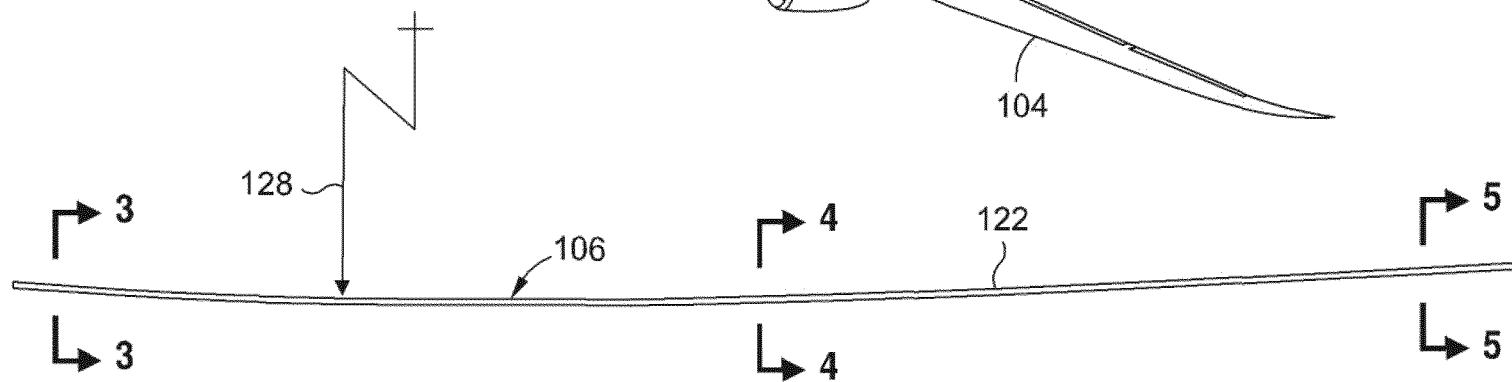


FIG. 2

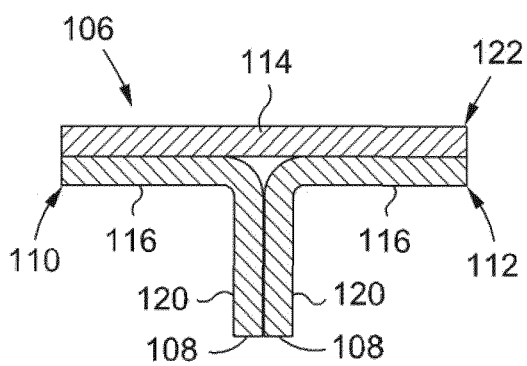


FIG. 3

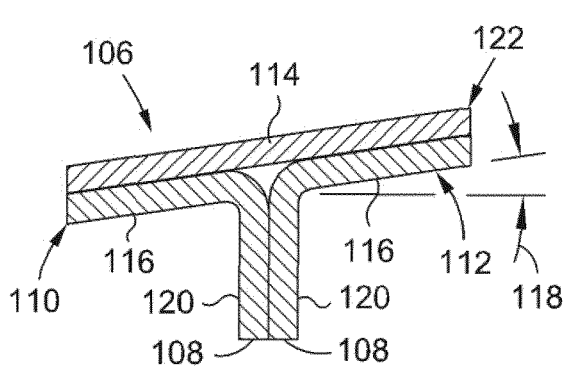


FIG. 4

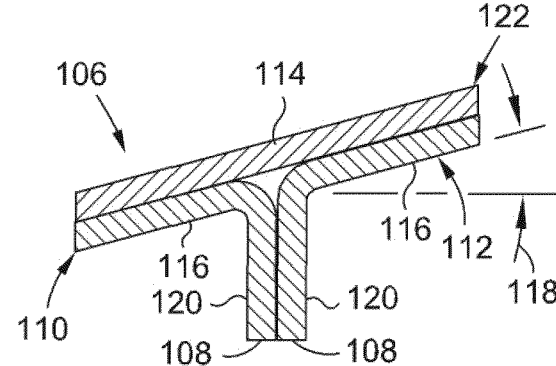
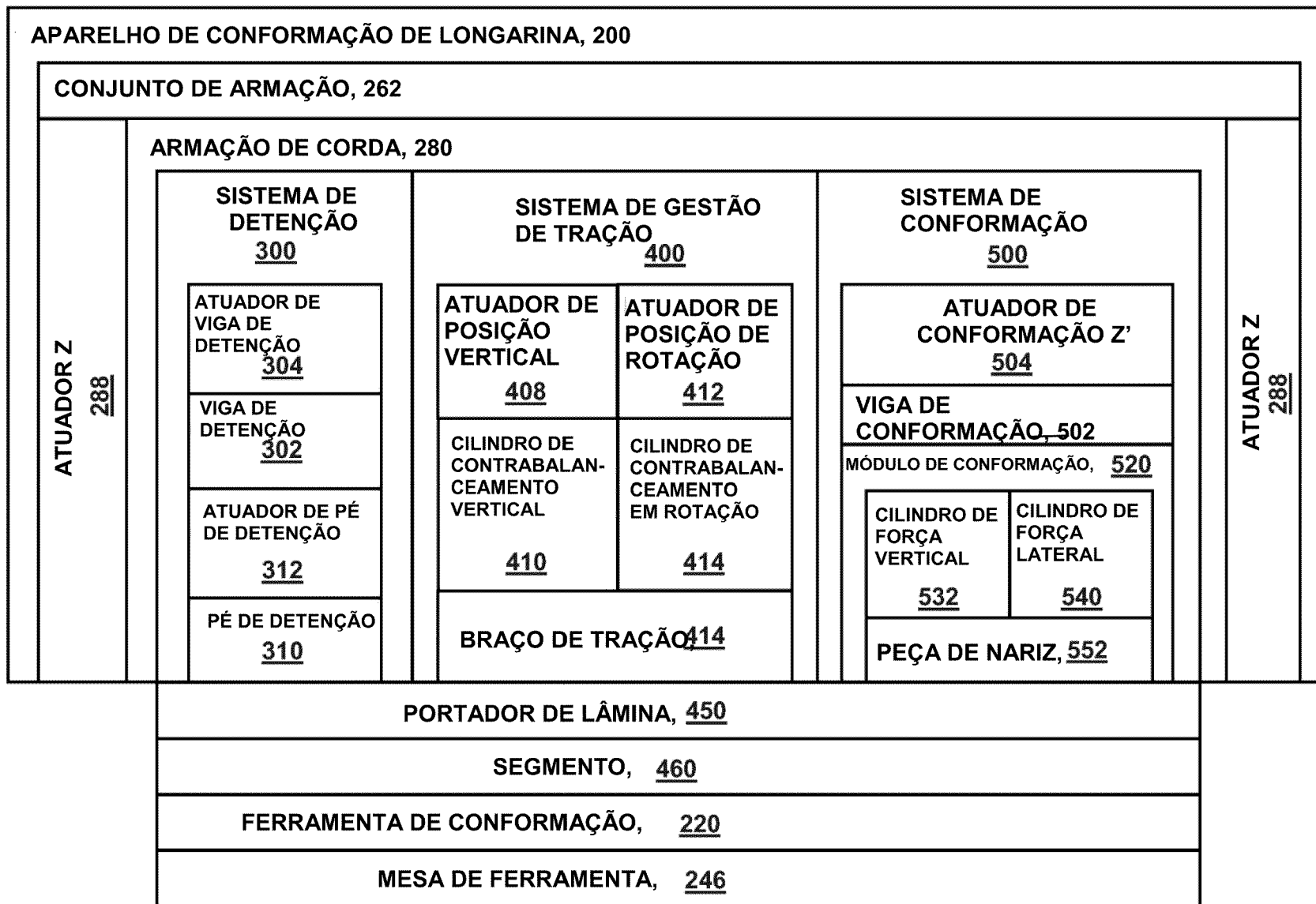


FIG. 5



**FIG. 6**

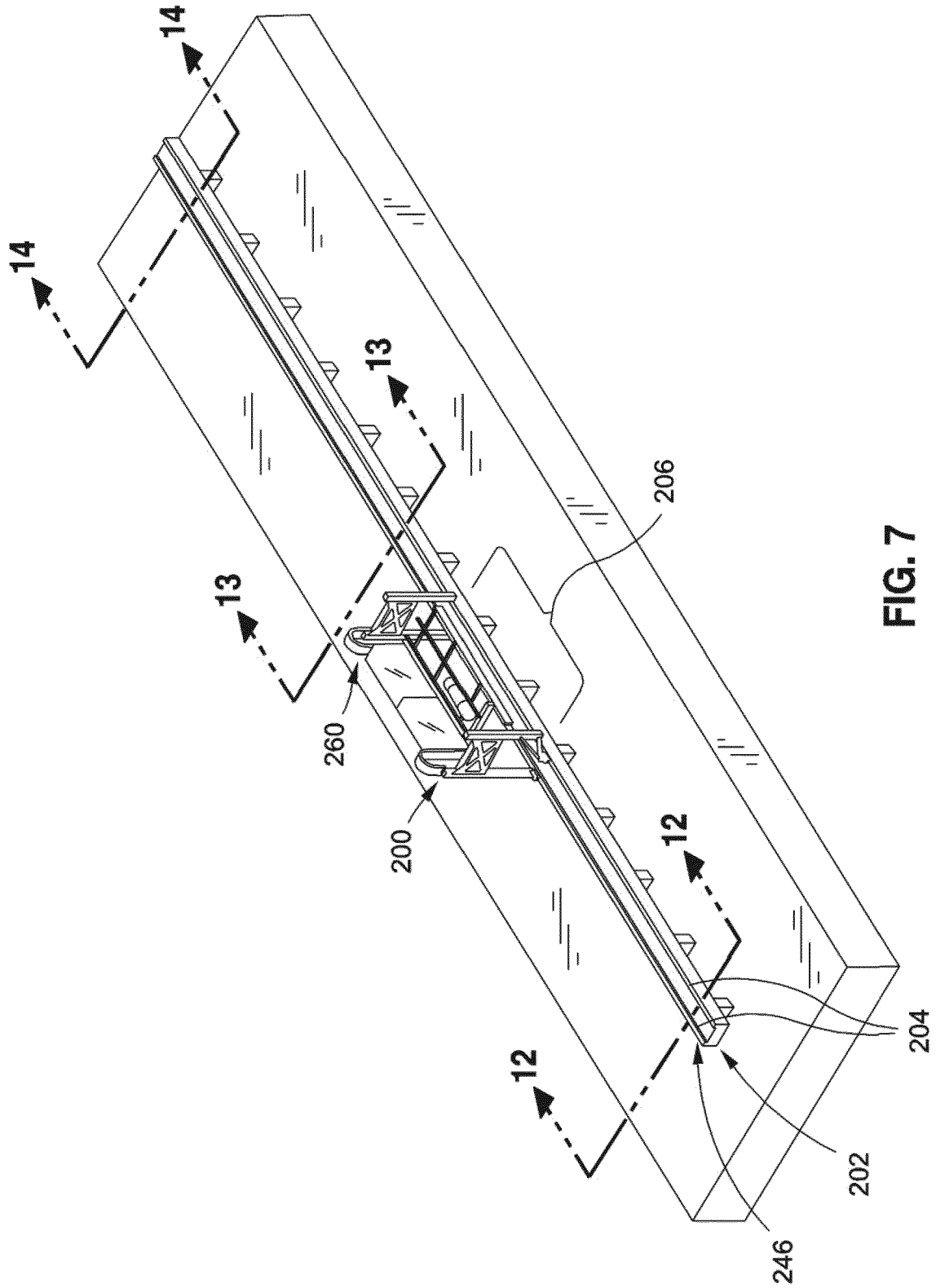


FIG. 7

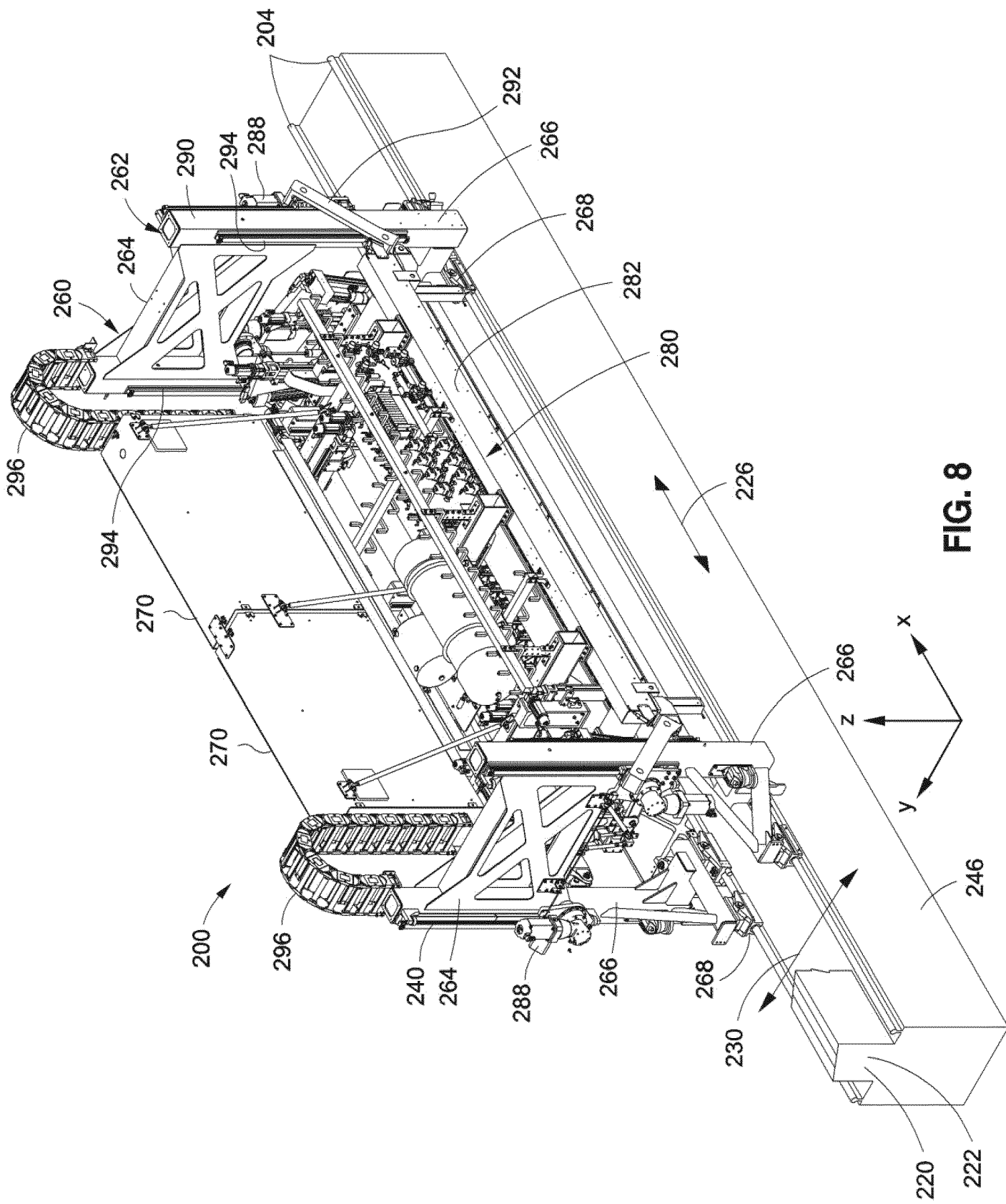


FIG. 8



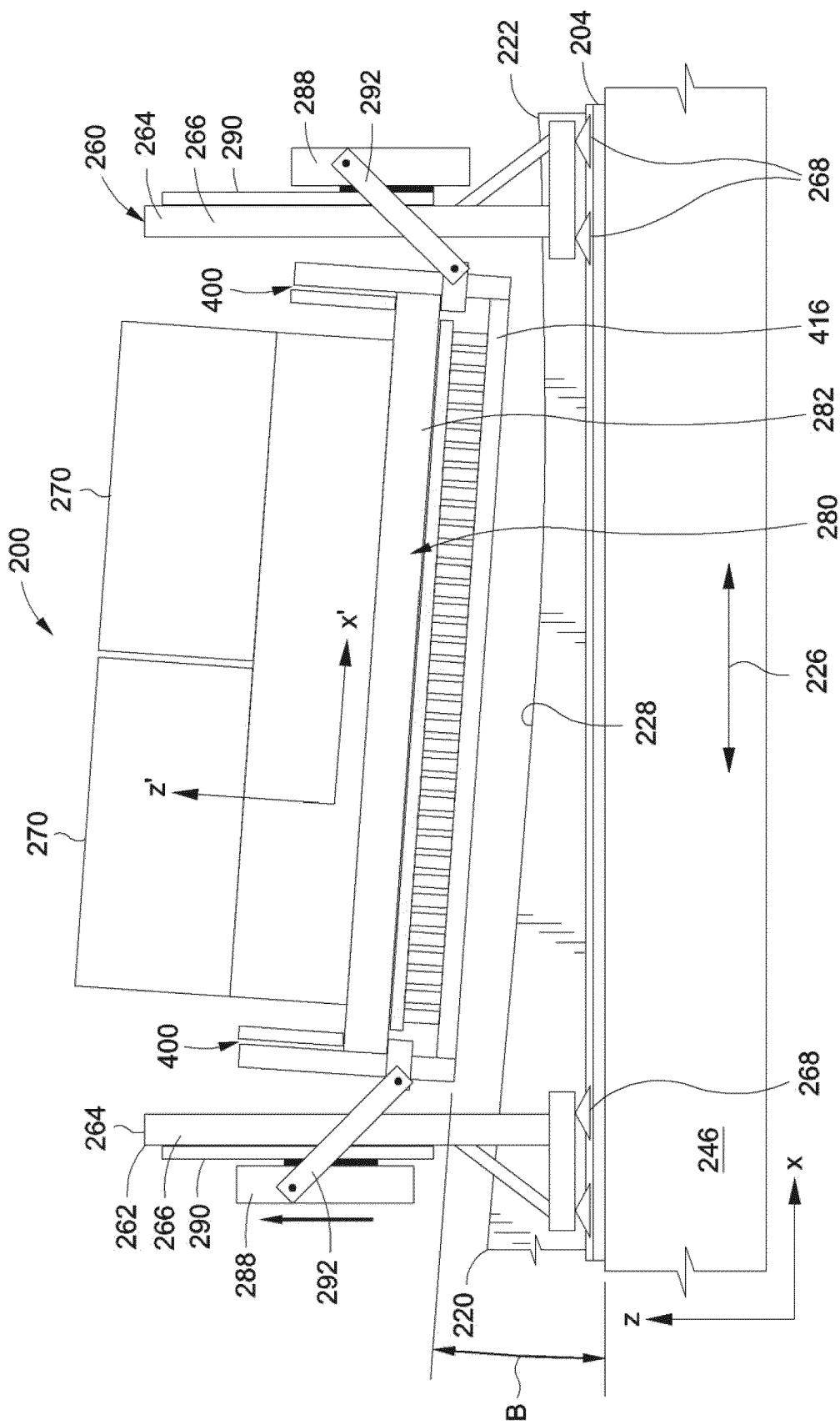


FIG. 10

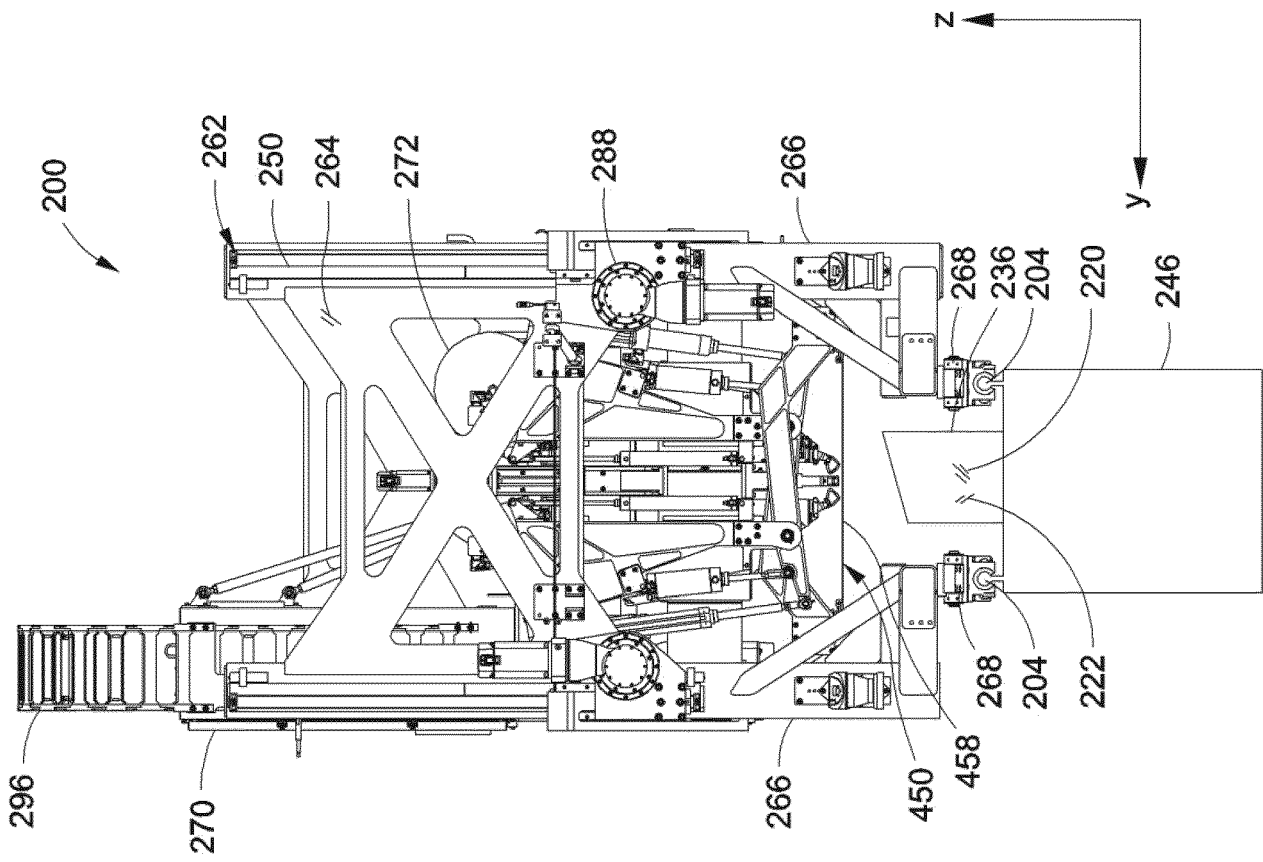


FIG. 11

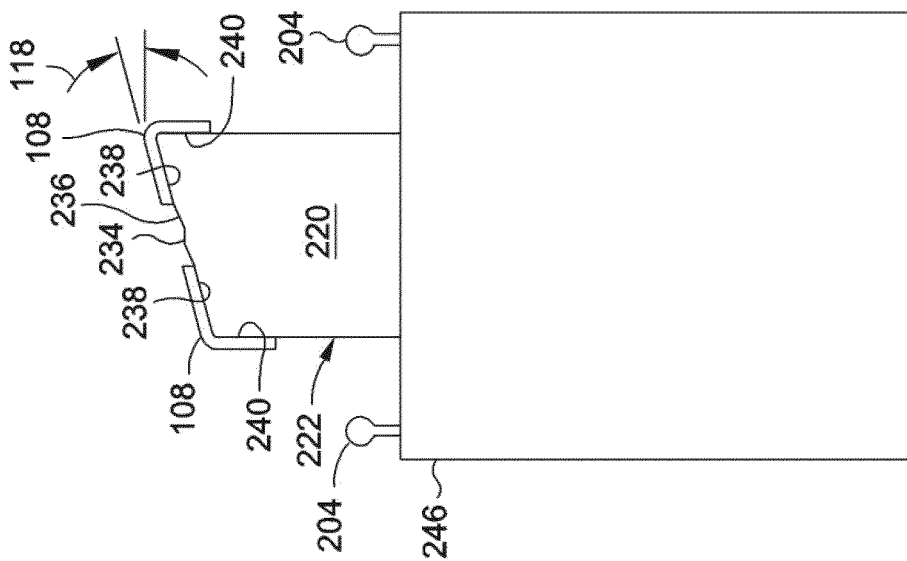


FIG. 12

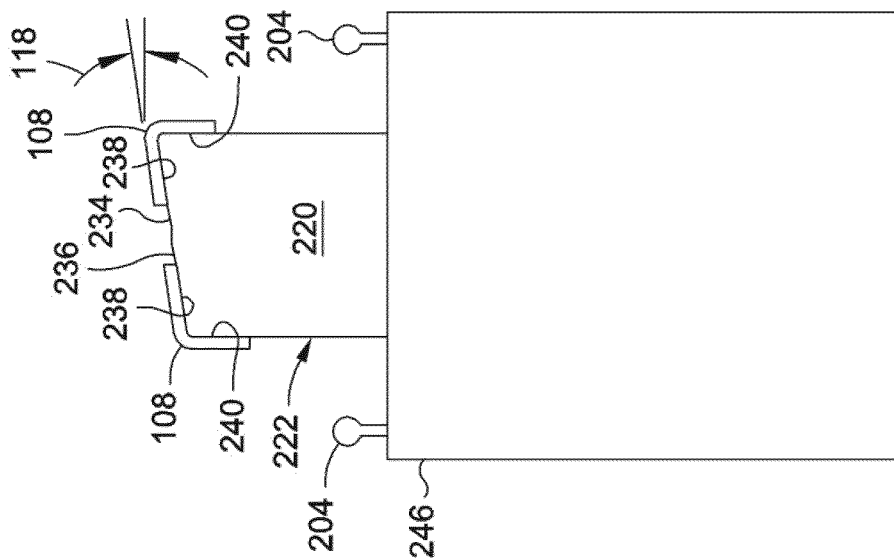


FIG. 13

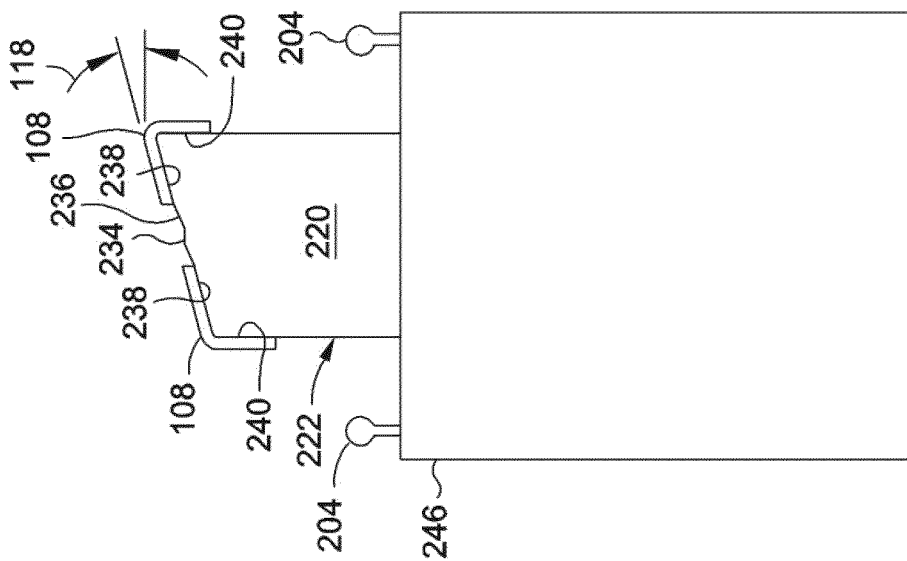


FIG. 14

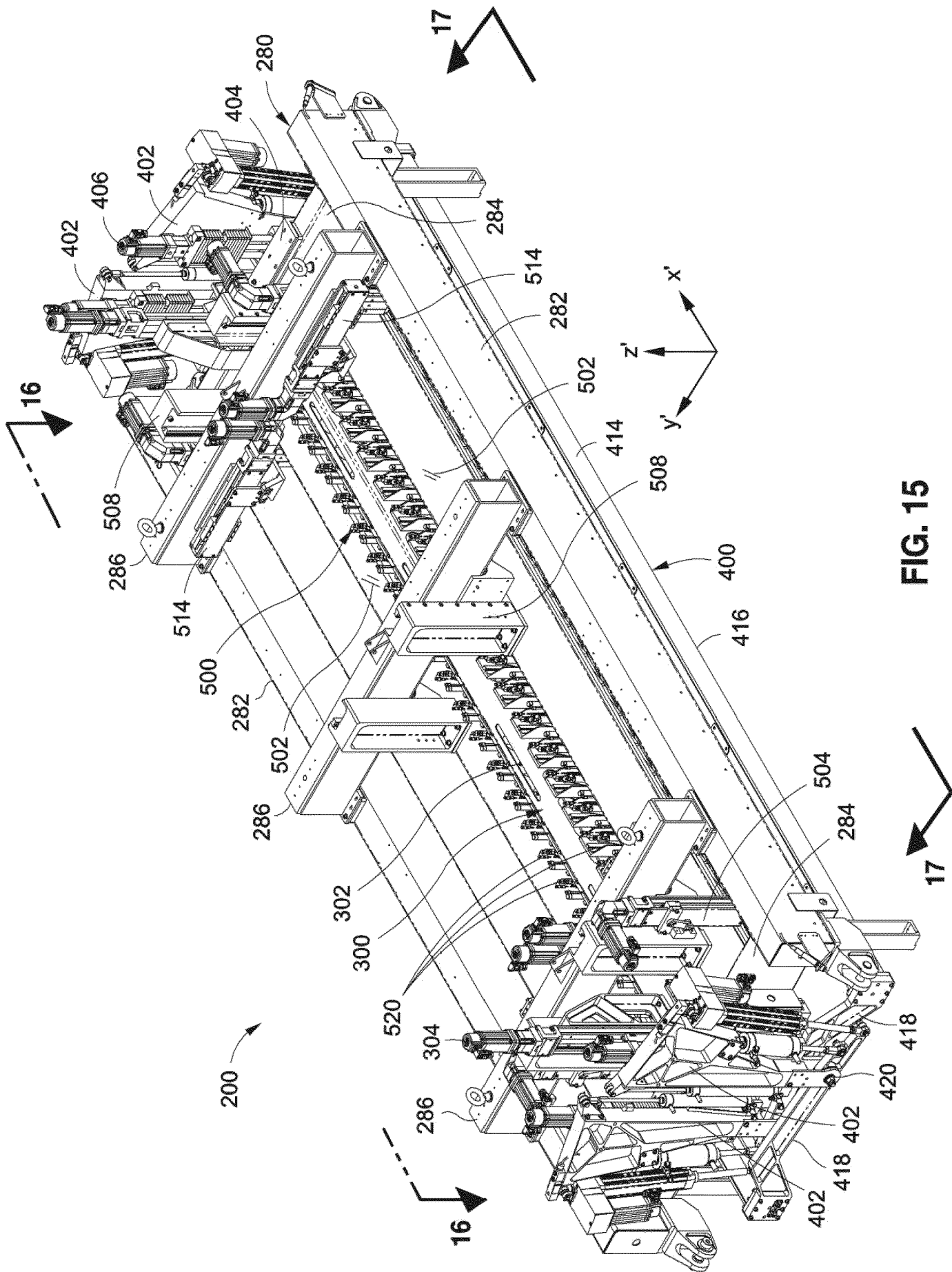


FIG. 15

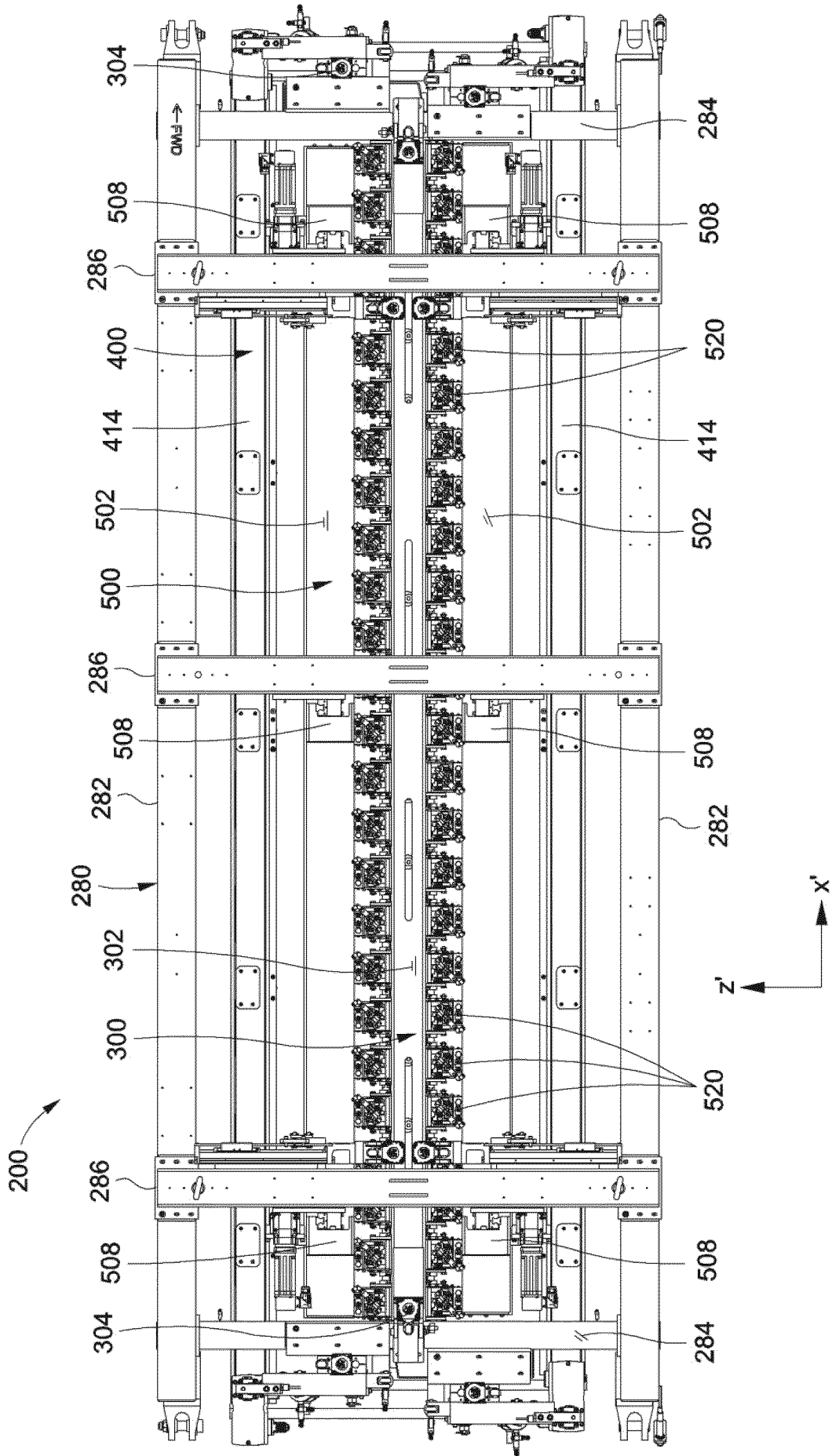


FIG. 16

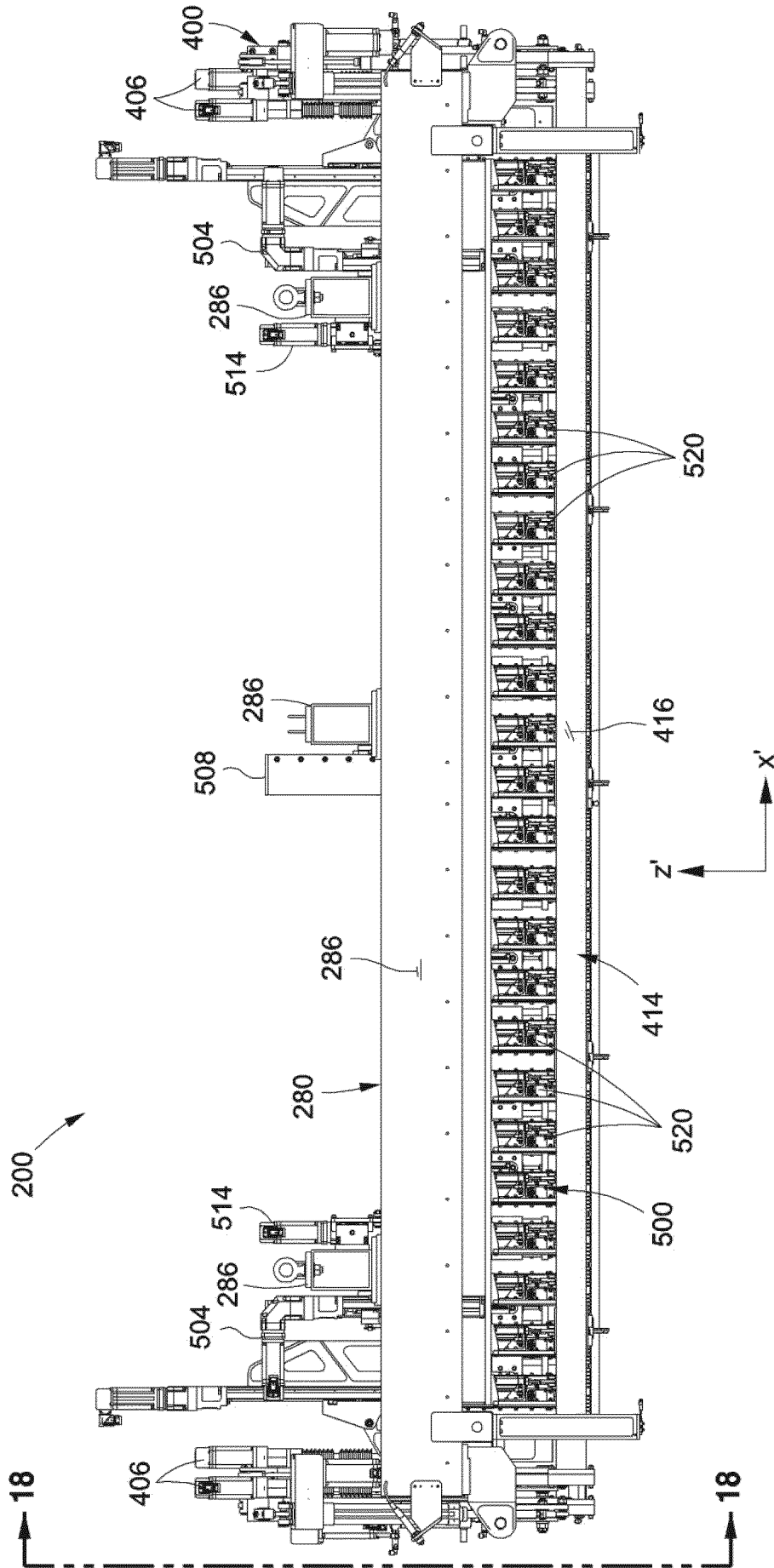


FIG. 17

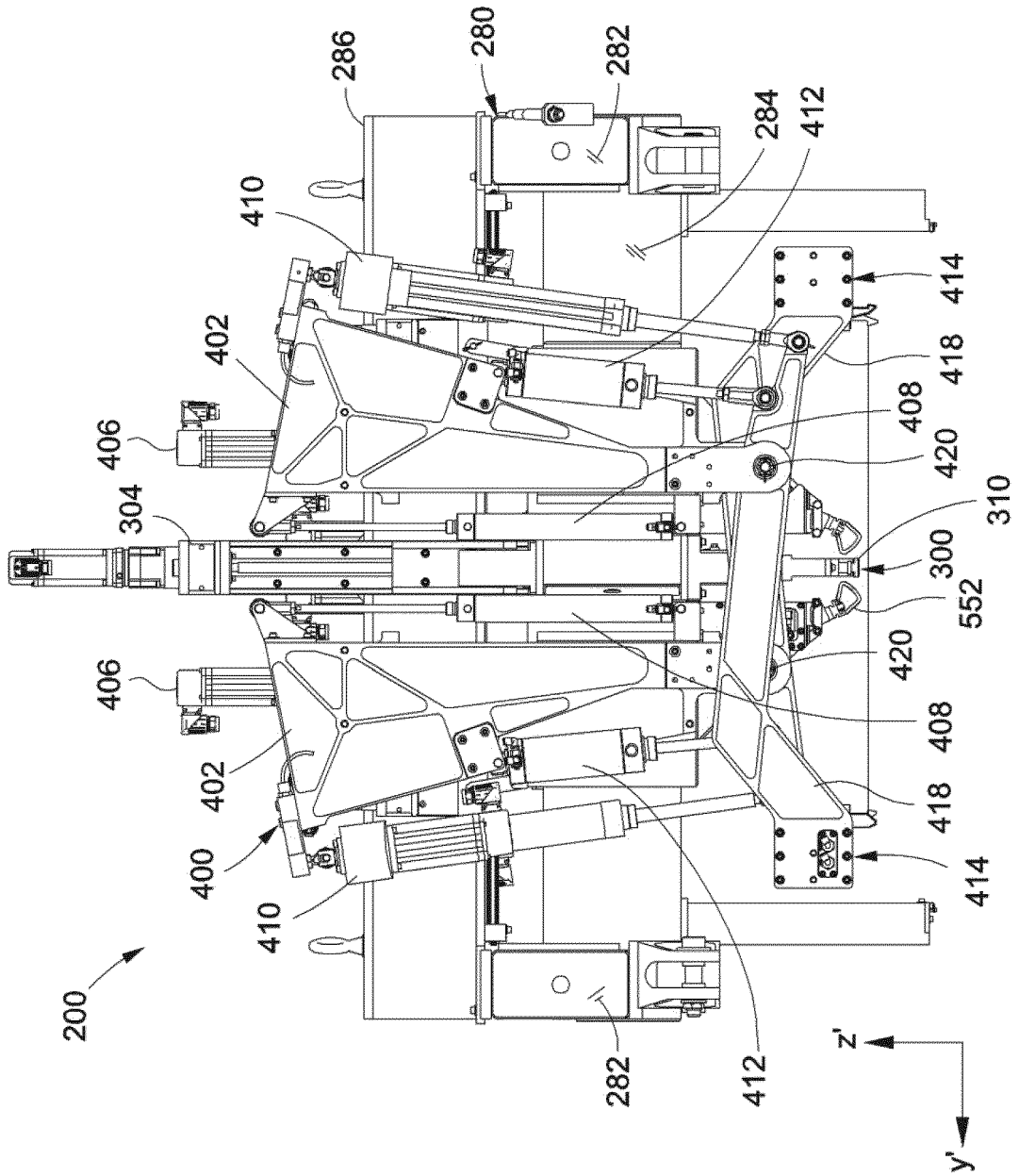


FIG. 18

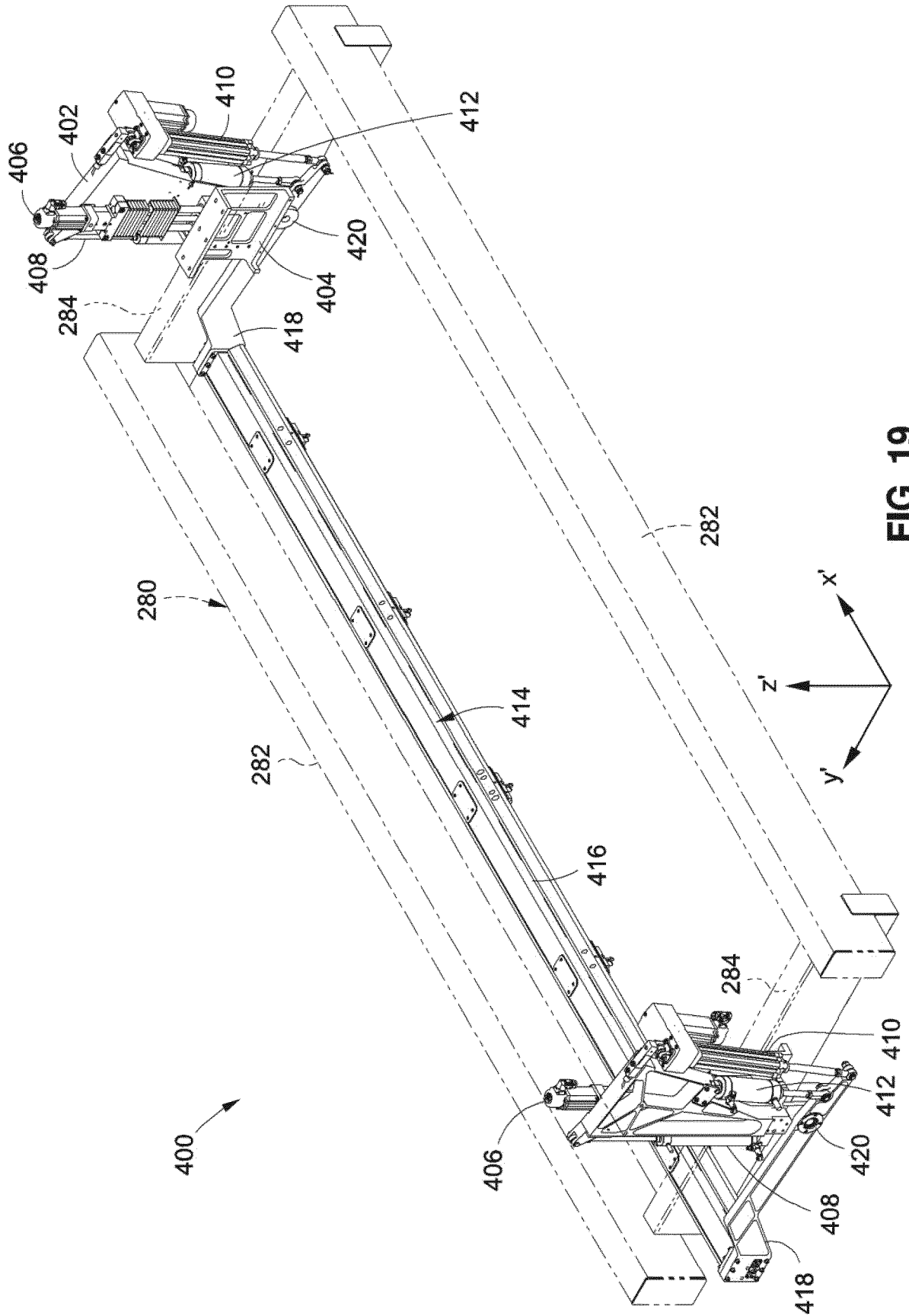


FIG. 19

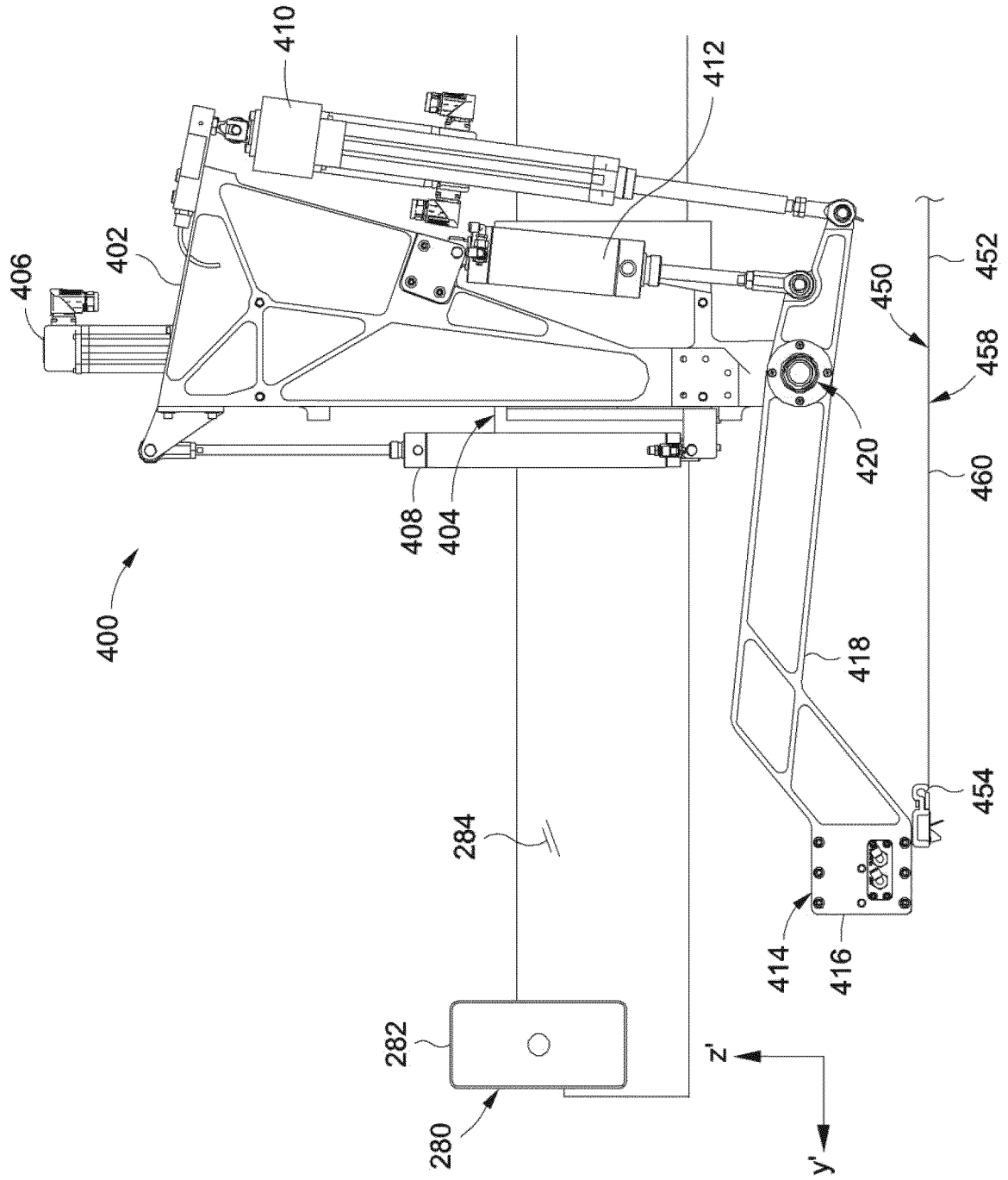


FIG. 20

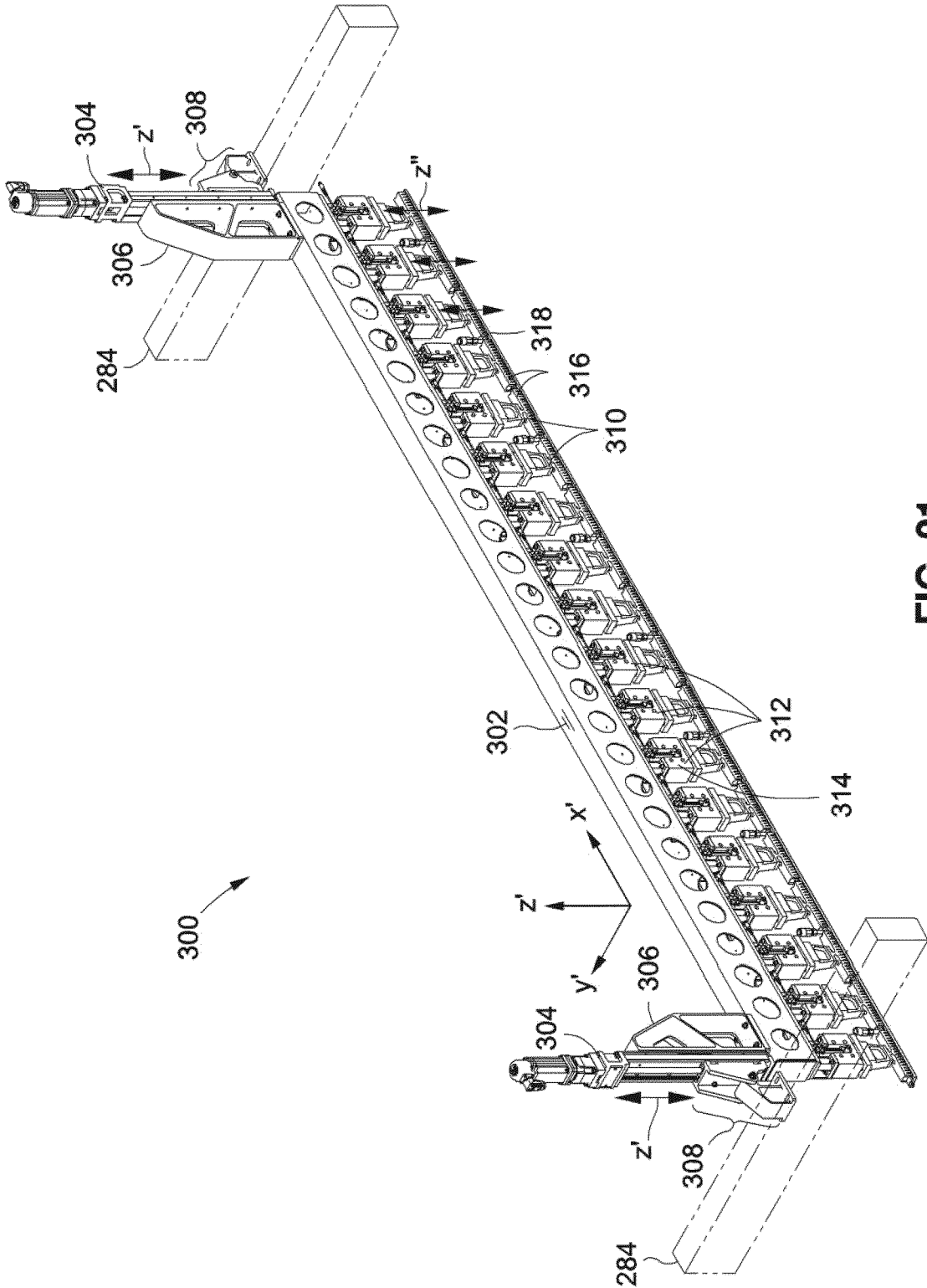


FIG. 21

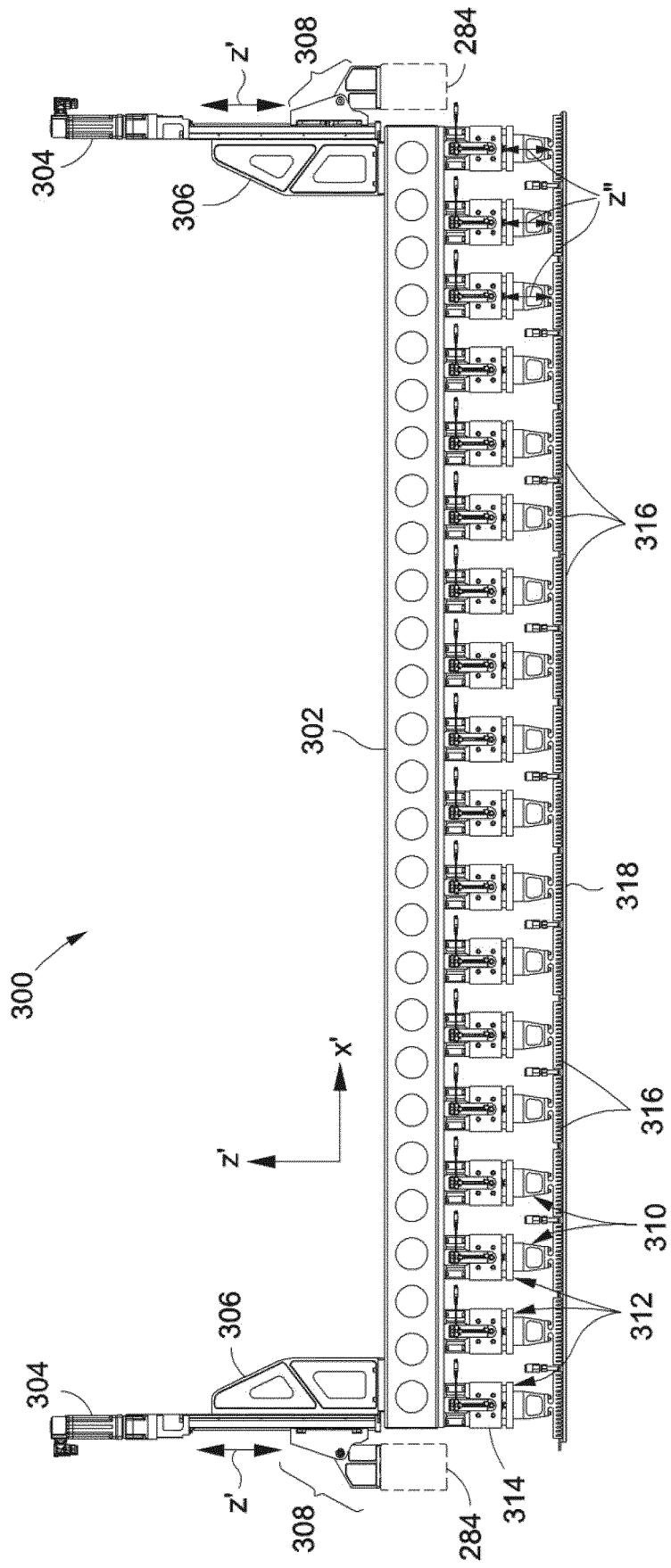


FIG. 22

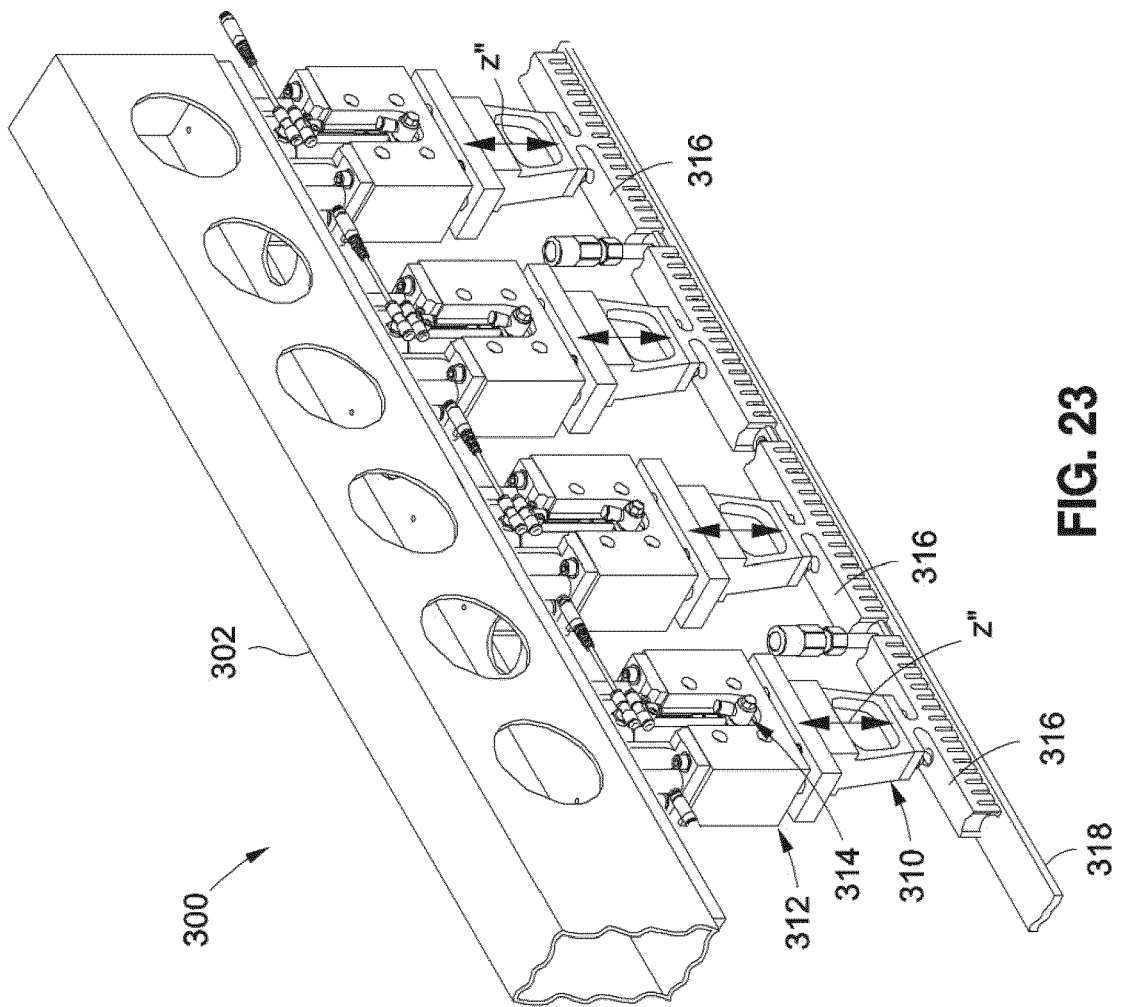


FIG. 23

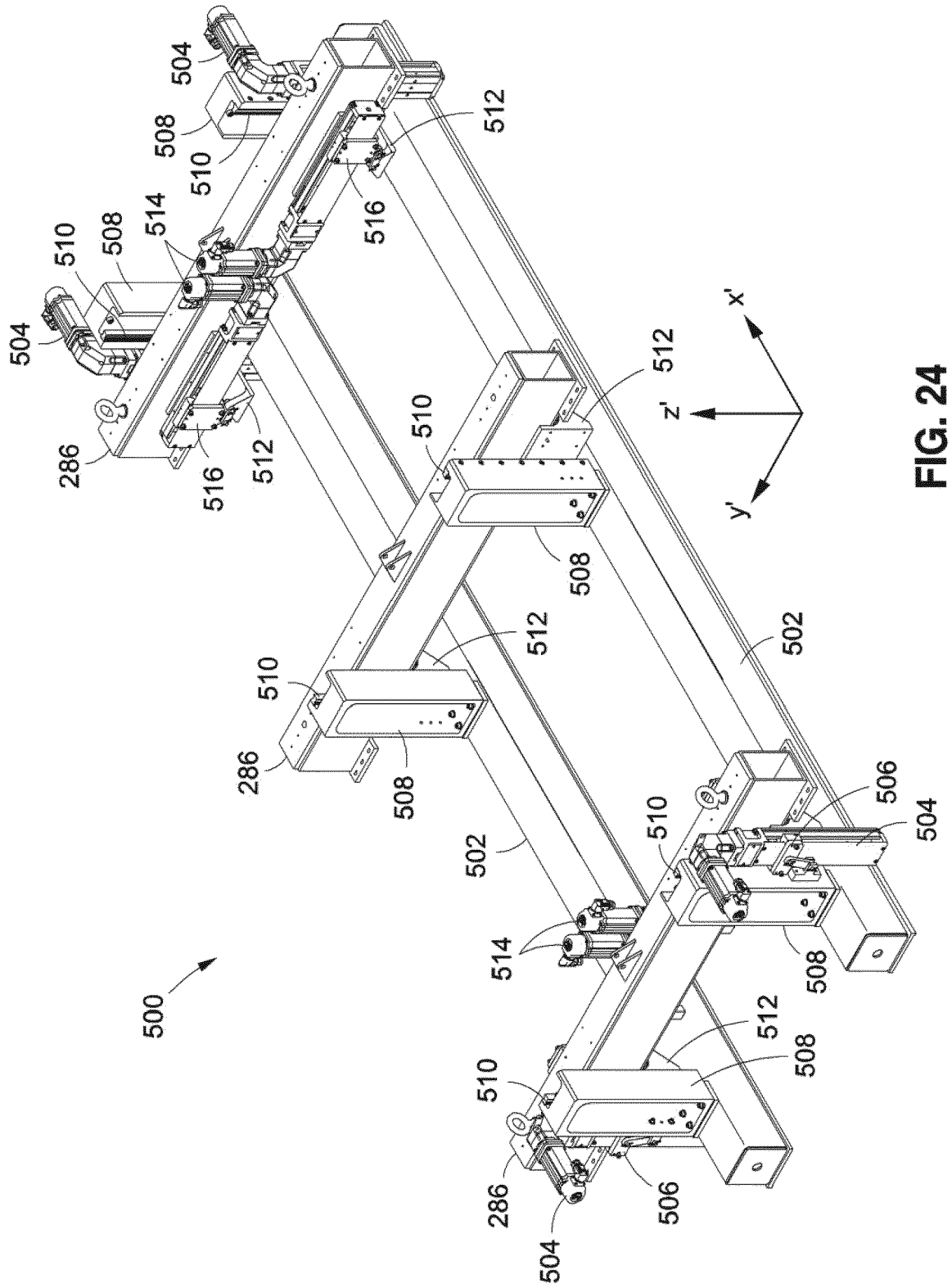


FIG. 24

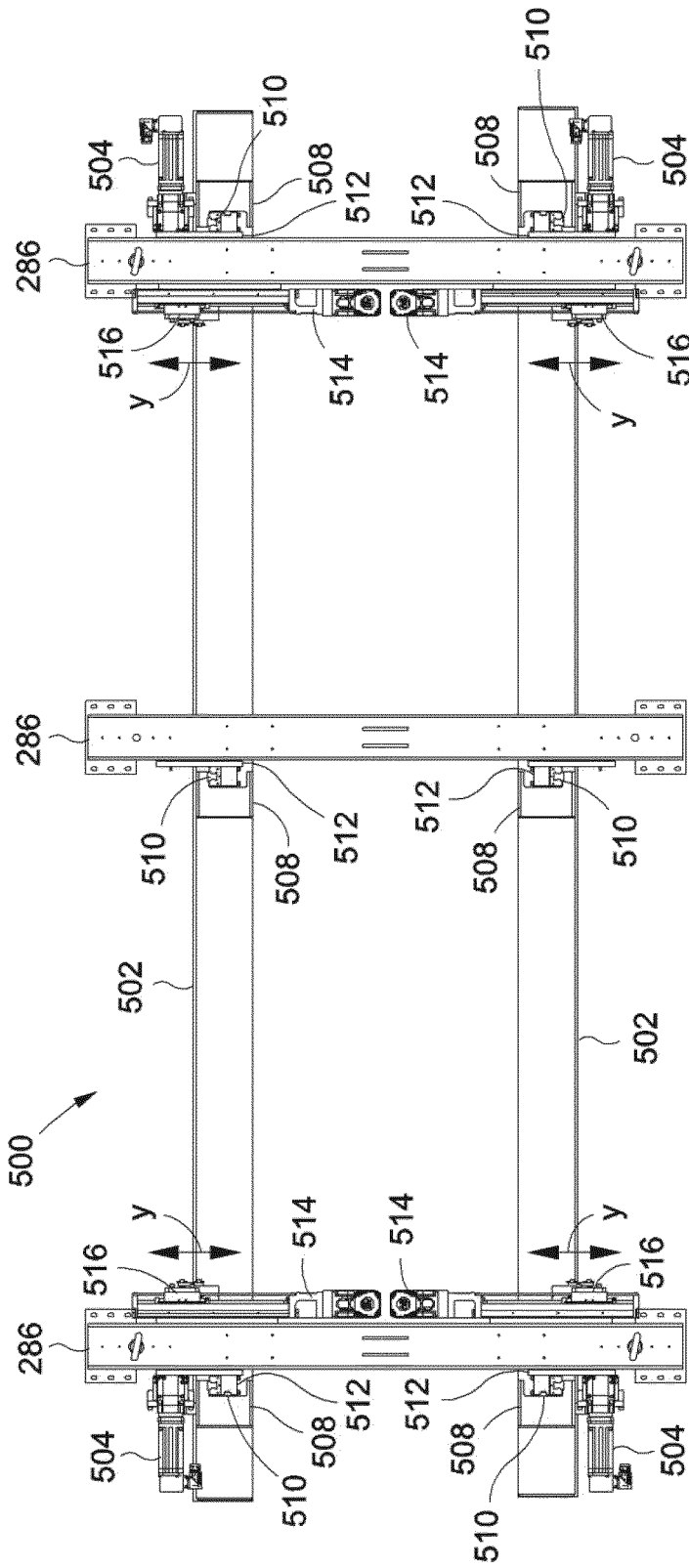


FIG. 25

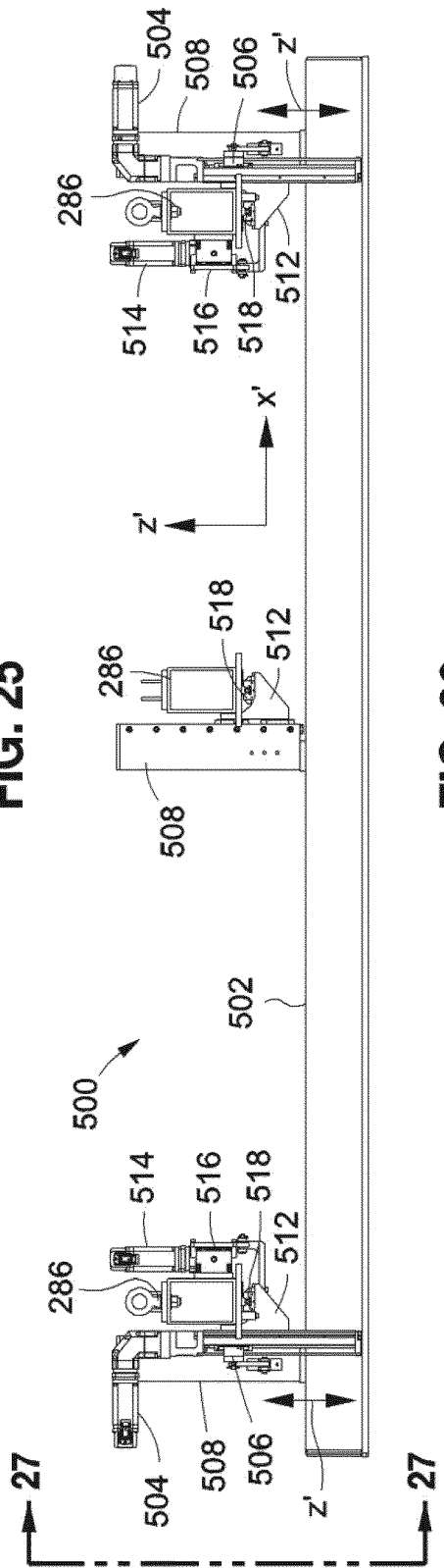


FIG. 26

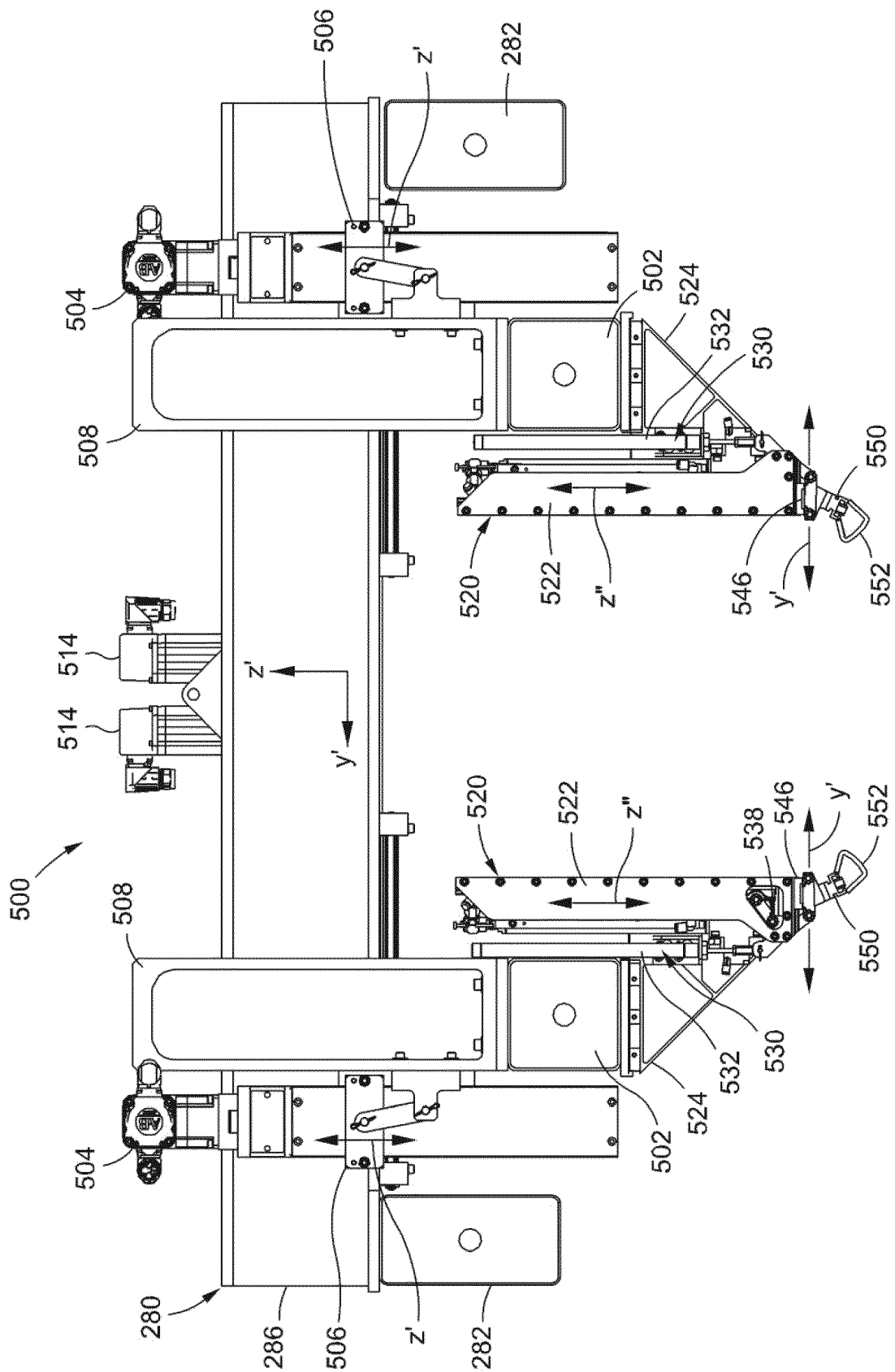


FIG. 27

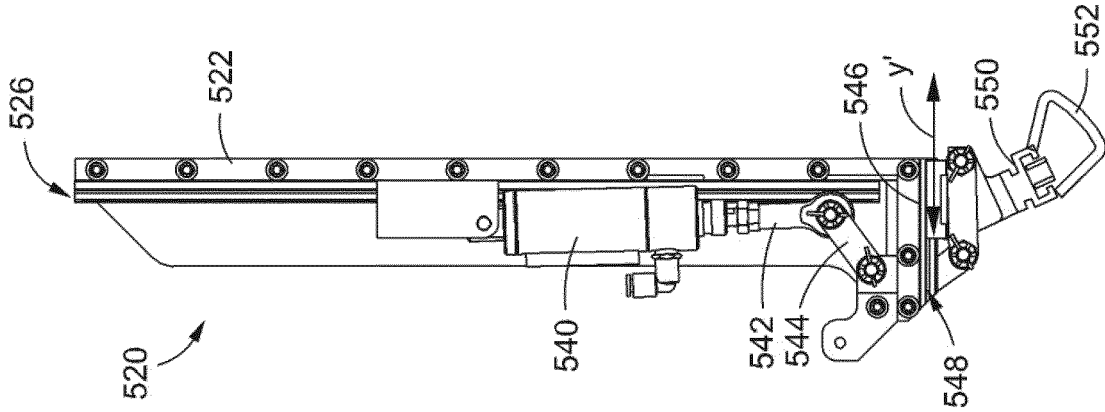


FIG. 29

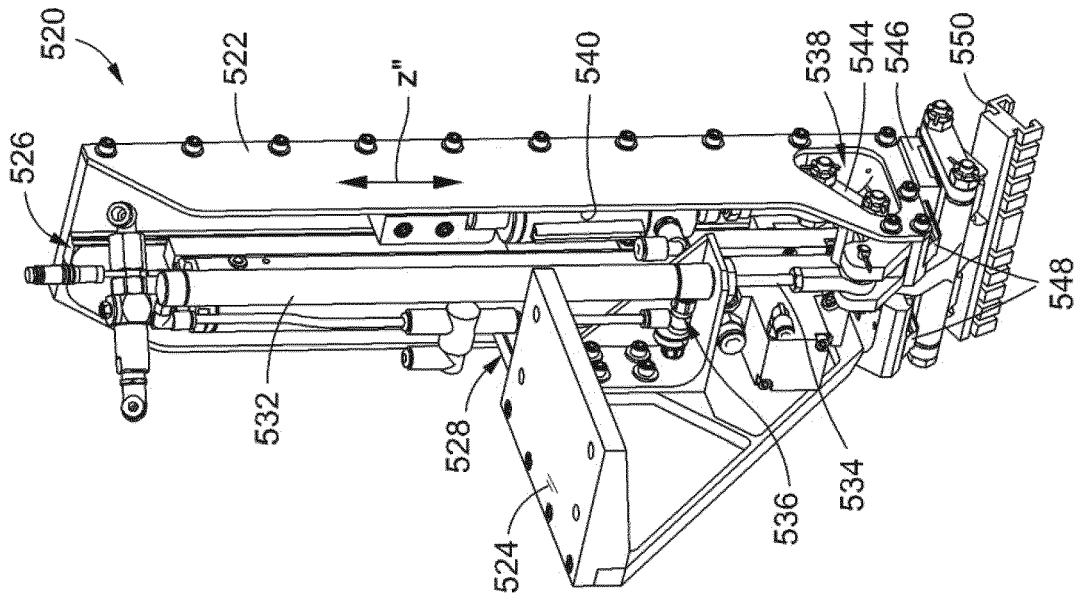


FIG. 28

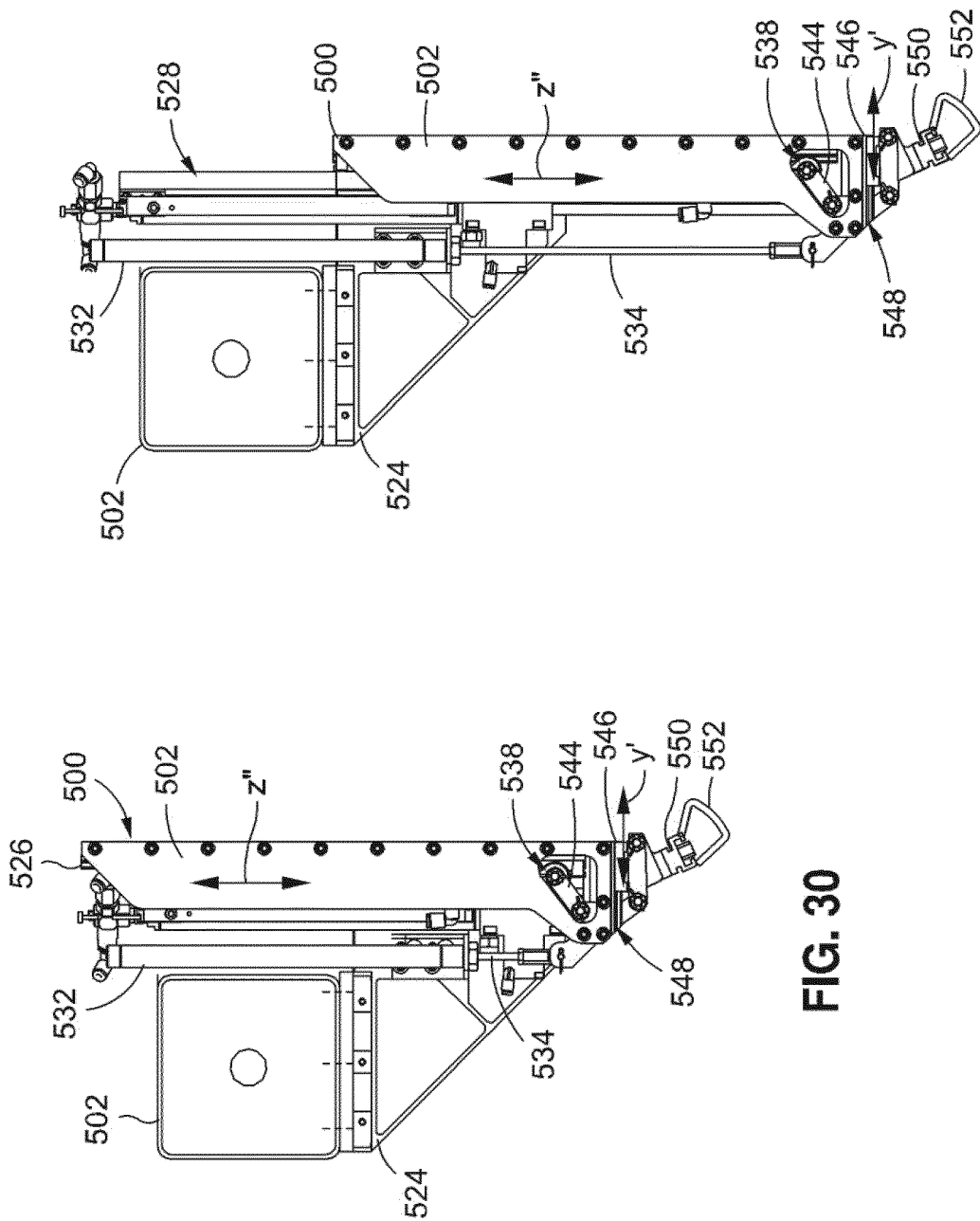


FIG. 30

FIG. 31

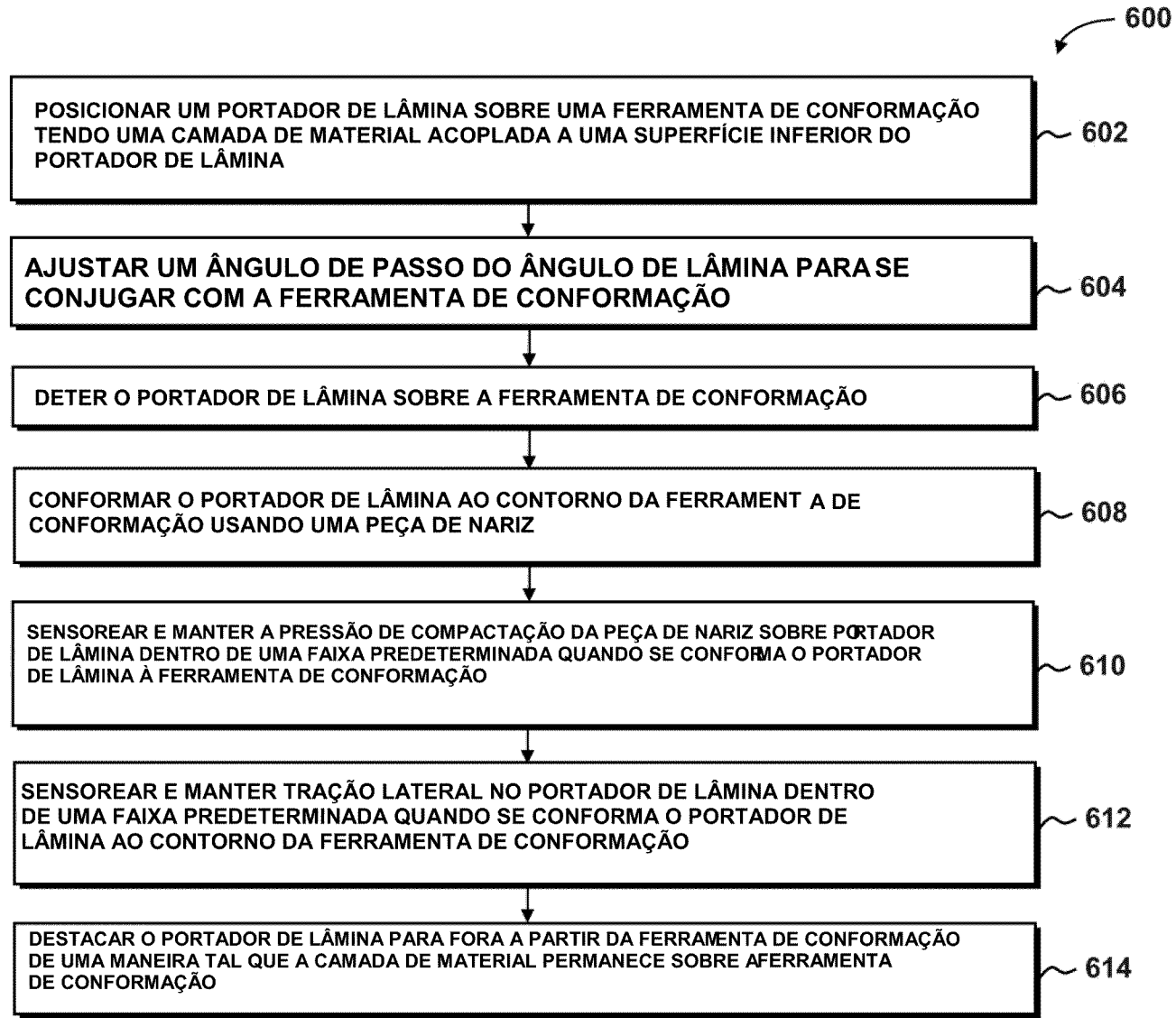


FIG. 32

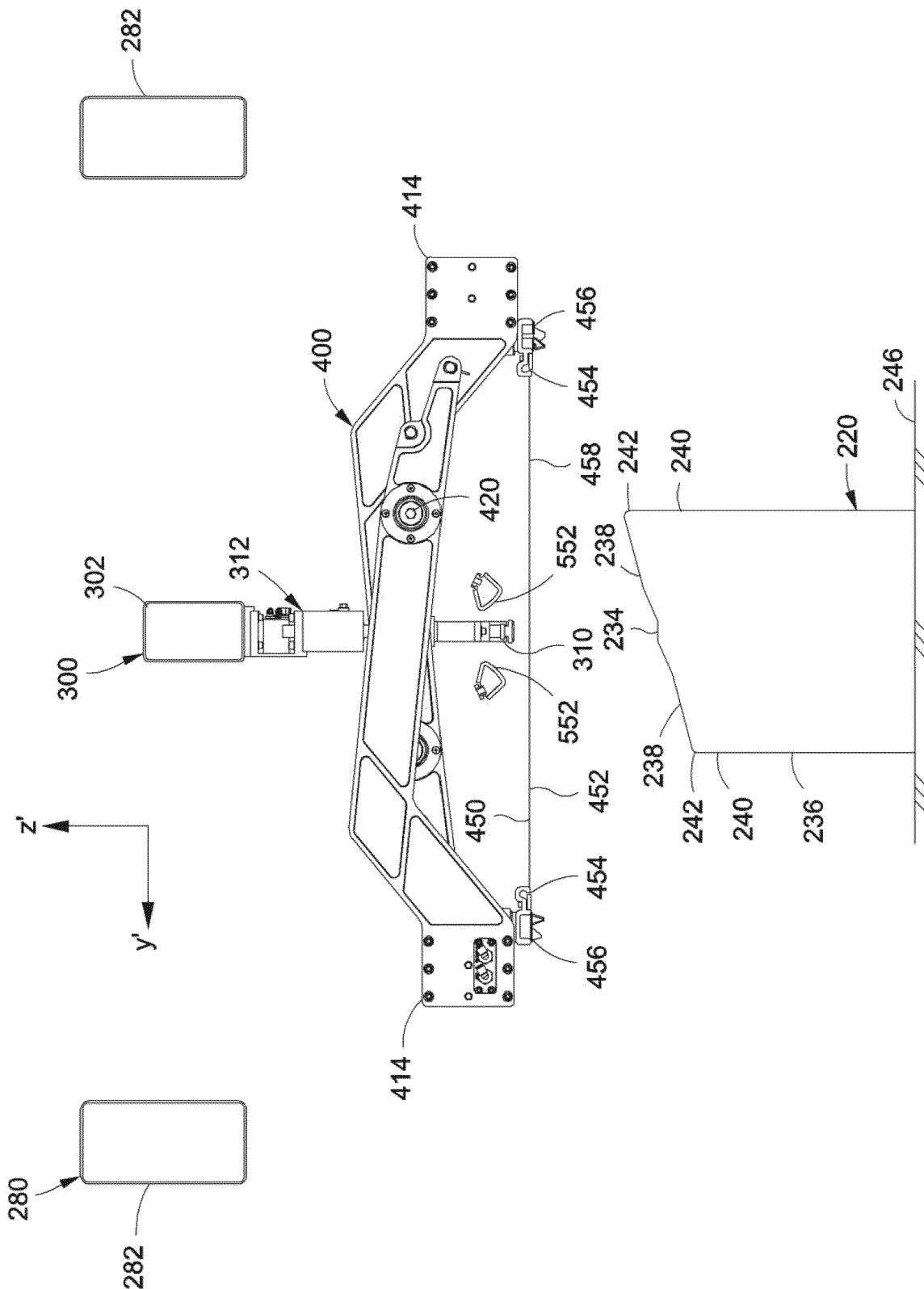


FIG. 33

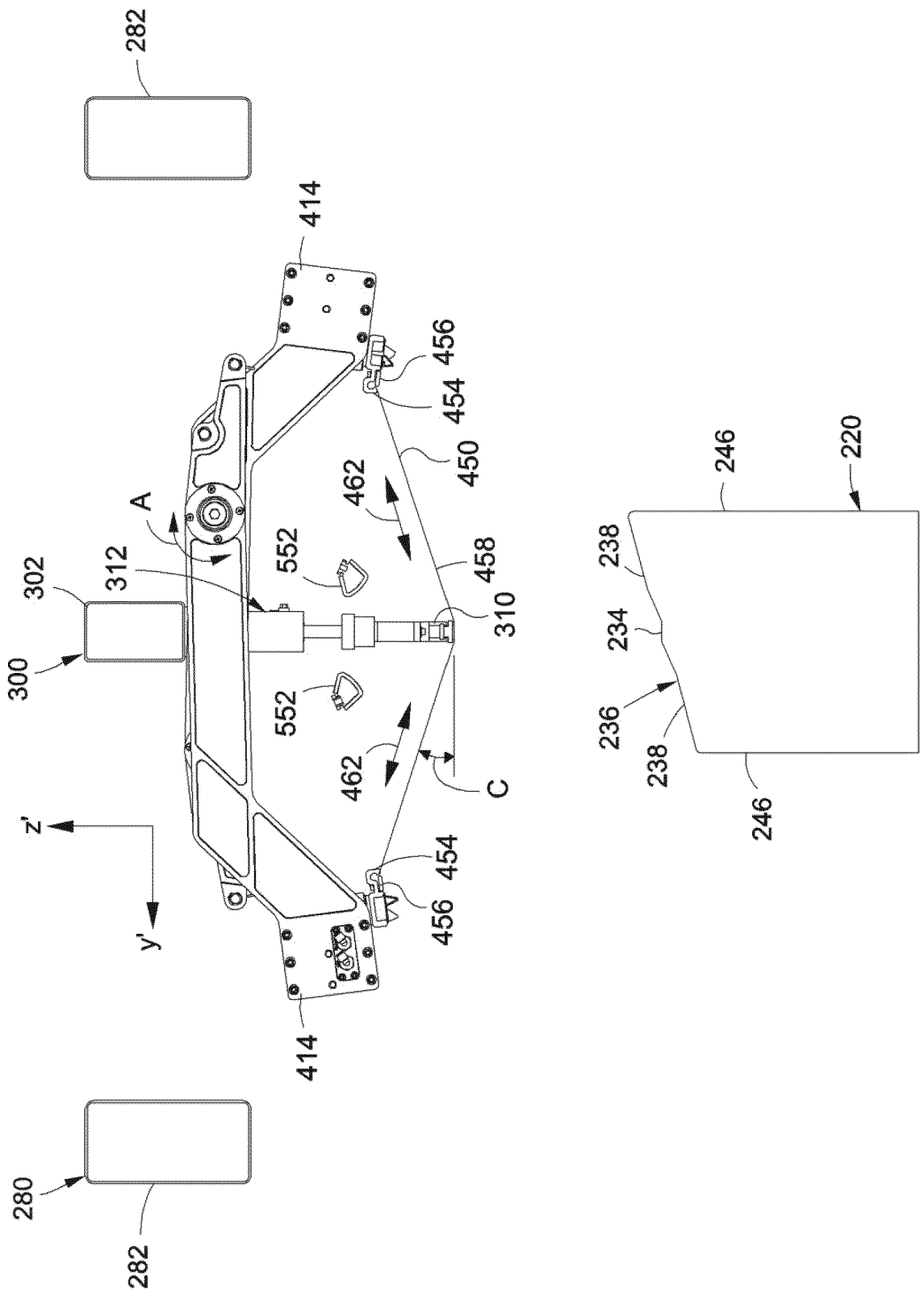


FIG. 34



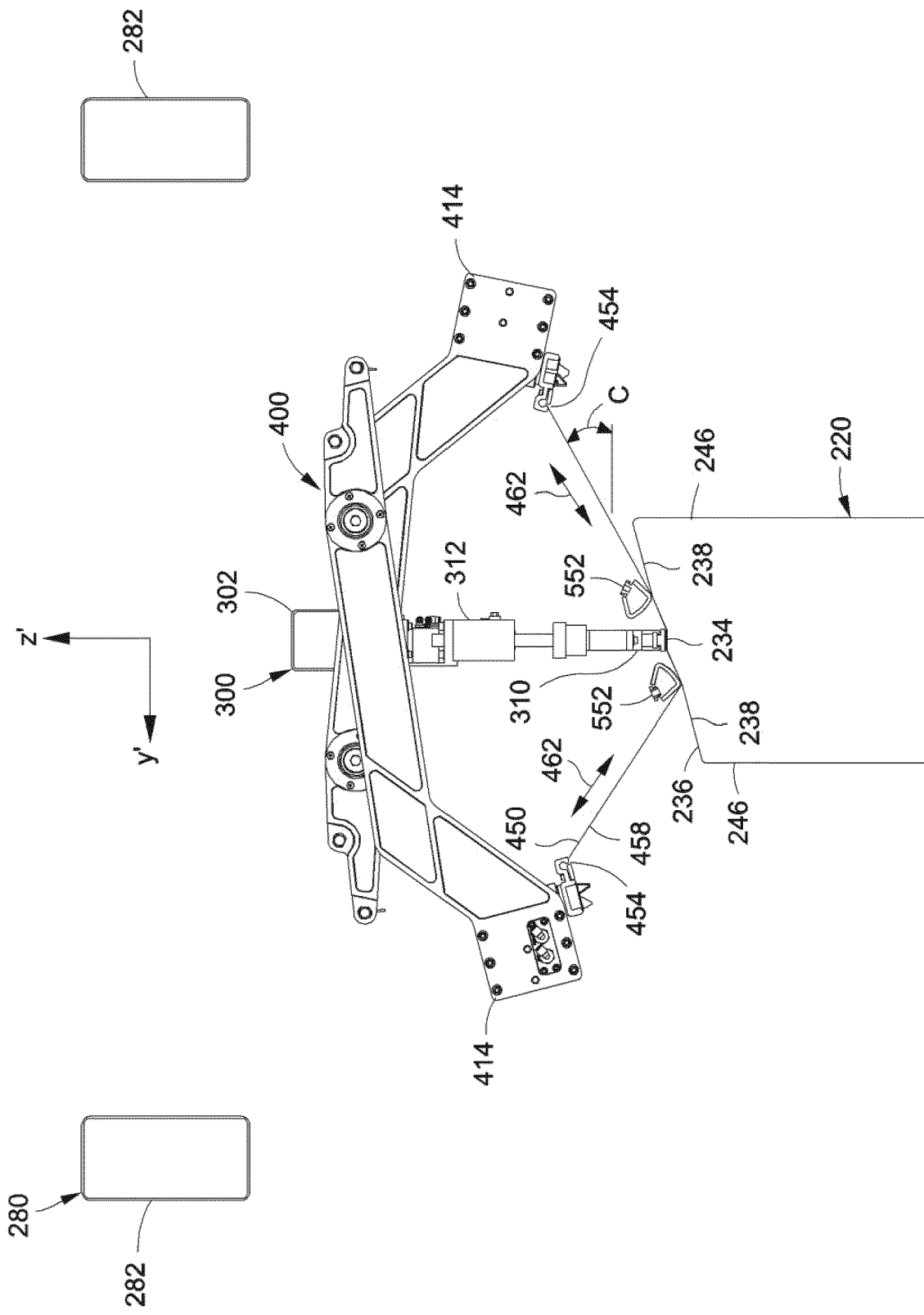


FIG. 36

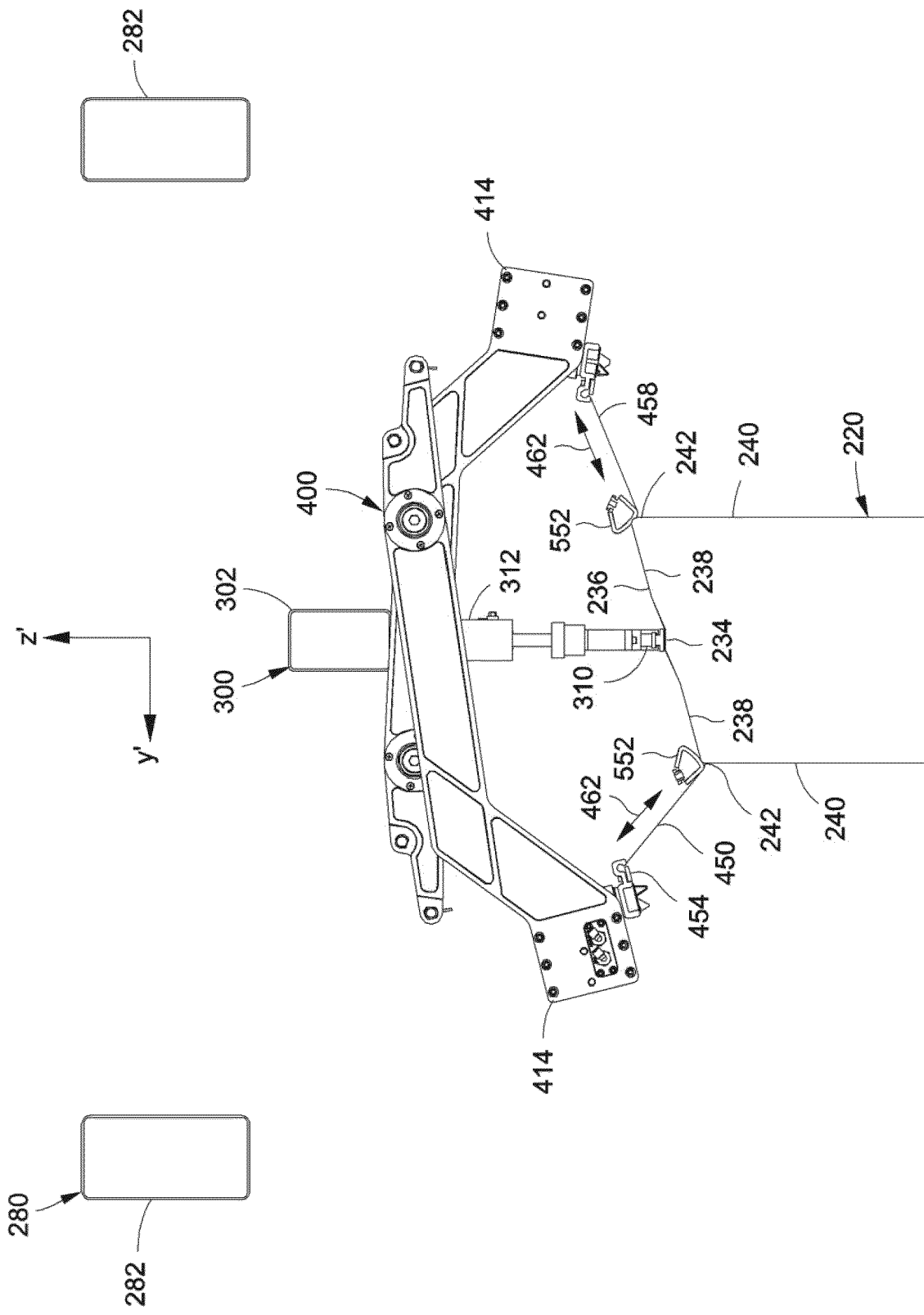


FIG. 37

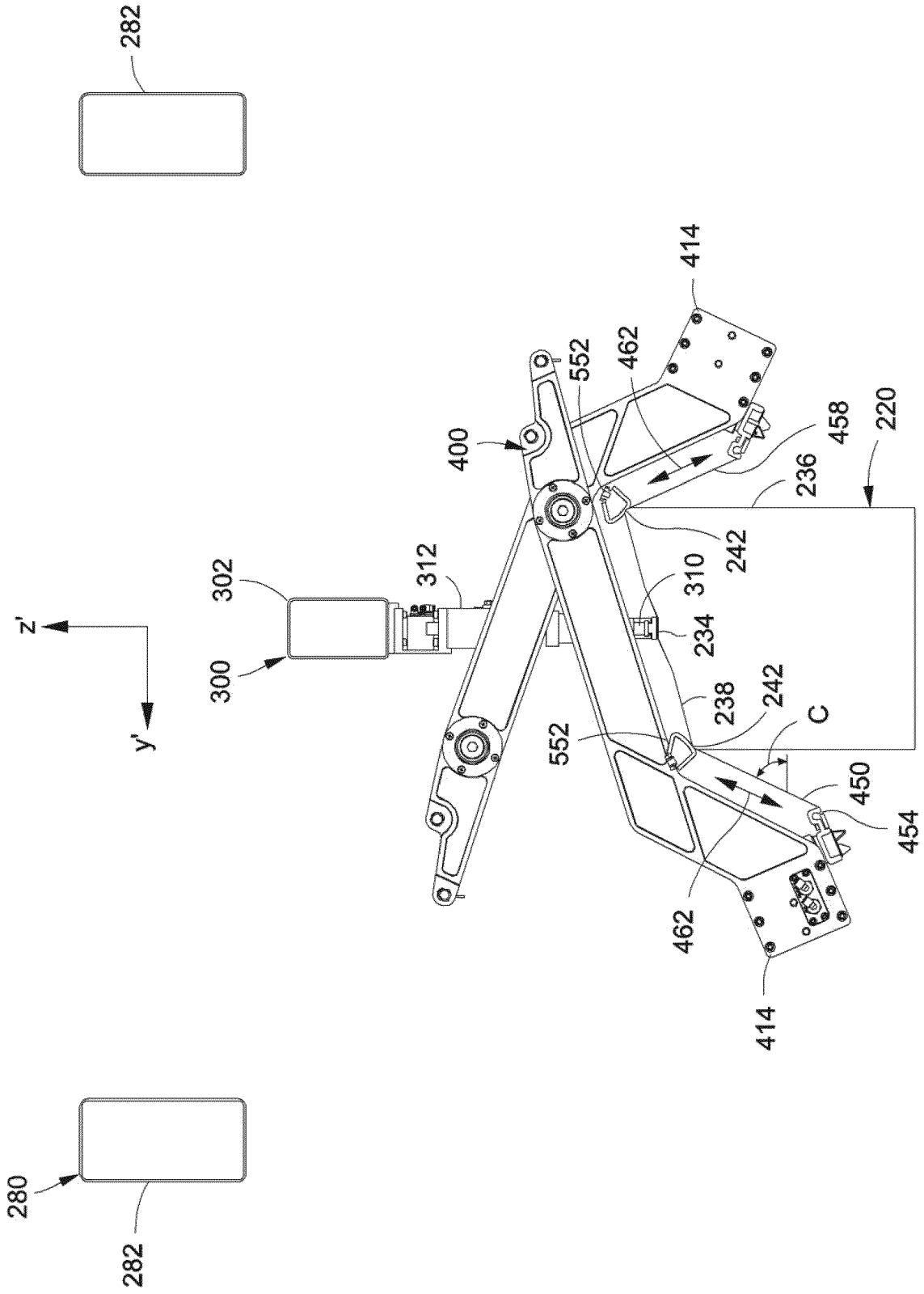


FIG. 38

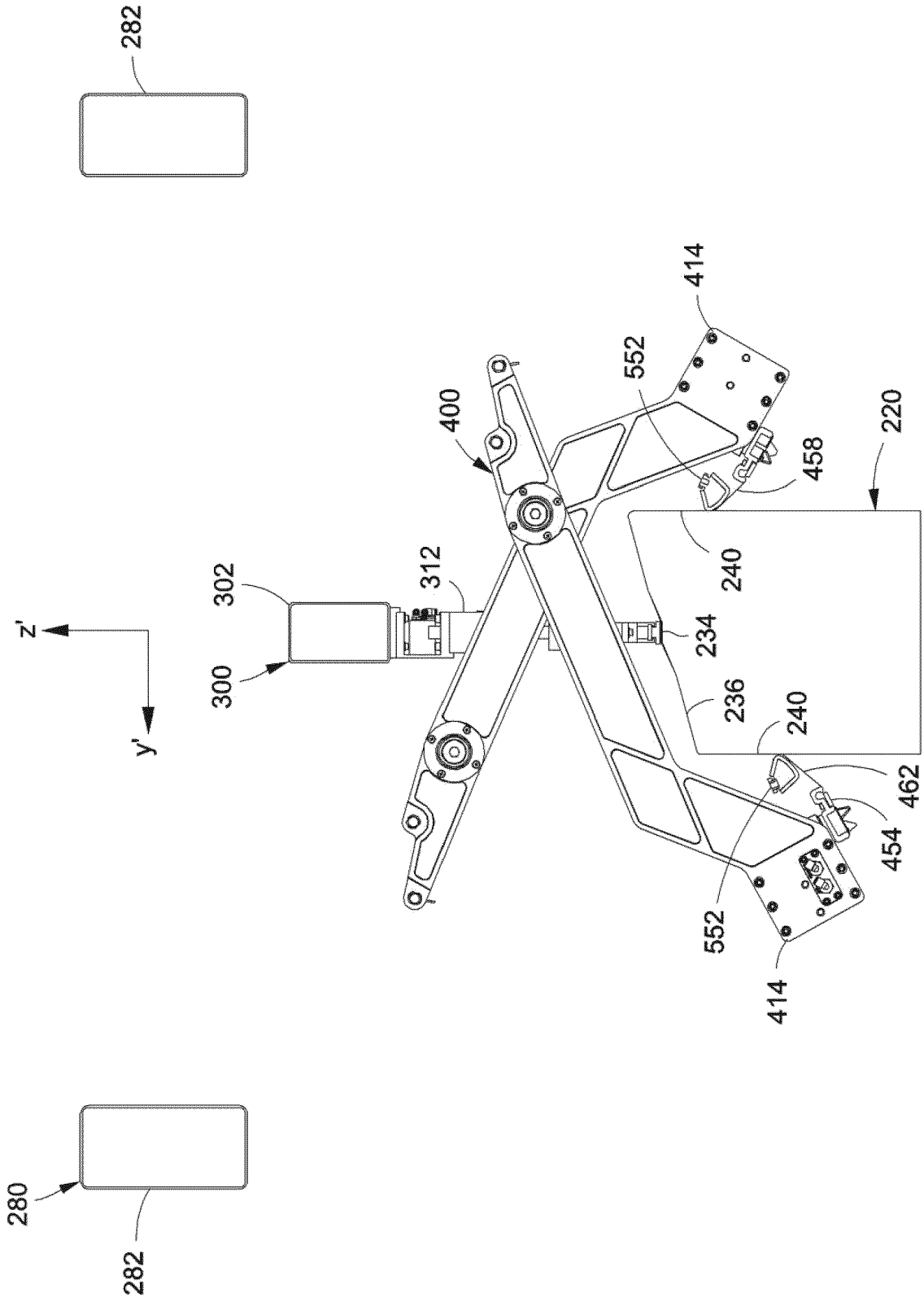


FIG. 39

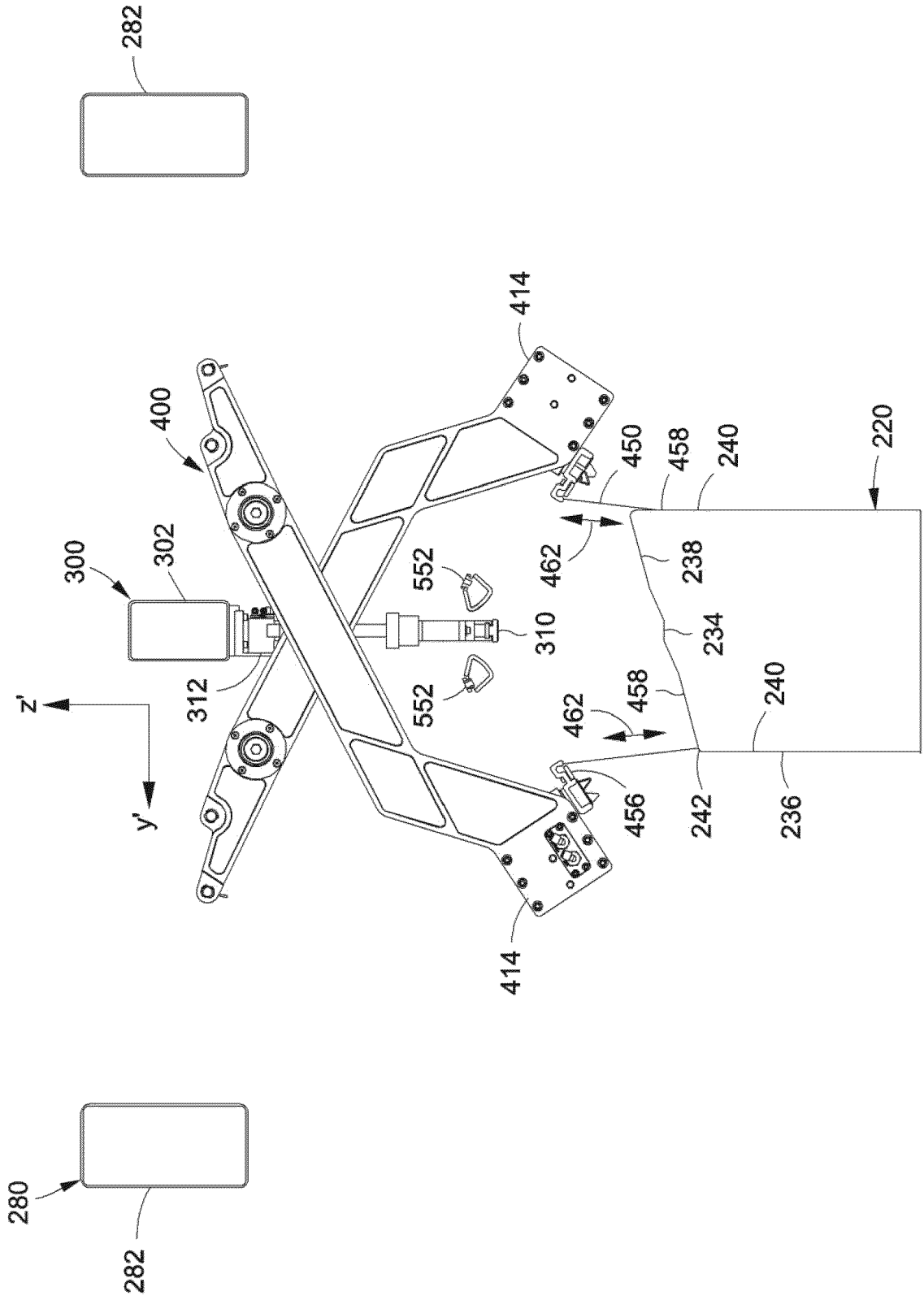


FIG. 40

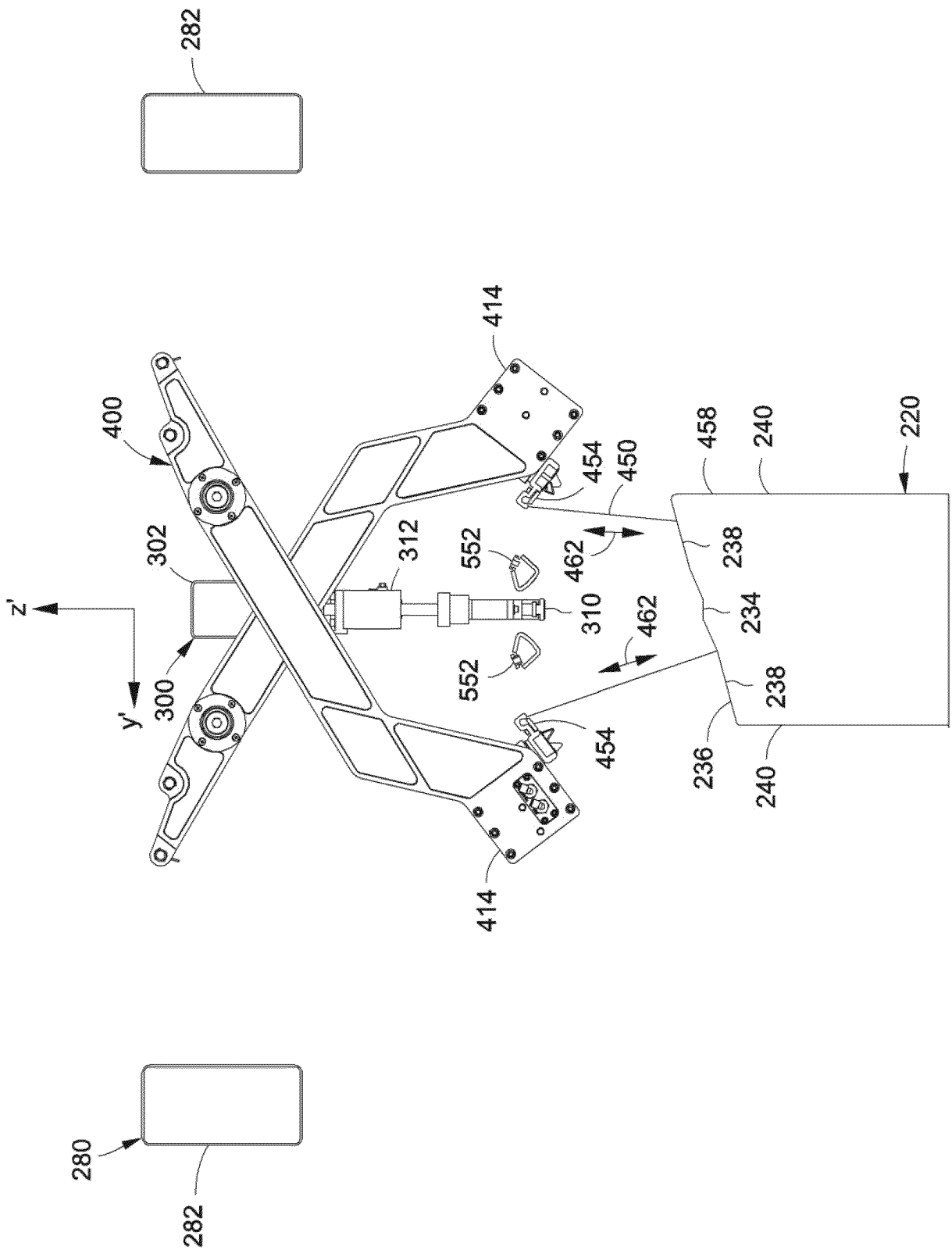


FIG. 41

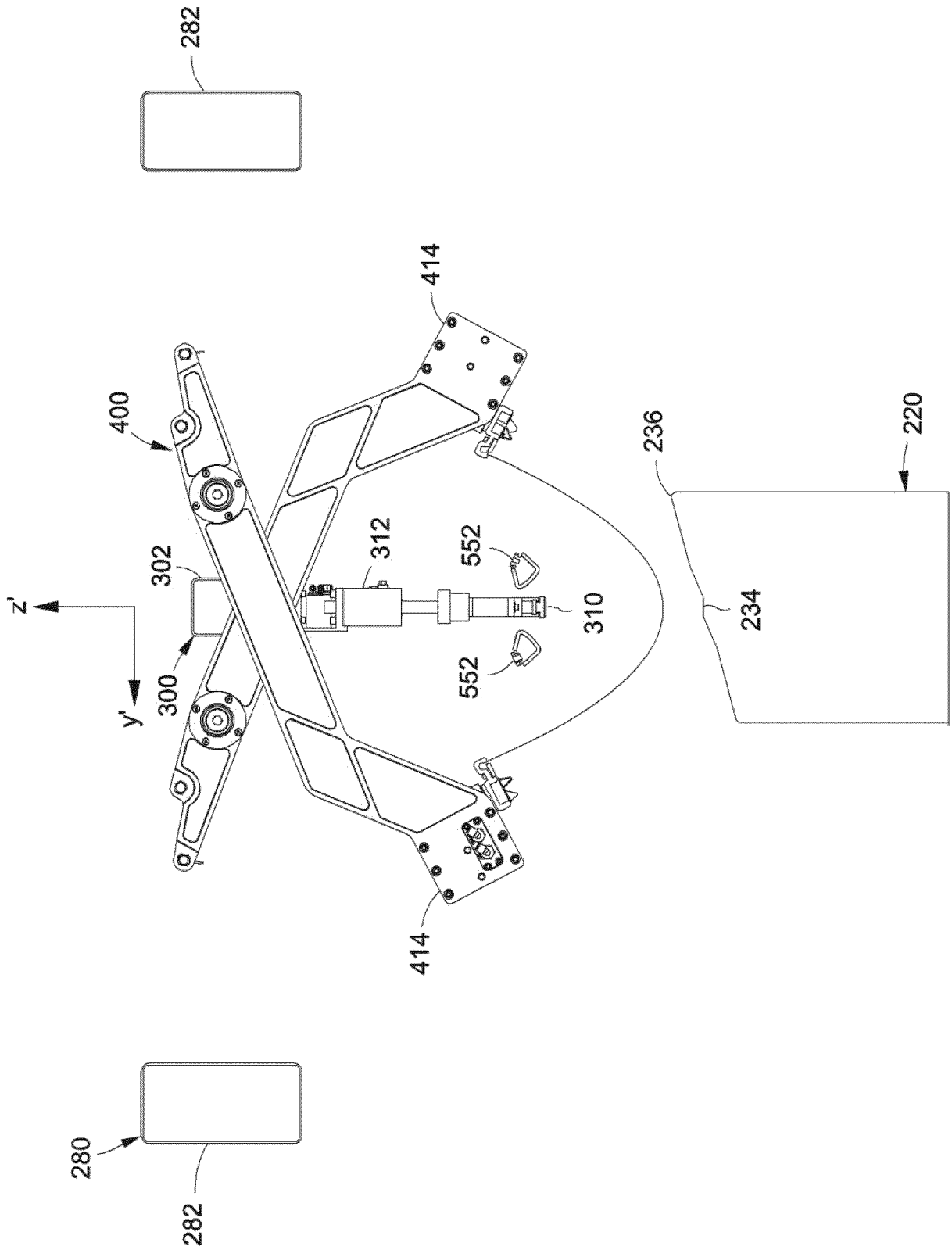
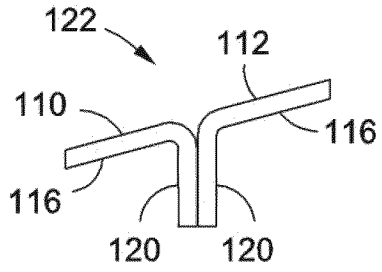
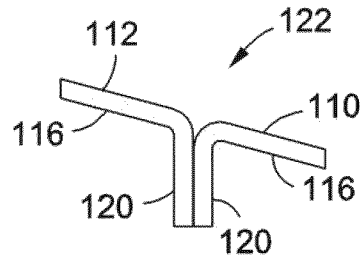


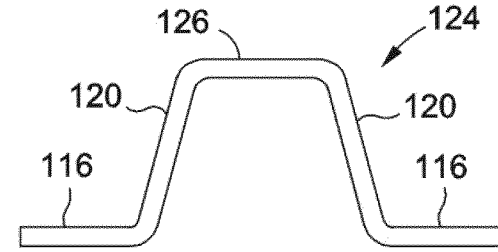
FIG. 42



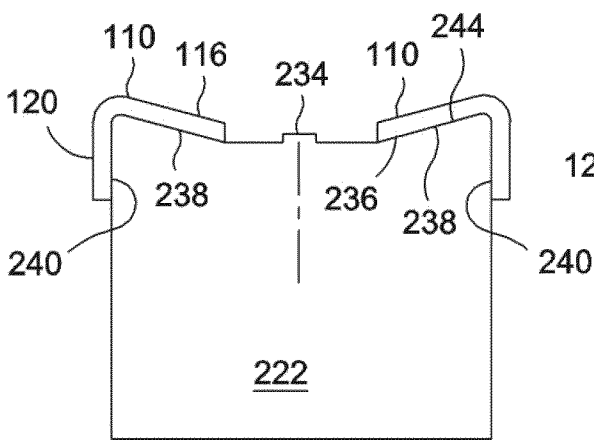
**FIG. 45**



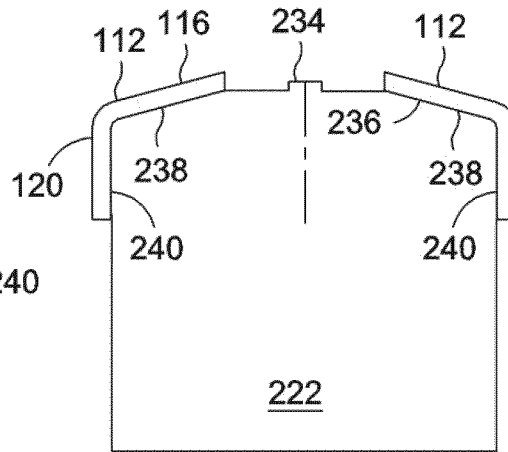
**FIG. 46**



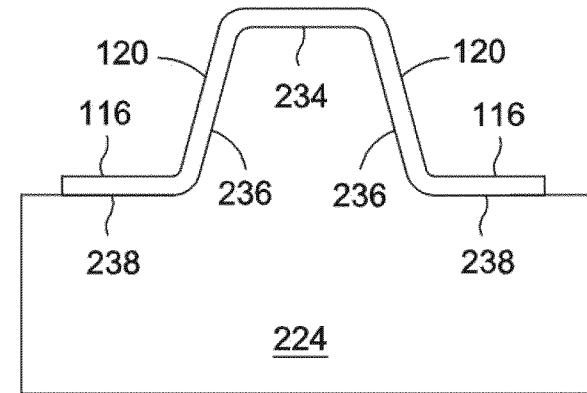
**FIG. 48**



**FIG. 43**



**FIG. 44**



**FIG. 47**

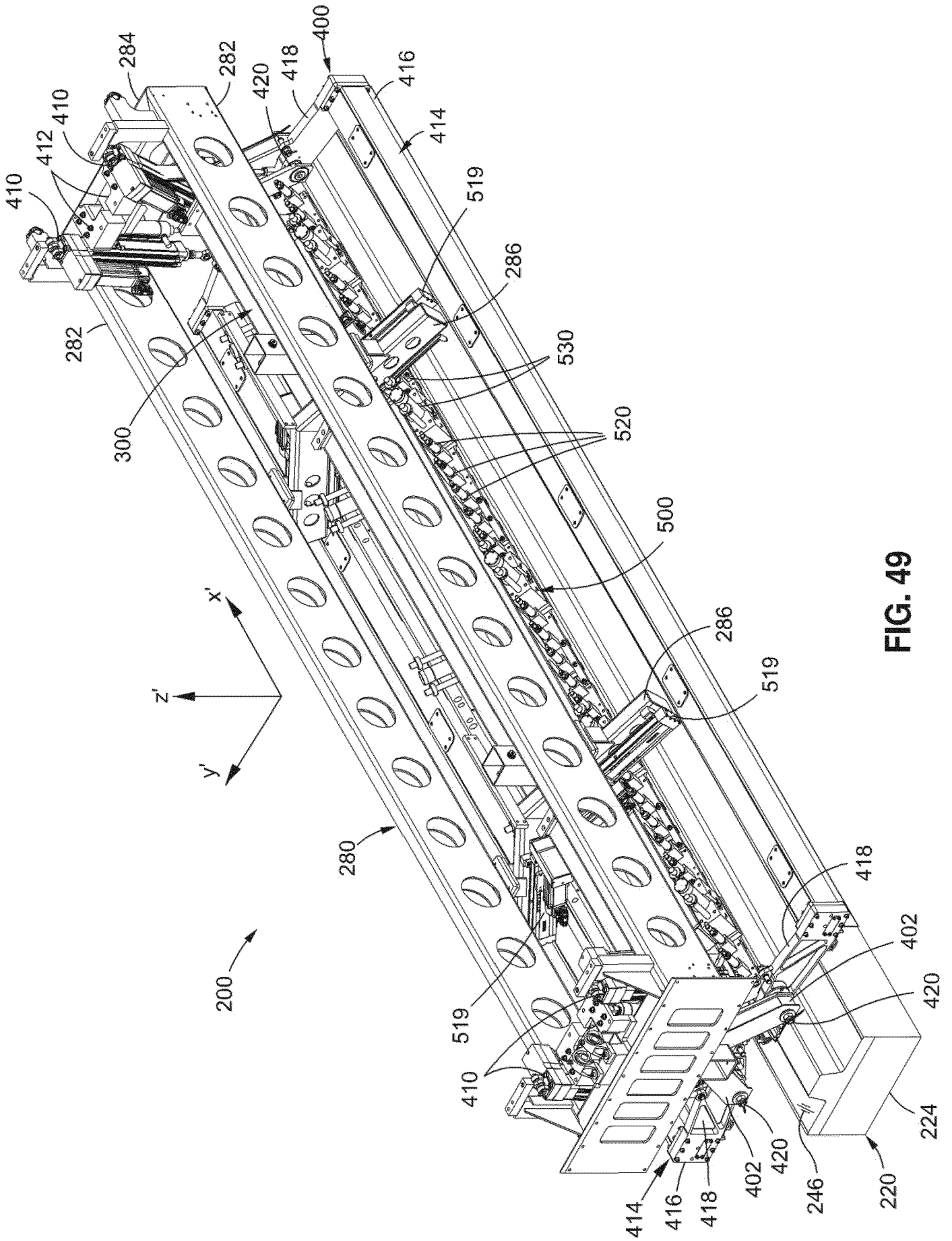


FIG. 49

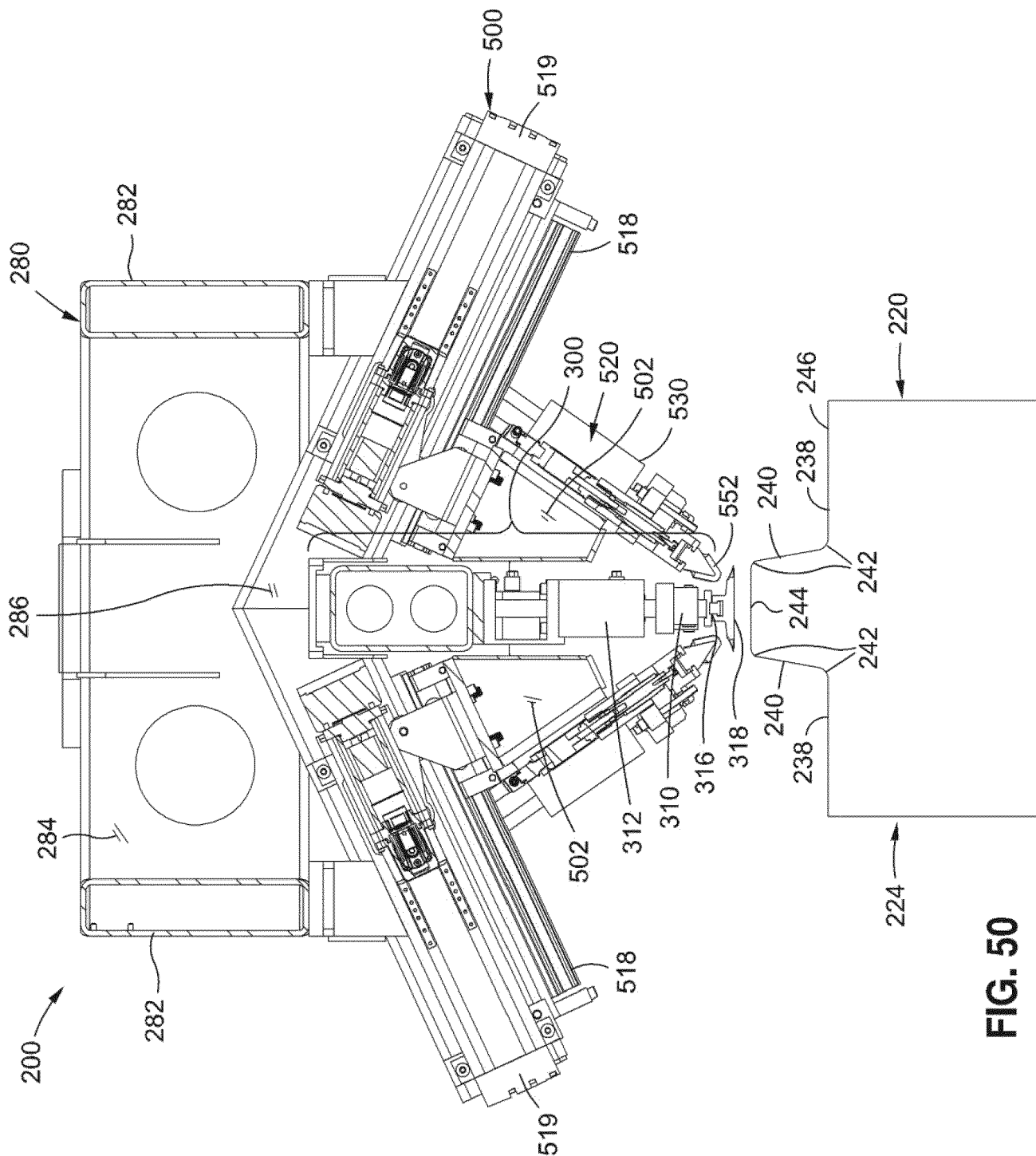


FIG. 50

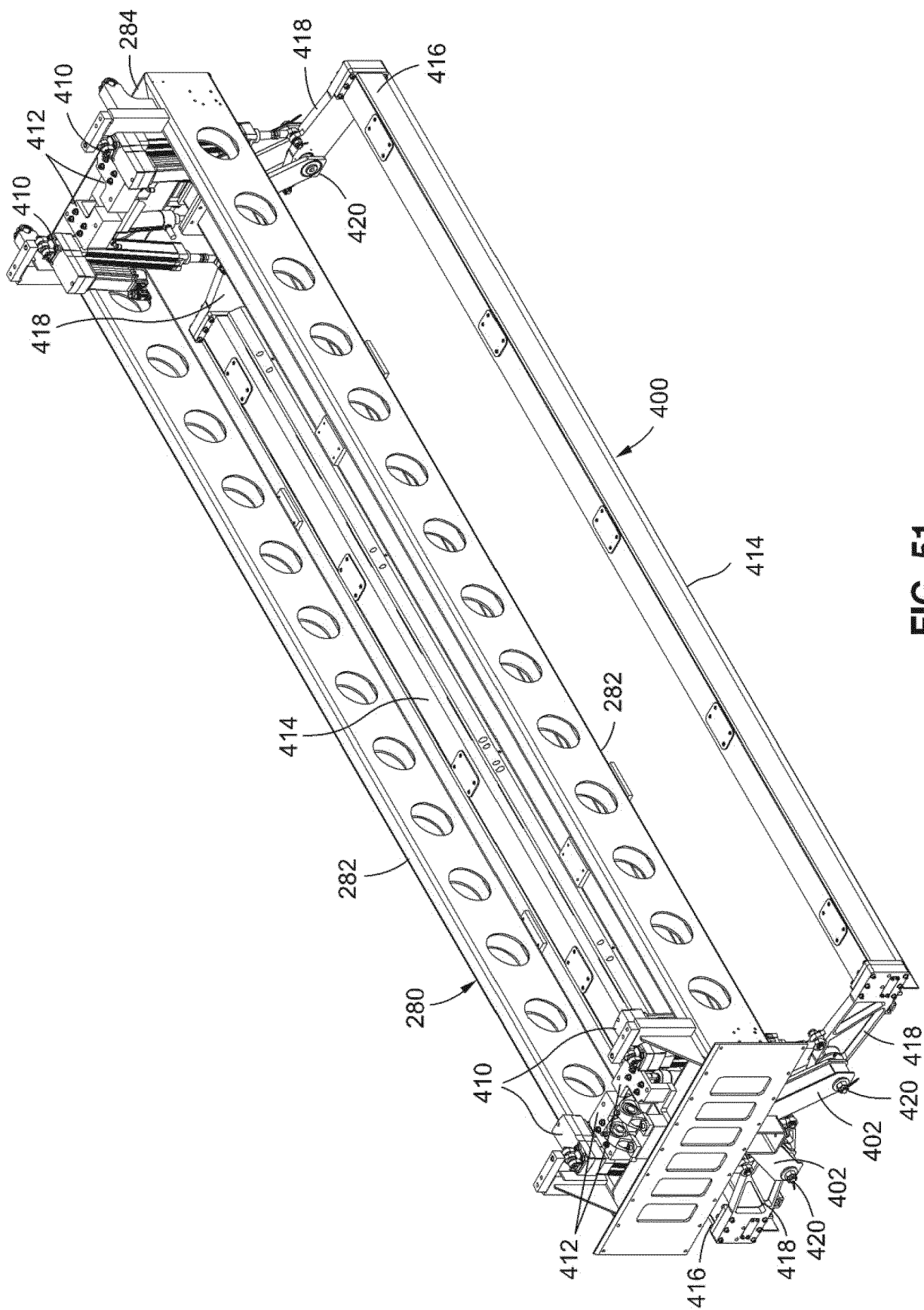


FIG. 51

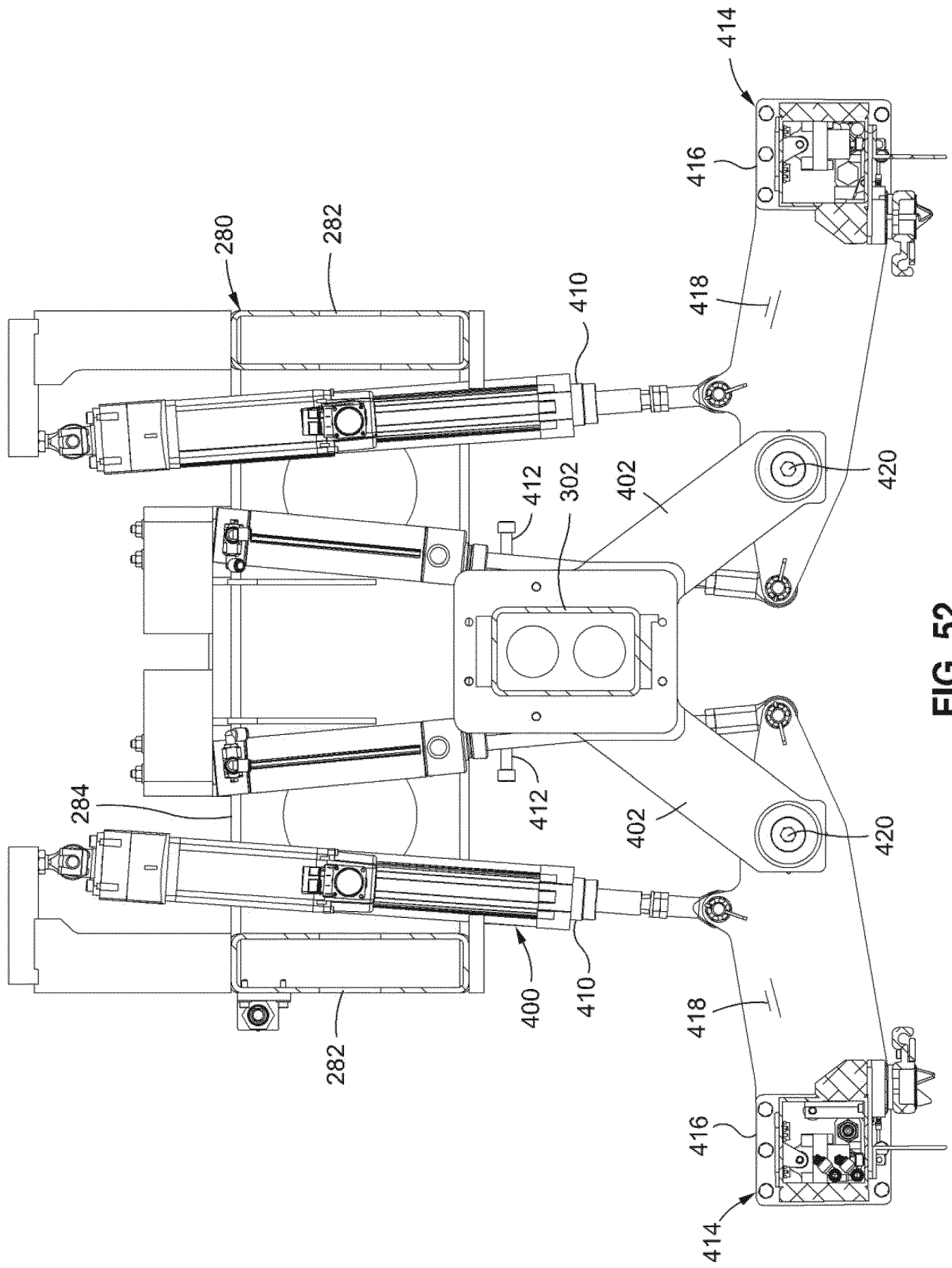


FIG. 52

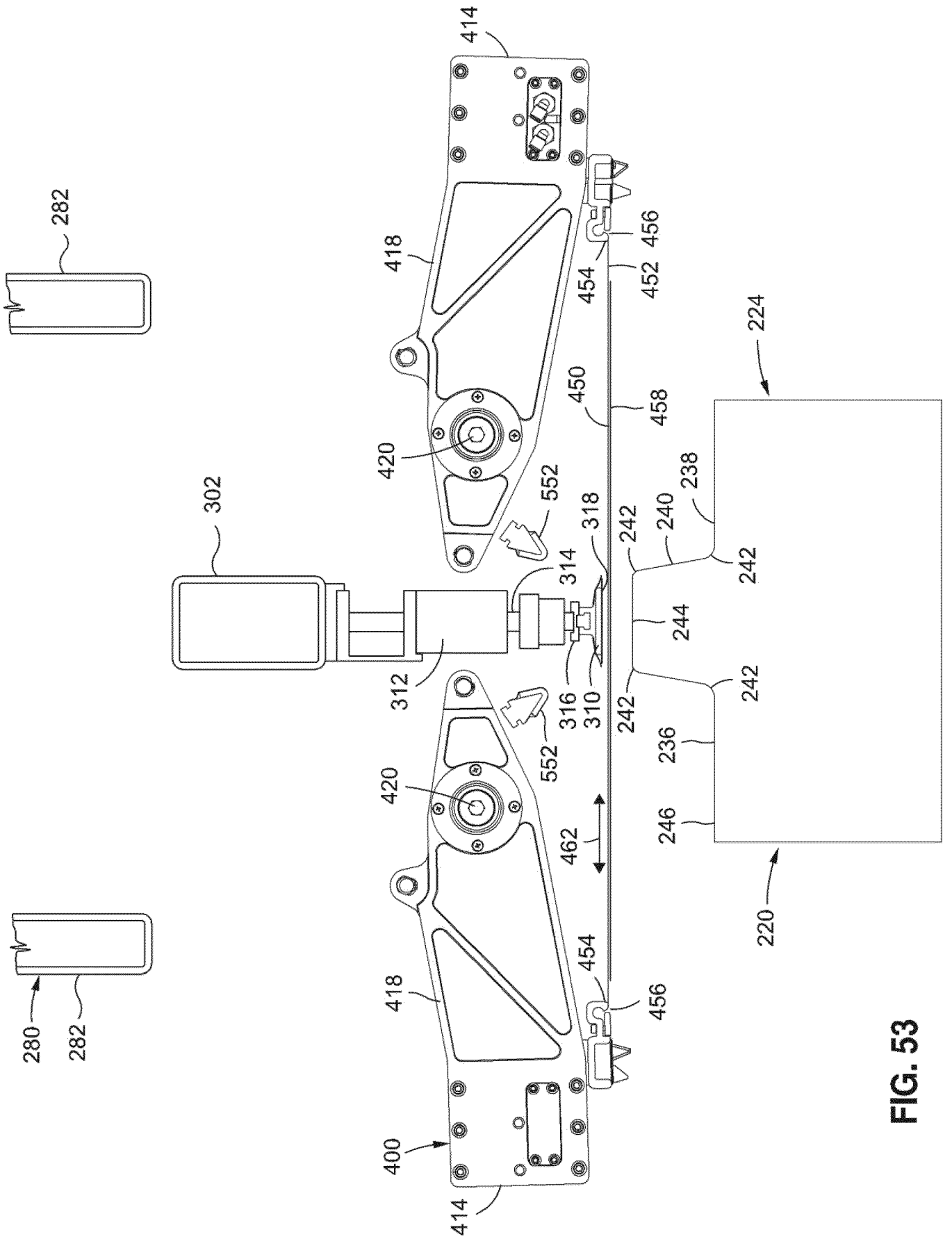


FIG. 53

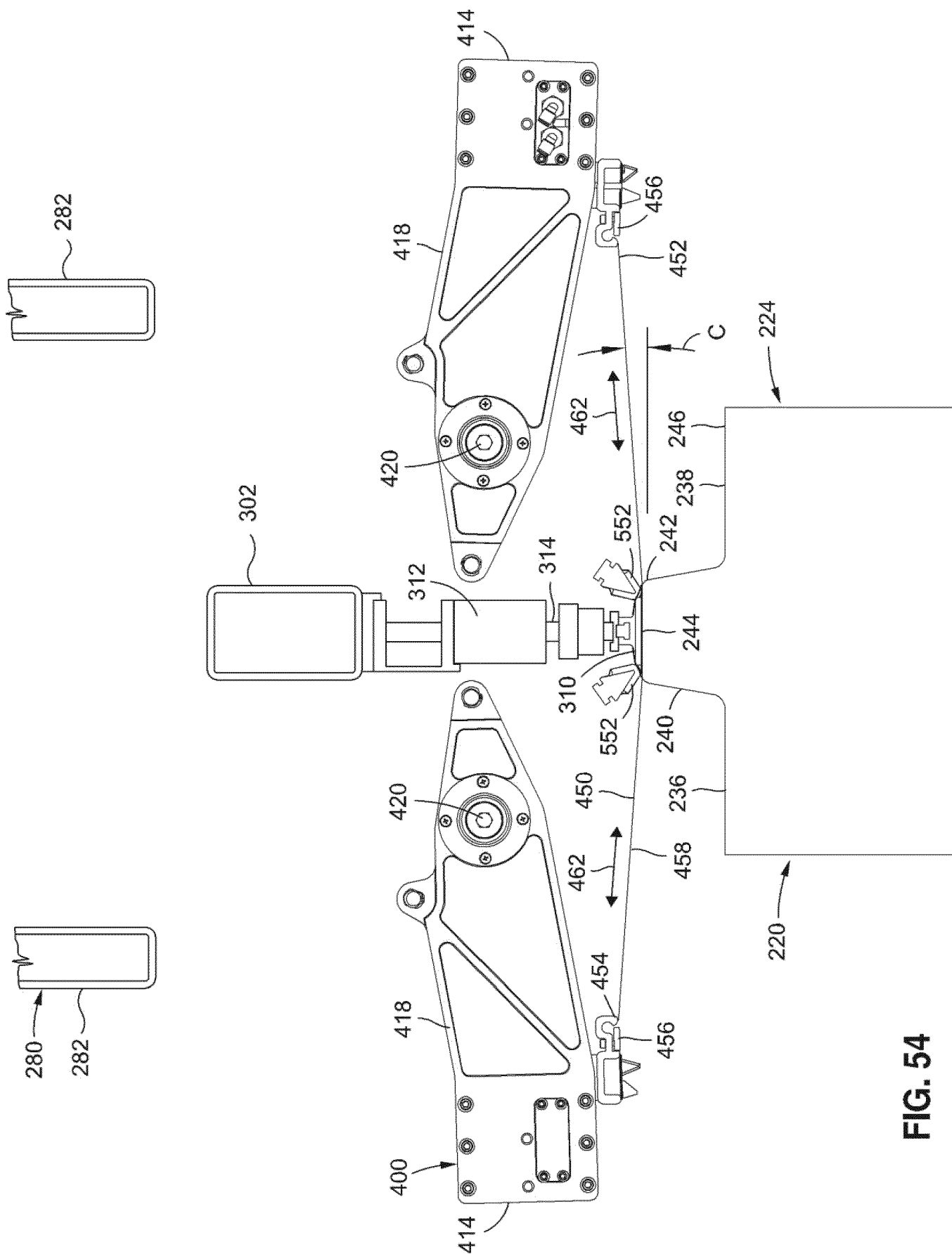


FIG. 54

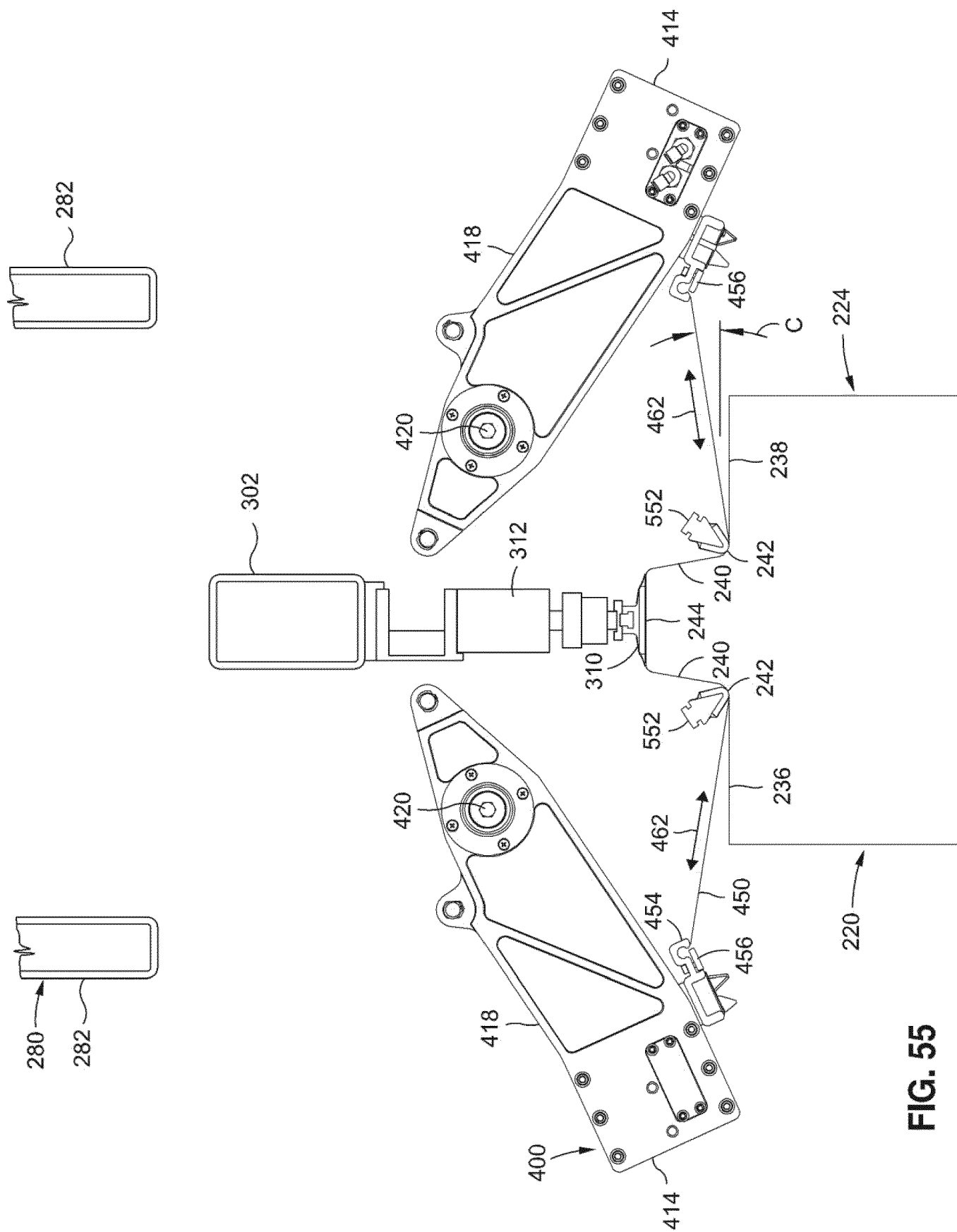


FIG. 55

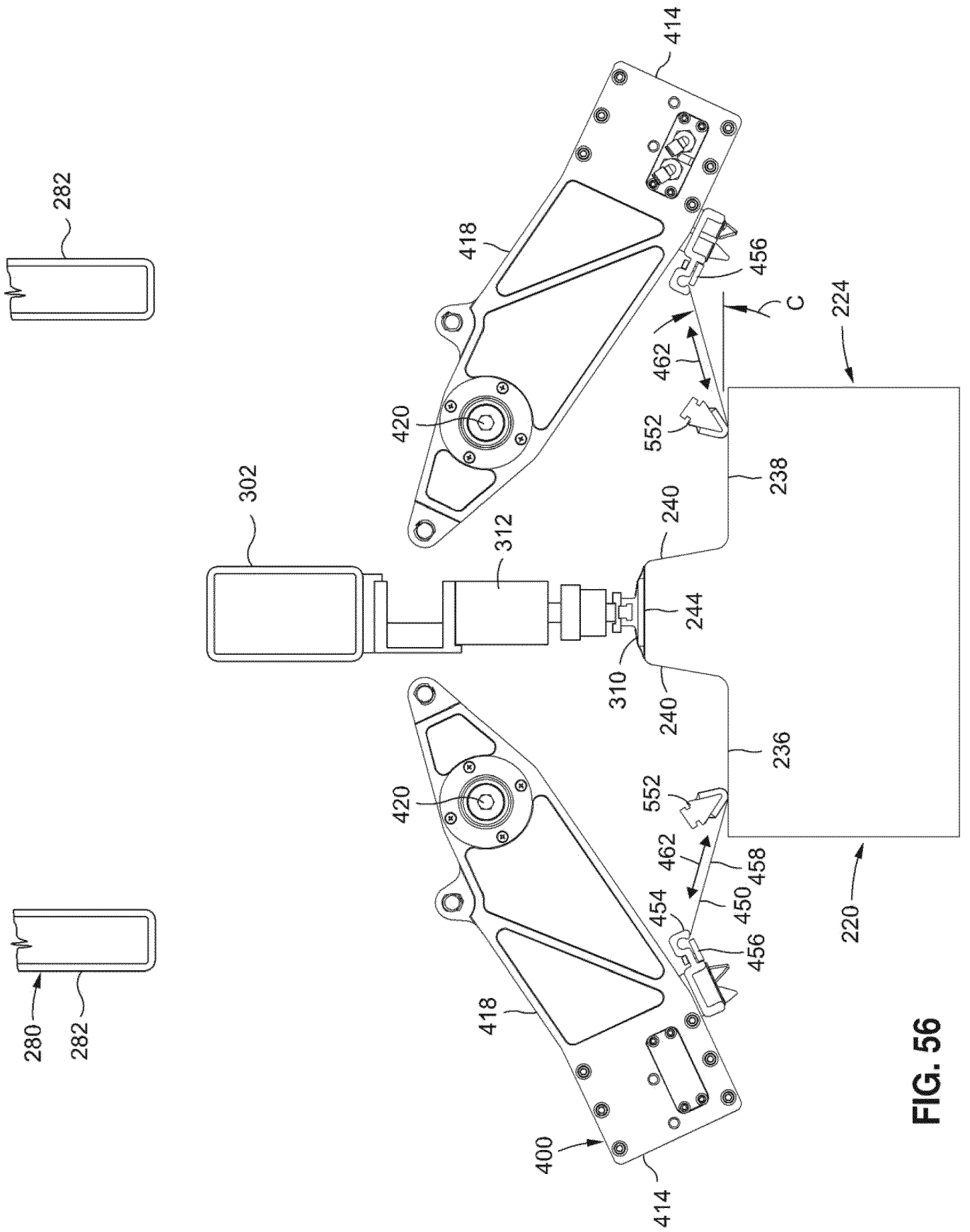


FIG. 56

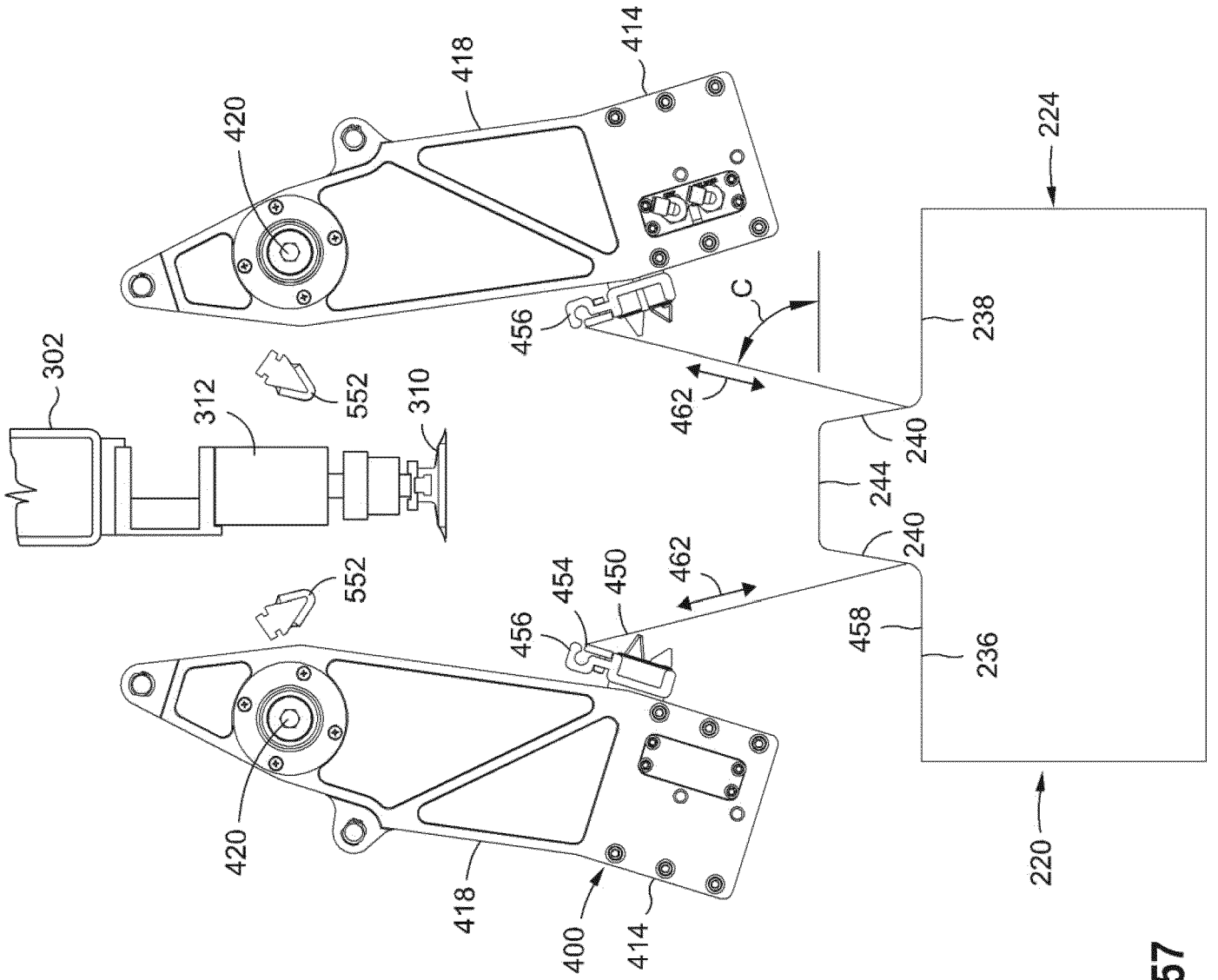


FIG. 57

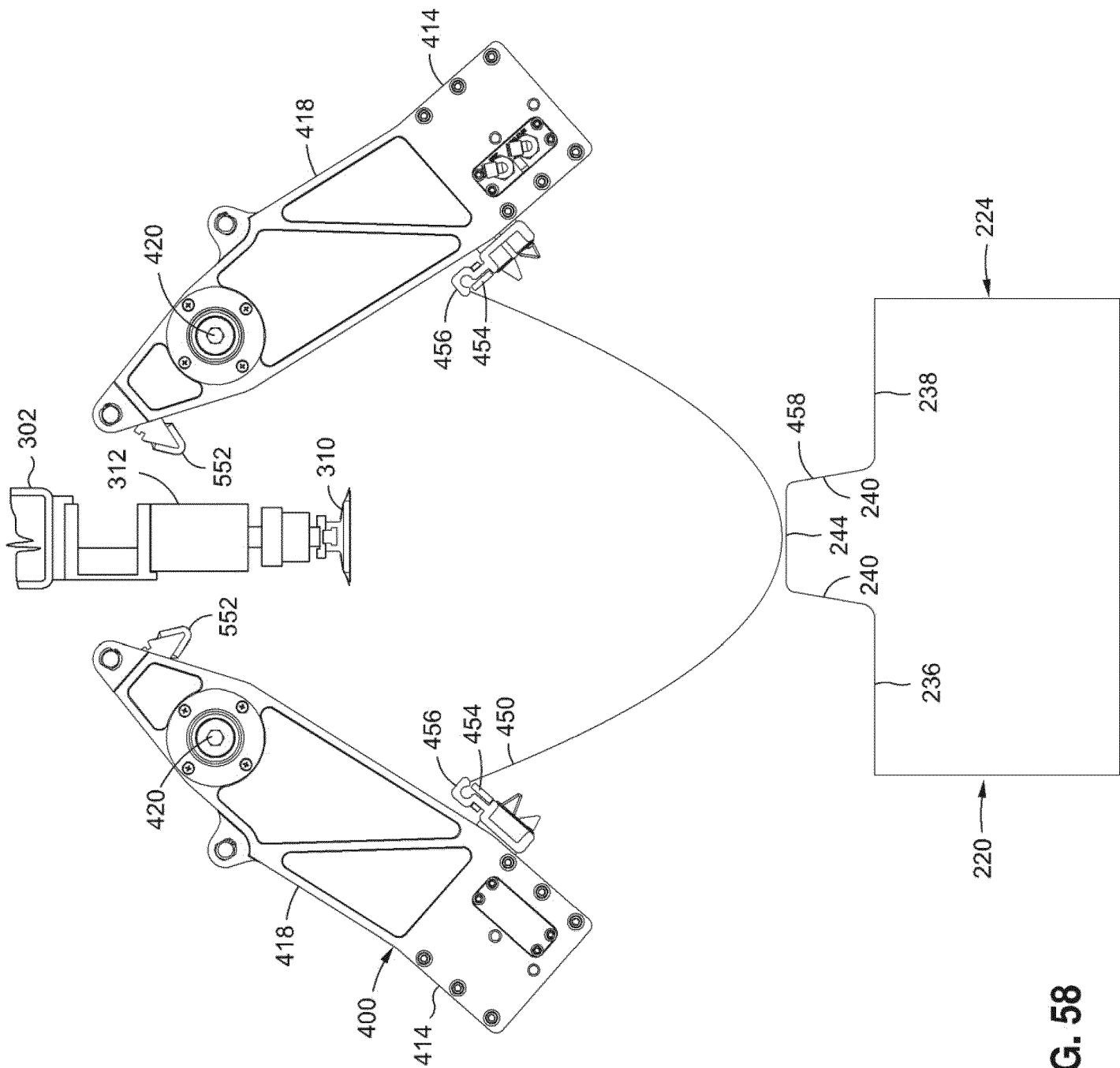


FIG. 58

RESUMO

“APARELHO PARA FORMAR UMA CAMADA DE MATERIAL SOBRE UMA FERRAMENTA DE CONFORMAÇÃO, E, MÉTODO PARA DEPOSITAR UMA CAMADA DE MATERIAL”

Um aparelho (200) para formar uma camada de material (458) sobre uma ferramenta de conformação (220) pode incluir pelo menos uma peça de nariz (552) configurada para varrer lateralmente um portador de lâmina (450) sobre o contorno de uma ferramenta de conformação (236). O aparelho (200) pode incluir um par de braços de tração (414) configurados para suportar lados laterais opostos (454) de um portador de lâmina (450) tendo uma camada de material (458) montada em uma superfície inferior (452) do mesmo. O aparelho (200) pode incluir um ou mais atuadores (406, 410) configurados para posicionar os braços de tração (414) durante a conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236). O um ou mais atuadores (406, 410) podem ser configurados para sensorear e controlar tração lateral (462) no portador de lâmina (450) durante a conformação do portador de lâmina (450) ao contorno da ferramenta de conformação (236).