

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 722 050**

51 Int. Cl.:

B29C 70/38 (2006.01)

B29C 70/54 (2006.01)

B29D 99/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2016 E 16154688 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 3067187**

54 Título: **Aparato y método para la disposición automática de estructuras compuestas**

30 Prioridad:

12.03.2015 US 201514656424

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.08.2019

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**DESJARDIEN, MATTHEW R.;
RAFFERTY, BLAKE;
KARAS, MICHAEL;
BUNKER, MARK S.;
LUND, ERIK;
HANSON, GARRETT C.;
HOLLEY, STEPHEN G.;
LEE, BENJAMIN B.;
O'CONNELL, JOHN D.;
MORRIS, JOHN D.;
FLOLID, DEREK J.;
HOWARD, BRUCE S.;
BOBERG, MARK C.;
WALKER, ERIC J.;
STUDLEY, SILAS L. y
WILLIS, DEREK**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 722 050 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato y método para la disposición automática de estructuras compuestas

Campo

5 La presente divulgación se relaciona en general con la fabricación de materiales compuestos y, más particularmente, con sistemas y métodos de disposición de estructuras compuestas.

Antecedentes

10 Las estructuras compuestas se utilizan en una amplia diversidad de aplicaciones. En la construcción de aeronaves, los materiales compuestos se utilizan en cantidades crecientes para formar el fuselaje, las alas, la sección de la cola y otros componentes. Por ejemplo, las alas de una aeronave pueden construirse con revestimientos de ala compuestos con elementos de refuerzo compuestos tales como largueros que se extienden en un sentido de la extensión a lo largo de los revestimientos de las alas. Los largueros pueden unirse a los revestimientos de las alas para aumentar la resistencia a la flexión y la rigidez de los revestimientos de las alas.

15 Los largueros pueden proporcionarse en una amplia diversidad de formas en sección transversal. Por ejemplo, se puede proporcionar un larguero como una sección en U profunda que tiene una sección transversal en forma de U profunda que incluye una parte de base y un par de bandas que se extienden a partir de la parte de base. La parte de base puede incluir un par de bridas para acoplar (por ejemplo, unir) a un miembro de revestimiento tal como un revestimiento de ala. También se puede proporcionar un larguero como un larguero de pala que tiene una sección transversal en forma de T y el cual puede formarse ensamblando un par de mitades de largueros en forma de L. Cada mitad del larguero en forma de L puede tener una brida y una banda. Las bandas de un par de mitades de largueros en forma de L se pueden unir entre sí en una relación de espalda con espalda para formar el larguero de pala. Las bridas del larguero de pala se pueden unir a un miembro del revestimiento, tal como un revestimiento de ala.

20 Los largueros compuestos pueden formarse colocando una pluralidad de capas compuestas sobre un mandril o herramienta de forma que tiene la forma final del larguero. Después de que se completa la disposición, se puede aplicar calor y/o presión para curar las capas compuestas. Los métodos actuales de disposición de capas compuestas individuales sobre una herramienta de forma se realizan manualmente o por máquina. La disposición manual es un proceso que requiere mucho tiempo y requiere una gran cantidad de personal que realiza una gran cantidad de mano de obra táctil para colocar diversas capas compuestas. La cantidad de mano de obra táctil puede ser significativa para estructuras de gran escala y altas tasas de producción. Las máquinas tales como las máquinas automatizadas de disposición de cintas (ATL) pueden reducir la cantidad de mano de obra táctil para la disposición de estructuras compuestas. Sin embargo, las máquinas ATL son en general grandes y complejas y pueden ser prohibitivamente costosas para la cantidad total de máquinas ATL que se requerirían para soportar un programa de producción a gran escala. Además, las máquinas ATL pueden requerir una gran cantidad de programación de ruta de la máquina la cual puede afectar el coste de producción y la programación.

25 Como se puede véase, existe una necesidad en la técnica de un sistema y un método para colocar capas compuestas en una herramienta de forma con una mínima mano de obra táctil y de una manera eficiente y rentable. El documento FR2791919A1 divulga un dispositivo de recogida y montaje para fabricar una pieza hecha de un material plástico reforzado en un molde. El documento DE10201105099A1 divulga una herramienta de drapeado para usar con un robot industrial para transportar y colocar paños de resina en un núcleo de forma. El documento US2014190625 divulga una pluralidad de módulos de fabricación idénticos unidos entre sí y configurables para fabricar cualquiera de una pluralidad de estructuras laminadas diferentes en una familia de estructuras que tienen características comunes.

Breve resumen

35 Las necesidades descritas anteriormente asociadas con la formación de largueros compuestos se abordan y alivian específicamente mediante la presente divulgación la cual, en una realización, proporciona un aparato para la formación automatizada de una capa de material sobre una herramienta de forma. El aparato incluye al menos una boquilla configurada para barrer lateralmente un portador de capas sobre el contorno de una herramienta de forma. El aparato incluye adicionalmente un par de brazos de tensión configurados para soportar lados laterales opuestos de un portador de capas que tiene una capa de material montada en una superficie inferior del mismo. El aparato también incluye uno o más accionadores configurados para posicionar los brazos de tensión durante la formación del portador de capas al contorno de la herramienta de forma. El uno o más accionadores están configurados para detectar y controlar la tensión lateral en el portador de capas durante la formación del portador de capas al contorno de la herramienta de forma.

40 En una realización adicional, se divulga un aparato de formación de largueros para la disposición de un curso de material compuesto en una herramienta de forma. El aparato puede incluir un sistema de manejo de tensión que tiene un par de brazos de tensión configurados para soportar lados laterales opuestos de un portador de capas que tiene un curso montado en él. El sistema de manejo de tensión puede incluir uno o más accionadores configurados para detectar y controlar la tensión lateral en el portador de capas durante la formación hasta un contorno de la herramienta de forma. El aparato puede incluir además un sistema de pedal que tiene una disposición de accionadores de pie de

pedal configurados para sujetar el portador de capas en la herramienta de forma. El aparato también puede incluir un sistema de formación que tiene una disposición de módulos de formación, cada uno de los cuales incluye una boquilla configurada para formar el portador de capas al contorno de la herramienta de forma y detectar la presión de compactación de control aplicada por la boquilla en el portador de capas.

- 5 También se divulga un método para la disposición de una capa de material. El método incluye colocar un portador de capas sobre una herramienta de forma. Una capa de material está montada en una superficie inferior del portador de capas. El método incluye además conformar el portador de capas a un contorno de la herramienta de forma. Además, el método incluye mantener la tensión lateral en el portador de capas dentro de un rango predeterminado durante la formación del portador de capas al contorno de la herramienta de forma, que comprende soportar el portador de capas en los lados laterales opuestos utilizando un par de brazos de tensión accionados por uno o más accionadores, contrarrestando la masa de los brazos de tensión, detectar, utilizando uno o más accionadores, la tensión lateral en el portador de capas con base en la fuerza que permanece en los brazos de tensión después de contrabalancear la masa, y ajustar, utilizando el uno o más accionadores, la posición de los brazos de tensión de tal manera que mantenga la tensión lateral con el rango predeterminado.
- 10
- 15 Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden lograr independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en aún otras realizaciones, cuyos detalles adicionales se pueden véase con referencia a la siguiente descripción y dibujos a continuación.

Breve descripción de los dibujos

- 20 Estas y otras características de la presente divulgación se harán más evidentes con referencia a los dibujos en donde números similares se refieren a partes similares en todas partes y en donde:

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una aeronave;

la Figura 2 es una vista lateral de un larguero de un ala de aeronave;

- 25 la Figura 3 es una vista en sección transversal de un larguero de pala tomado a lo largo de la línea 3 de la Figura 2 y que ilustra una sección transversal en forma de T del larguero de pala formado al ensamblar un par de mitades de largueros en la disposición espalda con espalda entre sí y ensamblado con una carga base;

la Figura 4 es una vista en sección transversal del larguero de pala tomado a lo largo de la línea 4 de la Figura 2 e ilustra la brida del larguero orientada en un ángulo de brida no perpendicular con respecto a la red;

- 30 la Figura 5 es una vista en sección transversal del larguero de pala tomado a lo largo de la línea 5 de la Figura 2 e ilustra las bridas del larguero orientadas en un ángulo de brida aumentado con respecto al ángulo de brida de la Figura 4;

la Figura 6 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un aparato de formación de largueros para la disposición automatizada de una estructura compuesta, tal como un larguero de pala o un larguero de sección en U profunda;

- 35 la Figura 7 es una vista en perspectiva de un sistema de formación de largueros que incluye un aparato de formación de largueros para formar un larguero de pala y el cual puede moverse a lo largo de un carril de formación de largueros para la disposición secuencial de capas compuestas en una herramienta de forma;

la Figura 8 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un aparato de formación de largueros configurado para moverse a lo largo de un par de rieles de coche;

la Figura 9 es una vista lateral del aparato de formación de largueros de la Figura 8 e ilustra un marco de cuerda;

- 40 la Figura 10 es una vista lateral del marco de cuerda orientado en un ángulo de inclinación que en general coincide con un ángulo local de la herramienta de forma;

la Figura 11 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 8 montado sobre una herramienta de forma de pala para formar un larguero de pala;

- 45 la Figura 12 es una vista en sección transversal de la mesa de herramientas y la herramienta de forma de pala tomada a lo largo de la línea 12 de la Figura 7 e ilustra el contorno de brida de la herramienta de forma de pala orientada perpendicularmente con respecto al contorno de banda en lados opuestos de la herramienta de forma de pala;

la Figura 13 es una vista en sección transversal de la mesa de herramientas y la herramienta de forma de pala tomada a lo largo de la línea 13 de la Figura 7 e ilustra el contorno de brida de la herramienta de forma de pala orientada a un ángulo de brida no perpendicular con respecto al contorno de banda orientado verticalmente de la herramienta de forma de pala;

- 50 la Figura 14 es una vista en sección transversal de la mesa de herramientas y la herramienta en forma de pala tomada a lo largo de la línea 14 de la Figura 7 e ilustra el contorno de brida orientado en un ángulo de brida aumentado con relación al ángulo de brida que se muestra en la Figura 13;

- la Figura 15 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema de pedal, un sistema de manejo de tensión y un sistema de formación ensamblado al marco de cuerda;
- la Figura 16 es una vista superior del sistema de pedal, el sistema de manejo de tensión y el sistema de formación de la Figura 15 ensamblados en el marco de cuerda;
- 5 la Figura 17 es una vista lateral del sistema de pedal, el sistema de manejo de tensión y el sistema de formación montados en el marco de cuerda;
- la Figura 18 es una vista del extremo del sistema de pedal, el sistema de manejo de tensión y el sistema de formación montados en el marco de cuerda;
- 10 la Figura 19 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema de manejo de tensión que incluye un brazo de tensión y un accionador de posición vertical y un accionador de posición de rotación y el cilindro de contrabalanceo vertical correspondiente y el cilindro de contrabalanceo rotativo;
- la Figura 20 es una vista de extremo del sistema de manejo de tensión de la Figura 19;
- la Figura 21 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema de pedal configurado para sujetar un portador de capas y una capa de material en la herramienta de forma;
- 15 la Figura 22 es una vista lateral del sistema de pedal de la Figura 21;
- la Figura 23 es una vista en perspectiva de una disposición de accionadores de pie de pedal soportados por una viga de pedal;
- la Figura 24 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema de formación para formar un portador de capas y una capa de material al contorno de la herramienta de forma y el cual puede incluir un par de vigas de formación, cada una para soportar una disposición de módulos de formación;
- 20 la Figura 25 es una vista superior del sistema de formación de la Figura 24;
- la Figura 26 es una vista lateral del sistema de formación de la Figura 24;
- la Figura 27 es una vista de extremo del sistema de formación de la Figura 24 e ilustra un módulo de formación montado en cada una de las vigas de formación;
- 25 la Figura 28 es una vista en perspectiva de un módulo de formación que incluye un cilindro de fuerza vertical y un cilindro de fuerza lateral para accionar una boquilla;
- la Figura 29 es una vista lateral de un módulo de formación con una placa lateral retirada para ilustrar un enlace que interconecta un cilindro de fuerza lateral a un soporte deslizante lateralmente que soporta la boquilla;
- la Figura 30 es una vista lateral de un módulo de formación con el cilindro de fuerza vertical en una posición retraída;
- 30 la Figura 31 es una vista lateral del módulo de formación con el cilindro de fuerza vertical en una posición extendida;
- la Figura 32 es una ilustración de un diagrama de flujo de una o más operaciones que pueden incluirse en un método de disposición de un larguero;
- la Figura 33 es una vista de extremo de un ejemplo de un aparato de formación de largueros para formar un larguero de pala y que muestra el sistema de manejo de tensión, el sistema de pedal y el sistema de formación en sus respectivas posiciones iniciales antes del inicio del proceso de formación de formar un portador de capas en una herramienta de forma de pala;
- 35 la Figura 34 es una vista de un extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra los accionadores de pie de pedal extendidos en contacto con el portador de capas;
- la Figura 35 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra el pie pedal que captura el portador de capas contra la herramienta de forma de pala;
- 40 la Figura 36 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra las piezas de boquilla en los lados izquierdo y derecho del centro de referencia que conforman el portador de capas contra los contornos de brida en los lados opuestos de la herramienta de forma de pala;
- 45 la Figura 37 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 después de que las piezas de boquilla de los lados izquierdo y derecho del centro de referencia hayan alcanzado los respectivos puntos de transición de radio en los lados opuestos de la herramienta de forma de pala;
- la Figura 38 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra los brazos de tensión girados hacia abajo;

- la Figura 39 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra una rotación adicional de los brazos de tensión cuando las piezas de boquilla conforman el portador de capas al contorno de banda en lados opuestos de la herramienta de forma de pala;
- 5 la Figura 40 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra los brazos de tensión desplazados hacia arriba y el portador de capas desprendido de los contornos de banda de la herramienta de forma de pala;
- la Figura 41 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 que muestra una traslación hacia arriba adicional de los brazos de tensión cuando el portador de capas se desprende de los contornos de brida de la herramienta de forma de pala;
- 10 la Figura 42 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 33 después de que el portador de capas se desprende de la herramienta de forma de pala;
- las Figuras 43-44 son vistas en sección transversal de herramientas de forma de pala simétricas para formar respectivamente un par de primera y segunda mitades de largueros;
- 15 las Figuras 45-46 son vistas en sección transversal de largueros de palas, cada una ensamblada a partir de una primera mitad de largueros y una segunda mitad de largueros;
- la Figura 47 es una vista en sección transversal de una herramienta con forma de sección en U profunda para colocar un larguero de sección en U profunda;
- la Figura 48 es una vista en sección transversal de un larguero de sección en U profunda el cual puede formarse usando un aparato de formación de largueros descrito en este documento;
- 20 la Figura 49 es una vista en perspectiva de un ejemplo adicional de un aparato de formación de largueros;
- la Figura 50 es una vista de extremo tomada a lo largo de la línea 50 de la Figura 49 e ilustra el aparato de formación de largueros montado sobre una herramienta con forma de sección en U profunda para formar un larguero de sección en U profunda como se muestra en la Figura 48;
- 25 la Figura 51 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema de manejo de tensión del aparato de formación de largueros de la Figura 49 y que incluye un par de brazos de tensión cada uno tiene un accionador de posición de rotación y un cilindro de contrabalanceo rotativo en cada extremo de cada brazo de tensión;
- la Figura 52 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea 52 de la Figura 51 e ilustra el par de brazos de tensión que tienen cada uno un accionador de posición de rotación y un cilindro de contrabalanceo rotativo en cada extremo de cada brazo de tensión;
- 30 la Figura 53 es una vista de extremo de un ejemplo de un aparato de formación de largueros que muestra el sistema de manejo de tensión, el sistema de pedal y las piezas de boquilla en sus respectivas posiciones iniciales antes del inicio del proceso de formación de un portador de capas en una herramienta de forma de sección en U profunda;
- 35 la Figura 54 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 53 que muestra los accionadores del pie de pedal que capturan el portador de capas contra la herramienta de forma de sección en U profunda y las piezas de boquilla extendidas en contacto con el portador de capas;
- la Figura 55 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 53 después de formar el portador de capas a los contornos de banda en lados opuestos de la herramienta de forma de sección en U profunda y que muestra las piezas de boquilla que han alcanzado el radio interior en cada lado de la herramienta de forma de sección en U profunda;
- 40 la Figura 56 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 53 después de que las piezas de boquilla hayan formado el portador de capas a los contornos de brida en los lados opuestos de la herramienta con forma de sección en U profunda;
- la Figura 57 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 53 que muestra los brazos de tensión girados y desplazados hacia arriba haciendo que el portador de capas se desprenda de la herramienta con forma de sección en U profunda; y
- 45 la Figura 58 es una vista de extremo del aparato de formación de largueros de la Figura 53 que muestra el portador de capas desprendido de la herramienta de forma de sección en U profunda.

Descripción detallada

- 50 Con referencia ahora a los dibujos en donde las presentaciones tienen el propósito de ilustrar las realizaciones preferidas y diversas de la divulgación, en la Figura 1 se muestra una aeronave 100 que tiene un fuselaje 102 y una sección de cola. La aeronave 100 puede incluir un par de alas 104 que se extienden hacia afuera a partir del fuselaje

102. El fuselaje 102, las alas 104 y/o la sección de cola pueden estar formadas de material compuesto y pueden incluir componentes de refuerzo tales como largueros 106 compuestos para aumentar la rigidez de flexión y/o la resistencia de los miembros de revestimiento que cubren el fuselaje 102, las alas 104 y la sección de cola. Por ejemplo, el ala 104 puede incluir una pluralidad de largueros 106 en sentido de la extensión que se extienden a lo largo de una sección de raíz interior de cada ala 104 a una sección de punta exterior para aumentar la rigidez a la flexión y la resistencia del revestimiento del ala.

La Figura 2 es una vista lateral de un ejemplo de un larguero 122 de pala en forma de T formado con un aparato 200 de formación de largueros (Figura 6) y un método divulgado en este documento. El larguero 122 de pala puede tener una curvatura en sentido de la extensión la cual puede coincidir con la curvatura en sentido de la extensión del revestimiento del ala. Las Figuras 3 a 5 ilustran la variación en la forma de la sección transversal del larguero 122 de pala en diferentes ubicaciones a lo largo de la extensión del larguero 106 a partir de la sección de raíz interior hasta la sección de punta exterior. La Figura 3 muestra una sección transversal del larguero 122 de pala en la sección de la raíz que muestra la sección transversal en forma de T la cual se puede formar al ensamblar un par de mitades de larguero 108 en forma de L espalda con espalda con una carga 114 de base que cubre las bridas 116. En la Figura 3, la brida 116 de cada una de las mitades 108 de los largueros está orientada perpendicularmente a una banda 120 de cada una de las mitades 108 de los largueros. La Figura 4 muestra las bridas 116 del larguero 122 de pala orientadas en un ángulo 118 de la brida no perpendicular con respecto a las bandas 120. La Figura 5 muestra las bridas 116 del larguero 122 de pala orientadas en un ángulo 118 de brida creciente con respecto a la Figura 4.

Las Figuras 2 a 5 representan ejemplos no limitativos de la curvatura en sentido de la extensión y la variación en la forma de la sección transversal que pueden incluirse en una estructura compuesta colocada usando el aparato 200 de formación de largueros (Figura 6) y el método descrito en este documento. Aunque el aparato 200 de formación de largueros y el método se describen en el contexto de la disposición de un larguero 122 de pala tal como para un ala 104 (Figura 1) de una aeronave 100 (Figura 1), el aparato 200 de formación de largueros y el método pueden implementarse para formar estructuras compuestas de cualquier tamaño, forma y configuración, sin limitación. Además, el aparato 200 de formación de largueros y el método no se limitan a formar estructuras compuestas de longitud extendida o que tienen una alta relación de aspecto de longitud a anchura tal como el ejemplo de largueros 106 descrito en este documento. A este respecto, el aparato 200 de formación de largueros y el método pueden implementarse para colocar estructuras compuestas relativamente pequeñas y/o colocar estructuras compuestas que pueden tener una relación de aspecto longitud a anchura relativamente pequeña.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un aparato 200 de formación de largueros. El aparato 200 de formación de largueros puede incluir un conjunto 262 de marco configurado para soportar uno o más componentes del aparato 200 de formación de largueros. Por ejemplo, el conjunto 262 de marco puede incluir un marco 280 de cuerda que puede configurarse para soportar un sistema 300 de pedal, un sistema 400 de manejo de tensión y un sistema 500 de formación, todos los cuales pueden operarse de manera coordinada para instalar uno o más cursos 460 de material (por ejemplo, capas compuestas) sobre un mandril o herramienta 220 de forma. La herramienta 220 de forma puede apoyarse en una superficie tal como una mesa 246 de herramientas. El marco 280 de cuerda puede montarse en el conjunto 262 de marco por uno o más accionadores Z 288. En una realización, un par de accionadores Z 288 pueden ubicarse en cada uno de los extremos opuestos del marco 280 de cuerda. Los accionadores Z 288 pueden configurarse para ajustar la posición vertical de cada extremo del marco 280 de cuerda con respecto a la herramienta 220 de forma. Los accionadores Z 288 también pueden ser operados para variar el ángulo de inclinación del marco 280 de cuerda para que coincida con el ángulo local en una ubicación dado el sentido de la extensión de la herramienta 220 de forma para facilitar la disposición de un curso 460 de material compuesto en la herramienta 220 de forma.

En la Figura 6, el aparato 200 de formación de largueros puede incluir el sistema 300 de pedal para sujetar un portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma antes del inicio del proceso de formación. El portador 450 de capas incluye una capa 458 de material (por ejemplo, un curso de material compuesto) montado o unido a una superficie inferior del portador 450 de capas. La capa 458 de material puede estar formada por cualquier material sin limitación. Por ejemplo, la capa 458 de material puede ser un curso 460 de material compuesto tal como una capa compuesta previamente impregnada de material de matriz de polímero reforzado con fibra (por ejemplo, material previamente impregnado) tal como material previamente impregnado de fibra de carbono epoxi. El curso 460 puede estar formado por cualquier tipo de material compuesto que incluye, pero no se limita a, cinta unidireccional, tela unidireccional, tela tejida, esterilla de fibra cortada y cualquiera de una diversidad de otras formas de fibra.

En cualquiera de las realizaciones del aparato 200 de formación de largueros descritas en el presente documento, el portador 450 de capas puede estar formado por un material que tiene un mayor grado o módulo de elasticidad (por ejemplo, capacidad de estiramiento en el plano) a lo largo de una dirección longitudinal del portador 450 de capas en relación con la capacidad de estiramiento en el plano o el módulo de elasticidad del portador 450 de capas a lo largo de la dirección lateral. Por ejemplo, el portador 450 de capas puede estar formado por un látex y un material de tela configurado para ser estirable o elástico en la dirección longitudinal y no estirable o no elástico en la dirección lateral. Como se indicó anteriormente, las piezas 552 de boquilla se mueven en general a lo largo de una dirección lateral al conformar el portador 450 de capas y la capa 458 de material a la herramienta 220 de forma. El módulo de elasticidad más elevado o la mayor rigidez en el plano del portador 450 de capas lateral a lo largo de la dirección lateral paralela a la dirección del barrido de la pieza 552 de boquilla, puede impedir que la presión de compactación de las piezas 552

de boquilla de arrastre distorsione el portador 450 de capas y la capa 458 de material. La mayor capacidad de estiramiento del portador 450 de capas a lo largo de la dirección longitudinal puede permitir que el aparato 200 de formación de largueros se ajuste el portador 450 de capas y la capa 458 de material a la curvatura en sentido de la extensión en el contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 12) sin la aparición de distorsión, arrugas o pliegues en la capa 458 de material.

En la Figura 6, el sistema 300 de pedal puede incluir una viga 302 de pedal la cual puede ser accionada por uno o más accionadores 304 de viga de pedal. Los accionadores 304 de viga de pedal pueden operarse para posicionar verticalmente la viga 302 de pedal en relación con el marco 280 de cuerda durante el proceso de formación. En un ejemplo, cada uno de los extremos opuestos de la viga 302 de pedal se puede acoplar a un extremo correspondiente del marco 280 de cuerda a través de un accionador 304 de viga de pedal. El sistema 300 de pedal puede incluir una disposición de accionadores de pie 310 de pedal montados a la viga 302 de pedal. Cada uno de los accionadores 312 de pie de pedal puede incluir un pie 310 de pedal. Los accionadores 312 de pie de pedal pueden operarse de manera coordinada para sujetar el portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma y bloquear la posición del portador 450 de capas contra el movimiento durante el proceso de formación.

El aparato 200 de formación de largueros (Figura 6) puede incluir el sistema 400 de manejo de tensión el cual puede montarse en el marco 280 de cuerda y puede configurarse para colocar y gestionar la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas (Figura 6) durante el proceso de formación. El sistema 400 de manejo de tensión puede incluir uno o más brazos 414 de tensión, cada uno de los cuales soporta uno de los lados 454 laterales opuestos (Figura 20) del portador 450 de capas. El sistema 400 de manejo de tensión puede incluir uno o más accionadores para ajustar la posición vertical y/o la posición angular de los brazos 414 de tensión en relación con el marco 280 de cuerda (Figura 6). Por ejemplo, cada extremo de cada uno de los brazos 414 de tensión incluye un accionador 406 de posición vertical de brazo de tensión que acopla el extremo del brazo 414 de tensión al marco 280 de cuerda. Los accionadores 406 de posición vertical de brazo de tensión (Figura 6) pueden configurarse para ajustar la posición vertical del brazo 414 de tensión en relación con el marco 280 de cuerda. El sistema 400 de manejo de tensión puede incluir además uno o más accionadores 410 de posición de rotación configurados para ajustar la posición angular de los brazos 414 de tensión (Figura 6) con respecto al marco 280 de cuerda.

En la Figura 6, el sistema 400 de manejo de tensión también puede incluir uno o más dispositivos para contrabalancear la masa del brazo 414 de tensión, de modo que la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas pueda detectarse con precisión durante el proceso de formación del portador 450 de capas en la herramienta 220 de forma. A este respecto, el sistema 400 de gestión de la tensión puede detectar la tensión 462 lateral en el portador 450 de capas y mantener la tensión 462 lateral dentro de un intervalo de tensión predeterminado, de modo que la capa 458 de material pueda aplicarse a la herramienta 220 de forma sin la formación de arrugas o pliegues. Como se describe con mayor detalle a continuación, el sistema 400 de manejo de tensión puede mantener la tensión 462 lateral del portador 450 de capas de tal manera que la capa 458 de material se enseña lo suficiente como para impedir que el portador 450 de capas y la capa 458 de material entren en contacto con la herramienta 220 de formación, excepto en la ubicación donde la pieza 552 de boquilla está conformando el portador 450 de capas y la capa 458 de material a la herramienta 220 de forma.

El sistema 400 de manejo de tensión (Figura 6) también puede mantener la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas (Figura 6), de modo que la capa 458 de material está lo suficientemente suelta como para permitir una disposición de piezas 552 de boquilla (Figura 6) para aplicar una cantidad deseada de presión de compactación a la capa 458 de material (Figura 6) contra la herramienta 220 de forma (Figura 6) de manera tal que la capa 458 de material pueda ajustarse al contorno 236 de la herramienta de forma. Además, el sistema 400 de manejo de tensión puede mantener la tensión 462 lateral dentro de un rango predeterminado para permitir que las piezas 552 de boquilla apliquen un nivel apropiado de presión de compactación sobre el portador 450 de capas para permitir que la capa 458 de material (Figura 6) se adhiera al sustrato (por ejemplo, a la herramienta 220 de forma o a una capa 458 de material aplicada anteriormente) debido a la adherencia (por ejemplo, adherencia) del curso 460 (Figura 6) o capa 458 de material, de modo que el curso 460 o la capa 458 de material permanezcan adheridos al sustrato durante el proceso de separación del portador 450 de capas lejos de la herramienta 220 de forma.

En este sentido, el sistema 400 de manejo de tensión (Figura 6) puede incluir uno o más cilindros de contrabalanceo. Por ejemplo, se puede incluir un cilindro 408 de contrabalanceo vertical (Figura 6) para cada accionador 406 de posición vertical (Figura 6) para contrabalancear la masa del brazo 414 de tensión (Figura 6), como durante la traslación vertical del brazo 414 de tensión. Se puede incluir un cilindro 412 de contrabalanceo rotativo (Figura 6) para cada accionador 410 de posición de rotación (Figura 6) para contrabalancear la masa del brazo 414 de tensión durante el giro o posicionamiento angular del brazo 414 de tensión. Los dispositivos de contrabalanceo pueden eliminar ventajosamente la masa del brazo 414 de tensión de los mecanismos de detección de fuerza que se incluyen con los accionadores 406, 410 de posición vertical y de rotación, y por lo tanto permite que dichos accionadores 406, 410 de posición vertical y de rotación detecten y mantengan con precisión la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas dentro del rango deseado. Además, a este respecto, el sistema 400 de manejo de tensión también puede detectar y gestionar la tensión en el portador 450 de capas (Figura 6) durante el proceso de formación de manera tal que se impida la distorsión, el plegado o la arruga de la capa 458 de material, y de tal manera que se impida la separación temprana de la capa 458 de material (Figura 6) durante el desprendimiento del portador 450 de capas de la herramienta 220 de forma (Figura 6).

El sistema 500 de formación (Figura 6) puede operarse en coordinación con el sistema 300 de pedal (Figura 6) y el manejo de tensión durante el proceso de formación y compactación del portador 450 de capas (Figura 6) y la capa 458 de material (Figura 6) en la herramienta 220 de forma y durante el desprendido del portador 450 de capas de la herramienta 220 de forma (Figura 6). En algunos ejemplos, el sistema 500 de formación puede incluir un par de vigas 502 de formación (Figura 6). Las vigas 502 de formación se pueden acoplar operativamente al marco 280 de cuerda (Figura 6) mediante uno o más accionadores de formación. Por ejemplo, cada extremo de cada viga 502 de formación se puede acoplar al marco 280 de cuerda mediante un accionador Z' 504 de formación y un accionador Y 514 de formación (Figura 6) que puede configurarse para posicionar la viga 502 de formación a lo largo del respectivo eje Z' y el eje Y. El sistema 500 de formación también puede incluir una disposición de módulos 520 de formación (Figura 6) montados en cada una de las vigas 502 de formación. Cada uno de los módulos 520 de formación puede incluir un cilindro 532 de fuerza vertical (Figura 6) y un cilindro 540 de fuerza lateral (Figura 6) para manipular la pieza 552 de boquilla (Figura 6) durante el proceso de formación del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma. El cilindro 532 de fuerza vertical y el cilindro 540 de fuerza lateral de cada módulo 520 de formación pueden configurarse para detectar la presión de compactación aplicada por la pieza 552 de boquilla contra el portador 450 de capas, y mantener la presión de compactación de cada pieza 552 de boquilla dentro de un rango predeterminado durante el proceso de formación del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 12).

La Figura 7 muestra un ejemplo de un aparato 200 de formación de largueros que tiene al menos un carril 202 de formación de largueros a lo largo del cual se puede trasladar un aparato 200 de formación de largueros. Cada carril 202 de formación de largueros puede incluir una mesa 246 de herramientas sobre la cual se puede montar la herramienta 220 de forma. La mesa 246 de herramientas puede incluir rieles 204 de coche para guiar la traslación del aparato 200 de formación de largueros en la disposición secuencial de capas compuestas para formar un larguero. Por ejemplo, en un modo de operación, el aparato 200 de formación de largueros puede posicionarse en una primera ubicación en sentido de la extensión a lo largo del carril 202 de formación tal como en un extremo de la herramienta 220 de forma (Figura 6). Un trayecto pretejido (que no se muestra) de material (por ejemplo, una capa de material compuesto previamente impregnado tejido o unidireccional) se puede unir a la superficie 452 inferior (Figura 20) del portador 450 de capas (Figura 6). Los lados 454 laterales (Figura 20) del portador 450 de capas se pueden unir a los brazos 414 de tensión del sistema 400 de manejo de tensión. El sistema 300 de pedal (Figura 6), el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación (Figura 6) se pueden operar de manera coordinada para adaptar el portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma (Figura 6) en la primera ubicación en sentido de la extensión, después de lo cual el portador 450 de capas se puede separar dejando el curso 460 (Figura 6) en la herramienta 220 de forma. El portador 450 de capas vacío se puede separar de los brazos 414 de tensión (Figura 6) del sistema 400 de manejo de tensión, y un nuevo portador 450 de capas que contiene un curso 460 se puede unir a los brazos 414 de tensión.

El aparato 200 de formación de largueros (Figura 7) se puede mover a la siguiente ubicación en sentido de la extensión a lo largo del carril 202 de formación de largueros, y se puede aplicar un segundo curso de material a la herramienta 220 de forma en una relación de extremo a extremo con el primer curso de material. El proceso puede repetirse para colocar una disposición de cursos 460 (Figura 6) en una relación de extremo a extremo a lo largo de una longitud deseada de la herramienta 220 de forma (Figura 6). Se pueden aplicar capas adicionales sobre las capas colocadas previamente de la manera descrita anteriormente hasta que se logre la secuencia de apilamiento de capas deseada del larguero. Una vez que se completa la disposición, se puede quitar la disposición terminada de la herramienta 220 de forma para curar y/o ensamblar para formar un larguero completo. Aunque la Figura 7 muestra un carril 202 de formación de largueros individuales, se puede proporcionar cualquier número de carriles 202 de formación de largueros. Por ejemplo, una pluralidad de largueros 122 de pala (Figura 2) que forman carriles 202 y una pluralidad de largueros 124 de sección en U profunda (Figura 48) que forman carriles 202 pueden operarse en la misma ubicación.

La Figura 8 muestra un ejemplo de un aparato 200 de formación de largueros configurado como un coche 260 de formación adaptado para moverse a lo largo de un par de rieles 204 de coches para facilitar la aplicación secuencial de una disposición de cursos 460 individuales (Figura 6) a diferentes ubicaciones en sentido de la extensión a lo largo de la herramienta 220 de forma. La herramienta 220 de forma puede proporcionarse en cualquier longitud. Por ejemplo, en un ala de aeronave, una herramienta 220 de forma para un larguero puede tener una longitud de hasta 130 pies o más. En la Figura 8, los rieles 204 de coche están montados en la mesa 246 de herramientas la cual soporta la herramienta 220 de forma. Sin embargo, los rieles 204 de coche pueden montarse en un piso de taller o en otra superficie. Como se indicó anteriormente, la herramienta 220 de forma puede configurarse como una herramienta 222 de forma de pala para formar un larguero 122 de pala que tiene una sección transversal en forma de T. En otro ejemplo, la herramienta 220 de forma puede configurarse como una herramienta 224 de forma de sección en U profunda para formar un larguero 124 de sección en U profunda que tiene una sección transversal en forma de sección en U profunda. Sin embargo, la herramienta 220 de forma puede proporcionarse en una cualquiera de una diversidad de formas alternativas de sección transversal, sin limitación.

En la presente divulgación, la estructura y el funcionamiento de los diversos componentes del aparato 200 de formación de largueros pueden describirse con referencia a sistemas de coordenadas rectangulares. Por ejemplo, en las Figuras 8-9, la dirección X se puede describir como la dirección longitudinal de la mesa 246 de herramientas. Como se indicó anteriormente, el aparato 200 de formación de largueros puede moverse a lo largo de la dirección X. La dirección Y puede describirse como una dirección 230 lateral a través del ancho de la mesa 246 de herramientas. Las vigas 502 de formación individuales (Figura 6) pueden moverse a lo largo de la dirección Y. La dirección Z puede

describirse como normal al plano X-Y. Cada extremo del marco 280 de cuerda puede moverse independientemente a lo largo de la dirección Z.

En la Figura 8, el aparato 200 de formación de largueros puede incluir un conjunto 262 de marco para soportar el marco 280 de cuerda. El conjunto 262 de marco puede montarse en un sistema de seguimiento tal como los rieles 204 de coches paralelos. Sin embargo, en una realización que no se muestra, el aparato 200 de formación de largueros puede ser estacionario o no móvil, y puede estar acoplado a un piso de taller o a otra característica no móvil. En la presente divulgación, el conjunto 262 de marco puede tener un par opuesto de marcos 264 de extremo. Cada uno de los marcos 264 de extremo puede tener patas 266 de marco que pueden terminar en los pies 268 de marco que pueden apoyarse en los rieles 204 de coche. Cada extremo del marco 280 de cuerda se puede acoplar a un marco 264 de extremo. El aparato 200 de formación de largueros puede incluir uno o más recintos 270 eléctricos para alojar dispositivos eléctricos, interruptores, cableado, interconexiones y otros componentes. El aparato 200 de formación de largueros puede incluir un par de vigas 296 de cables para soportar el cableado eléctrico que se extiende entre los marcos 264 de extremo y los componentes del marco 280 de cuerda. Los dispositivos adicionales tales como un tanque 272 de aire para cilindros neumáticos y accionadores también pueden montarse en el marco 280 de cuerda.

La Figura 9 es una vista lateral del aparato 200 de formación de largueros que muestra un ejemplo de la manera en la cual el marco 280 de cuerda puede acoplarse a los marcos 264 de extremo del conjunto 262 de marco. El marco 280 de cuerda puede incluir un par de vigas 282 laterales que se extienden a lo largo de una dirección longitudinal del marco 280 de cuerda. En el presente ejemplo del aparato 200 de formación de largueros, las vigas 282 laterales pueden estar interconectadas por vigas 284 de extremo que se extienden entre las vigas 282 laterales, como se ve mejor en la Figura 19. Las vigas 284 de extremo pueden estar ubicadas en los extremos opuestos del marco 280 de cuerda. Las vigas 282 laterales también pueden estar interconectadas por una o más vigas 286 transversales (Figura 15). Las vigas 286 transversales pueden estar orientadas paralelas a las vigas 284 de extremo y pueden extenderse entre las vigas 282 laterales. En el ejemplo que se muestra, las vigas 286 transversales pueden montarse en la parte superior de las vigas 282 laterales.

Con referencia a las Figuras 9-10, cada extremo del marco 280 de cuerda puede estar acoplado a un marco 264 de extremo mediante un par de rieles 294 guía de marco de cuerda los cuales pueden permitir el movimiento deslizante de los extremos del marco 280 de cuerda a lo largo del eje Z. Se puede acoplar un par de accionadores Z 288 (por ejemplo, servomotores) a cada marco 264 de extremo. Cada uno de los accionadores Z 288 puede moverse a lo largo de un riel 290 guía del accionador Z montado en un marco 264 de extremo. Cada accionador Z 288 puede estar acoplado por un enlace 292 de marco al marco 280 de cuerda. Los accionadores Z 288 en cada extremo del marco 280 de cuerda pueden operarse independientemente de manera sincronizada para ajustar la posición vertical de los respectivos extremos del marco 280 de cuerda a lo largo de la dirección Z. El accionamiento diferencial de los accionadores Z 288 puede permitir ajustar el ángulo de inclinación B del marco 280 de cuerda en relación con la parte superior de la mesa 246 de herramientas. Por ejemplo, los accionadores Z 288 pueden ajustarse de manera tal que el ángulo de inclinación B del marco 280 de cuerda está orientado en general paralelo a una tangente local (no se muestra) de una curvatura 228 en sentido de la extensión de la herramienta 220 de forma en una ubicación dada (por ejemplo, un punto medio) entre los marcos 264 de extremo.

La Figura 11 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros que muestra los marcos 264 de extremo montados en los rieles 204 de coche. Las patas 266 de marco se muestran sobrepasando la herramienta 220 de forma soportada en la mesa 246 de herramientas. También se muestra rieles 290 guía del accionador Z para guiar el movimiento vertical de los accionadores Z 288 cuando se ajusta la posición vertical de los extremos del marco 280 de cuerda. El portador 450 de capas se muestra apoyado por los brazos 414 de tensión sobre la herramienta 220 de forma. Ubicados por encima del portador 450 de capas están los conjuntos de piezas 552 de boquilla del lado izquierdo y del lado derecho en lados opuestos de un conjunto de pies 310 de pedal situado en el centro.

Las Figuras 12 a 14 son vistas en sección transversal de un ejemplo de una herramienta 220 de forma la cual puede implementarse para formar un larguero 122 de pala (Figura 2). La herramienta 220 de forma está montada en una mesa 246 de herramientas (Figura 11) y está ubicada entre los rieles 204 de coche. La herramienta 220 de forma tiene un centro 234 de referencia para sujetar el portador 450 de capas (Figura 11) a la herramienta 220 de forma durante el proceso de formación. La herramienta 220 de forma también tiene un contorno 236 de herramienta para colocar una mitad 108 de larguero al lado izquierdo y una mitad 108 de larguero al lado derecho. Una vez que se completa la disposición, las mitades 108 de larguero del lado izquierdo y derecho pueden retirarse de la herramienta 220 de forma y ensamblarse para formar un larguero 122 de pala completo como se muestra en las Figuras 2 a 5 y se describe anteriormente.

En la Figura 12, los contornos 238 de brida en lados opuestos del centro 234 de referencia en la parte superior de la herramienta 220 de forma están orientados perpendicularmente con respecto a los contornos 240 de banda en los lados de la herramienta 220 de forma. Los contornos 238 de brida están separados por el centro 234 de referencia plano, orientado horizontalmente, el cual puede extenderse a lo largo de la herramienta 220 de forma. El centro 234 de referencia proporciona ventajosamente una región plana en la herramienta 220 de forma donde la disposición de pies 310 de pedal (Figura 11) puede sujetar el portador 450 de capas (Figura 11) a la herramienta 220 de forma. A este respecto, el centro 234 de referencia funciona como una función de indexación para la herramienta 220 de forma.

La Figura 13 muestra el contorno 236 de la herramienta de forma en otra ubicación en sentido de la extensión a lo largo de la herramienta 220 de forma. Los contornos 238 de brida están orientados en un ángulo 118 de brida no perpendicular con respecto a los contornos 240 de banda verticales en lados opuestos de la herramienta 220 de forma. La Figura 14 muestra el contorno 236 de la herramienta de forma en otra ubicación en sentido de la extensión a lo largo de la herramienta 220 de forma que tiene un ángulo 118 de brida incrementado en relación con el ángulo 118 de brida que se muestra en la Figura 13. Como se indicó anteriormente, la herramienta 220 de forma puede proporcionarse en una diversidad cualquiera de los diferentes contornos 236 de la herramienta de forma, y no está limitada a la herramienta 222 de forma de pala que se muestra en las Figuras 12 a 14. Por ejemplo, la herramienta 220 de forma puede configurarse como una herramienta 224 de forma de sección en U profunda (Figura 47) para formar un larguero 124 de sección en U profunda (Figura 48) que tiene una configuración en forma de sección en U profunda, como se describe con mayor detalle a continuación.

La Figura 15 es una vista en perspectiva del sistema 300 de pedal, el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación ensamblados en el marco 280 de cuerda. La orientación y el movimiento de los sistemas montados en el marco 280 de cuerda se pueden describir en términos de un eje X' (X prima), un eje Y' (Y prima) y un eje Z' (Z prima). El eje X' puede describirse como que se extiende a lo largo de una longitud de las vigas 502 de formación. El eje Y' está orientado perpendicular al eje X', y puede describirse como la orientación de las vigas 284 de extremo y/o las vigas 286 transversales del marco 280 de cuerda. El eje Z' está orientado normal al plano X'-Y'. Los brazos 414 de tensión del sistema 400 de manejo de tensión, y las vigas 502 de formación del sistema 500 de formación pueden describirse como que se mueven a lo largo del eje Z'.

La Figura 16 es una vista superior del sistema 300 de pedal, el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación ensamblados en el marco 280 de cuerda. En el ejemplo que se muestra, el sistema 300 de pedal puede incluir una viga 302 de pedal situada en el centro la cual puede extenderse entre las vigas 284 de extremo del marco 280 de cuerda. El sistema 400 de manejo de tensión puede incluir un par paralelo de brazos 414 de tensión orientados paralelos a los lados laterales del marco 280 de cuerda. El sistema 500 de formación puede incluir un par paralelo de las vigas 502 de formación ubicadas cada una entre la viga 302 de pedal central y una viga 282 lateral del marco 280 de cuerda. Se muestra una disposición de módulos 520 de formación montados en cada una de las vigas 502 de formación en lados opuestos de la viga 302 de pedal central.

La Figura 17 es una vista lateral del sistema 300 de pedal, el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación montados en el marco 280 de cuerda. Los accionadores 304 de viga de pedal pueden estar situados en los extremos opuestos de la viga 302 de pedal. Del mismo modo, los accionadores Z' 504 de formación y los accionadores Y 514 de formación del sistema 500 de formación pueden ubicarse en los extremos opuestos de las vigas 502 de formación. Una disposición de módulos 520 de formación puede distribuirse de manera uniforme a lo largo de cada una de las vigas 502 de formación. Los accionadores 406, 410 (Figura 18) y los cilindros 408, 412 de contrabalanceo (Figura 18) del sistema 400 de manejo de tensión pueden ubicarse en los extremos opuestos del marco 280 de cuerda.

La Figura 18 es una vista de extremo del sistema 400 de manejo de tensión que muestra el conjunto de accionadores 406, 410 y los cilindros 408, 412 de contrabalanceo para controlar el movimiento del par de brazos 414 de tensión. Los brazos 414 de tensión se extienden a lo largo de los lados opuestos del marco 280 de cuerda y se pueden mover verticalmente y girarse angularmente (por ejemplo, giratorios) alrededor de un punto 420 de pivote. Como se indicó anteriormente, cada brazo 414 de tensión es móvil independientemente del otro brazo 414 de tensión. Sin embargo, los brazos 414 de tensión pueden operarse de manera sincronizada para soportar y posicionar el portador 450 de capas (Figura 11) en relación con la herramienta 220 de forma (Figura 11). Además, los brazos 414 de tensión pueden configurarse para mantener la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado. Como se indicó anteriormente, el portador 450 de capas puede configurarse para soportar una capa 458 de material (Figura 6), tal como un curso 460 de material compuesto. En algunos ejemplos, la capa 458 de material se puede adherir de manera liberable a una superficie 452 inferior del portador 450 de capas.

La Figura 19 es una vista en perspectiva de un ejemplo de uno de los brazos 414 de tensión del sistema 400 de manejo de tensión el cual puede configurarse y operarse de una manera similar a la del otro brazo 414 de tensión del par. Como se indicó anteriormente, cada uno de los brazos 414 de tensión puede incluir un conjunto de accionadores y cilindros de contrabalanceo. Cada brazo 414 de tensión puede incluir una viga 416 de tensión configurada para soportar un riel 456 de estiramiento (Figuras 33 a 42) que se extiende a lo largo de un lado 454 lateral del portador 450 de capas. El brazo 414 de tensión se puede ensamblar como un par de brazos 418 de pivote que se extienden lateralmente a partir de los respectivos extremos opuestos de una viga 416 de tensión.

La Figura 20 es una vista de extremo del sistema 400 de manejo de tensión. Cada extremo del brazo 414 de tensión incluye un accionador 406 de posición vertical de brazo de tensión el cual puede acoplar el brazo 414 de tensión al marco 280 de cuerda y puede controlar la posición vertical del brazo 414 de tensión en relación con el marco 280 de cuerda. En un ejemplo, cada accionador 406 de posición vertical de brazo de tensión puede montarse en una viga 284 de extremo del marco 280 de cuerda mediante un soporte 404 de montaje del brazo de tensión. Un soporte 402 de apoyo del brazo de tensión puede acoplarse al accionador 406 de posición vertical del brazo de tensión. Aunque se describe como un accionador electromecánico (por ejemplo, un servomotor), el accionador 406 de posición vertical del brazo de tensión puede proporcionarse en cualquier configuración que facilite la traslación vertical del brazo 414 de tensión en relación con el marco 280 de cuerda. En un ejemplo, el accionador 406 de posición vertical del brazo de

tensión puede ser un accionador de tornillo de bola para colocar verticalmente el brazo de tensión 414 con respecto al marco 280 de cuerda.

En la Figura 20, un accionador 410 de posición de rotación puede acoplarse a cada uno de los brazos 418 de pivote. El par de accionadores 410 de posición de rotación para cada brazo 414 de tensión puede operarse de manera coordinada para girar los brazos 418 de pivote alrededor de un punto 420 de pivote y ajustar la posición angular de los brazos 418 de pivote en relación con el marco 280 de cuerda. Se puede montar un cilindro 408 de contrabalanceo vertical en cada soporte 402 de apoyo del brazo de tensión. Los cilindros 408 de contrabalanceo vertical de cada brazo 414 de tensión pueden operarse de manera coordinada para contrabalancear la masa del brazo 414 de tensión durante la traslación vertical y para detectar y mantener la tensión 462 lateral (Figura 33) en el portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado.

Además, se pueden montar uno o más cilindros 412 de contrabalanceo rotativos en cada soporte 402 de apoyo de brazo de tensión (Figura 20). Los cilindros 412 de contrabalanceo rotativos (Figura 20) de cada brazo 414 de tensión pueden operarse de manera que contrarresten la masa del brazo 414 de tensión (Figura 20) durante el giro del brazo de tensión. De esta manera, los cilindros 408, 412 de contrabalanceo (Figura 20) pueden permitir que los accionadores 406, 410 de posición vertical y de rotación (Figura 20) detecten y mantengan la tensión 462 lateral (Figura 33) dentro del portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado durante el proceso de formación y compactación del portador 450 de capas y la capa 458 de material (Figura 20) sobre la herramienta 220 de forma (Figura 11), y durante el proceso de desprendimiento del portador 450 de capas (Figura 20). Cuando los accionadores 406 de posición vertical y los cilindros 408 de contrabalanceo vertical están activos, los accionadores 410 de posición de rotación y los cilindros 412 de contrabalanceo de rotación pueden estar inactivos (y viceversa) de manera que los accionadores 406 de posición vertical puedan detectar con precisión la fuerza lateral en el portador 450 de capas sin influencia de los accionadores 410 de posición de rotación.

En un ejemplo de la magnitud de la tensión 462 lateral (Figura 33) en un curso de material de capa unidireccional de fibra de carbono colocado en la herramienta 222 de forma de pala (Figura 8), el sistema 400 de manejo de tensión puede configurarse para detectar y mantener la tensión 462 lateral dentro de un rango de aproximadamente 0.2 a 0.8 libras por pulgada lineal (pli) a lo largo de los lados 454 laterales (Figura 11) del portador 450 de capas (Figura 20) y, más preferiblemente, aproximadamente 0.5 pli. Para un portador 450 de capas que tiene una longitud de 60 pulgadas, la magnitud total de la tensión 462 lateral en cada brazo 414 de tensión (Figura 20) puede ser de aproximadamente 30 libras (por ejemplo, 0.5 psi x 60 pulgadas). Como se puede apreciar, la magnitud de la tensión 462 lateral puede depender del sistema de material del cual se forma el curso 460 (Figura 20), el material del cual se forma el portador 450 de capas, la geometría de la herramienta 220 de forma (Figura 11), el ancho lateral del portador 450 de capas, y otros factores.

La Figura 21 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema 300 de pedal configurado para sujetar el portador 450 de capas (Figura 11) y la capa 458 de material (Figura 11) en la herramienta 220 de forma (Figura 11). La Figura 22 es una vista lateral del sistema 300 de pedal. La viga 302 de pedal puede extenderse entre las vigas 284 de los extremos opuestos del marco 280 de cuerda. Un soporte 306 de extremo de la viga de pedal puede montarse en cada extremo de la viga 302 de pedal. Cada soporte 306 de extremo de la viga de pedal se puede acoplar a un accionador 304 de viga de pedal. Un soporte 308 de accionador de viga de pedal se puede acoplar operativamente al accionador 304 de viga de pedal. En el ejemplo que se muestra, los accionadores 304 de viga de pedal pueden configurarse como motores electro servos. Sin embargo, los accionadores 304 de viga de pedal pueden proporcionarse como accionadores neumáticos, accionadores electromecánicos, o cualquier otra configuración de accionador o combinación de los mismos. Los accionadores 304 de viga de pedal pueden ser operados de manera coordinada para mover la viga 302 de pedal a lo largo del eje Z' para posicionar la viga 302 de pedal con respecto al marco 280 de cuerda.

La Figura 23 es una vista en perspectiva de una disposición de accionadores 312 de pie de pedal soportados por la viga 302 de pedal. En el ejemplo que se muestra, los accionadores 304 de viga de pedal (Figura 22) pueden montarse en la parte inferior de viga 302 de pedal. Cada uno de los accionadores 312 de pie de pedal puede configurarse como un cilindro 314 neumático guiado con retroalimentación de posición. Cada pie 310 de pedal puede moverse a lo largo de un eje Z'' (Z doble prima) definido por la dirección de extensión y retracción del cilindro 314 neumático. El extremo operativo de cada accionador 312 de pie de pedal puede incluir un segmento 316 de pedal con un canal para recibir un pie 310 de pedal. Uno o más de los pies 310 de pedal pueden incluir opcionalmente una cámara de vacío para la retención asistida por vacío del portador 450 de capas (Figura 11) durante la sujeción del portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma (Figura 11). En el ejemplo que se muestra, una tira 318 de pedal flexible puede extenderse a través de una pluralidad de los segmentos 316 de pedal. La tira 318 de pedal puede ser una tira continua configurada para ajustarse a la curvatura 228 (Figura 10) de la herramienta 220 de forma. La tira 318 de pedal puede distribuir las cargas puntuales aplicadas por cada pie 310 de pedal en el portador 450 de capas contra la herramienta 220 de forma.

Como se describe con mayor detalle a continuación, los accionadores 304 de viga de pedal (Figura 22) pueden ser operativos para sujetar el portador 450 de capas (Figura 11) y la capa 458 de material (Figura 11) en el centro 234 de referencia (Figura 12) de la herramienta 220 de forma (Figura 11). Los accionadores 304 de viga de pedal pueden bloquear la posición lateral del portador 450 de capas y, por lo tanto, impedir el movimiento lateral del portador 450 de capas en relación con la herramienta 220 de forma durante el proceso de formación. Como se describe con mayor

detalle a continuación, uno o más de los accionadores 312 (Figura 22) pueden incluir un sensor de posición para detectar el contacto del pie 310 de pedal con la herramienta 220 de forma durante la sujeción inicial a la herramienta 220 de forma.

5 Las Figuras 24 a 27 muestran un ejemplo de un sistema 500 de formación para formar y compactar el portador 450 de capas (Figura 11) y la capa 458 de material (Figura 11) a la herramienta 220 de forma (Figura 11) utilizando conjuntos paralelos de módulos 520 de formación. Cada módulo 520 de formación puede accionar una pieza de boquilla. En este sentido, el sistema 500 de formación proporciona conjuntos paralelos de piezas 552 de boquilla que pueden operarse independientemente de manera sincronizada para barrer en una dirección 230 lateral a lo largo de los contornos de la herramienta 220 de forma y conformar el portador 450 de capas y la capa 458 de material al contorno 236 de la herramienta de forma. Además, los módulos 520 de formación pueden detectar y controlar la magnitud de la presión de compactación aplicada por las piezas 552 de boquilla (Figura 29) compactando la capa 458 de material sobre el sustrato. En la presente divulgación, el sustrato puede describirse como la herramienta 220 de forma o una capa 458 de material colocada previamente.

15 Las Figuras 25-26 son vistas superior y lateral respectivas del sistema 500 de formación el cual pueden apoyarse en el marco 280 de cuerda (Figura 33). Como se indicó anteriormente, el sistema 500 de formación puede incluir un par de vigas 502 de formación las cuales pueden moverse de manera sincronizada con respecto al marco 280 de cuerda para colocar los conjuntos de los módulos 520 de formación (Figura 6) cerca de la herramienta 220 de forma. La viga 502 puede estar acoplada de manera móvil al marco 280 de cuerda.

20 En el ejemplo que se muestra, los extremos opuestos y el punto medio aproximado de cada viga 502 de formación (Figura 25) se pueden acoplar a una viga 286 transversal respectiva (Figura 25) del marco 280 de cuerda (Figura 33) mediante un soporte 508 guía Z' en cada ubicación. Un soporte 512 deslizante Z' (Figura 25) puede acoplarse verticalmente a un riel 510 guía Z' (Figura 25) que puede incluirse con cada soporte guía Z', permitiendo el movimiento de la viga 502 de formación a lo largo del eje Z'. Cada soporte 512 deslizante Z' también puede acoplarse de manera deslizante a un riel 518 de viga transversal (Figura 26) la cual puede montarse en la parte inferior de una viga 286 transversal y permitir el movimiento de la viga 502 de formación a lo largo del eje Y'.

25 Los extremos de las vigas 502 de formación (Figura 26) pueden incluir cada uno un accionador 504 Z' de formación (Figura 26). El soporte 506 del accionador Z' de formación (Figura 26) puede acoplar el soporte 512 Z' deslizante (Figura 26) al accionador 504 Z' de formación para accionar las vigas 502 de formación a lo largo de la dirección Z' con respecto al marco 280 de cuerda (Figura 18). Cada extremo de cada una de las vigas 502 de formación también puede incluir un accionador 514 en forma de Y (Figura 26) el cual puede estar acoplado operativamente al soporte 512 Z' deslizante a través de un soporte 516 de accionador de formación en forma de Y (Figura 26). Los accionadores 514 en forma de Y pueden trasladar las vigas 502 de formación a lo largo de la dirección Y en relación con el marco 280 de cuerda. Los accionadores 504 Z' de formación y los accionadores 514 de formación en forma de Y pueden operarse de manera coordinada para colocar las vigas 502 de formación con respecto a la herramienta 220 de forma (Figura 14).

30 La Figura 27 es una vista de extremo del sistema 500 de formación que muestra un ejemplo de módulos 520 de formación montados en las vigas 502 de formación del sistema 500 de formación. Los módulos 520 de formación pueden moverse a lo largo de la dirección Z'' (Z doble prima) para colocar las piezas 552 de boquilla con respecto a la herramienta 220 de forma (Figura 11) durante el proceso de formación del portador 450 de capas y la capa 458 de material con la herramienta 220 de forma. Los módulos 520 de formación también pueden ser operativos para mover las piezas 552 de boquilla a lo largo de la dirección Y' (Y prima) durante el proceso de formación.

35 La Figura 28 muestra un ejemplo de un módulo 520 de formación. Como se indicó anteriormente, una disposición de los módulos 520 de formación se puede montar en cada una de las vigas 502 de formación (Figura 27). Cada uno de los módulos 520 de formación puede incluir una pieza 552 de boquilla (Figura 29) la cual puede ser accionada de manera que ajuste y compacte el portador 450 de capas (Figura 11) y la capa 458 de material (por ejemplo, un curso 460 de material compuesto) (Figura 11) en el contorno 236 de la herramienta (Figura 12) o en una capa 458 de material aplicada anteriormente (Figura 11). En el ejemplo que se muestra, el módulo 520 de formación puede incluir un marco 522 de módulo de formación acoplado a la viga 502 de formación mediante un soporte 524 de montaje del módulo. El soporte 524 de montaje del módulo puede sujetarse a la viga 502 de formación tal como a un lado inferior de la viga 502 de formación. El soporte 524 de montaje del módulo puede incluir un soporte 528 de deslizamiento de montaje del módulo el cual se puede acoplar de manera deslizante a un riel 526 de guía del módulo de formación del marco 522 del módulo de formación para guiar el movimiento vertical (por ejemplo, a lo largo de un eje Z''') del módulo 520 de formación en relación con la viga 502 de formación cuando es accionado por un cilindro 532 de fuerza vertical. Aunque las Figuras 27 a 31 ilustran el eje Z'' orientado verticalmente, los módulos 520 de formación pueden montarse en las vigas 502 de formación de manera que el eje Z'' está ligeramente fuera de la vertical o no vertical.

55 En este sentido, cada uno de los módulos 520 de formación (Figura 28) puede incluir uno o más mecanismos o accionadores 530 de módulo de formación (Figura 27) para controlar la posición vertical y/o la posición lateral de las piezas 552 de boquilla (Figura 29) en relación con la herramienta 220 de forma (Figura 11) durante el proceso de formación. Además, el uno o más mecanismos para controlar la posición vertical y/o la posición lateral de la pieza 552

de boquilla pueden incluir la capacidad de detectar y modular dinámicamente la presión de compactación aplicada por la pieza 552 de boquilla sobre el portador 450 de capas (Figura 11) contra la herramienta 220 de forma.

En el ejemplo del aparato 200 de formación que se muestra en las Figuras 8 a 31 y 33 a 42 para formar un larguero de pala, los mecanismos o accionadores 530 de módulo de formación (Figura 27) para controlar la posición vertical y/o la posición lateral de la pieza 552 de boquilla (Figura 29) pueden incluir un cilindro 532 de fuerza vertical (Figura 28) y un cilindro 540 de fuerza lateral (Figura 28) para cada módulo 520 de formación (Figura 28). En algunos ejemplos, el cilindro 532 de fuerza vertical y/o el cilindro 540 de fuerza lateral pueden ser cilindros neumáticos que operan a través de una presión neumática la cual puede ser suministrada por el tanque 272 de aire (Figura 8). El cilindro 532 de fuerza vertical puede montarse en el marco 522 del módulo de formación (Figura 28) y puede incluir retroalimentación de posición a través del control de posición servo eléctrico. El cilindro 532 de fuerza vertical puede controlar la posición y el movimiento del módulo 520 de formación y la pieza 552 de boquilla unida en la dirección Z'' (Z doble prima), como se mencionó anteriormente. La dirección Z'' prima puede ser paralela a la dirección de accionamiento de un vástago 534 del cilindro vertical (Figura 28) extensible y retráctil del cilindro 532 de fuerza vertical. Las Figuras 30-31 respectivamente muestran un módulo 520 de formación con el cilindro 532 de fuerza vertical en una posición retraída (Figura 30) y en una posición extendida (Figura 31).

El cilindro 532 de fuerza vertical (Figura 28) puede incluir un mecanismo para bloquear la posición del vástago del cilindro vertical. Por ejemplo, el cilindro 532 de fuerza vertical puede incluir un bloqueo 536 de vástago del cilindro vertical (Figura 28) para bloquear la posición vertical del módulo 520 de formación (Figura 28) y la pieza 552 de boquilla (Figura 29) al mando. Además, el cilindro 532 de fuerza vertical puede incluir retroalimentación de posición para detectar la presión de compactación aplicada por la pieza 552 de boquilla en el portador 450 de capas (Figura 11) durante el proceso de formación. La realimentación de posición puede permitir que el cilindro 532 de fuerza vertical mantenga la presión de compactación de la pieza 552 de boquilla dentro de un rango predeterminado.

El cilindro 540 de fuerza lateral (Figura 28) puede ser parte de un mecanismo 538 de fuerza lateral (Figura 28) del módulo 520 de formación (Figura 28). El cilindro 540 de fuerza lateral puede controlar el movimiento lateral de la pieza 552 de boquilla (Figura 29) en relación con la herramienta 220 de forma (Figura 11). El cilindro 540 de fuerza lateral puede montarse en el marco 522 del módulo de formación (Figura 28) y puede incluir retroalimentación de posición (por ejemplo, control de posición servo eléctrico). El mecanismo 538 de fuerza lateral puede controlar la posición y el movimiento de la pieza 552 de boquilla a lo largo de la dirección Y' controlando la extensión y retracción del vástago de fuerza lateral a partir del cilindro 540 de fuerza lateral. La dirección Y' puede ser paralela a la dirección longitudinal de uno o más rieles 548 de boquilla (Figura 28) que pueden incluirse con el módulo de formación.

Las Figuras 28 a 31 muestran un par de rieles 548 de boquilla montados en el módulo 520 de formación, tal como en la parte inferior del marco 522 de módulo de formación. Un soporte 546 de deslizador de pieza de boquilla puede acoplarse de manera deslizante y montarse en los rieles 548 de pieza de boquilla. El soporte 546 de deslizador de pieza de boquilla puede ser movido lateralmente a lo largo de los rieles 548 de pieza de boquilla mediante la extensión y retracción del vástago 542 del cilindro lateral que se extiende a partir del cilindro 540 de fuerza lateral. Un enlace 544 puede acoplar el vástago 542 del cilindro lateral al soporte 546 de deslizador de pieza de boquilla y puede convertir el movimiento lineal (por ejemplo, vertical) del vástago 542 del cilindro lateral en movimiento lateral del soporte 546 deslizante de la pieza de boquilla. La Figura 29 es una vista lateral de un módulo 520 de formación con una placa lateral retirada para ilustrar el enlace 544 que interconecta el cilindro 540 de fuerza lateral a la pieza de boquilla lateral deslizante. El soporte 546 deslizante de la pieza de boquilla puede incluir un segmento 550 de canal de la pieza de boquilla. El segmento 550 de canal de la pieza de boquilla puede estar configurado para soportar la pieza de boquilla.

En el ejemplo que se muestra, el segmento 550 de canal de la pieza de boquilla puede incluir ranuras para permitir que el segmento 550 de canal de la pieza de boquilla (Figura 30) y la pieza 552 de boquilla (Figura 30) se flexionen y ajusten al contorno local y a la curvatura cóncava y convexa en sentido de la extensión de la herramienta 220 de forma (Figura 11). En un ejemplo, la pieza 552 de boquilla puede configurarse para ajustarse a una curvatura 228 en sentido de la extensión que varía a partir de un radio 128 cóncavo mínimo (Figura 2) de aproximadamente 3000 pulgadas o menos, hasta un radio convexo máximo de aproximadamente 5800 pulgadas o más. Sin embargo, la pieza 552 de boquilla puede configurarse para adaptarse y/o hacer radios convexos de curvatura de menos de 50 pulgadas. En algunos ejemplos, la pieza 552 de boquilla puede configurarse de acuerdo con los cambios locales en el contorno de la herramienta de forma de al menos 0.030 pulgadas o más dentro de una longitud de 10 pulgadas de la herramienta 220 de forma. El aparato 200 de formación de largueros puede configurarse de tal manera que las piezas 552 de boquilla puedan conformar el portador 450 de capas y la capa 458 de material tanto a la curvatura convexa en sentido de la extensión como a la curvatura cóncava en sentido de la extensión en la herramienta 220 de forma a lo largo de un solo curso 460.

Las piezas 552 de boquilla pueden dimensionarse y configurarse de tal manera que la disposición de módulos 520 de formación (Figura 30) proporcione una disposición de extremo a extremo de piezas 552 de boquilla (Figura 30) con espacios relativamente pequeños entre las piezas 552 de boquilla adyacentes. Las piezas 552 de boquilla se pueden proporcionar en cualquiera de una diversidad de diferentes tamaños, formas y configuraciones, sin limitación. En el ejemplo que se muestra, una pieza 552 de boquilla puede ser hueca. Sin embargo, una pieza 552 de boquilla puede formarse como un elemento sólido. Las piezas 552 de boquilla pueden estar formadas de un material que permite la aplicación precisa de la presión de compactación en el portador 450 de capas (Figura 33) dentro de un rango

predeterminado. Una superficie exterior de la pieza 552 de boquilla puede estar formada por un material de baja fricción, tal como un material polimérico (por ejemplo, Nylon™) para permitir que la pieza 552 de boquilla se deslice a lo largo del portador 450 de capas con baja resistencia a la fricción durante el proceso de formación.

5 La Figura 32 es una ilustración de un diagrama de flujo de una o más operaciones que pueden incluirse en un método 600 para la disposición de un larguero. Una o más de las operaciones pueden realizarse utilizando un aparato 200 de formación de largueros (Figura 11) como se divulga en este documento. El método 600 puede incluir montar una capa 458 de material (por ejemplo, un curso 460 de material compuesto) en un portador 450 de capas. Por ejemplo, la capa 458 de material (Figura 33) se puede aplicar a una superficie 452 inferior (Figura 33) del portador 450 de capas (Figura 33), tal como al adherir de manera liberable la capa 458 de material a la superficie 452 inferior del portador 450 de capas. El portador 450 de capas puede cargarse en el aparato 200 de formación de largueros uniendo los lados 454 laterales (Figura 33) del portador 450 de capas a los brazos 414 de tensión del sistema 400 de manejo de tensión. Los extremos opuestos del portador 450 de capas pueden estar libres y sin soporte.

15 La etapa 602 del método 600 puede incluir colocar el portador 450 de capas sobre la herramienta 220 de forma con la capa 458 de material acoplada al portador 450 de capas. La Figura 33 es una vista de extremo de un ejemplo de un aparato 200 de formación de largueros (Figura 11) en una posición de cambio de portador 450 de capas. La Figura 33 muestra el sistema 400 de manejo de tensión, el sistema 300 de pedal y el sistema 500 de formación en sus respectivas posiciones iniciales antes del inicio del proceso de formación del portador 450 de capas en la herramienta 220 de forma. Los brazos 414 de tensión del sistema 400 de manejo de tensión soportan los lados 454 laterales del portador 450 de capas sobre la herramienta 220 de forma. El marco 280 de cuerda (Figura 33) puede colocarse en su ubicación más alta y puede estar orientado paralelo a la superficie superior de la mesa 246 de herramientas. Los brazos 414 de tensión también pueden estar en su ubicación más alta y pueden estar orientados de tal manera que el portador 450 de capas esté en general plano y orientado paralelo a la superficie superior de la mesa 246 de herramientas.

25 Cada uno de los accionadores 312 del pie de pedal (Figura 33) en la disposición del pie 310 de pedal pueden extenderse completamente y la viga 302 de pedal (Figura 33) puede retraerse a su ubicación más alta. En dicha disposición, cada una de los pies 310 de pedal (Figura 33) pueden colocarse completamente por encima y en una relación sin contacto en general plana con el portador 450 de capas (Figura 33). El sistema de vacío del pie de pedal, si se proporciona, inicialmente puede permanecer desactivado. Cada una de las vigas 502 de formación (por ejemplo, una viga de formación izquierda y una viga de formación derecha) (Figura 31) pueden colocarse en su ubicación más alta con respecto al marco 280 de cuerda (Figura 33) y también pueden colocarse en su límite interno a lo largo del eje Y (por ejemplo, el más cercano a la viga 302 de pedal). Cada módulo 520 de formación (Figura 29) en la disposición de las vigas 502 de formación izquierda y derecha puede tener sus vástagos 534 del cilindro vertical (Figura 30) completamente retraídos en el cilindro 532 de fuerza vertical (por ejemplo, neumático) (Figura 30). Además, el vástago 542 del cilindro lateral (Figura 29) de cada cilindro 540 de fuerza lateral puede extenderse completamente de tal manera que cada uno de las piezas 552 de boquilla (Figura 29) estén en su límite interior.

35 La etapa 604 del método 600 puede incluir ajustar un ángulo de inclinación B (Figura 10) del portador 450 de capas (Figura 11) para que sea complementario a un ángulo de cuerda local (que no se muestra) de la parte de la herramienta 220 de forma (Figura 11) a cubrir por el curso o capa de material. La etapa para ajustar el ángulo de inclinación B puede incluir activar al menos uno de los accionadores Z 288 (Figura 11) en uno o ambos extremos del marco 280 de cuerda (Figura 33), y ajustar el ángulo de inclinación del marco 280 de cuerda en relación con la herramienta 220 de forma en respuesta al accionamiento del accionador Z 288. El ángulo de inclinación B puede detectarse mediante uno o más sensores ópticos (que no se muestran) que pueden estar ubicados opcionalmente en cada extremo del marco 280 de cuerda. El marco 280 de cuerda puede bajarse hasta que se rompan los haces ópticos emitidos por los sensores ópticos en cada extremo. En algunos ejemplos, el marco 280 de cuerda puede bajarse hasta que el portador 450 de capas esté aproximadamente 6 pulgadas por encima del centro 234 de referencia de la herramienta 220 de forma.

40 La etapa 606 del método 600 puede incluir apisonar el portador 450 sobre la herramienta 220 de forma tal que la parte central a lo largo del portador 450 de capas se adapte a una curvatura longitudinal de la herramienta 220. La etapa de apisonar puede incluir trasladar verticalmente la viga 302 de pedal en relación con el marco 280 de cuerda utilizando al menos un accionador 304 de viga de pedal hasta que la disposición de pies 310 de pedal haga contacto con la herramienta 220 de forma y sujete el portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma para bloquear así la posición lateral del portador 450 de capas en relación con la herramienta 220 de forma. Más específicamente, con referencia a la Figura 34, la etapa 606 puede incluir la configuración previa del portador 450 de capas extendiendo cada uno de los accionadores 312 de pie de pedal (por ejemplo, cilindros neumáticos) y accionando los accionadores 304 de viga de pedal para bajar la viga 302 de pedal hasta que los pies 310 de pedal toquen la parte superior del portador 450 de capas.

50 Si se proporciona vacío, se puede aplicar un vacío de pedal para acoplar al vacío el portador 450 de capas (Figura 34) a la disposición de pies 310 de pedal (Figura 34) como un medio para definir un índice de línea central del portador 450 de capas. Los accionadores 304 de viga de pedal (Figura 22) pueden continuar bajando la viga 302 de pedal hasta que la retroalimentación de posición de cada uno de los accionadores 312 de pie de pedal indique que los pies 310 de pedal han contactado con el centro 234 de referencia (Figura 34) de la herramienta 220 de forma (Figura 34),

capturando así el portador 450 de capas contra la herramienta 220 de forma. Los accionadores 312 de pie de pedal (Figura 34) pueden presurizarse continuamente e inicialmente pueden extenderse por completo. Un sensor de posición en cada uno de los accionadores 312 de pie de pedal puede detectar el contacto del pie 310 de pedal con la herramienta 220 de forma. Una vez que se haya completado la sujeción del portador 450 de capas en la herramienta 220 de forma, se puede desactivar el vacío del pie 310 de pedal. .

Cuando la línea central del portador 450 de capas (Figura 34) se empuja hacia abajo por los pies 310 de pedal (Figura 34) en contacto con el índice central de la herramienta 220 de forma (Figura 34), los brazos de tensión del sistema 400 de manejo de tensión (Figura 34) se pueden girar para relajar la tensión inducida por el desplazamiento hacia abajo de los pies 310 de pedal. En este sentido, los accionadores 406, 410 de posición vertical y de rotación (Figura 20) descritos anteriormente y los cilindros 408, 412 de contrabalanceo vertical y de rotación (Figura 20) del sistema 400 de manejo de tensión pueden cooperar para permitir que los accionadores 406, 410 detecten y mantengan la tensión 462 lateral (Figura 34) en cada lado del portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado para impedir que el portador 450 de capas y la capa 458 de material (Figura 20) se pandeen y entren en contacto con la herramienta 220 de forma, y aún así proporcionan suficiente holgura para permitir que los pies 310 de pedal sujeten el portador 450 de capas sobre la herramienta 220 de forma.

Cuando el accionador 312 de pie de pedal final en el conjunto entra en contacto con la herramienta 220 de forma (o en contacto con una capa 458 de material aplicada previamente), el sensor de posición en el accionador 312 de pie de pedal final puede transmitir una señal a los accionadores 304 de viga de pedal (Figura 22) para detener la traslación vertical de la viga 302 de pedal. Con el portador 450 de capas pisado sobre la herramienta 220 de forma, cada lado del portador 450 de capas puede orientarse en un ángulo C de portador de capas que impide que cada lado del portador 450 de capas contacte con la herramienta 220 de forma en cualquier ubicación, excepto donde se sujeta al índice central. En la disposición que se muestra en la Figura 34, cada lado del portador 450 de capas puede estar orientado en un ángulo C de portador de capas de aproximadamente 20-25° con respecto a la horizontal. La Figura 35 muestra el pie 310 de pedal que captura el portador 450 de capas contra la herramienta 220 de forma.

La etapa 608 del método 600 puede incluir conformar el portador 450 de capas (Figura 35) y la capa 458 de material unida (Figura 35) al contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 35). La etapa de formación puede incluir barrer lateralmente la disposición de piezas 552 de boquilla izquierda y derecha (Figura 34) a través de la herramienta 220 de forma (Figura 35) en una dirección en general interior-exterior, y compactar el portador 450 de capas y la capa 458 de material (por ejemplo, el curso 460) contra la herramienta 220 de forma durante el barrido de las piezas 552 de boquilla. La compactación del portador 450 de capas puede realizarse trasladando la disposición de piezas 552 de boquilla utilizando la disposición de módulos 520 de formación. En algunos ejemplos, la disposición izquierda y derecha de los módulos 520 de formación (Figura 30) se pueden operar de manera independiente pero simultáneamente durante el proceso de formación del portador 450 de capas a la herramienta 220 de forma. Durante el proceso de formación, el marco 280 de cuerda (Figura 33) y la viga 302 de pedal (Figura 35) se puede mantener en la misma posición que en la etapa anterior. Las dos vigas 502 de formación (Figura 30) se pueden bajar (por ejemplo, aproximadamente 2 pulgadas) con respecto al marco 280 de cuerda usando los accionadores 504 Z' de formación (Figura 11). Las vigas 502 de formación se pueden mover lateralmente utilizando los accionadores 514 en forma de Y (Figura 27) para colocar la disposición de piezas 552 de boquilla sobre el borde interior del contorno 238 de brida en cada lado del centro 234 de referencia. Los vástagos 542 laterales del cilindro (Figura 29) de cada cilindro 540 de fuerza lateral pueden permanecer completamente extendidos, de modo que cada pieza 552 de boquilla (por ejemplo, el soporte 546 de deslizador de la pieza de boquilla) esté en su límite interior. Los vástagos 534 de cilindro vertical pueden extenderse fuera de los cilindros 532 de fuerza vertical hasta que las piezas 552 de boquilla entren en contacto con el portador 450 de capas y compacten la capa 458 de material (Figura 35) contra la herramienta 220 de forma en cada lado del centro 234 de referencia.

La Figura 36 muestra el inicio del proceso de formación de la brida en donde las piezas 552 de boquilla en los lados izquierdo y derecho del centro 234 de referencia barren en direcciones opuestas lateralmente y conforman el portador 450 de capas contra los contornos 238 de brida en los lados opuestos de la herramienta 220 de forma de pala (Figura 11). El marco 280 de cuerda (Figura 33) y los pies 310 de pedal se pueden mantener en la misma posición que en la etapa anterior. Cada una de las vigas 502 de formación también se puede mantener en la misma posición Z' que en la etapa anterior. Los accionadores 514 en forma de Y pueden trasladar cada una de las vigas 502 de formación (Figura 30) lateralmente hacia afuera, tirando de las piezas 552 de boquilla lateralmente a través del portador 450 de capas en cada lado del centro 234 de referencia. Los cilindros 532 de fuerza vertical (por ejemplo, neumáticos) de los módulos 520 de formación pueden seguir pasivamente el contorno 238 de brida de la herramienta 220 de forma hasta que cada una de las piezas 552 de boquilla alcance el radio 242 (Figura 38) punto de transición en la intersección del contorno 238 de brida y el contorno 240 de banda en cada lado de la herramienta 220 de forma.

La etapa 610 del método 600 puede incluir detectar y mantener la presión de compactación de la pieza 552 de boquilla (Figura 36) en el portador 450 de capas (Figura 36) dentro de un rango predeterminado durante la adaptación del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 36). Como se indicó anteriormente, la retroalimentación de posición del cilindro 532 de fuerza vertical (Figura 30) y el cilindro 540 de fuerza lateral (Figura 28) de cada uno de los módulos 520 de formación puede detectar la presión de compactación aplicada por la pieza 552 de boquilla sobre el portador 450 de capas durante el proceso de formación. La retroalimentación de posición

puede permitir que el cilindro 532 de fuerza vertical y el cilindro 540 de fuerza lateral mantengan la presión de compactación de la pieza 552 de boquilla dentro de un rango predeterminado.

La Figura 37 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros (Figura 18) al final del proceso de formación de la brida en donde las piezas 552 de boquilla en los lados izquierdo y derecho de la herramienta 220 de forma han alcanzado el radio 242 respectivo en lados opuestos de la herramienta 220 de forma. A este respecto, la posición Z'' y la posición Y de cada módulo 520 de formación (Figura 30) se pueden monitorizar durante el proceso de formación de la brida. El radio 242 se puede detectar cuando el cambio en la posición Z'' (por ejemplo, el delta Z''') y el cambio en la posición Y (por ejemplo, el delta Y) son iguales entre sí. Una vez que el punto de transición del radio 242 es alcanzado por la última pieza 552 de boquilla en la disposición en un lado dado de la herramienta 220 de forma, se puede detener el movimiento de Y de las disposiciones. El movimiento Z'' también se puede congelar activando el bloqueo 536 de vástago del cilindro (Figura 28) del cilindro 532 de fuerza vertical. Durante el proceso de formación del portador 450 de capas en la herramienta 220 de forma, el ancho lateral del portador 450 de capas en cada lado de la herramienta 220 de forma puede consumirse a medida que la capa 458 de material se adhiere a la herramienta 220 de forma o se adhiere a una capa 458 de material aplicada previamente. Como se muestra en la Figura 37, cada lado del portador 450 de capas puede orientarse a un ángulo C de portador de capas ascendente en relación con la horizontal. A este respecto, la dirección de la tensión 462 lateral en cada lado del portador 450 de capas puede ser lateral o ligeramente hacia arriba. Durante el proceso de formación del portador 450 de capas en el contorno 238 de brida a cada lado de la herramienta 220 de forma, los brazos 414 de tensión pueden girar hacia abajo alrededor del punto 420 de pivote para relajar la tensión en el portador 450 de capas.

La Figura 38 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros (Figura 11) al comienzo del desplazamiento hacia abajo del portador 450 de capas y el inicio del proceso de formación de la banda. En la Figura 38, el marco 280 de cuerda (Figura 33), la disposición de pies 310 de pedal, los módulos 520 de formación (Figura 28) y las vigas 502 de formación (Figura 30) mantienen la misma posición que en la etapa anterior. Después de que todas las piezas 552 de boquilla hayan alcanzado el punto de transición del radio 242, los brazos 414 de tensión pueden girar hacia abajo a un ángulo C de portador de capas predeterminado con respecto a la horizontal. En el ejemplo que se muestra, el portador 450 de capas en cada lado de la herramienta 220 de forma puede estar orientado en un ángulo C de portador de capas descendente con respecto a la horizontal. Los brazos 414 de tensión pueden trasladarse verticalmente hacia abajo en sus ejes Z' individuales hasta que la tensión 462 lateral en cada lado de un portador 450 de capas alcance un valor mínimo predeterminado. Con el ángulo C de portador de capas orientado hacia abajo, el vector de tensión 462 lateral también puede orientarse en general hacia abajo.

La etapa 612 del método 600 incluye detectar y mantener la tensión 462 lateral (Figura 38) en el portador 450 de capas (Figura 38) dentro de un rango predeterminado durante el proceso de ajuste del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 38). Como se indicó anteriormente, el sistema 400 de manejo de tensión (Figura 38) está configurado para controlar la tensión 462 lateral en el portador 450 de capas cuando se ajusta el portador 450 de capas a los contornos 238 de brida (Figura 38) y los contornos 240 de banda de tal manera que la capa 458 de material se enseña lo suficiente como para impedir que la capa 458 de material (Figura 38) toque la herramienta 220 de forma (Figura 38), excepto en la ubicación donde las piezas 552 de boquilla están conformando la capa 458 de material con la herramienta 220 de forma, y la capa 458 de material está lo suficientemente suelta como para permitir que las piezas 552 de boquilla apliquen la cantidad deseada de presión de compactación para adherir la capa 458 de material a la herramienta 220 de forma o a la capa 458 de material aplicada previamente. En el aparato 200 de formación de largueros divulgado anteriormente, la etapa de la detección y el mantenimiento de la tensión 462 lateral en el portador 450 de capas pueden incluir el apoyo de los lados 454 laterales (Figura 38) del portador 450 de capas utilizando el par de brazos 414 de tensión (Figura 38). El método puede incluir además ajustar la posición vertical y/o la posición angular de cada uno de los brazos 414 de tensión en relación con la herramienta 220 de forma usando uno o más accionadores como el accionador 406 de posición vertical descrito anteriormente (Figura 18) y el accionador 410 de posición de rotación.

El método incluye adicionalmente contrapesar la masa de cada uno de los brazos 414 de tensión (Figura 38) durante el movimiento vertical y/o angular de los brazos 414 de tensión usando uno o más cilindros 408, 412 de contrabalanceo (Figura 18). Por ejemplo, un cilindro 408 de contrabalanceo vertical puede equilibrar la masa del brazo 414 de tensión para el accionador 406 de posición vertical (Figura 18). Un cilindro 412 de contrabalanceo rotativo puede equilibrar la masa del brazo 414 de tensión para el accionador 410 de posición de rotación (Figura 18). El método puede incluir adicionalmente detectar, usando los accionadores, la fuerza en los brazos 414 de tensión sin la fuerza debida a la masa (por ejemplo, la inercia) de los brazos 414 de tensión, y ajustar, usando los accionadores, la posición vertical y/o angular de los brazos 414 de tensión de una manera que mantiene la tensión 462 lateral (Figura 38) en el portador 450 de capas (Figura 38) dentro de un rango predeterminado. El proceso descrito anteriormente para detectar y mantener la tensión 462 lateral en el portador 450 de capas se puede realizar de forma continua o en uno o más puntos durante el proceso de ajuste del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma (Figura 38). El proceso de detección y mantenimiento de la tensión 462 lateral en el portador 450 de capas también se puede realizar cuando se desprende el portador 450 de capas de la herramienta 220 de forma (Figura 38). La tensión en el portador 450 de capas puede manejarse durante la formación para no formar capas o arrugas en la capa 458 de material (Figura 38). La posición de los brazos 414 de tensión se puede controlar para controlar el ángulo C del portador de capas en cada lado del portador 450 de capas. A este respecto, la posición del brazo 414 de tensión y el

ángulo C del portador de capas resultante se pueden controlar de una manera que impida la separación prematura de una o más porciones de la capa 458 de material del portador 450 de capas.

La Figura 39 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros (Figura 11) que muestra el proceso de formación del portador 450 de capas (Figura 38) y la capa 458 de material a los contornos 240 de banda en lados opuestos de la herramienta 220 de forma. El marco 280 de cuerda (Figura 33), la disposición de pies 310 de pedal y los módulos 520 de formación (Figura 28) pueden mantener la misma posición que en la etapa anterior. Los brazos 414 de tensión pueden posicionarse para mantener un ángulo de brazo 414 de tensión constante en cada lado de la herramienta 220 de forma. La capacidad de movimiento en Y y Z'' de cada uno de los módulos 520 de formación puede inmovilizarse de tal manera que los ejes Z' y Y' están activos con respecto al movimiento de las vigas 502 de formación y los módulos 520 de formación cuando las piezas 552 de boquilla se barren a lo largo de los contornos 240 de banda de la herramienta 220 de forma. El sistema 400 de manejo de tensión también puede estar activo a lo largo del eje Z' cuando las piezas 552 de boquilla se barren a lo largo de los contornos 240 de banda.

Las vigas 502 de formación (Figura 30) pueden ser accionadas (por ejemplo, a través de los accionadores Z' 504 de formación) para mover la disposición respectiva de módulos 520 de formación a lo largo de la dirección Z' al menos a lo largo de la longitud del contorno 240 de banda en el lado respectivo de la herramienta 220 de forma. Con la disposición de piezas 552 de boquilla en cada lado de la herramienta 220 de forma compactada contra el contorno 240 de banda, los accionadores Y 514 de forma (Figura 27) de cada viga 502 de formación se pueden bloquear, y cualquier cambio en el contorno 240 de banda en la dirección lateral pueden ser seguidos por el cilindro 540 de fuerza lateral (por ejemplo, cilindro neumático) de cada módulo 520 de formación. A medida que la anchura lateral de cada lado del portador 450 de capas se consume como las piezas 552 de boquilla (Figura 29) se mueve hacia abajo a lo largo de los contornos 240 de banda, la tensión 462 lateral en cada lado del portador 450 de capas se puede relajar girando cada brazo 414 de tensión hacia abajo. Como se indicó anteriormente, los módulos 520 de formación pueden detectar continuamente la presión de compactación en las piezas 552 de boquilla, a la vez que el sistema 400 de manejo de tensión detecta continuamente la presión lateral en cada lado del portador 450 de capas durante el proceso de formación del portador 450 de capas en los contornos 238 de brida y los contornos 240 de banda en cada lado de la herramienta 220 de forma. El rango de presión de compactación puede depender del sistema del material, la orientación de la fibra del curso 460 (Figura 6) que se aplica a la herramienta 220 de forma (por ejemplo, ángulo de fibra de 0°, 45°, 90°), y otros factores.

La etapa 614 del método 600 puede incluir desprender el portador 450 de capas (Figura 38) de la herramienta 220 de forma (Figura 39) de tal manera que la capa 458 de material (Figura 39) permanezca en la herramienta 220 de forma. Una vez que las piezas 552 de boquilla (Figura 39) alcanzan la parte inferior del contorno 240 de banda (Figura 39), se puede haber alcanzado la carrera máxima del accionador Z' 504 de formación. En preparación para el proceso de desprendimiento del portador 450 de capas de la herramienta 220 de forma, el cilindro 540 de fuerza lateral de cada módulo 520 de formación puede retraerse, lo cual puede retirar la disposición de piezas 552 de boquilla del contacto con el portador 450 de capas. Las piezas 552 de boquilla pueden permanecer en contacto con el portador 450 de capas con una presión de compactación reducida o insignificante, y los accionadores Z' 504 de formación (Figura 26) pueden invertir la dirección y trasladar los módulos 520 de formación hacia arriba, forzando al portador 450 de capas a desprenderse del contorno 240 de banda y el contorno 238 de brida en cada lado de la herramienta 220 de forma.

Durante el proceso de separación, el marco 280 de cuerda (Figura 33) puede mantener la misma posición que en la etapa anterior. Las vigas 502 de formación (Figura 26) se pueden retraer completamente en la dirección Z'. El bloqueo 536 del vástago del cilindro (Figura 28) de cada uno de los cilindros 532 de fuerza vertical (Figura 28) se puede desactivar, y cada uno de los vástagos 534 del cilindro vertical (Figura 28) se pueden retraer completamente en su cilindro 532 de fuerza vertical. Las vigas 502 de formación pueden devolverse a su posición Y interior máxima. Además, la disposición de pies 310 de pedal (Figura 39) puede estar completamente retraída a lo largo de sus ejes del accionador 312 de pie de pedal (Figura 39).

La Figura 40 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros que muestra el portador 450 de capas después de desprenderse del contorno 240 de banda y el inicio del desprendimiento del contorno 238 de brida en cada lado de la herramienta 220 de forma. La Figura 41 muestra una traslación hacia arriba adicional de los brazos 414 de tensión a medida que el portador 450 de capas se desprende de los contornos 238 de brida de la herramienta 220 de forma. En algunos ejemplos, los brazos 414 de tensión pueden colocarse para mantener un ángulo C de portador de capas constante con respecto a la horizontal a lo largo de la etapa de desprendimiento. En otros ejemplos, el ángulo C del portador de capas puede variar a medida que el portador 450 de capas se desprende de la herramienta 220 de forma. Los accionadores 406 de posición vertical del brazo de tensión (Figura 6) pueden activarse para trasladar verticalmente los brazos 414 de tensión hacia arriba a su posición Z' máxima retraída la cual puede hacer que el portador 450 de capas se desprenda del resto de los contornos 240 de banda.

La Figura 42 muestra el aparato 200 de formación de largueros (Figura 11) después de que el portador 450 de capas (Figura 41) se desprende de la herramienta 220 de forma, después de lo cual el sistema 400 de manejo de tensión, el sistema 300 de pedal y el sistema 500 de formación (Figura 30) están en sus respectivas posiciones iniciales. Una vez que los brazos 414 de tensión se han retraído en su dirección Z', el marco 280 de cuerda (Figura 33) puede girarse de nuevo a un ángulo B de inclinación de 0° con respecto a la horizontal. Al girar el marco 280 de cuerda hacia una orientación horizontal puede comenzar a desprender el portador 450 de capas de un punto bajo en el contorno 238 de

brida (Figura 41) de la herramienta 220 de forma. El marco 280 de cuerda puede elevarse a lo largo de la dirección Z hasta su altura máxima lo que puede completar el proceso de separación del portador 450 de capas de la herramienta 220 de forma (Figura 34). Cada uno de los brazos 414 de tensión puede devolverse a un ángulo de rotación de 0°, de manera que la viga 302 de pedal, el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación pueden estar en la posición de intercambio de portador que se muestra en la Figura 33 y se describe anteriormente. El aparato 200 de formación de largueros se puede mover a lo largo de los rieles 204 de coche hasta la siguiente posición 206 en sentido de la extensión (Figura 7) a lo largo de la herramienta 220 de forma. El portador 450 de capas vacío puede retirarse de los brazos de tensión y reemplazarse con un portador 450 de capas que soporta una nueva capa 458 de material (Figura 41). El ciclo descrito anteriormente de apisonar, conformar y desprender el portador 450 de capas se puede repetir para aplicar la nueva capa 458 de material en la nueva posición 206 en la herramienta 220 de forma.

Las Figuras 43-44 son vistas en sección transversal de realizaciones alternativas de una herramienta 220 de forma (Figura 34) que pueden implementarse para su uso con el aparato 200 de formación de largueros (Figura 11). Como se distingue de la herramienta 222 de forma de pala de las Figuras 33 a 42, que se utiliza para colocar tanto la primera mitad del larguero 110 (por ejemplo, la mitad izquierda) como la segunda mitad del larguero 112 (por ejemplo, la mitad derecha) de un larguero 106 completo (Figuras 3 a 5), cada una de las herramientas 222 de forma de pala en las Figuras 43 a 33 es simétrica y se pueden usar para colocar un par de primeras mitades 110 de largueros y un par de segundas mitades 112 de largueros. Por ejemplo, la herramienta 222 de forma de pala de la Figura 43 se puede usar para colocar un par de primeras mitades 110 de largueros. La herramienta 222 de forma de pala de la Figura 44 se puede usar para colocar un par de segundas mitades 112 de largueros.

Las Figuras 45-46 son vistas en sección transversal de las cargas del larguero 122 de pala que se ensamblaron cada una a partir de una primera mitad del larguero 110 y una segunda mitad del larguero 112. La Figura 45 muestra un larguero 122 de pala ensamblado a partir de la primera mitad del larguero 110 colocada hacia arriba en la herramienta 220 de forma de la Figura 43 y una segunda mitad del larguero 112 colocada en la herramienta 220 de forma de la Figura 44. La Figura 46 también muestra un larguero 122 de pala ensamblado a partir de una primera mitad del larguero 110 colocado en la herramienta 220 de forma de la Figura 43 y una segunda mitad del larguero 112 colocado en la herramienta 220 de forma de la Figura 44. Cada una de las herramientas 220 de forma en las Figuras 43-33 puede incluir una curvatura 228 en sentido de la extensión (Figura 10) correspondiente a la curvatura en los revestimientos de ala de las alas 104 izquierda y derecha (Figura 1) de una aeronave 100 (Figura 1). A este respecto, los largueros 106 de pala de las Figuras 45 y 46 pueden corresponder respectivamente a las alas 104 izquierda y derecha, o viceversa.

La Figura 47 es una vista en sección transversal de una herramienta 224 de forma de sección en U profunda. La Figura 48 es una vista en sección transversal de un larguero 124 el cual puede colocarse usando la herramienta 224 de forma de sección en U profunda y el aparato 200 de formación de largueros (Figura 8) divulgado en el presente documento. Como se indicó anteriormente, el larguero 124 de forma de sección en U profunda puede tener una sección transversal en forma de sección en U profunda que incluye una tapa 126 y un par de bandas 120 que se extienden a un par correspondiente de bridas 116. El proceso de disposición del larguero 124 de sección en U profunda se puede realizar en una de manera similar a la descrita anteriormente para colocar un larguero 122 (Figura 45).

La Figura 49 es una vista en perspectiva de un ejemplo adicional de un aparato 200 de formación de largueros descrito en el contexto de la formación de un larguero 124 de forma de sección en U profunda en un segmento en sentido de la extensión de una herramienta 224 de forma de sección en U profunda. El aparato 200 de formación de largueros en la Figura 49 puede ser operado de manera similar al aparato 200 de formación de largueros de la Figura 8 descrito anteriormente. El aparato 200 de formación de largueros de la Figura 49 puede configurarse como un coche 260 de formación (Figura 7) el cual puede trasladarse a lo largo de los rieles 204 de coche de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda para guiar el aparato 200 de formación de largueros en la disposición secuencial de capas compuestas para formar un larguero 124 de forma de sección en U profunda. Sin embargo, el aparato 200 de formación de largueros también puede ser estacionario.

El aparato 200 de formación de largueros de la Figura 49 puede incluir un marco 280 de cuerda para soportar un sistema 400 de manejo de tensión, un sistema 300 de pedal y un sistema 500 de formación. El marco 280 de cuerda de la Figura 49 puede ser similar al marco de cuerda de la Figura 15 en que el marco 280 de cuerda de la Figura 49 puede incluir un par paralelo de vigas 282 laterales las cuales pueden estar interconectadas por un par opuesto de vigas 284 de extremo. El marco 280 de cuerda puede incluir una o más vigas 286 transversales para soportar la viga 302 de pedal. En el ejemplo que se muestra, el marco 280 de cuerda incluye un par de vigas 286 transversales, cada uno de ellas compuesto por porciones en ángulo que forman una configuración de marco A para soportar la viga 302 de pedal en el vértice de las vigas 286 transversales de marco A. Sin embargo, las vigas 286 transversales pueden proporcionarse en cualquier configuración, que incluye una configuración recta como se muestra en la Figura 15. Aunque no se muestra en la Figura 49, el marco 280 de cuerda puede estar soportado por un par de marcos 264 de extremo en los extremos opuestos del aparato 200 de formación de largueros. Los accionadores Z 288 pueden montarse en los marcos 264 de extremo para mover independientemente el marco 280 de cuerda de manera que se ajuste la posición vertical y el ángulo de inclinación B del marco 280 de cuerda para que coincida con la tangente local de la curvatura en sentido de la extensión de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda 224 como se describe anteriormente.

La Figura 50 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros tomada a lo largo de la línea 50 de la Figura 49 e ilustra el aparato 200 de formación de largueros suspendido sobre una herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Como se indicó anteriormente, las patas 266 del marco (por ejemplo, véase la Figura 11) de los marcos 264 de extremo pueden extenderse en la herramienta 224 de forma de sección en U profunda y pueden estar acoplados de manera móvil a los rieles 204 de coche. Como se describe con mayor detalle a continuación, el aparato 200 de formación de largueros puede incluir un sistema 400 de manejo de tensión para soportar el portador 450 de capas durante la aplicación de una capa 458 de material a la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Una capa de material (no se muestra) tal como una capa compuesta puede montarse en la superficie 452 inferior del portador 450 de capas. La viga 302 de pedal se muestra apoyada por las vigas transversales 286 de marco A las cuales están soportadas por las vigas 282 laterales del marco 280 de cuerda.

La viga 302 de pedal es parte del sistema 300 de pedal y se describe anteriormente con respecto a las Figuras 21 a 23. El sistema 300 de pedal puede incluir una disposición de accionadores 312 de pie del pedal los cuales pueden acoplarse operativamente a la viga 302 de pedal y activarse de manera coordinada para sujetar el portador 450 de capas y la capa 458 de material a la herramienta 224 en forma de sección en U profunda durante el proceso de conformación de la capa 458 de material a la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. La viga 302 de pedal puede extenderse entre las vigas 284 de extremo opuestas del marco 280 de cuerda. A diferencia del sistema 300 de pedal de la Figura 21, en donde la viga 302 de pedal se mueve verticalmente con respecto al marco 280 de cuerda, la viga 302 de pedal que se muestra en las Figuras 49 a 50 puede estar rígida o no movable acoplada al marco 280 de cuerda a través de las vigas 286 transversales del marco A. El posicionamiento vertical de la viga 302 de pedal se puede realizar moviendo el marco 280 de cuerda en su conjunto, utilizando los accionadores Z 288 para posicionar la viga 302 de pedal en relación con la herramienta 224 de forma de sección en U profunda.

En la Figura 50, el aparato 200 de formación de largueros puede incluir disposiciones de lado izquierdo y lado derecho de piezas 552 de boquilla en lados opuestos de la disposición de pies 310 de pedal ubicados en el centro. Las piezas 552 de boquilla son parte de la disposición de módulos 520 de formación. Los módulos 520 de formación pueden montarse en un par de vigas 502 de formación en lados opuestos respectivos de la viga 302 de pedal. Cada disposición de módulos 520 de formación puede distribuirse uniformemente a lo largo de cada una de las vigas 502 de formación y puede configurarse para aplicar presión de compactación al portador 450 de capas contra el contorno 236 de la herramienta de forma de sección en U profunda durante el proceso de formación del portador 450 de capas y la capa 458 de material al contorno 236 de la herramienta de forma. En cada lado de la viga 203 de pedal, cada viga 502 de formación se puede mover independientemente a lo largo de la porción en ángulo de las vigas 286 transversales del marco A. Cada porción inclinada de las vigas 286 transversales del marco A puede incluir un riel 518 de viga transversal al cual se puede acoplar de forma deslizante una viga 502 de formación a través de un soporte accionador. Los accionadores 519 de viga transversal para cada viga 502 de formación pueden operarse de manera sincronizada para controlar el movimiento de la viga 502 de formación a lo largo de la porción en ángulo de las vigas 286 transversales del marco A, a cada lado de la viga 302 de pedal.

Cada uno de los módulos 520 de formación puede incluir un accionador 530 de módulo de formación. Se puede operar una disposición de accionadores 530 de modulo de formación en cada lado de la viga 302 de pedal para controlar la posición de las piezas 552 de boquilla a lo largo de una dirección perpendicular (por ejemplo, 90 grados) a la orientación de la parte en ángulo de las vigas 286 transversales del marco A. Sin embargo, los accionadores 530 de modulo de formación pueden configurarse para controlar la posición de las piezas 552 de boquilla a lo largo de una dirección distinta de 90 grados a la orientación de la parte en ángulo de las vigas 286 transversales del marco A. Como se describe con mayor detalle a continuación, los accionadores 519 de vigas transversales y los accionadores 530 de módulo de formación pueden operarse de manera coordinada para barrer lateralmente las piezas 552 de boquilla a lo largo de los contornos de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda durante el proceso de formación del portador 450 de capas y la capa 458 de material al contorno 236 de la herramienta de forma. En algunas realizaciones, los módulos 520 de formación pueden incluir accionadores que tienen la capacidad de detectar y controlar la magnitud de la presión de compactación aplicada por las piezas 552 de boquilla sobre el portador 450 de capas a través de retroalimentación dinámica durante el proceso de formación del portador 450 de capas al contorno 236 de la herramienta de forma. Sin embargo, en otras realizaciones, los accionadores 519 de viga transversal y los accionadores 530 del módulo de formación pueden carecer de la capacidad de detectar la presión de compactación, y el movimiento de las piezas 552 de boquilla puede programarse previamente para seguir de forma pasiva el contorno 236 de la herramienta de forma, con las piezas 552 de boquilla aplicando presión de compactación sobre el portador 450 de capas contra la herramienta 224 de forma debido a la carga del resorte o la influencia de las piezas 552 de boquilla contra la herramienta 224 de forma. En aún otras realizaciones, los accionadores 519 de viga transversal y los módulos 530 de formación pueden configurarse para variar la velocidad de las piezas 552 de boquilla durante el barrido lateral de las piezas 552 de boquilla para optimizar la formación del portador 450 de capas y la capa 458 de material a la geometría de la herramienta 220 de forma. La velocidad de las piezas 552 de boquilla puede variar cuando las piezas 552 de boquilla se operan en el modo activo (por ejemplo, los accionadores 519 y/o 530 detectan la presión de compactación) y/o cuando las piezas 552 de boquilla se operan en el modo pasivo (por ejemplo, los accionadores 519 y/o 530 carecen de la capacidad de detectar la presión de compactación).

La Figura 51 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un sistema 400 de manejo de tensión del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 49. El sistema 400 de manejo de tensión puede incluir un par de brazos 414 de tensión configurados para soportar los lados laterales del portador 450 de capas. Cada brazo 414 de tensión puede

comprender una viga 416 de tensión y un par de brazos 418 de pivote que se extienden lateralmente a partir de los extremos opuestos de la viga 416 de tensión. Cada brazo 418 de pivote puede estar soportado de manera giratoria en un punto 420 de pivote en un soporte 402 de apoyo del brazo de tensión en cada extremo del marco 280 de cuerda. El soporte 402 de apoyo del brazo de tensión puede estar acoplado rígidamente o no móvil al marco 280 de cuerda, y esto contrasta con el sistema 400 de manejo de tensión de las Figuras 18 a 20 en donde los brazos 414 de tensión pueden moverse verticalmente con respecto al marco 280 de cuerda a través de accionadores 410 de posición vertical en cada uno de los extremos opuestos de cada brazo 414 de tensión.

La Figura 52 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea 52 de la Figura 51 y que ilustra el par de brazos 414 de tensión, cada uno de los cuales tiene un accionador 410 de posición de rotación y un cilindro 412 de contrabalanceo rotativo en cada extremo de cada brazo 414 de tensión. Cada uno de los brazos 414 de tensión pueden incluir una viga 416 de tensión configurada para soportar un riel 456 de estiramiento que se extiende a lo largo de un lado lateral del portador 450 de capas. Una capa 458 de material, tal como una capa de material compuesto, puede adherirse de manera liberable a la superficie 452 inferior del portador 450 de capas. En una cualquiera de las realizaciones de los aparatos 200 de formación de largueros divulgados en el presente documento, un riel 456 de estiramiento que soporta uno de los lados 454 laterales del portador 450 de capas puede estar unido de forma fija (por ejemplo, indexado de parada fuerte) a una viga 416 de tensión, y el resto de la viga 416 de tensión que soporta el lado 454 lateral opuesto del portador 450 de capas puede estar cargado por resorte para permitir que los rieles 456 de estiramiento se aflojen en el portador 450 de capas como puede ocurrir debido a variaciones en el ancho fabricado del portador 450 de capas y/o debido al desgaste (por ejemplo, ligero estiramiento lateral) del portador 450 de capas con el tiempo y/o desgaste en el aparato 200 de formación de largueros. Al proporcionar capacidad de resorte al estiramiento los rieles 456 para aflojar el portador 450 de capas pueden permitir que la precisión relativa de la ubicación de la capa 458 de material se transfiera a la disposición en la herramienta 224 de forma. Con respecto al movimiento de los brazos 414 de tensión, cada brazo 414 de tensión puede ser giratorio alrededor de un punto 420 de pivote que usa uno o más accionadores 410 de posición de rotación. El punto 420 de pivote se puede incluir en el soporte 402 de apoyo del brazo de tensión. En algunos ejemplos, cada soporte 402 de apoyo del brazo de tensión se puede extender hacia abajo en un ángulo a partir de la viga 302 de pedal.

El accionador 410 de posición de rotación en los extremos opuestos de cada brazo 414 de tensión puede controlar la posición del brazo 414 de tensión con respecto a la herramienta 224 de forma de sección en U profunda durante el proceso de formación del portador 450 de capa hacia la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. La posición de los brazos 414 de tensión con respecto a la herramienta 224 de forma de sección en U profunda también puede ser asistida mediante la traslación vertical del marco 280 de cuerda en su totalidad utilizando los accionadores Z 288 (Figura 8). De una manera descrita anteriormente con respecto a las Figuras 33 a 42, los cilindros 412 de contrabalanceo de rotación de cada brazo 414 de tensión pueden contrapesar la masa del brazo 414 de tensión, y de este modo permitir que los accionadores 410 de posición de rotación detecten y mantengan la tensión 462 lateral con precisión en el portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado durante el proceso de formación del portador 450 de capas y la capa 458 de material sobre la herramienta 224 de forma y durante el proceso de desprendimiento del portador 450 de capas alejándose de la herramienta 224 de forma.

Las Figuras 53 a 58 ilustran una secuencia de operaciones para el proceso de conformar el portador 450 de capas y la capa 458 de material a una herramienta 224 de forma de sección en U profunda y desprender el portador de capas 450 de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda después de completar el proceso de conformación. La secuencia de operaciones implica el movimiento coordinado de los componentes del sistema 300 de pedal, el sistema 400 de manejo de tensión y el sistema 500 de formación. Aunque la secuencia operativa en las Figuras 53 a 58 se describe en el contexto de la formación de una capa de material a una herramienta de forma de sección en U profunda, la secuencia operativa puede implementarse para formar una capa de material para cualquier configuración de herramienta de forma, sin limitación.

La Figura 53 muestra una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros descrito anteriormente para formar un larguero 124 de sección en U profunda y que muestra el marco 280 de cuerda, el sistema 400 de manejo de tensión, el sistema 300 de pedal y las piezas 552 de boquilla en sus respectivas posiciones iniciales antes del inicio del proceso de formación de un portador 450 de capas sobre una herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los accionadores 410 de posición rotativos pueden accionarse para orientar las vigas 502 de formación de manera que el portador 450 de capas sea en general plano y esté orientado en general paralelo a la mesa 246 de herramientas de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los accionadores Z 288 (Figura 8) en cada extremo del marco 280 de cuerda se pueden accionar para ajustar el ángulo de inclinación B de la estructura de la cuerda 280 de manera que el portador 450 de capas esté en general paralelo a una tangente local (no se muestra) de la herramienta 224 de forma, como se describe anteriormente. El marco 280 de cuerda puede bajarse hasta que el portador 450 de capas esté diversas pulgadas por encima del contorno 244 de tapa de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los accionadores 312 del pie del pedal pueden retraerse y los pies 310 del pedal pueden colocarse por encima y en una relación sin contacto al portador 450 de capas en general plano. Las vigas 502 de formación en los lados opuestos de la viga 302 de pedal pueden colocarse en su límite interior. Además, el accionador de formación de cada módulo 520 de formación se puede retraer de manera tal que las piezas 552 de boquilla estén posicionadas inmediatamente arriba y en una relación sin contacto con el portador 450 de capas.

La Figura 54 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 53 que muestra la extensión de los accionadores 312 del pie de pedal y la bajada del marco 280 de cuerda que hace que los pies 310 de pedal pisen el portador 450 de capas sobre el contorno 244 de tapa de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Como se indicó anteriormente, el sistema 300 de pedal puede incluir uno o más sensores de posición en los accionadores 312 del pie de pedal para proporcionar una indicación de cuándo el accionador 312 del pie de pedal final ha contactado con la herramienta 224 de forma. A este respecto, el accionador 312 del pie del pedal final puede enviar una señal a los accionadores Z 288 para que detenga el descenso vertical del marco 280 de cuerda. La sujeción del portador 450 de capas sobre la herramienta 224 puede bloquear la posición lateral del portador 450 de capas y puede también compactar la capa 458 de material contra el contorno 244 de tapa de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Una vez que el portador 450 de capas se sujeta a la herramienta 224 de forma con los accionadores 312 del pie de pedal, el módulo 530 de formación se puede extender causando que las piezas 552 de boquilla se pongan en contacto con el portador 450 de capas contra la herramienta 224 de forma en los lados opuestos de los pies 310 del pedal.

Durante la etapa de pisada, los cilindros 412 de compensación de rotación del sistema 400 de manejo de tensión pueden contrabalancear la masa de los brazos 414 de tensión y, de este modo, permitir que los accionadores 410 de posición de rotación detecten y mantengan la tensión 462 lateral en cada lado del portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado. Además, los accionadores 410 de posición de rotación pueden operarse de una manera para controlar el ángulo C del portador de capas en cada lado del portador 450 de capas para impedir que el portador 450 de capas entre en contacto con la herramienta 224 de forma. En el ejemplo que se muestra, cada lado del portador 450 de capas puede estar orientado en un ángulo C de portador de capas relativamente poco profundo (por ejemplo, menos de 15°) con respecto a la horizontal.

La Figura 55 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 53 después de que las piezas 552 de boquilla hayan formado el portador 450 de capas alrededor del radio 242 en cada lado del contorno 244 de tapa. Como se indicó anteriormente, los accionadores 530 de módulo de formación y los accionadores 519 de viga transversal pueden cooperar para mover la disposición de accionadores 530 de módulo de formación en cada lado de viga 302 de pedal de una manera que hace que la formación de piezas 552 de boquilla barran lateralmente el portador 450 de capas contra el contorno 236 de la herramienta de forma. Como se indicó anteriormente, los accionadores 530 de módulo de formación pueden programarse previamente para seguir el contorno de la herramienta 224 de forma, de modo que las piezas 552 de boquilla apliquen pasivamente la presión de compactación sobre el portador 450 de capas contra el contorno 236 de la herramienta de forma. En otra realización, uno o más de accionadores 530 de módulo de formación pueden incluir la capacidad para detectar la presión de compactación de las piezas 552 de boquilla sobre el portador 450 de capas. Por ejemplo, uno o más de los accionadores 530 del módulo de formación pueden realizar una retroalimentación para permitir que los accionadores 530 de módulo de formación detecten la fuerza en las piezas 552 de boquilla y ajusten los accionadores de módulo de formación para mantener la presión de compactación de las piezas 552 de boquilla dentro de un rango predeterminado. En un ejemplo, los accionadores 530 de módulo de formación pueden configurarse de manera similar a los cilindros 532 de fuerza vertical descritos anteriormente.

La Figura 55 ilustra las piezas 552 de boquilla que conforman el portador 450 de capas a los radios internos en cada lado de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los puntos 420 de pivote de los brazos 414 de tensión pueden mantenerse en la misma posición vertical como en la Figura 54, y los accionadores 410 de posición de rotación pueden girar los brazos 414 de tensión hacia abajo para mantener la tensión 462 lateral dentro del rango predeterminado. Además, los accionadores 410 de posición de rotación pueden controlar la posición de los brazos 414 de tensión para controlar el ángulo C del portador de capas de una manera que impida que cada lado del portador 450 de capas entre en contacto con el contorno 236 de la herramienta de forma.

La Figura 56 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 53 después de que las piezas 552 de boquilla hayan formado el portador 450 de capas a los contornos 238 de brida en los lados opuestos de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los puntos 420 de pivote de los brazos 414 de tensión pueden mantenerse en la misma posición vertical como en la Figura 55, y los accionadores 410 de posición de rotación pueden girar los brazos 414 de tensión hacia abajo a medida que el ancho lateral del portador 450 de capas en cada lado de la herramienta 224 de forma se consume en la medida que la capa 458 de material se adhiere a la herramienta 224 de forma o a una capa 458 de material aplicada previamente. Además, los brazos 414 de tensión pueden pivotar alrededor de los puntos 420 de pivote de modo que cada lado del portador 450 de capas esté orientado en un ángulo C del portador de capas hacia arriba con respecto a la horizontal, de modo que la tensión 462 lateral en cada lado del portador 450 de capas esté ligeramente hacia arriba.

De manera ventajosa, los cilindros 412 de contrabalanceo de rotación pueden balancear la masa de los brazos 414 de tensión para los accionadores 410 de posición de rotación de una manera que permita que los accionadores 410 de posición de rotación mantengan la tensión 462 lateral por encima de un mínimo predeterminado para impedir la formación de pliegues o arrugas en la capa 458 de material que, de lo contrario, podrían ocurrir si se mantuviera una tensión 462 lateral insuficiente en el portador 450 de capas. Además, los accionadores 410 de posición de rotación pueden mantener la tensión 462 lateral por debajo de un máximo predeterminado para impedir la separación prematura de la capa 458 de material a partir del portador 450 de capas, como podría ocurrir si se aplicara una tensión 462 lateral excesiva al portador 450 de capas. Como se indicó anteriormente, el rango de presión lateral sobre el

portador de capas puede depender del sistema del material, la orientación de la fibra de la capa compuesta que se aplica a la herramienta de forma, y otros factores.

5 La Figura 57 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 53 que muestra el desprendimiento del portador 450 de capas alejándose de la herramienta 224 de forma de tal manera que la capa 458 de material permanece en la herramienta 224 de forma. Como se puede véase, la disposición de piezas 552 de boquilla se puede retraer de la herramienta 224 de forma, tal como retrayendo los accionadores 530 de módulo de formación. Además, el marco 280 de cuerda puede trasladarse verticalmente hacia arriba, tal como accionando los accionadores Z 288 (Figura 8), y haciendo que los pies 310 de pedal salgan de la abrazadera del contorno 244 de tapa de la herramienta 224 de forma y se muevan verticalmente hacia arriba. Simultáneamente, cuando el marco 280 de cuerda se mueve hacia arriba, los brazos 414 de tensión en cada lado de la herramienta 224 de forma pueden girar hacia abajo, lo que hace que el portador 450 de capas se desprege de la herramienta 224 de forma y deje la capa 458 de material en la herramienta 224 de forma. Como se indicó anteriormente, los accionadores 410 de posición de rotación colocan los brazos 414 de tensión para mantener la tensión 462 lateral en cada lado del portador 450 de capas dentro de un rango predeterminado durante el proceso de desprendimiento del portador de capas para impedir una tensión 462 lateral excesiva que de otra manera podría tirar la capa 458 de material fuera de la herramienta 224 de forma. Además, la posición de los brazos 414 de tensión se puede controlar de una manera para mantener cada lado del portador 450 de capas en un ángulo C del portador de capas predeterminado durante todo el proceso de desprendimiento para impedir tirar la capa 458 de material fuera de la herramienta 224 de forma, como podría ocurrir si el portador 450 de capas estuviera orientado perpendicular a la ubicación instantánea donde se está desprendiendo el portador 450 de capas.

La Figura 58 es una vista de extremo del aparato 200 de formación de largueros de la Figura 53 que muestra el portador 450 de capas después de desprenderse de la herramienta 224 de forma de sección en U profunda. Los brazos 414 de tensión pueden girarse de nuevo a la posición que se muestra en la Figura 53. El marco 280 de cuerda puede elevarse para proporcionar espacio con la herramienta 224 de forma. Además, el marco 280 de cuerda puede girarse nuevamente a un ángulo B de inclinación de 0° respecto a la horizontal para colocar el portador 450 de capas en una posición de intercambio del portador. El aparato 200 de formación de largueros se puede mover a la siguiente posición en sentido de la extensión de la herramienta 224 de forma y el portador 450 de capas vacío se puede retirar de los brazos 414 de tensión y se reemplaza por un nuevo portador 450 de capas que soporta una nueva capa 458 de material. El proceso descrito anteriormente se puede repetir para aplicar la nueva capa 458 de material en la nueva posición en sentido de la extensión en la herramienta 224 de forma.

Los ejemplos descritos anteriormente de los aparatos 200 de formación de largueros (Figuras 8 y 49) y los métodos proporcionan ventajosamente un medio para colocar automáticamente una o más capas de material o capas compuestas sobre una herramienta 220 de forma (Figuras 34 y 53) de longitud relativamente larga de manera rentable y con mínima intervención humana. Además, los aparatos 200 de formación de largueros y los métodos pueden permitir la formación de largueros de cualquier configuración, incluidos los largueros (Figura 45) y los largueros de forma en secciones en U profunda (Figura 48) a altas tasas de producción y con un alto grado de precisión y consistencia. Los aparatos 200 de formación de largueros pueden ser adaptables para una amplia diversidad de geometrías de herramienta de forma, y no están limitados a herramientas de forma de pala (Figura 34) y herramientas de forma de sección en U profunda (Figura 53). Además, los aparatos 200 de formación de largueros pueden acomodar variaciones en el contorno a lo largo de la dirección 226 de la extensión y/o a lo largo de la dirección 230 lateral de una herramienta 220 de forma.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (200) para formar una capa (458) de material sobre una herramienta (220) de forma, que comprende:
al menos una pieza (552) de boquilla configurada para barrer lateralmente un portador (450) de capas sobre un contorno (236) de la herramienta de forma;
- 5 un par de brazos (414) de tensión configurados para soportar lados (454) laterales opuestos de un portador (450) de capas que tiene una capa (458) de material montada en una superficie (452) inferior de la misma;
uno o más accionadores (406, 410) configurados para colocar los brazos (414) de tensión durante la formación del portador (450) de capas al contorno (236) de la herramienta de forma; y
- 10 el uno o más accionadores (406, 410) están configurados para detectar y controlar la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas durante la formación del portador (450) de capas al contorno (236) de la herramienta de forma.
2. El aparato (200) de la reivindicación 1, en donde los accionadores (406, 410) de los brazos (414) de tensión incluyen:
un accionador (406) de posición vertical de brazo (414) de tensión operativo para trasladar al menos uno de los brazos (414) de tensión y detectar la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas.
- 15 3. El aparato (200) de la reivindicación 2, incluye además: un cilindro (408) de contrabalanceo vertical operativo para contrabalancear una masa del brazo (414) de tensión durante la traslación de tal manera que permita al accionador (406) de posición vertical del brazo (414) de tensión para detectar y mantener la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas dentro de un rango predeterminado.
4. El aparato (200) de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde los accionadores (406, 410) de los brazos (414) de tensión incluyen:
- 20 un accionador (410) de posición de rotación operativo para ajustar una posición angular de los brazos (414) de tensión y detectar la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas; y
un cilindro (412) de contrabalanceo rotativo operativo para contrabalancear una masa del brazo (414) de tensión durante el giro de tal manera que permita que el accionador (410) de posición de rotación detecte y mantenga la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas dentro de un rango predeterminado.
- 25 5. El aparato (200) de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye además:
un marco (280) de cuerda que tiene extremos opuestos y que soporta los brazos (414) de tensión; y
uno o más accionadores Z (288) en cada extremo del marco (280) de cuerda operativos para ajustar un ángulo de inclinación del marco (280) de cuerda en relación con la herramienta (220) de forma.
6. El aparato (200) de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye además:
- 30 al menos un accionador (312) de pie de pedal operativo para sujetar el portador (450) de capas a la herramienta (220) de forma;
una viga (302) de pedal acoplada a un marco (280) de cuerda y que soporta el accionador (312) de pie de pedal; y
al menos un accionador (304) de viga de pedal configurado para posicionar verticalmente la viga (302) de pedal con respecto al marco (280) de cuerda.
- 35 7. El aparato (200) de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye además:
al menos una pieza (552) de boquilla configurada para barrer a lo largo de la herramienta (220) de forma y conformar el portador (450) de capas y la capa (458) de material para el contorno (236) de la herramienta de forma; y
uno o más accionadores (530) de módulo de formación configurados para detectar y controlar la presión de compactación aplicada por la pieza (552) de boquilla sobre el portador (450) de capas.
- 40 8. El aparato (200) de la reivindicación 7, que incluye además:
un par de vigas (502) de formación acopladas a un marco (280) de cuerda y que soportan una disposición de módulos (520) de formación que tienen cada uno una pieza (552) de boquilla; y
un par de accionadores Z' (504) de formación y un par de accionadores Y (514) de formación en cada uno de los extremos opuestos de cada uno de las vigas (502) de formación y configurados para trasladar las vigas (502) de formación en relación con el marco (280) de cuerda.
- 45 9. Un método para colocar una capa (458) de material, que comprende las etapas de:

- colocar un portador (450) de capas sobre una herramienta (220) de forma, teniendo el portador (450) de capas una capa (458) de material montada en un superficie (452) inferior del portador (450) de capas;
- conformar el portador (450) de capas a un contorno (236) de la herramienta de forma; y
- 5 mantener la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas dentro de un rango predeterminado durante la adaptación del portador (450) de capas al contorno (236) de la herramienta de forma,
- en donde la etapa de mantener la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas comprende:
- soportar el portador (450) de capas en lados (454) laterales opuestos utilizando un par de brazos (414) de tensión accionados por uno o más accionadores (406, 410);
- contrabalancear una masa de los brazos (414) de tensión;
- 10 detectar, utilizando uno o más accionadores (406, 410), la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas en función de la fuerza restante en los brazos (414) de tensión después de balancear la masa; y
- ajustar, utilizando el uno o más accionadores (406, 410), la posición de los brazos (414) de tensión de tal manera que se mantenga la tensión (462) lateral en el rango predeterminado.
10. El método de la reivindicación 9, que incluye además la etapa de:
- 15 separar el portador (450) de capas de la herramienta (220) de forma detectando y manteniendo la tensión (462) lateral en el portador (450) de capas dentro de un rango predeterminado durante la separación del portador (450) de capas.
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en donde la etapa de conformar el portador (450) de capas incluye:
- 20 barrer lateralmente una pieza (552) de boquilla a través de la herramienta (220) de forma para compactar el portador (450) de capas y la capa (458) de material contra la herramienta (220) de forma.
12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9, 10 u 11, que incluye además:
- apisonar el portador (450) de capas en la herramienta (220) de forma antes de adaptar el portador (450) de capas al contorno (236) de la herramienta de forma.
- 25 13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 9, 10, 11 o 12, en donde la etapa de colocar el portador (450) de capas incluye:
- ajustar un ángulo de inclinación del portador (450) de capas para que sea complementario a un ángulo de cuerda local de la herramienta (220) de forma antes de adaptar el portador (450) de capas al contorno (236) de la herramienta de forma.

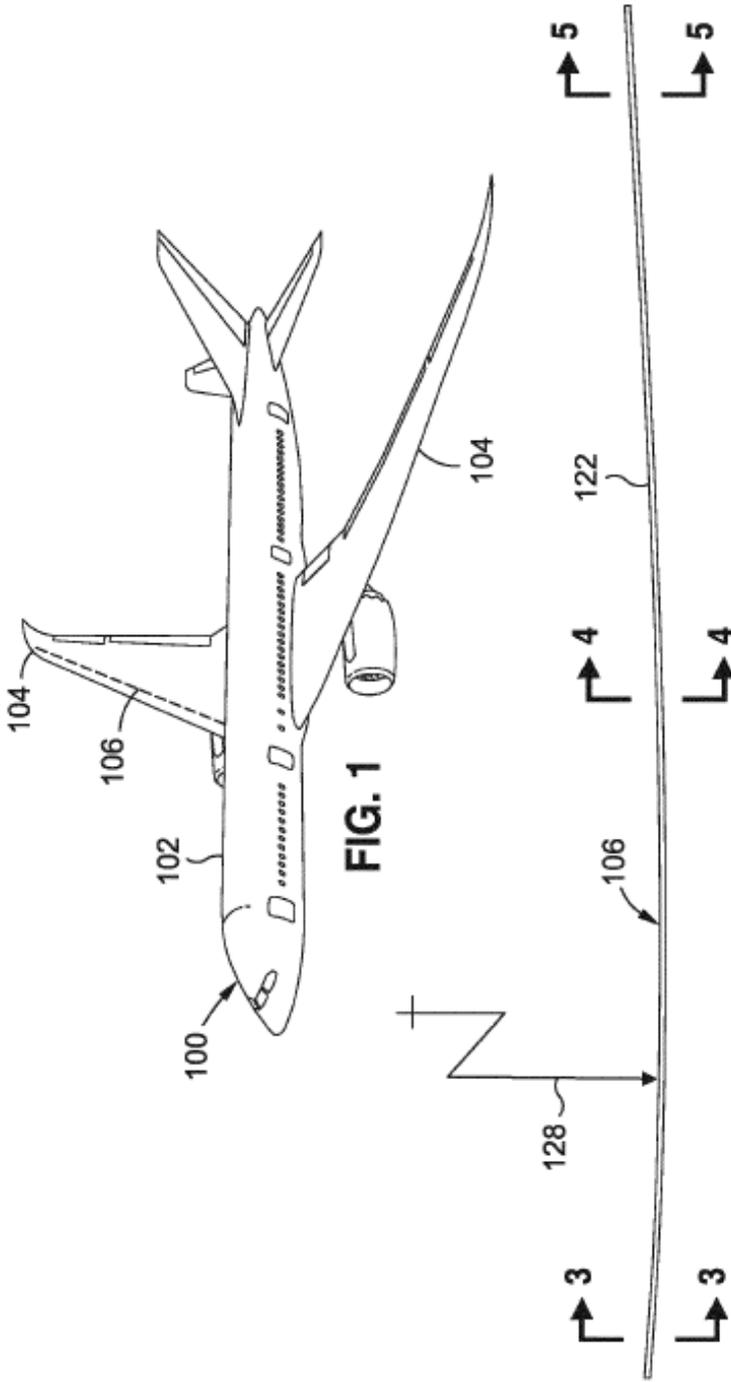


FIG. 1

FIG. 2

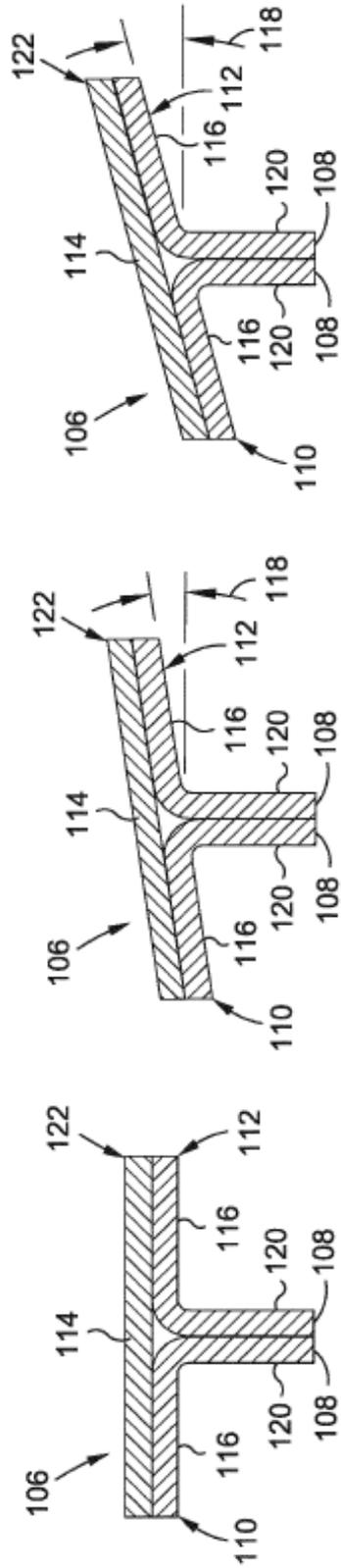


FIG. 3

FIG. 4

FIG. 5

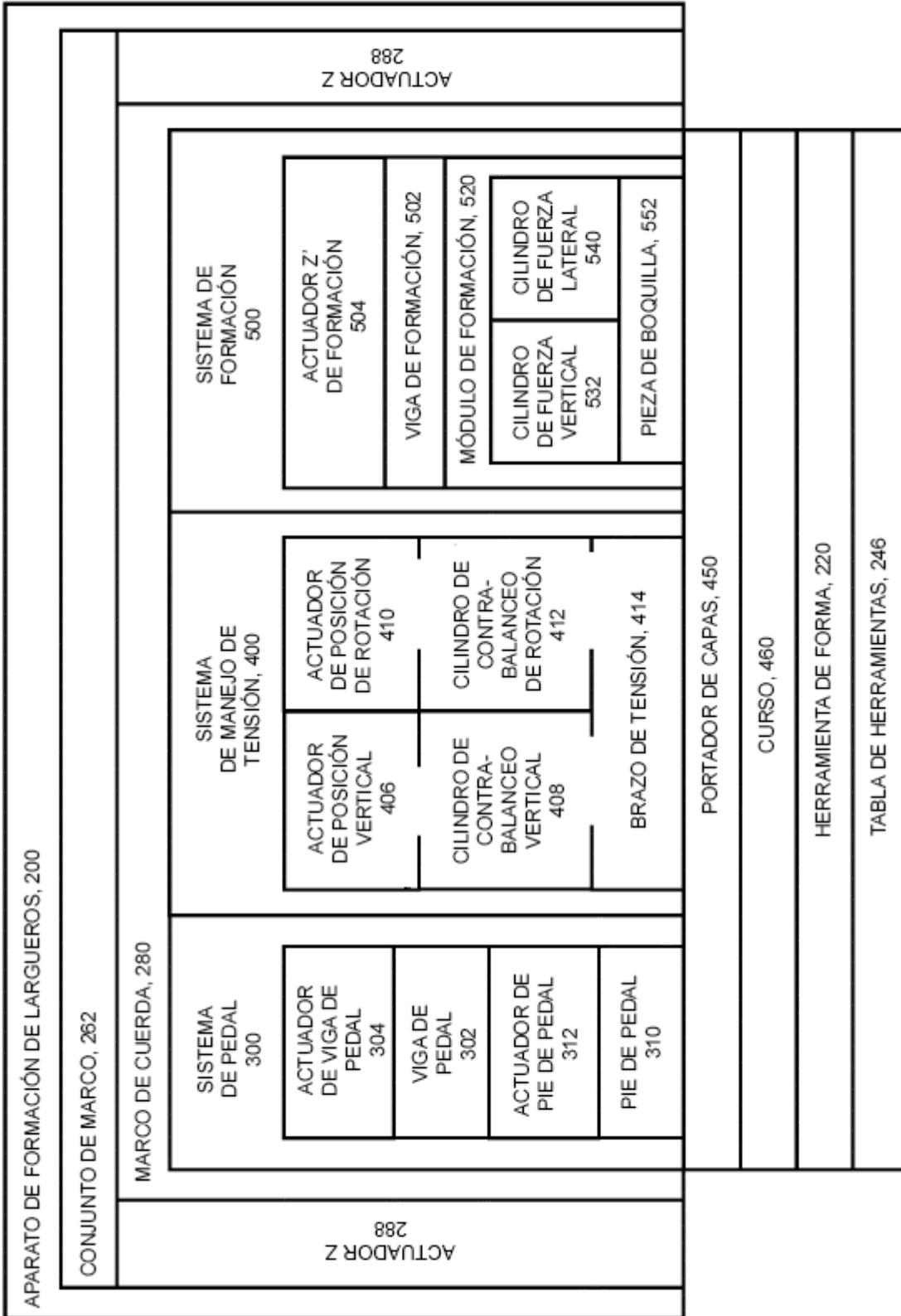
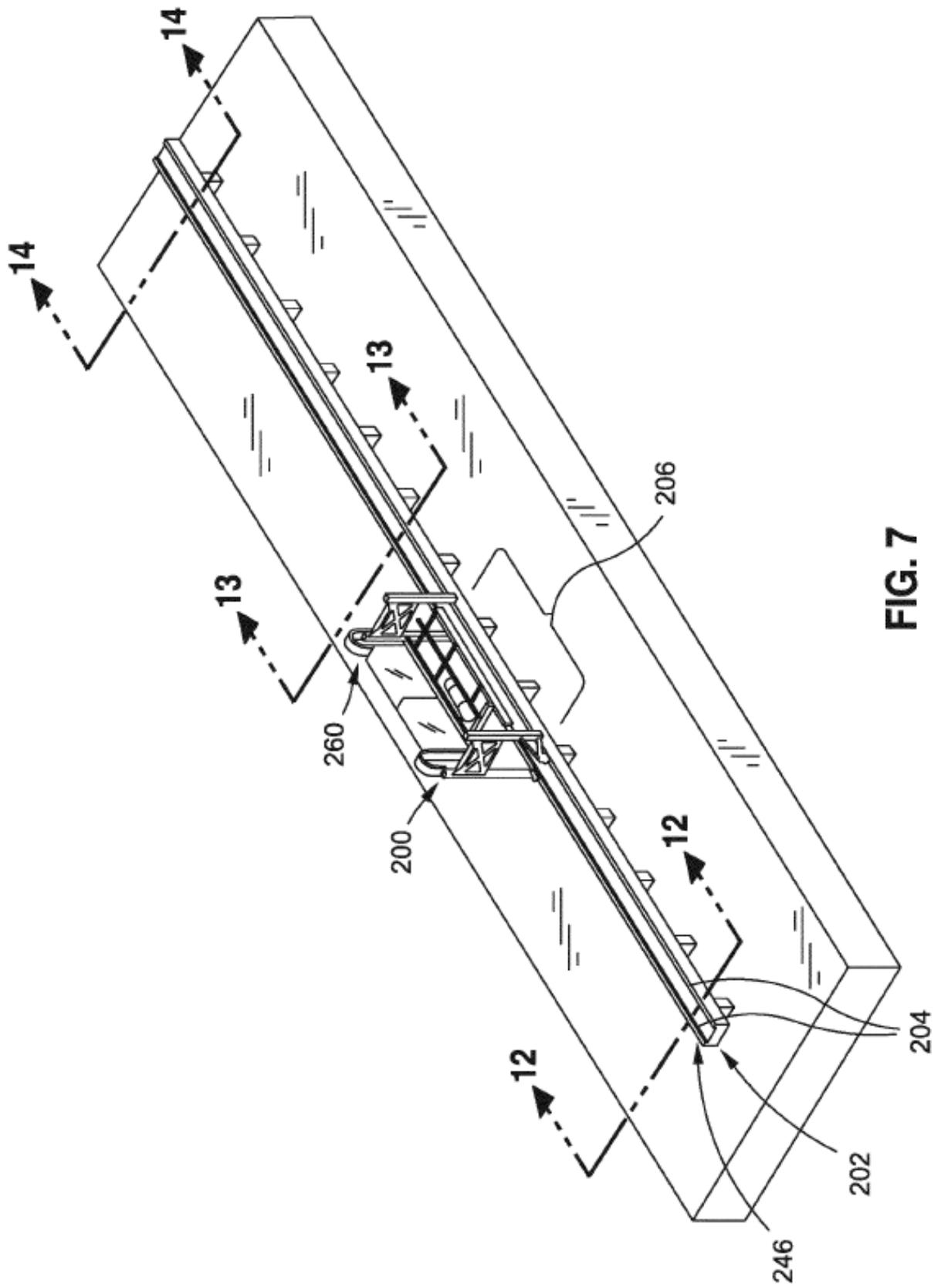


FIG. 6



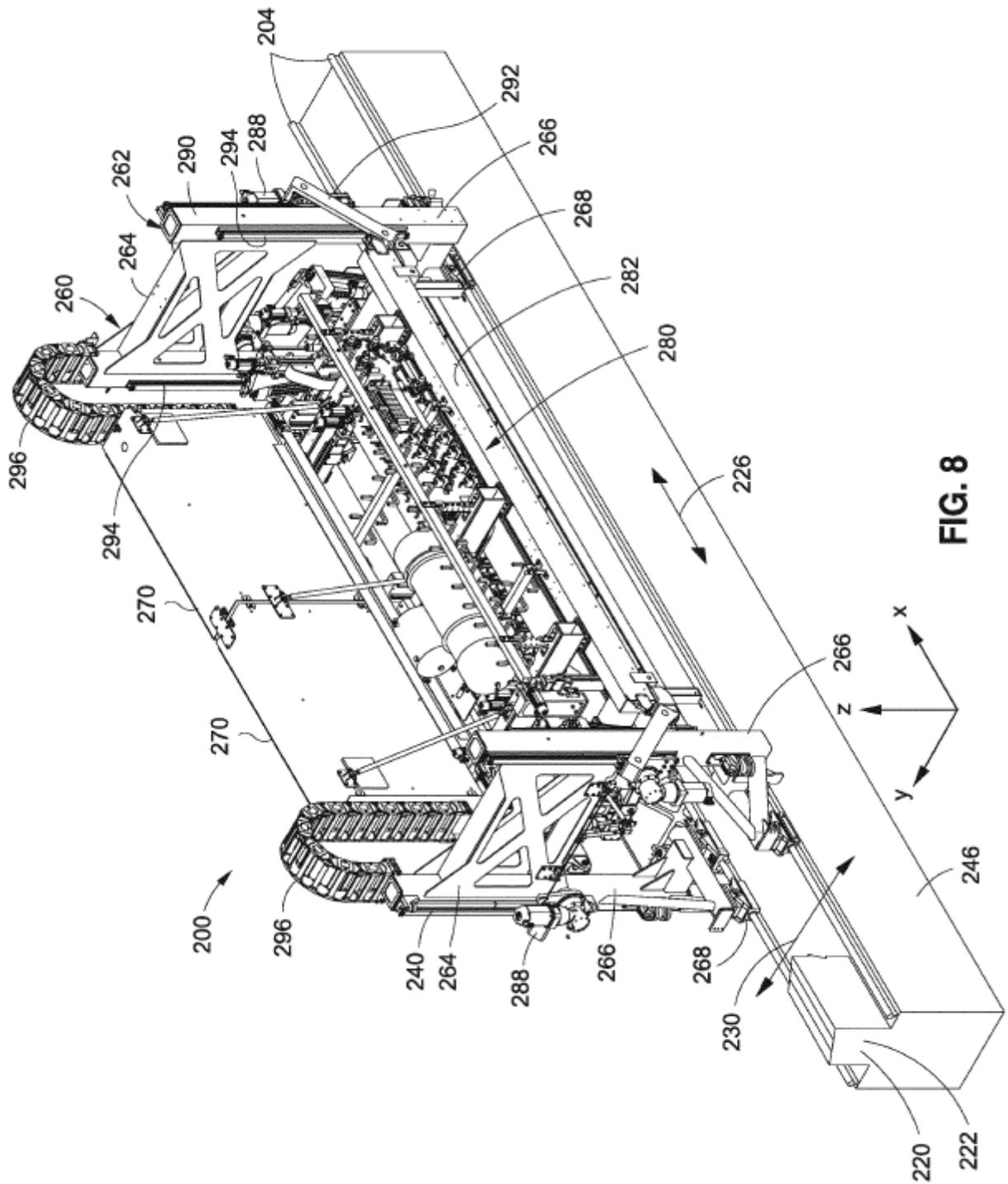


FIG. 8

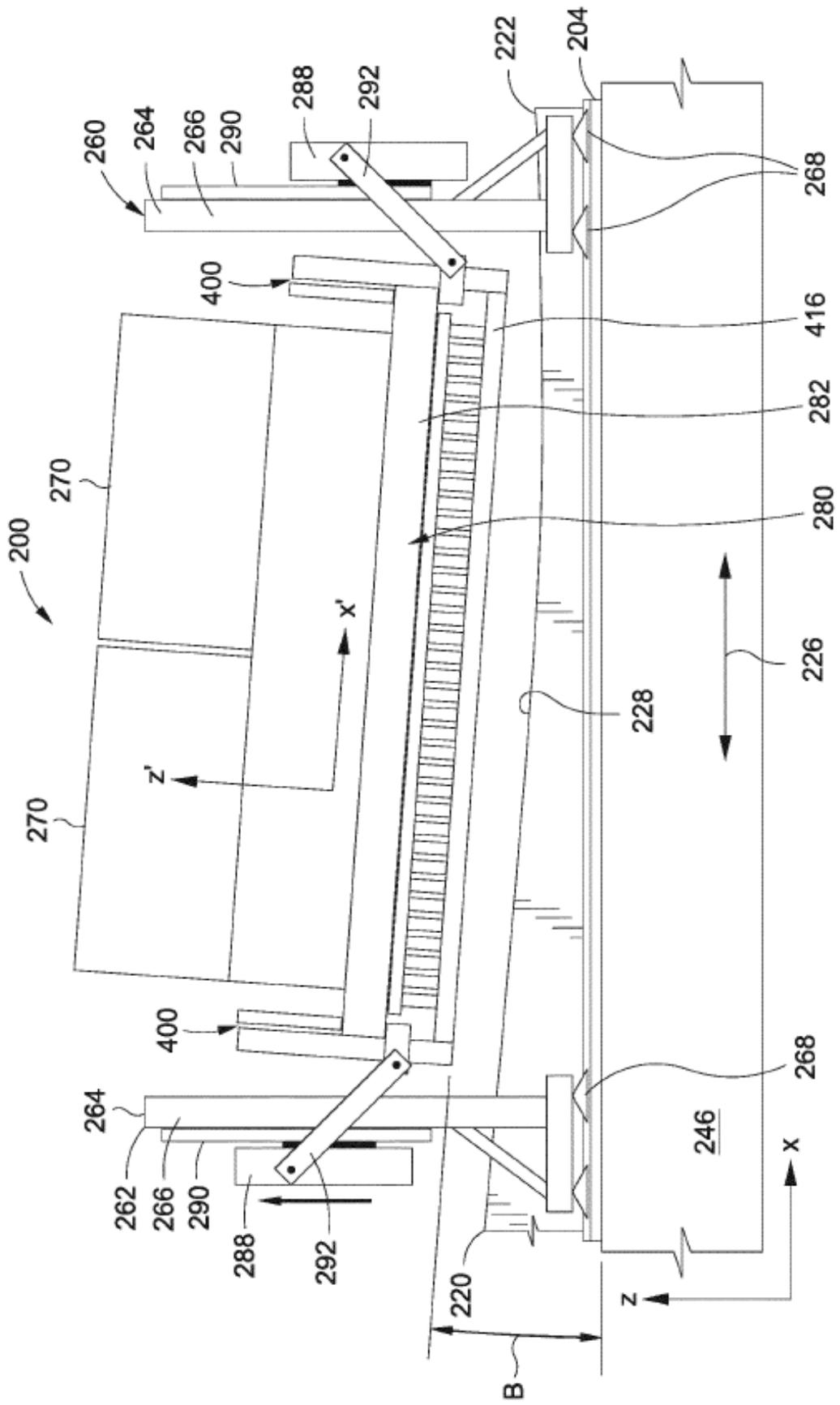


FIG. 10

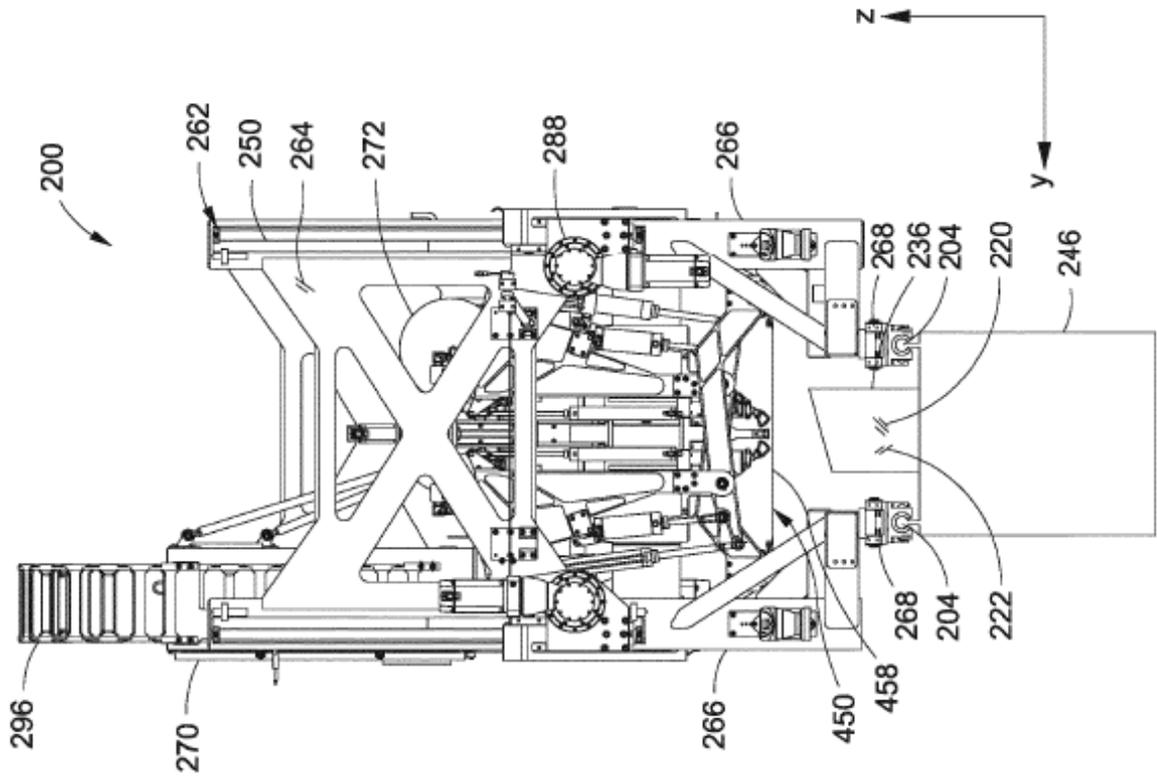


FIG. 11

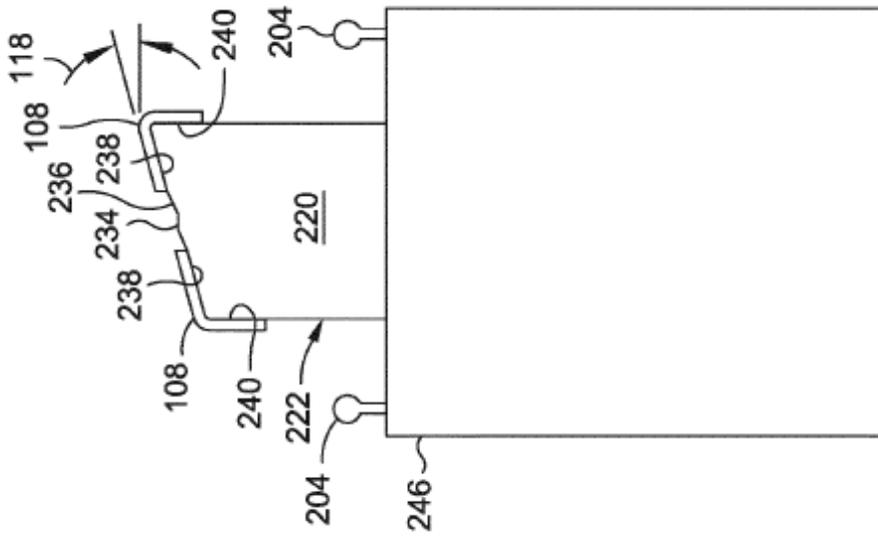


FIG. 12

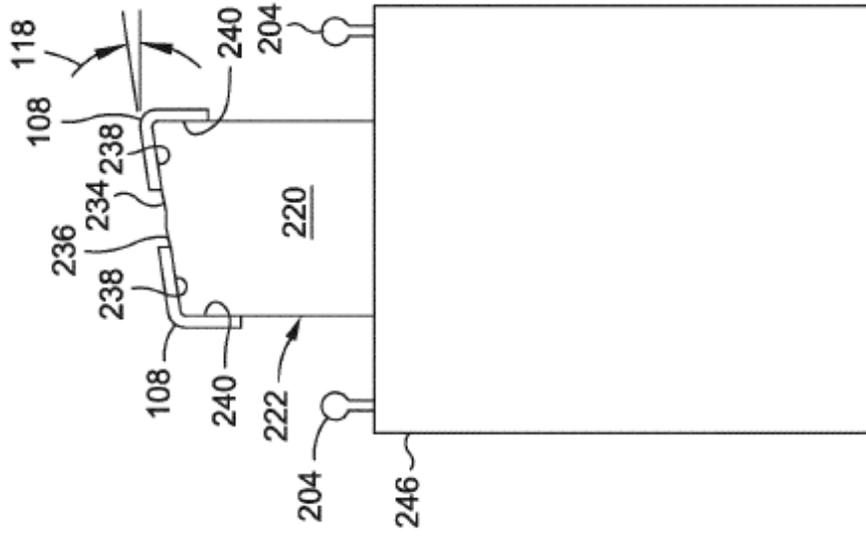


FIG. 13

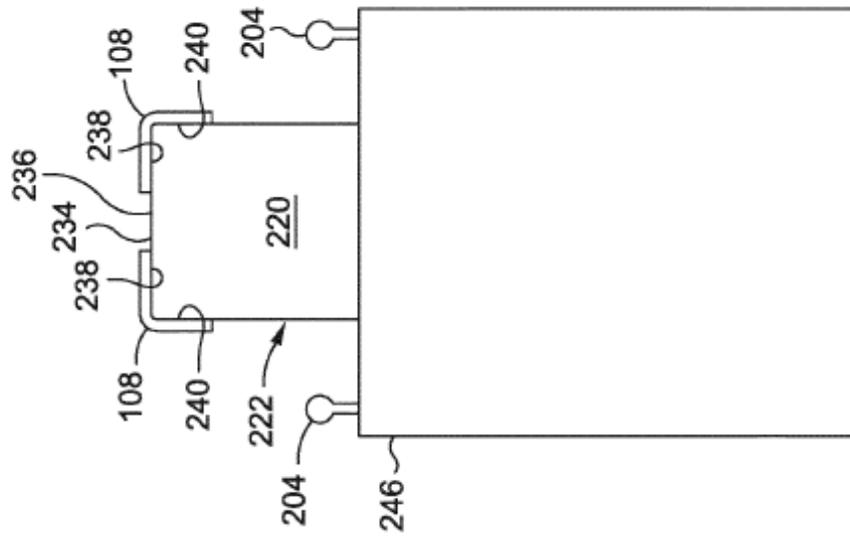


FIG. 14

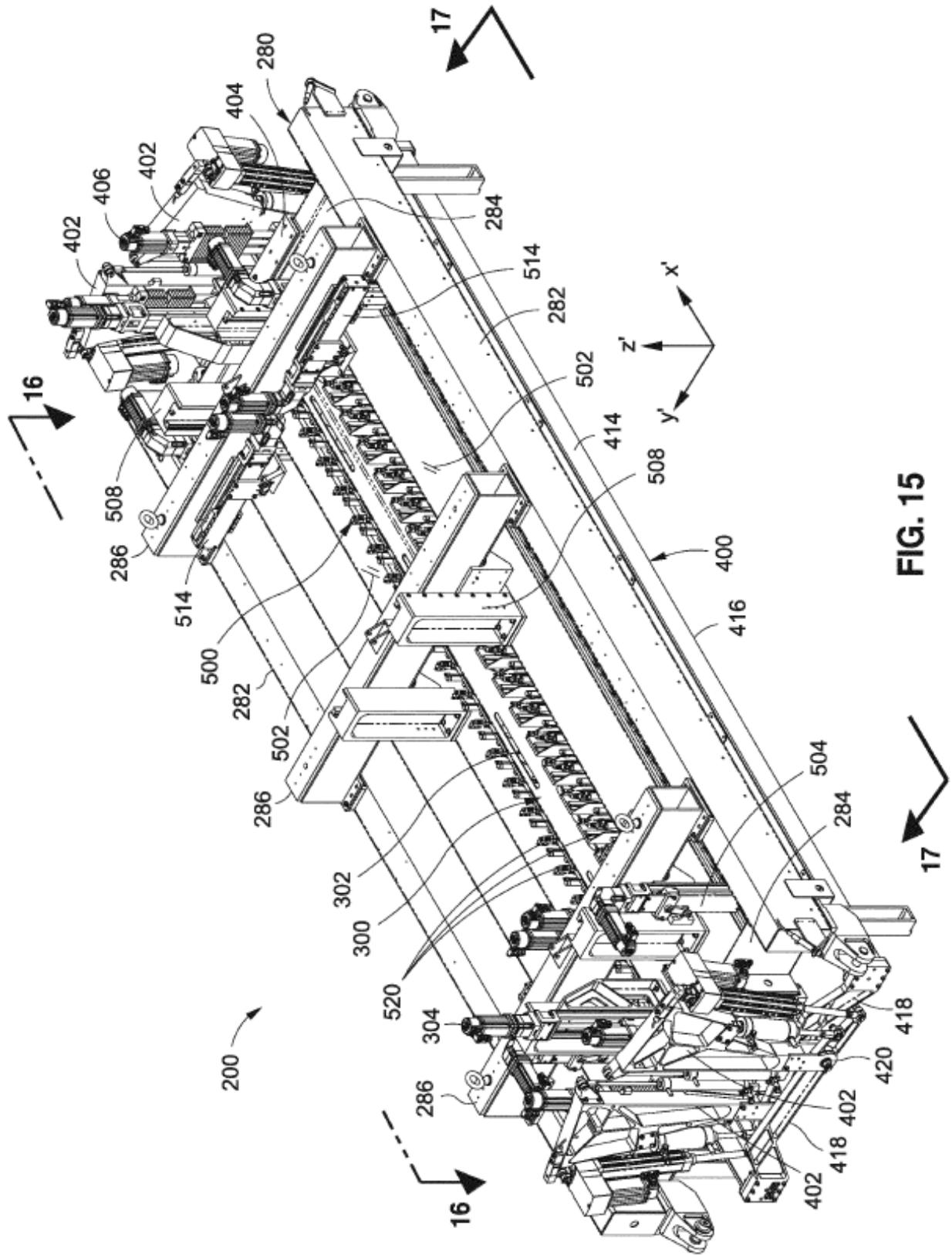


FIG. 15

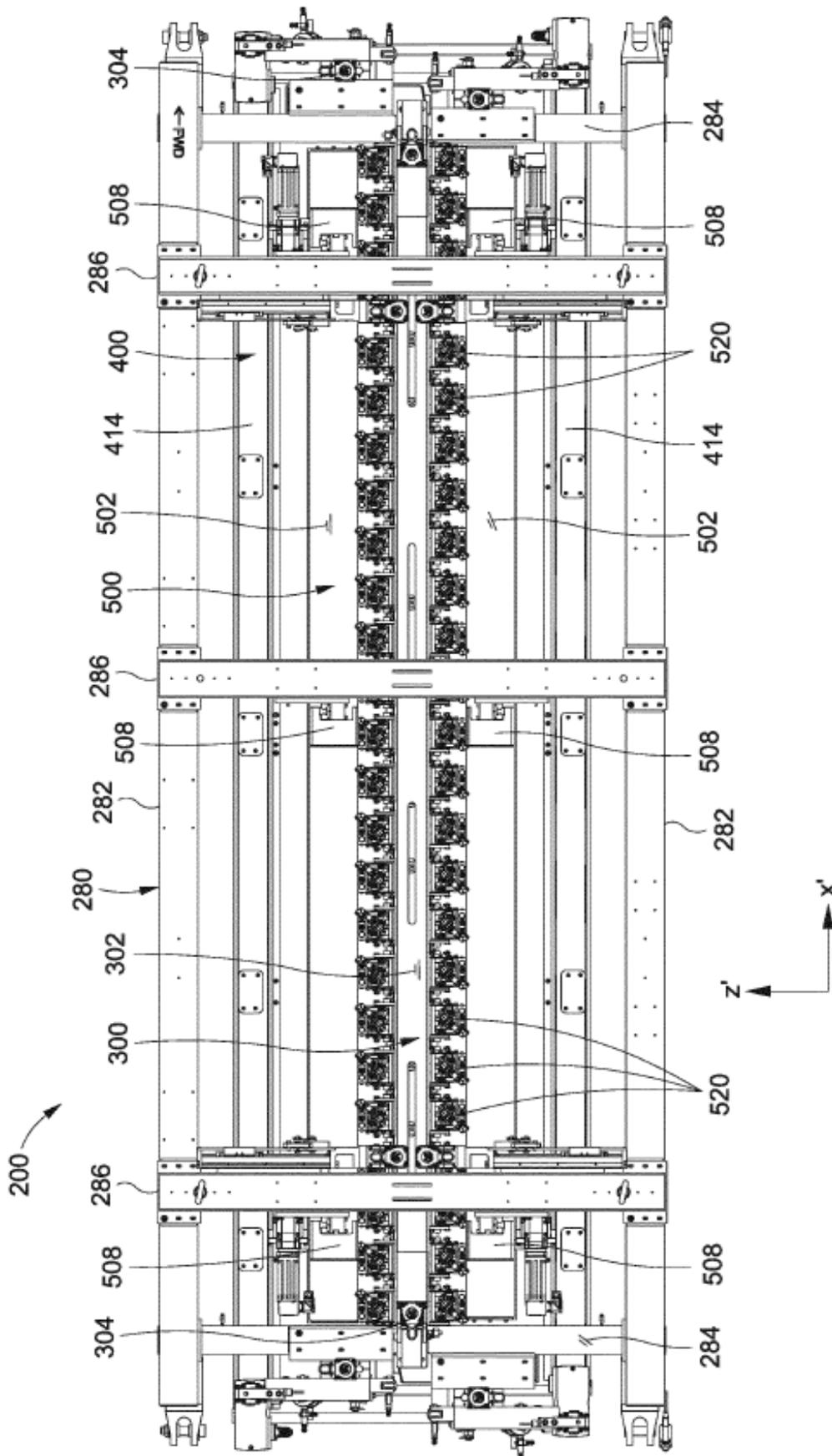


FIG. 16

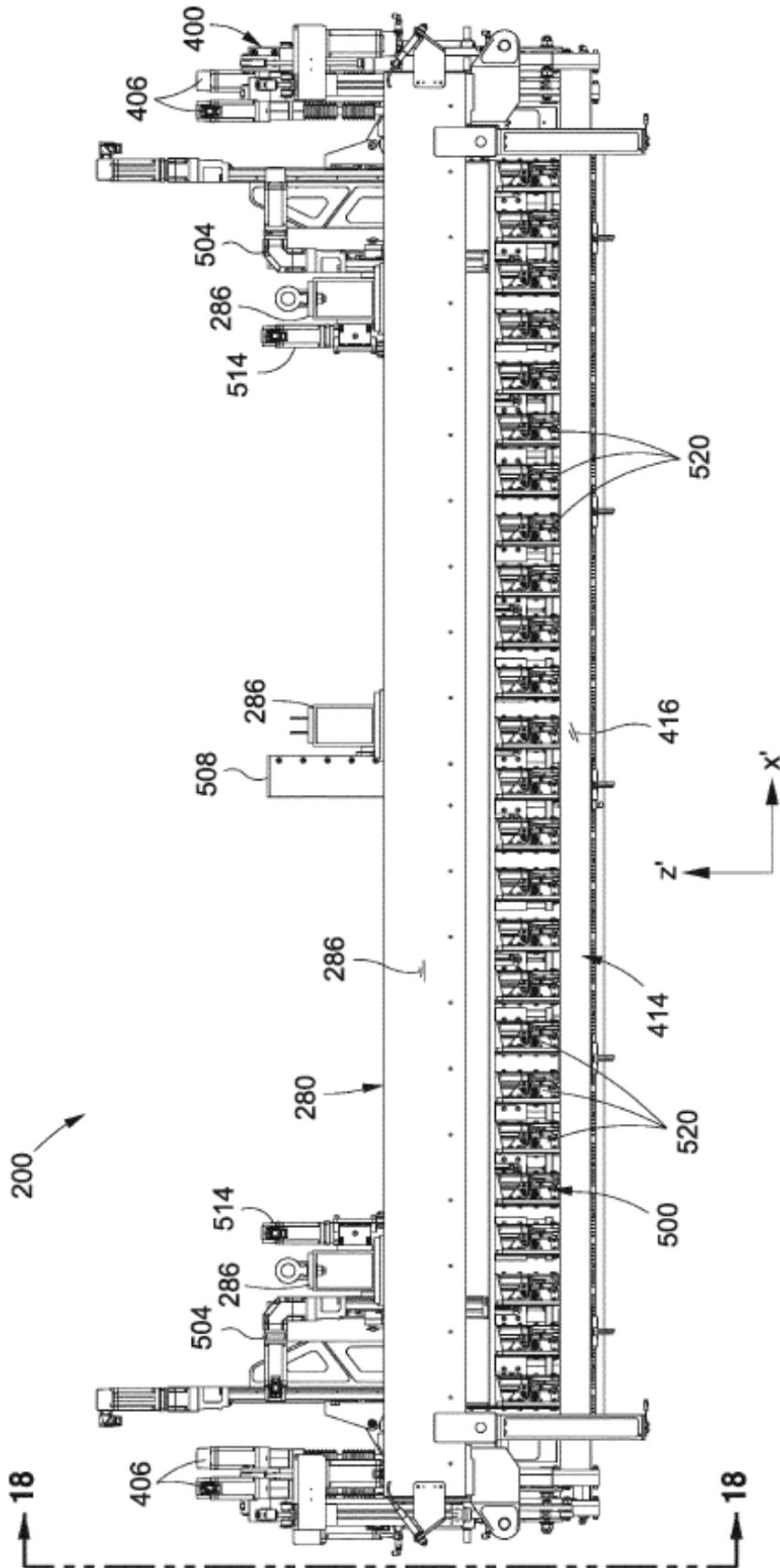


FIG. 17

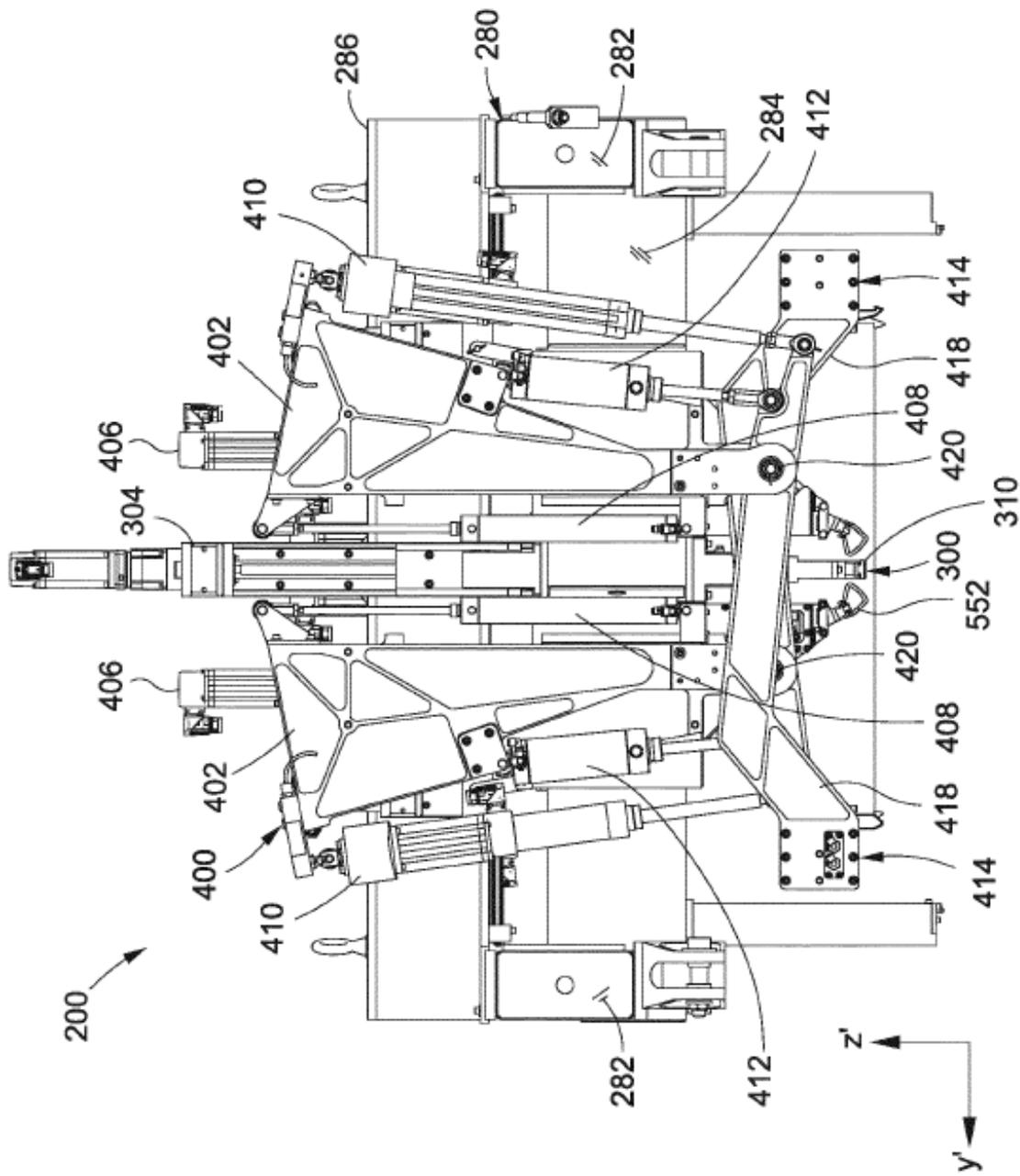


FIG. 18

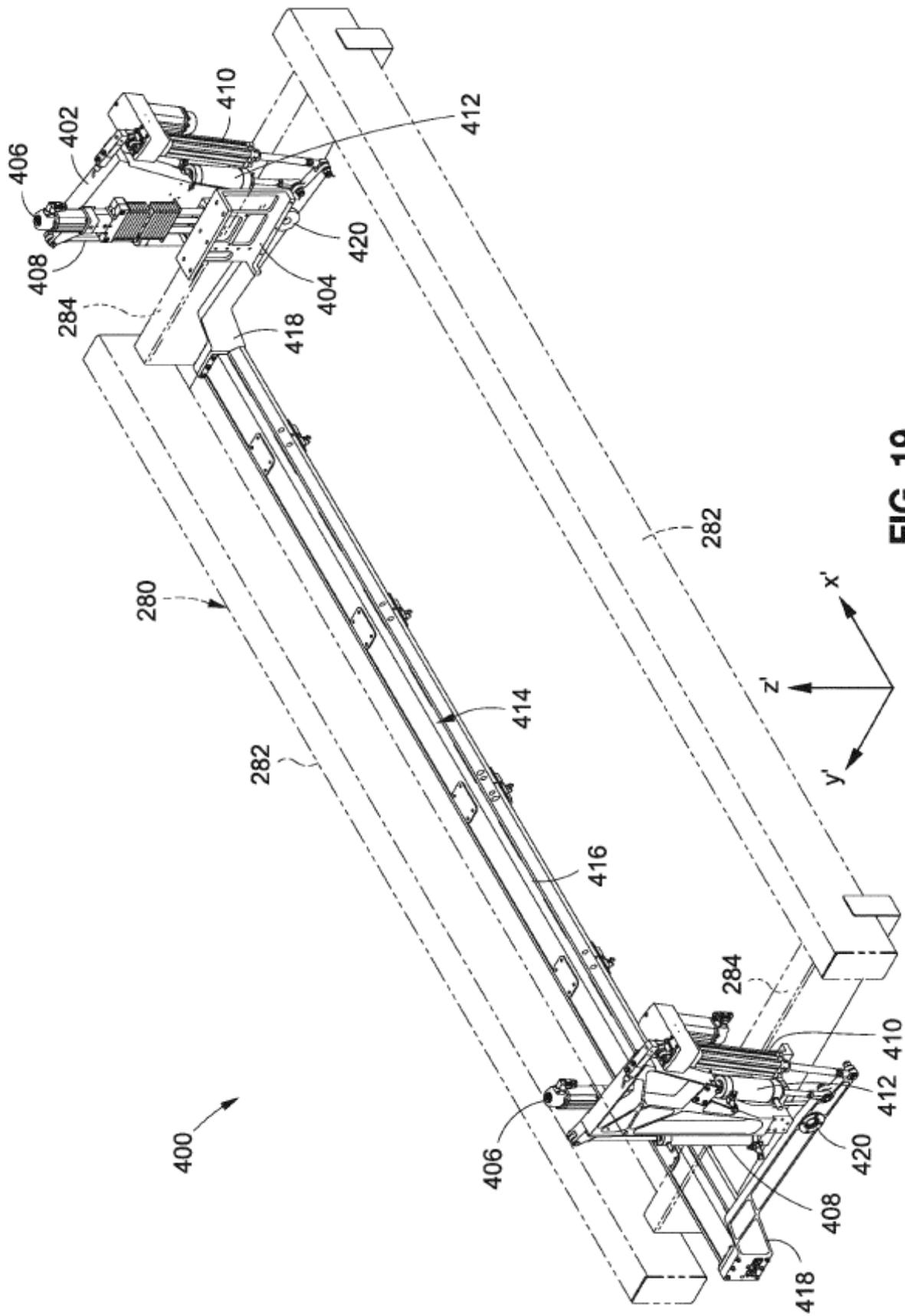


FIG. 19

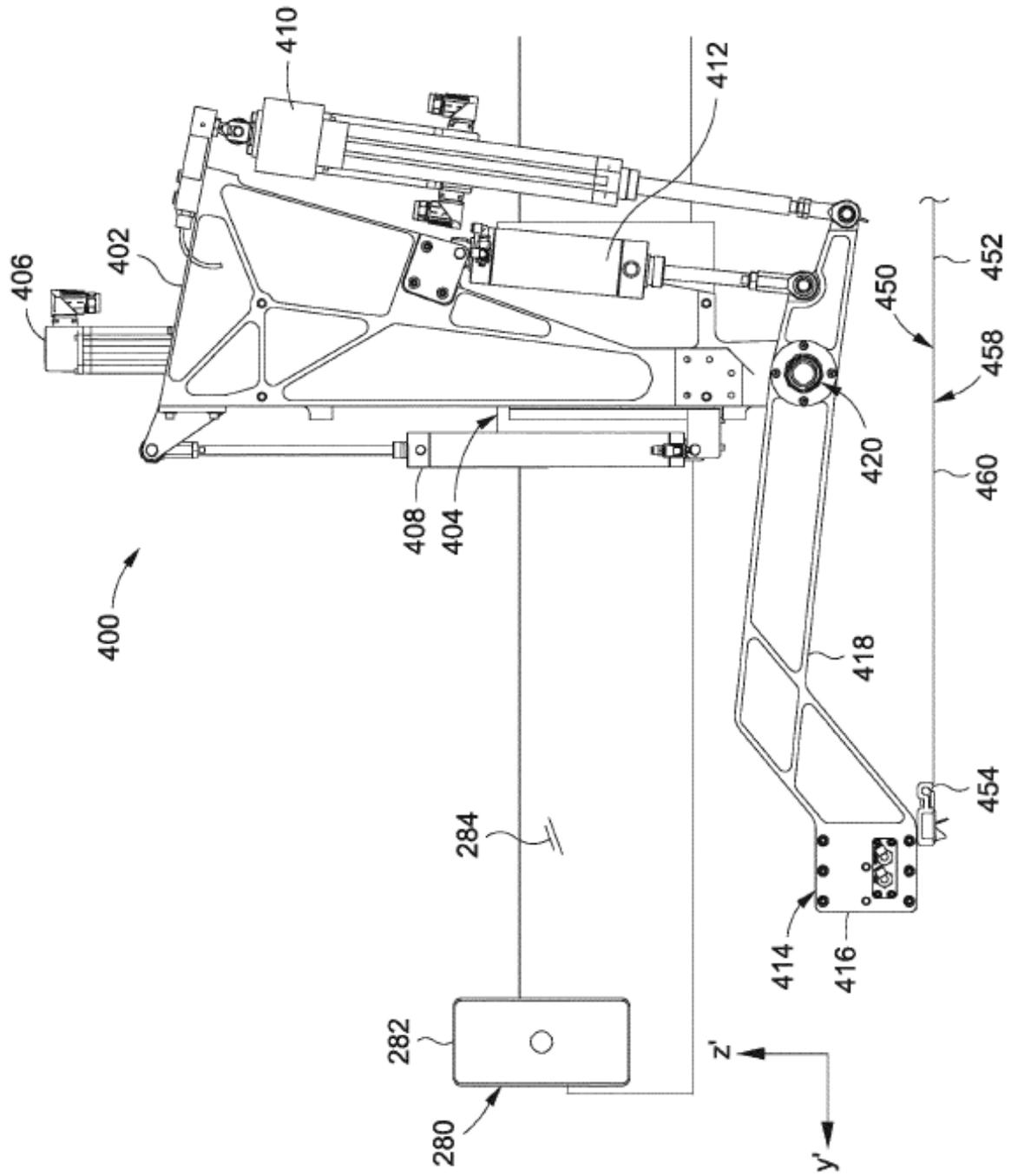


FIG. 20

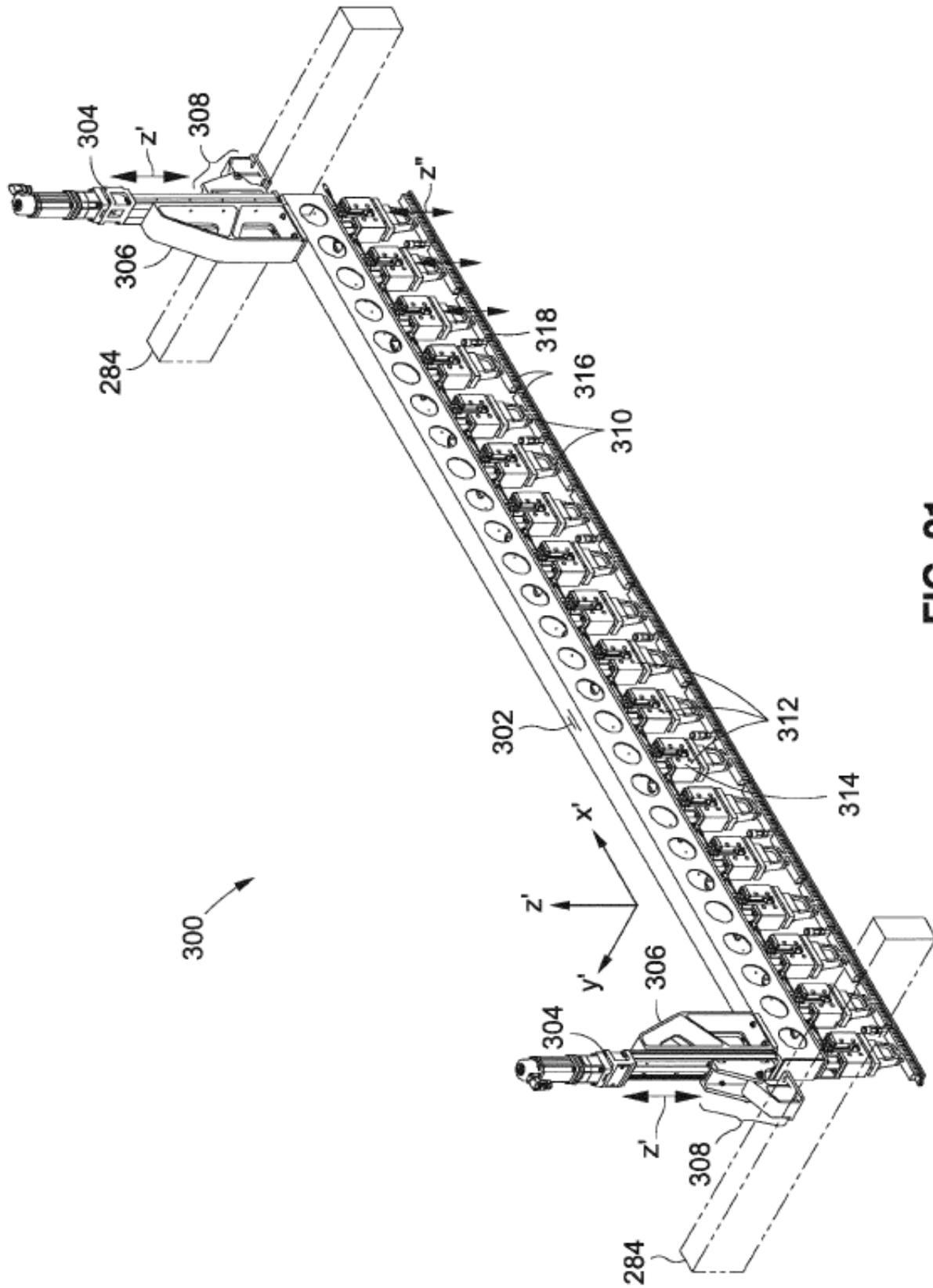


FIG. 21

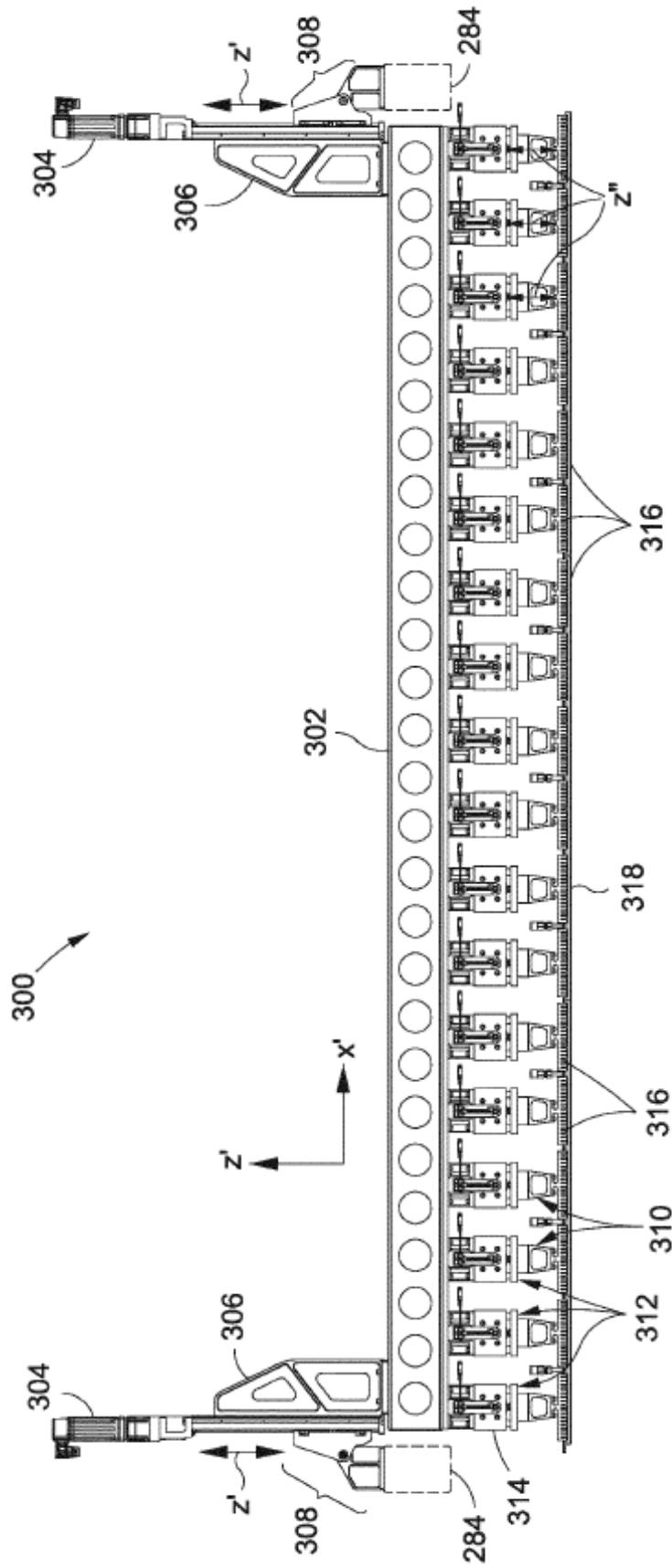


FIG. 22

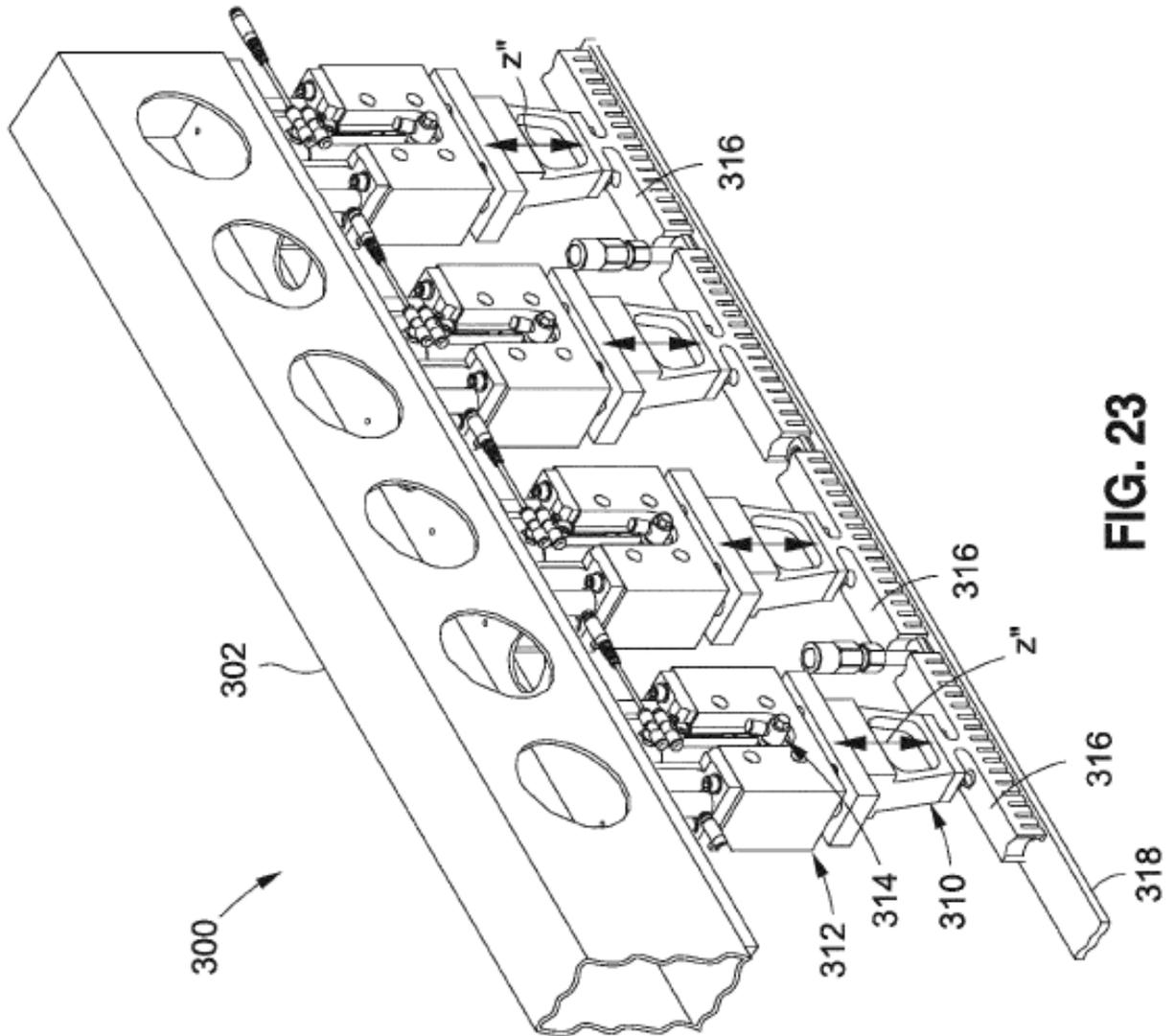


FIG. 23

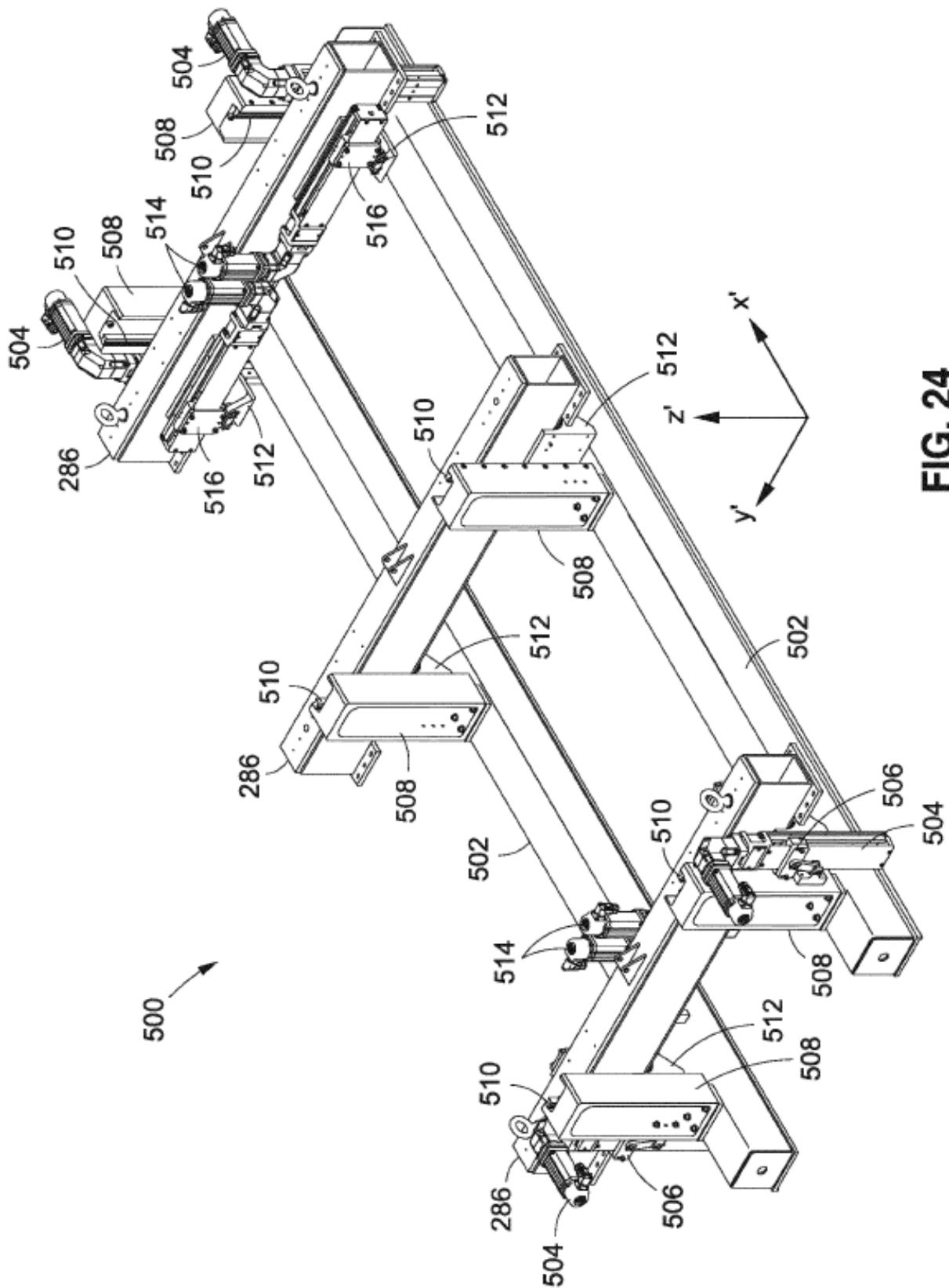


FIG. 24

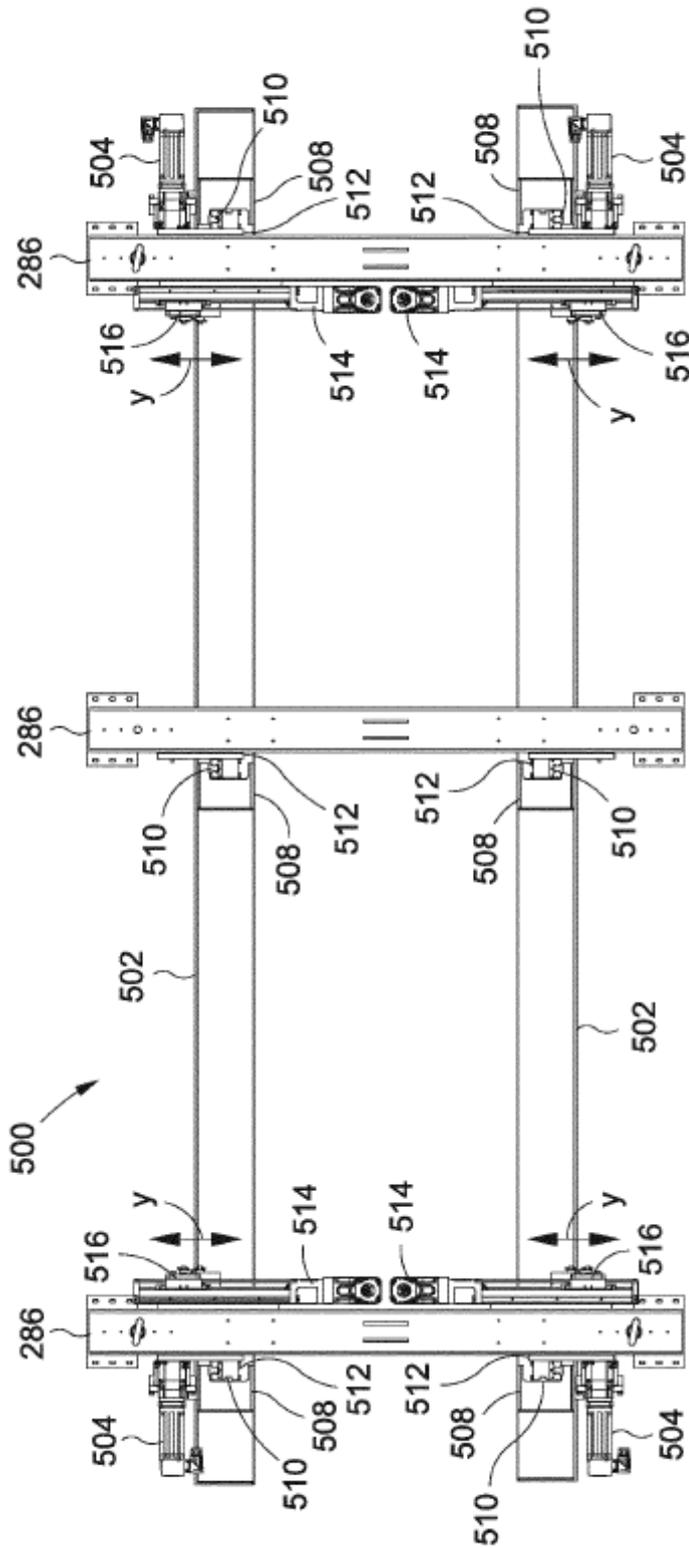


FIG. 25

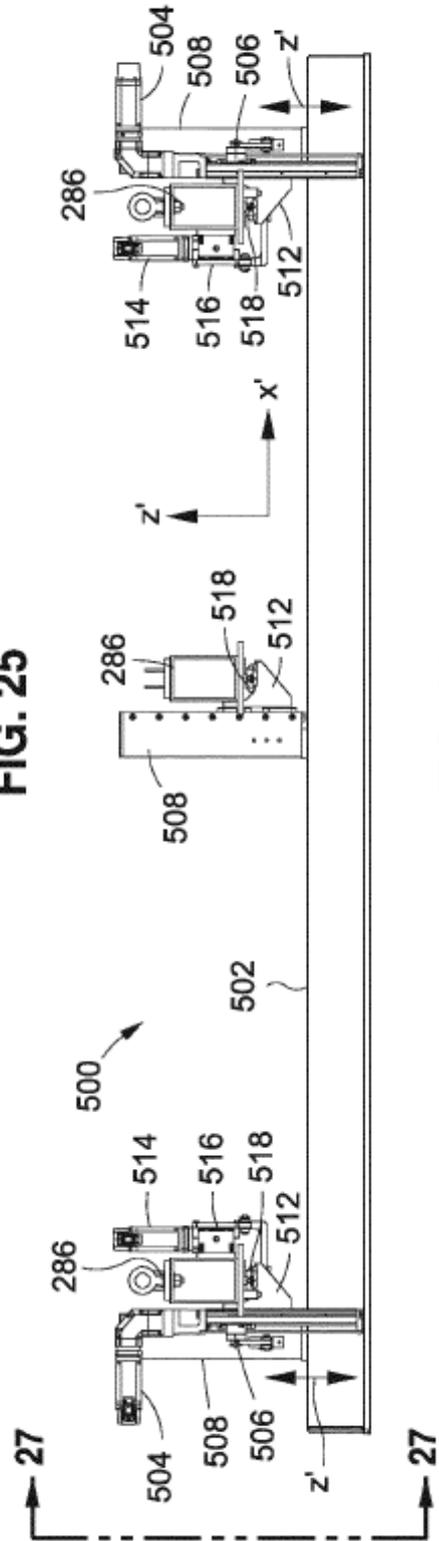


FIG. 26

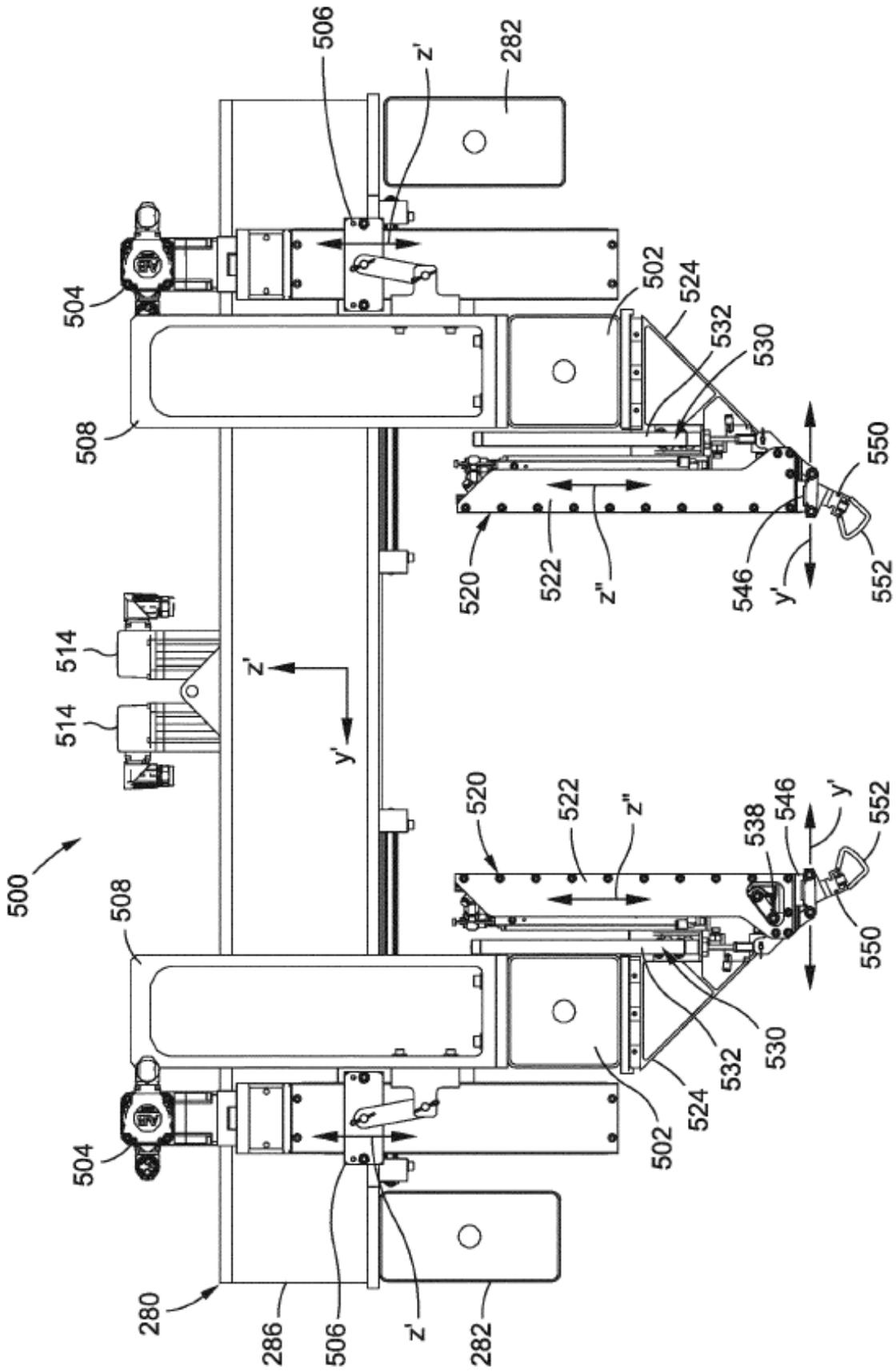


FIG. 27

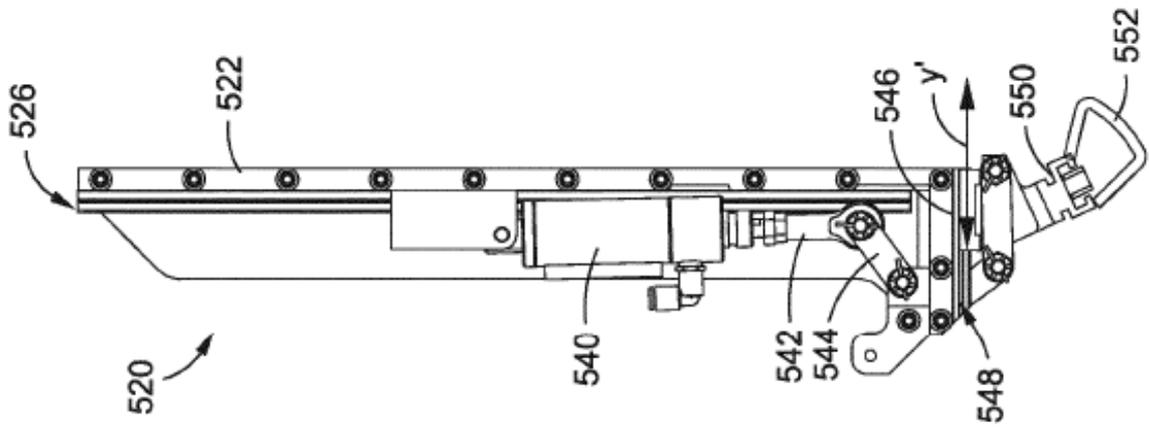


FIG. 29

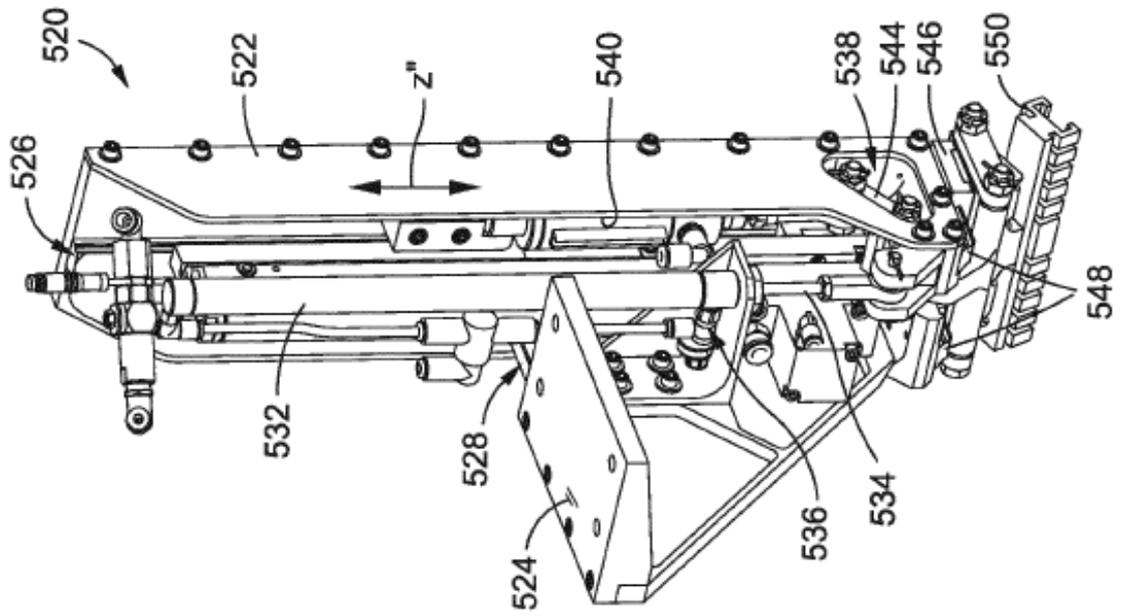


FIG. 28

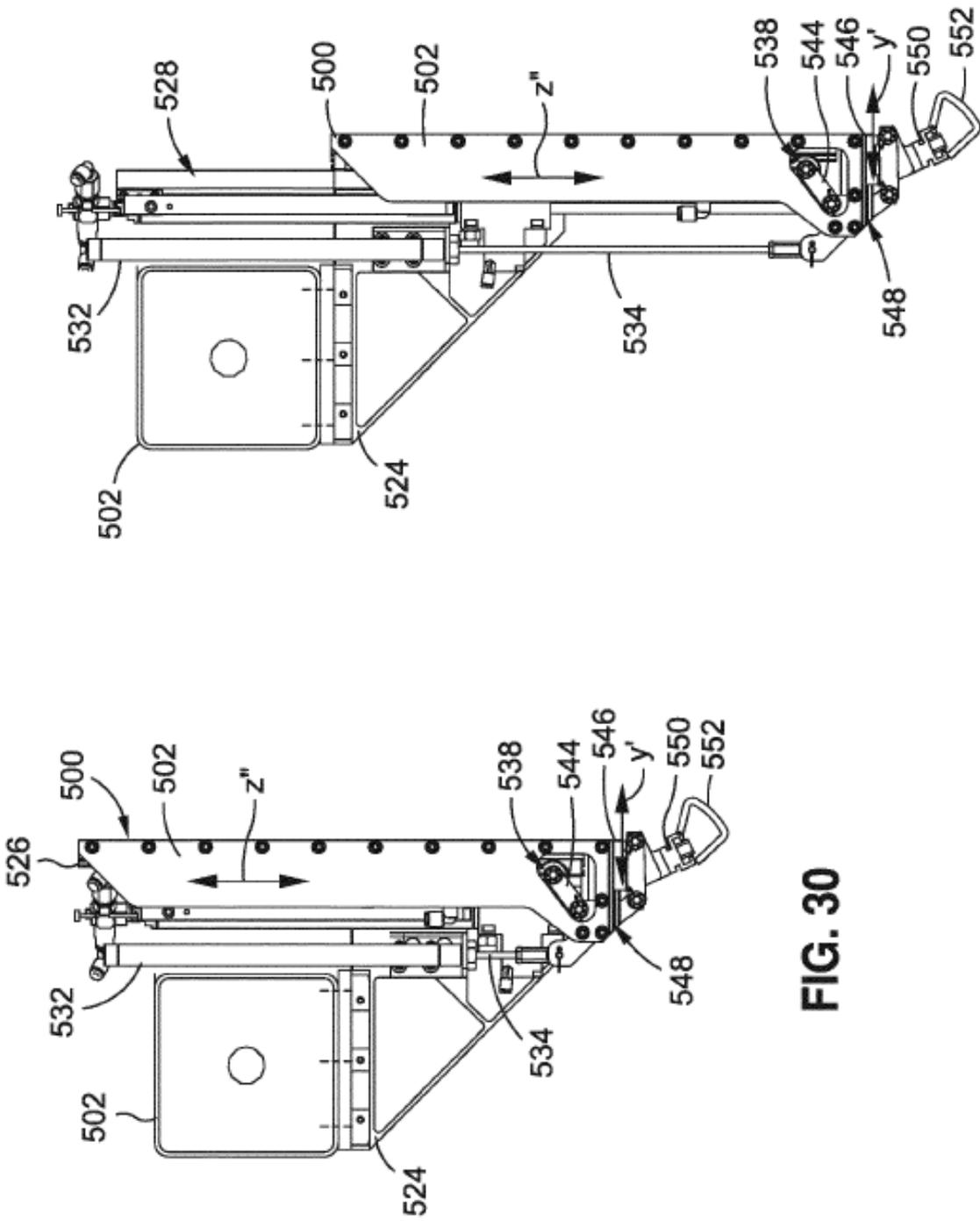


FIG. 31

FIG. 30

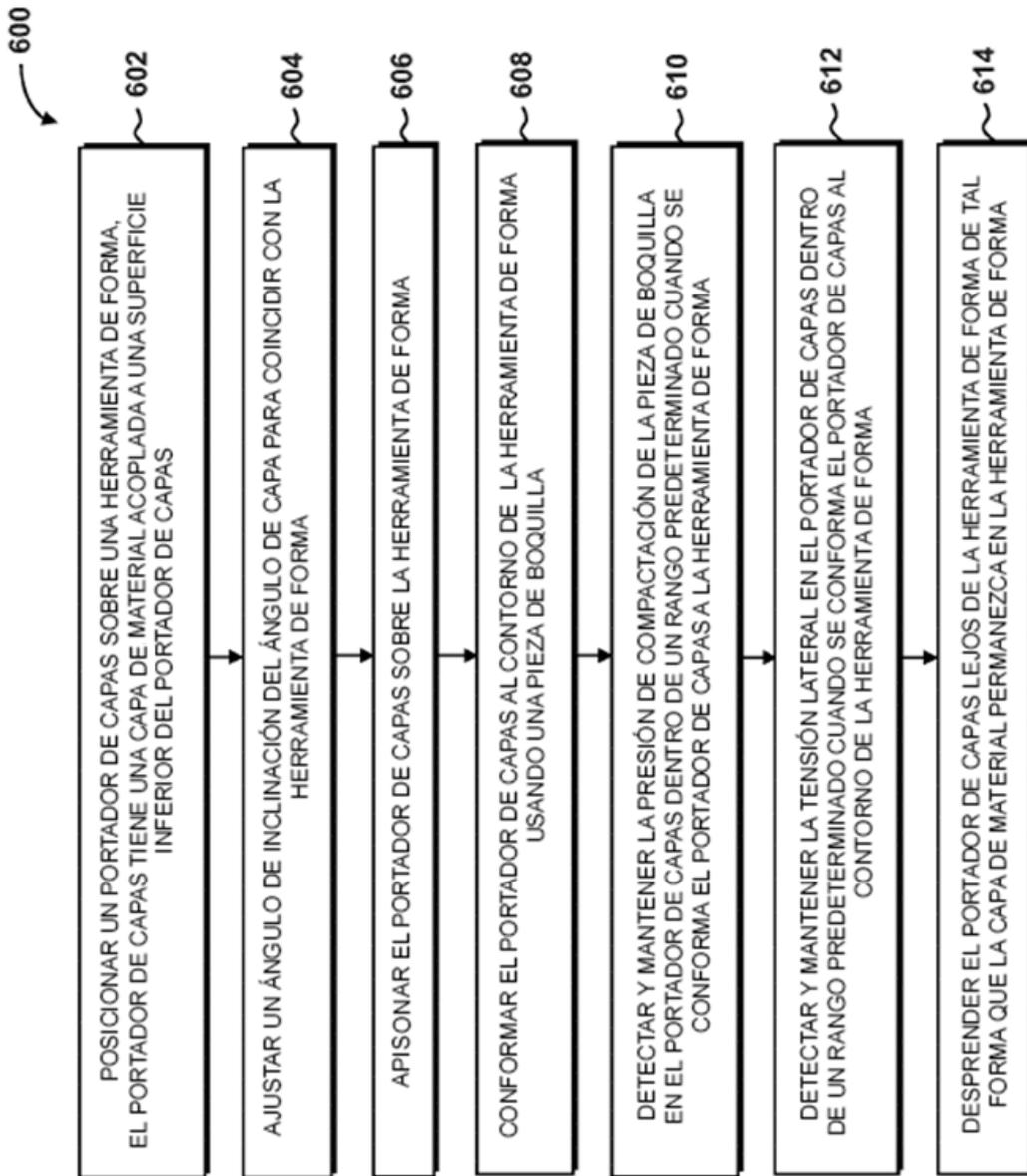


FIG. 32

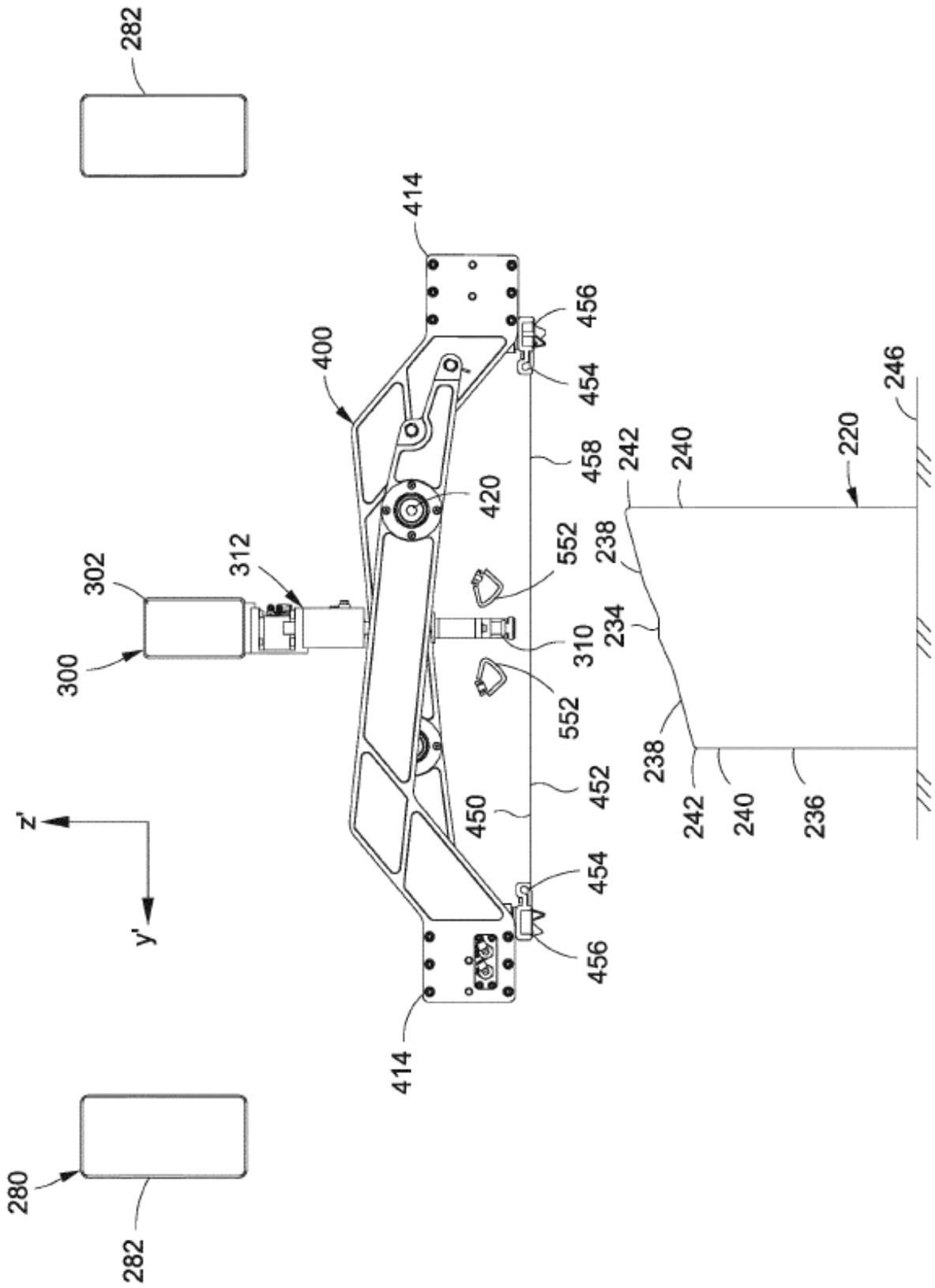


FIG. 33

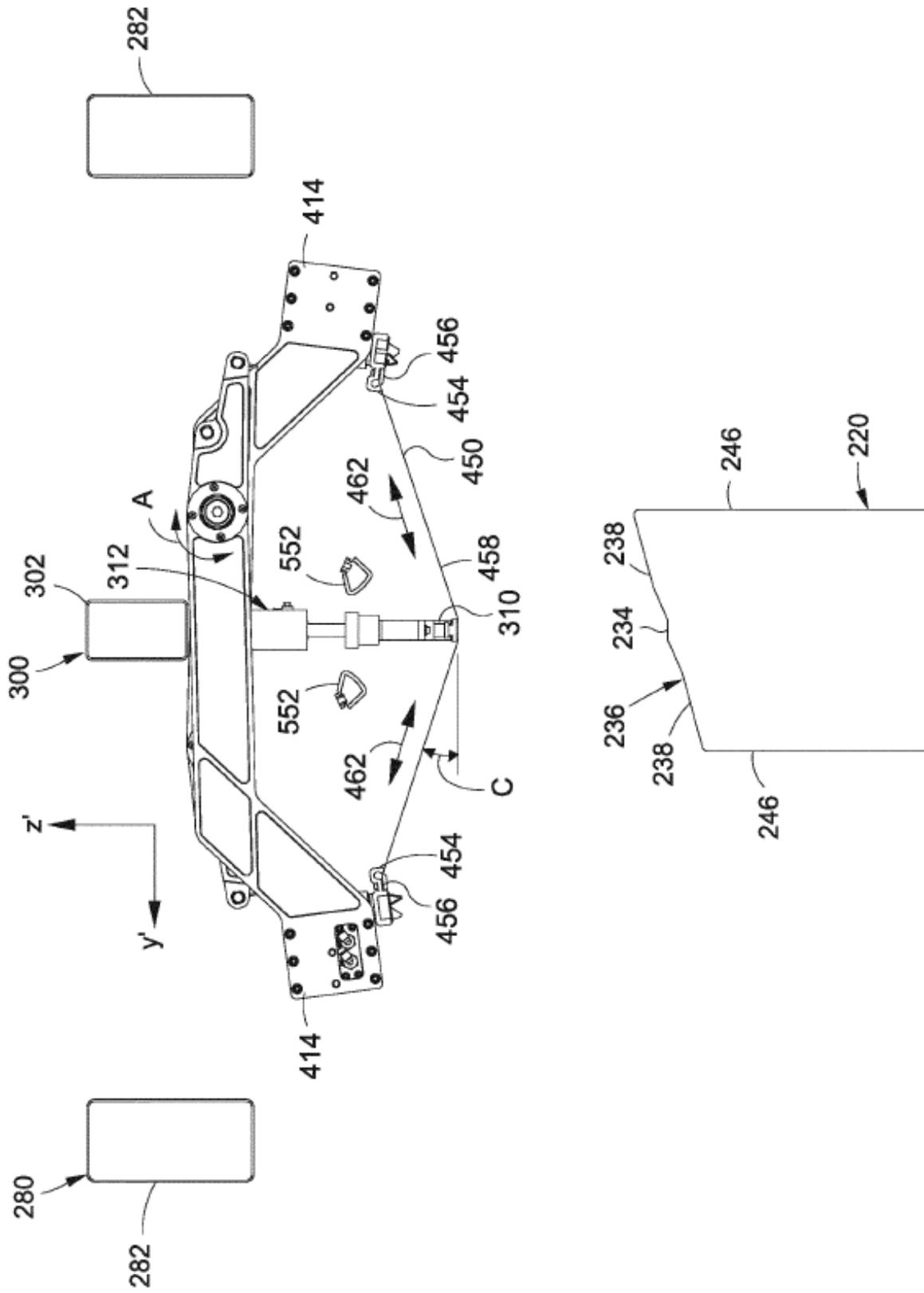


FIG. 34

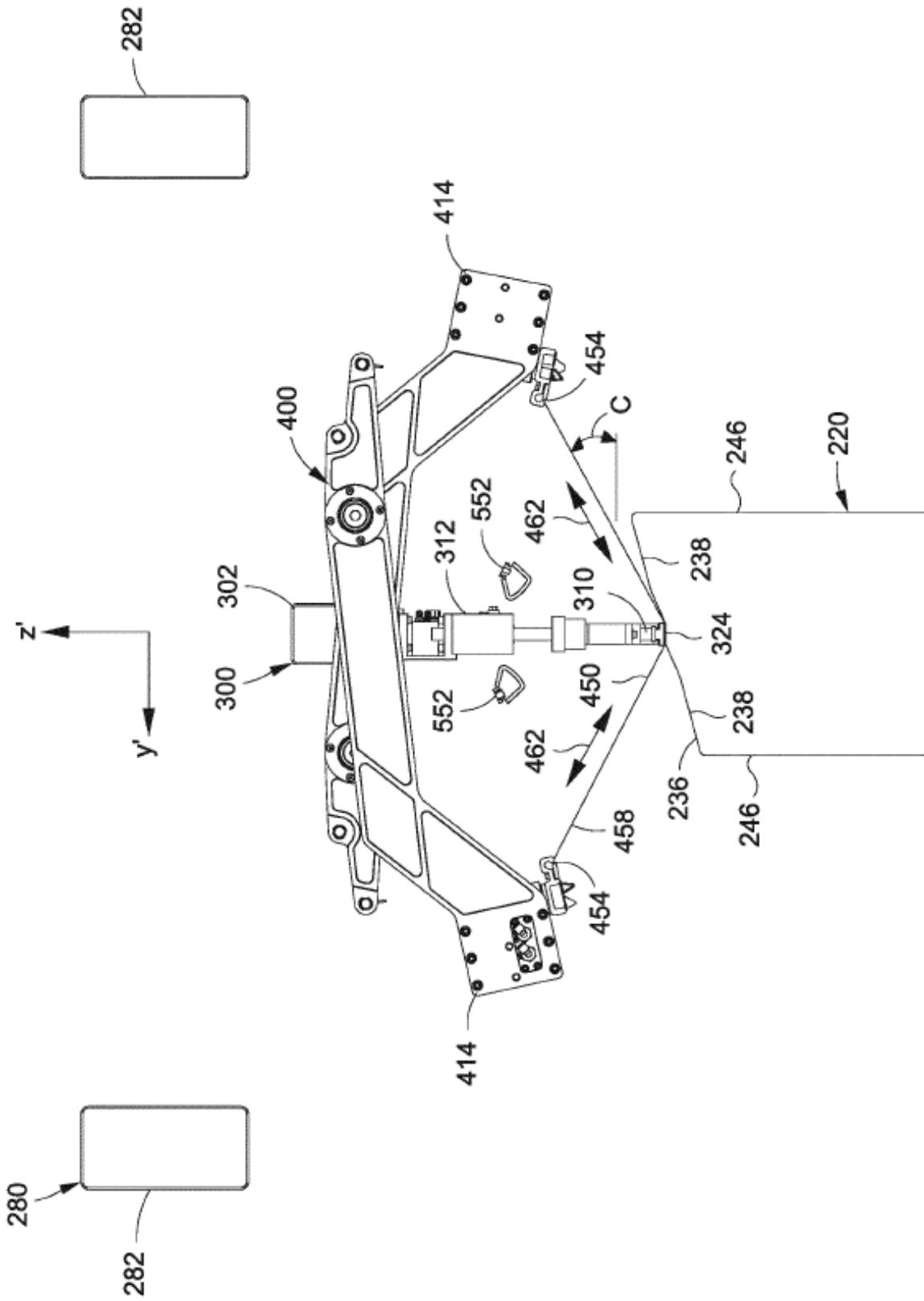


FIG. 35

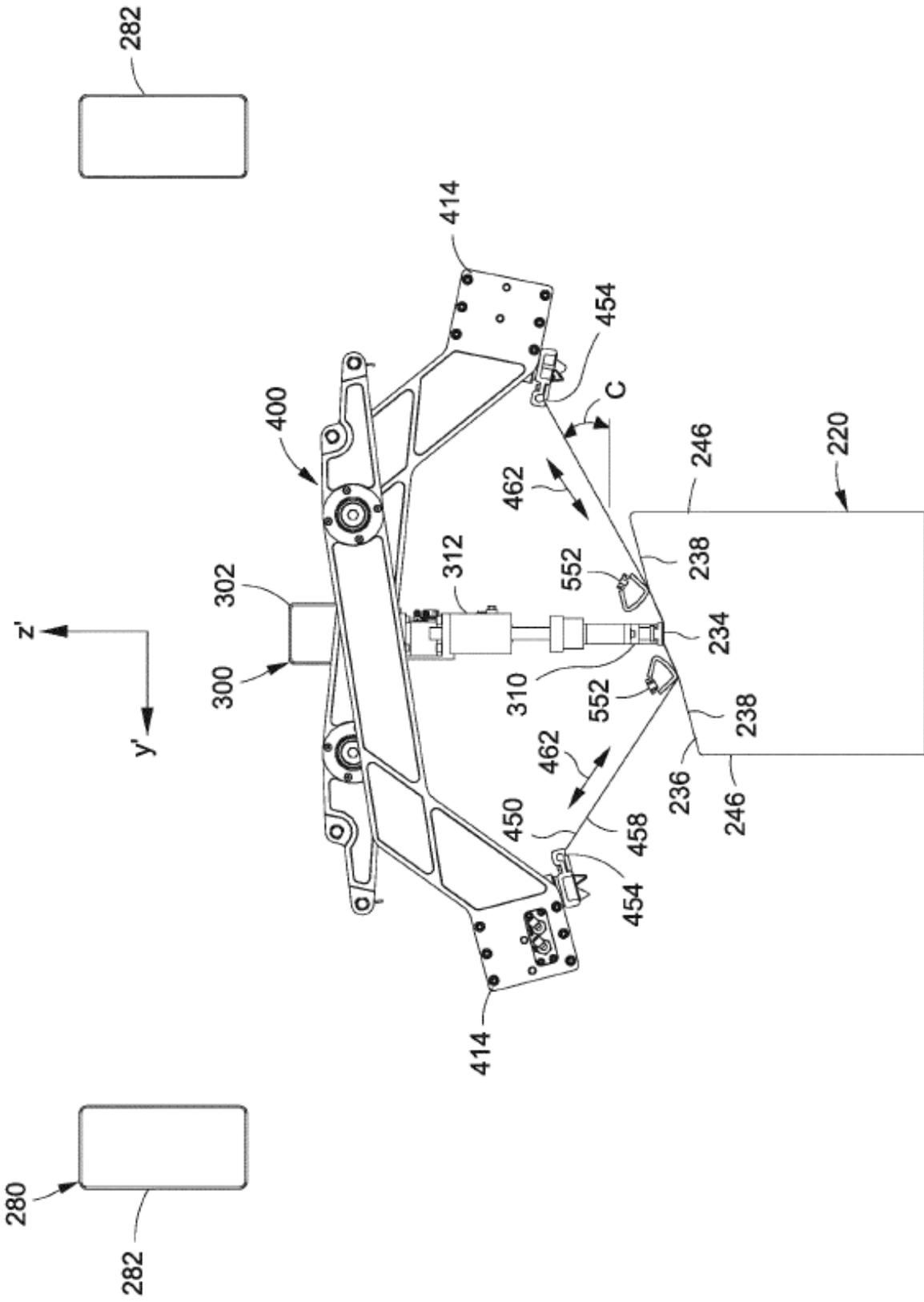


FIG. 36

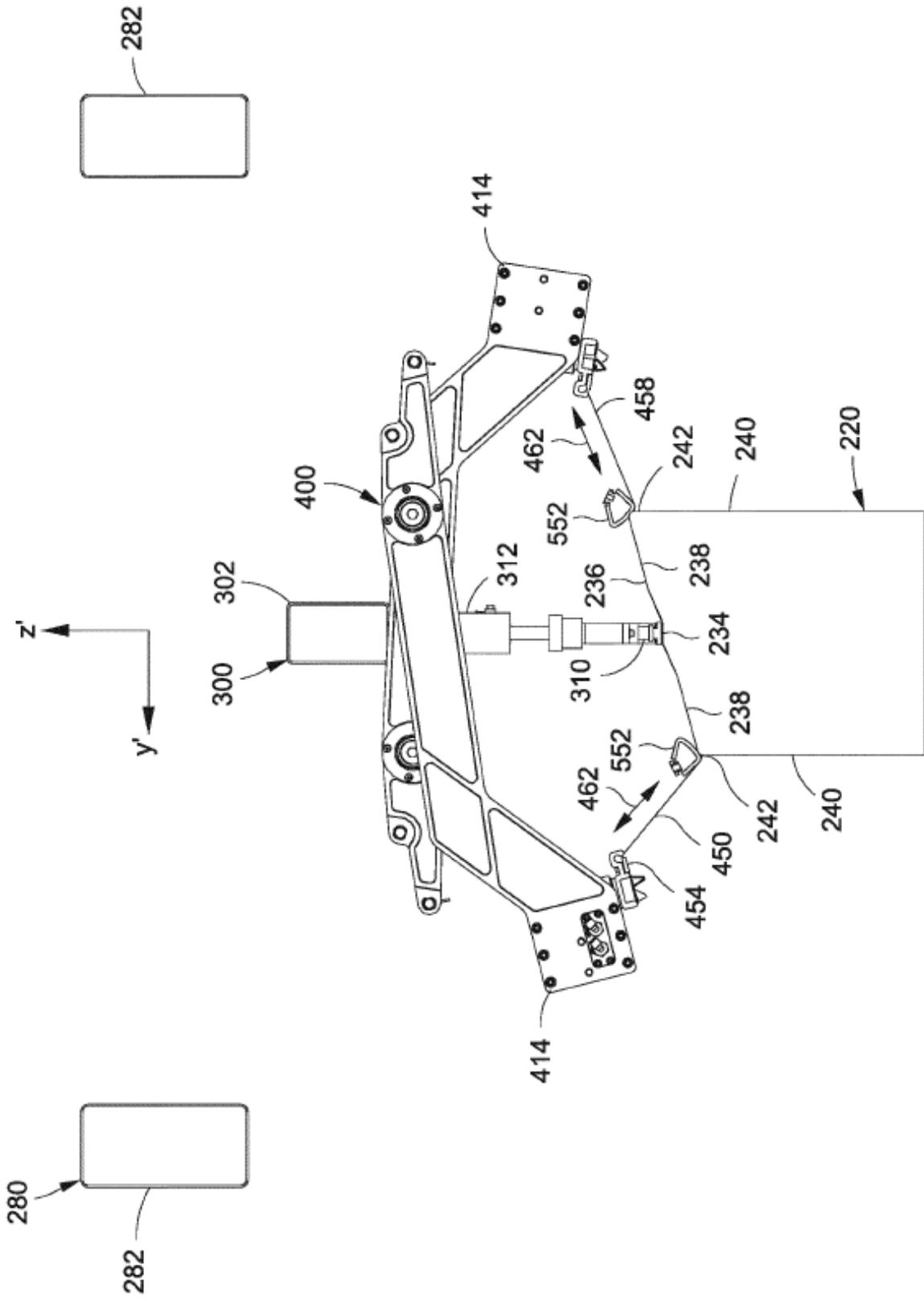


FIG. 37

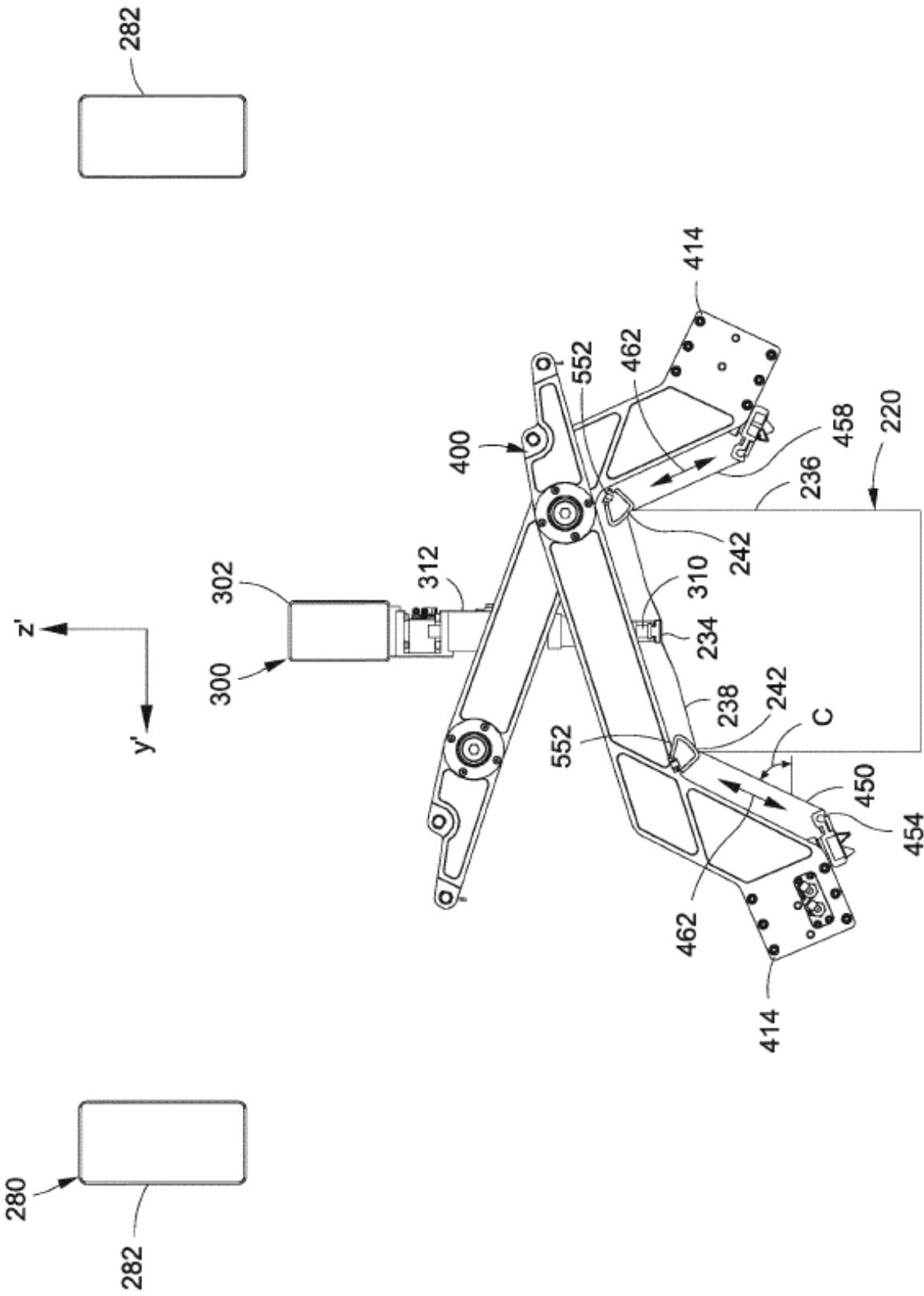


FIG. 38

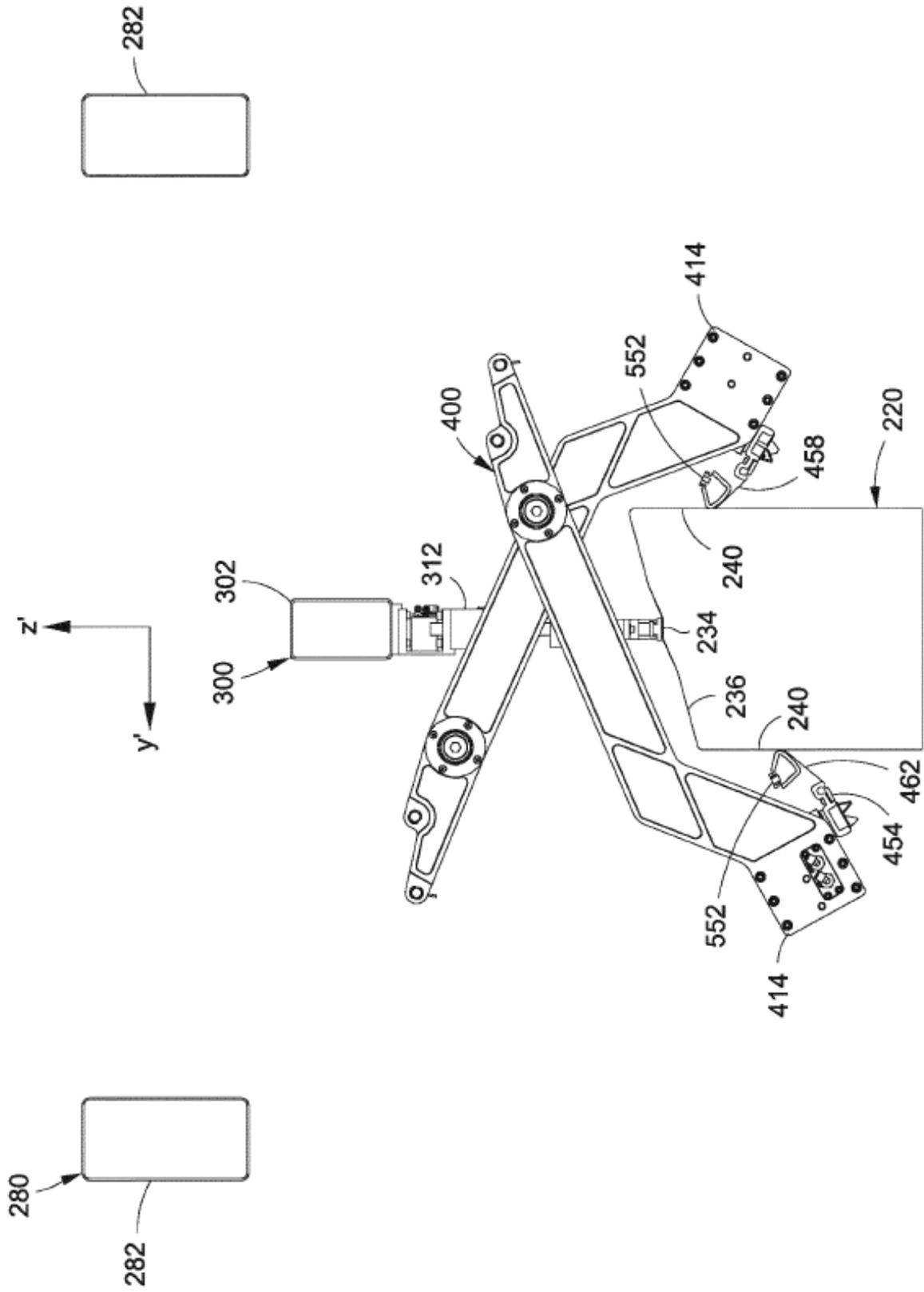


FIG. 39

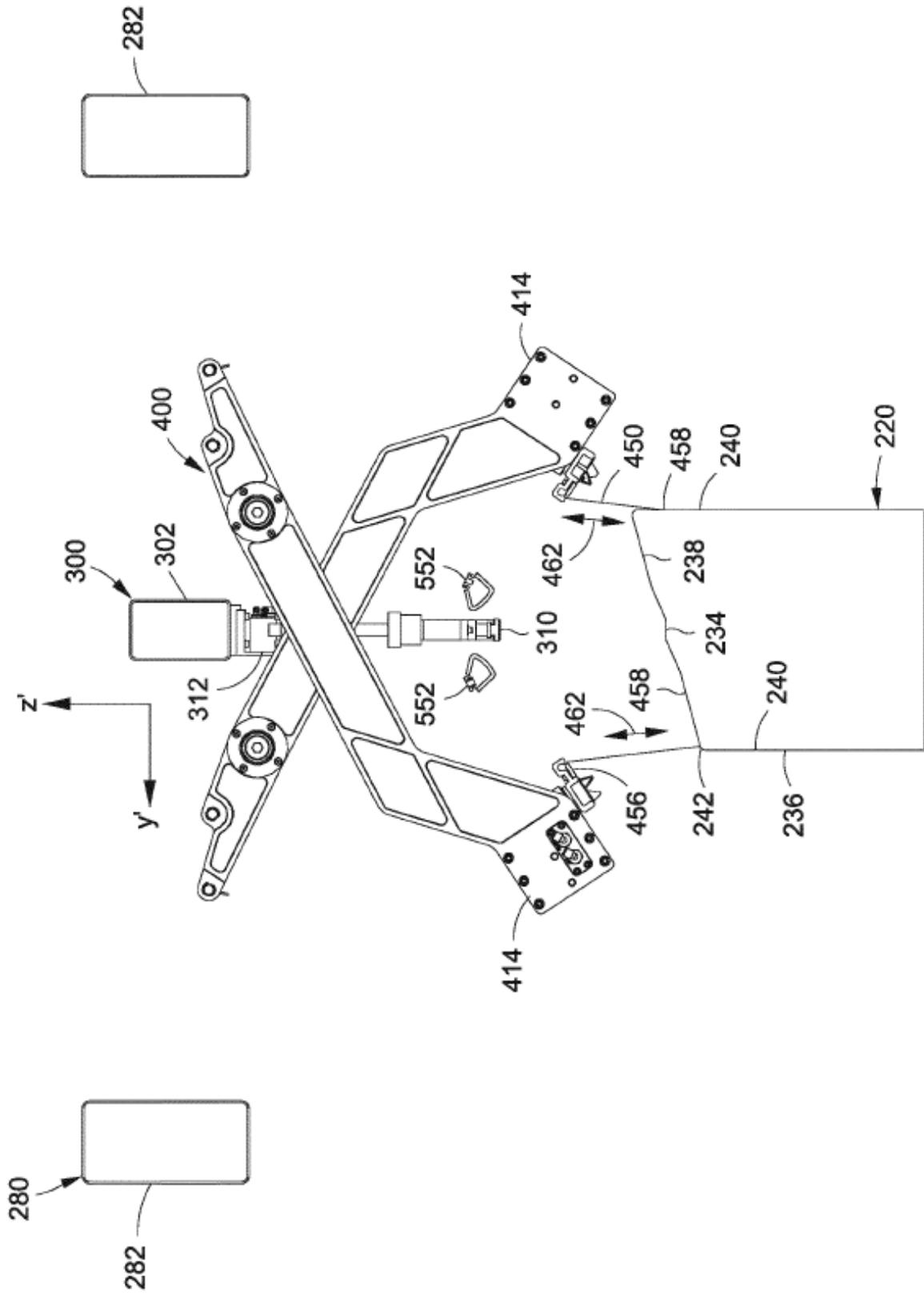


FIG. 40

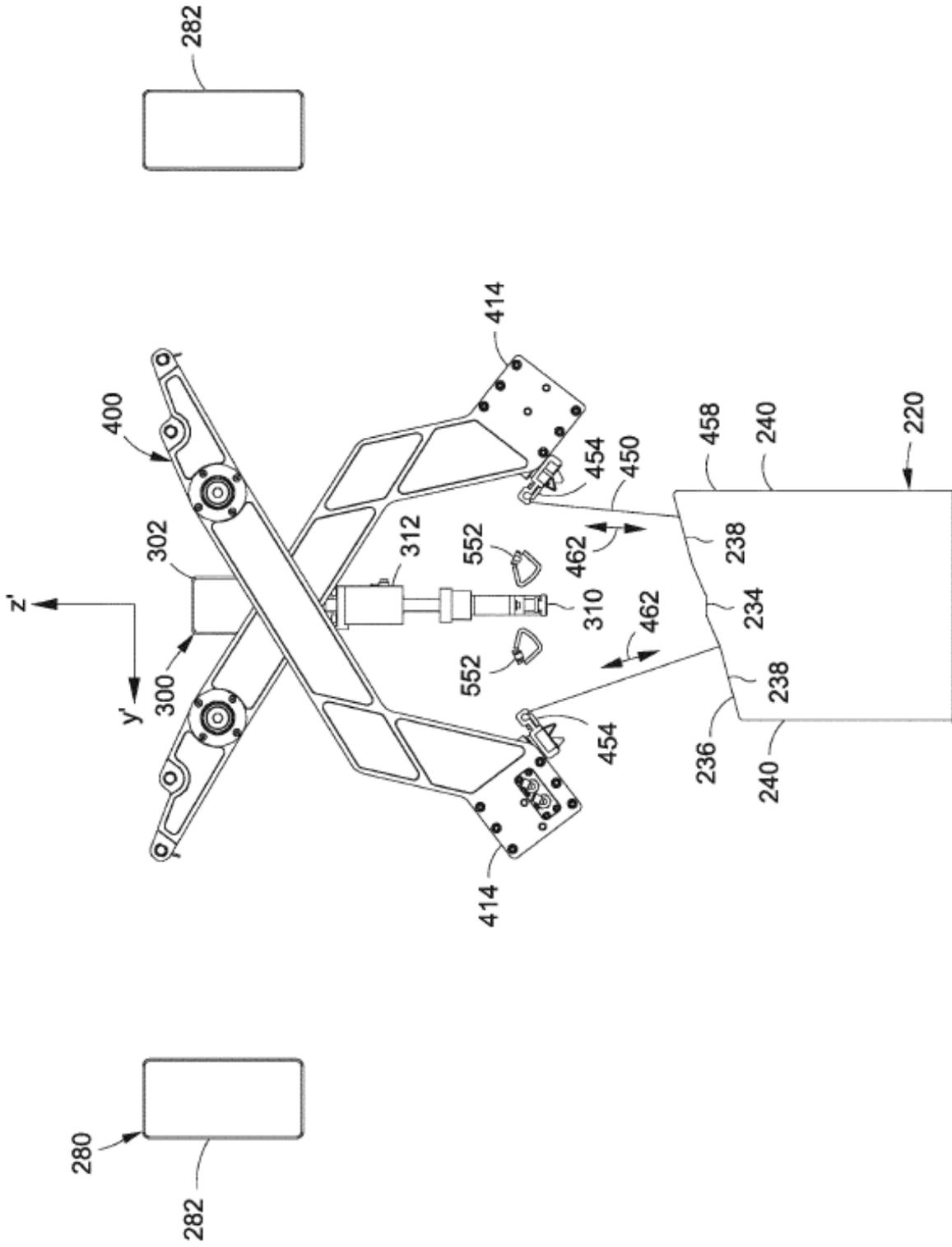


FIG. 41

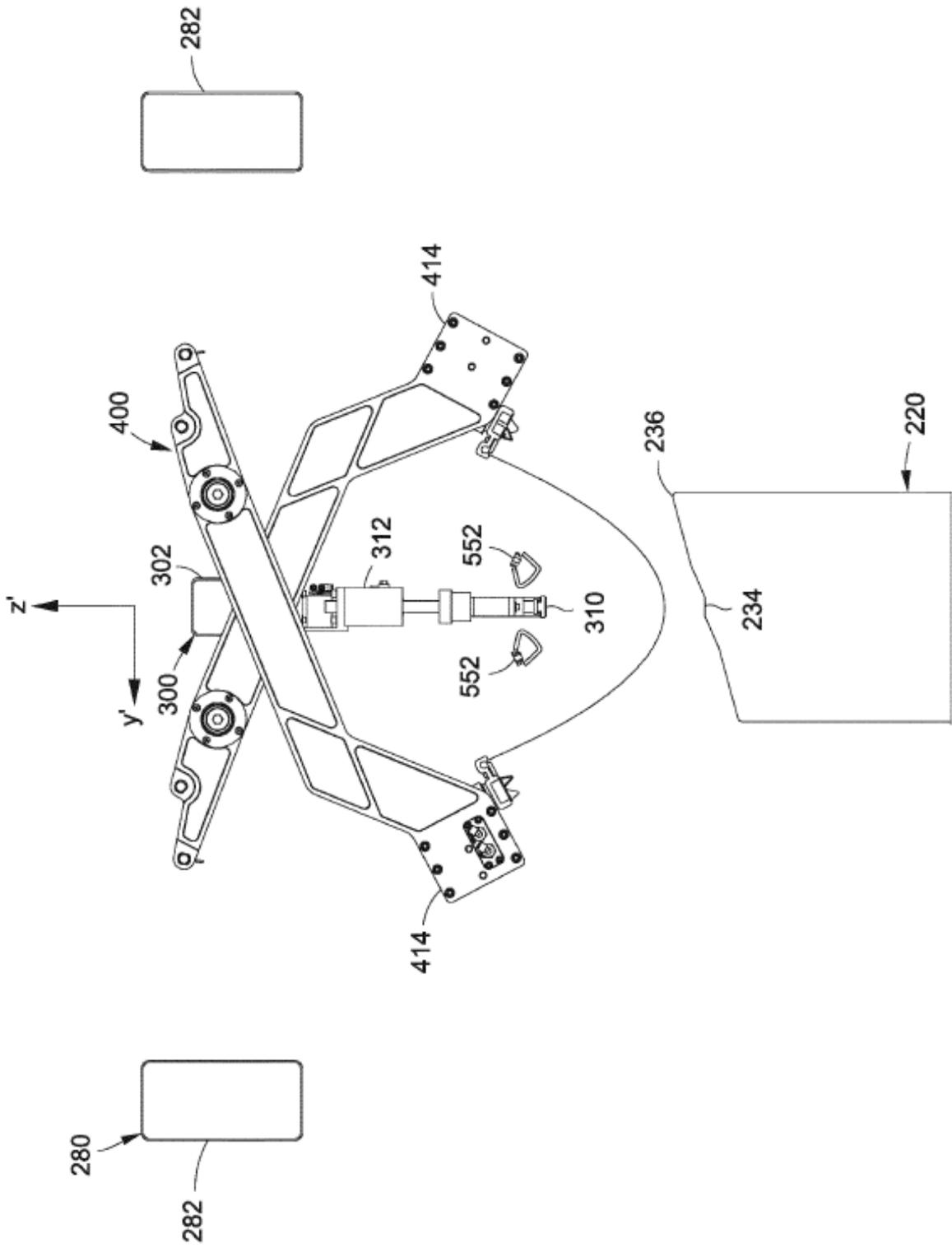


FIG. 42

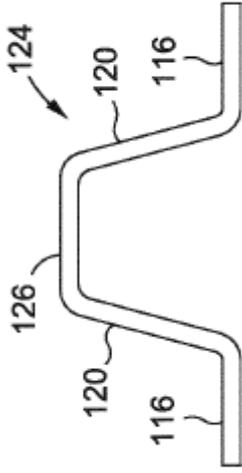


FIG. 45

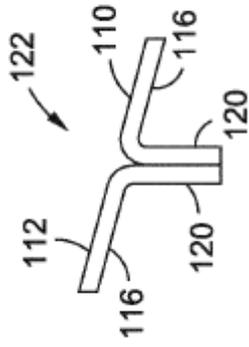


FIG. 46

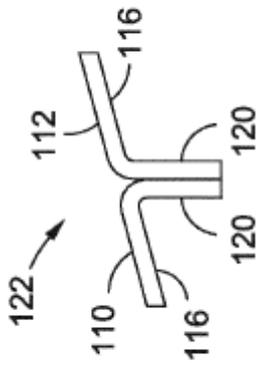


FIG. 47

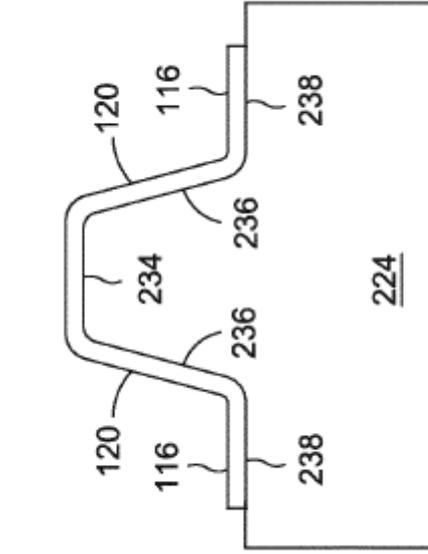


FIG. 43

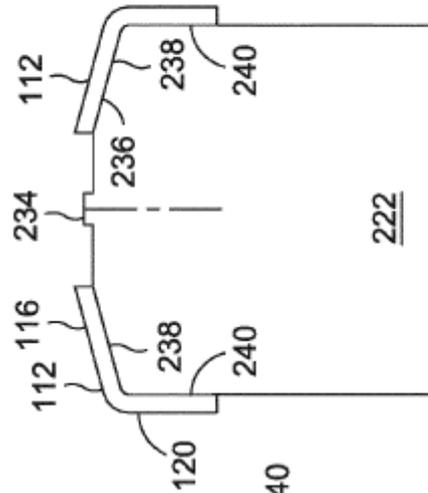


FIG. 44

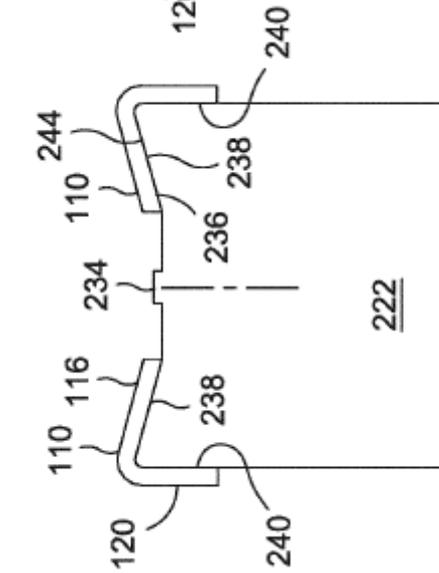


FIG. 45

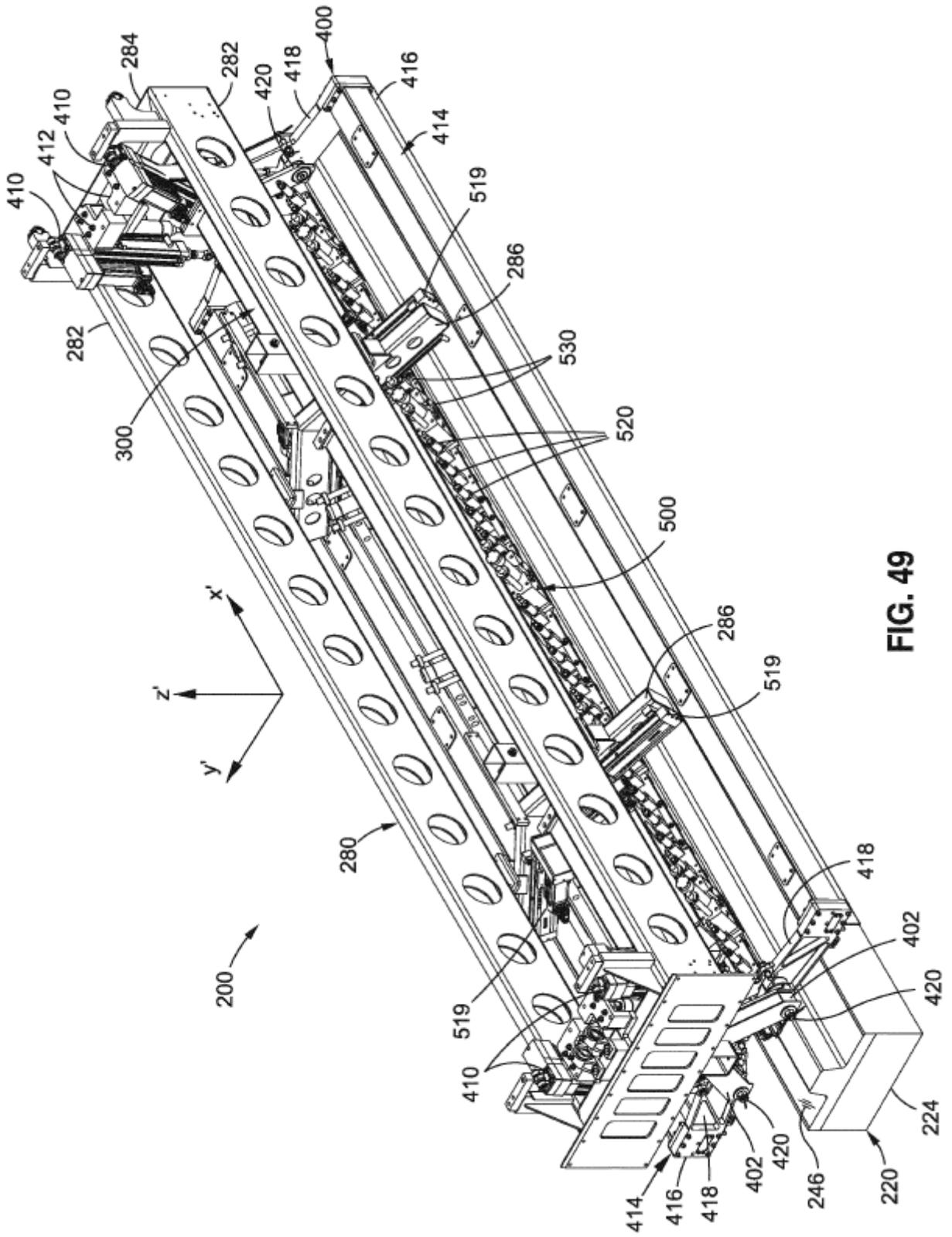


FIG. 49

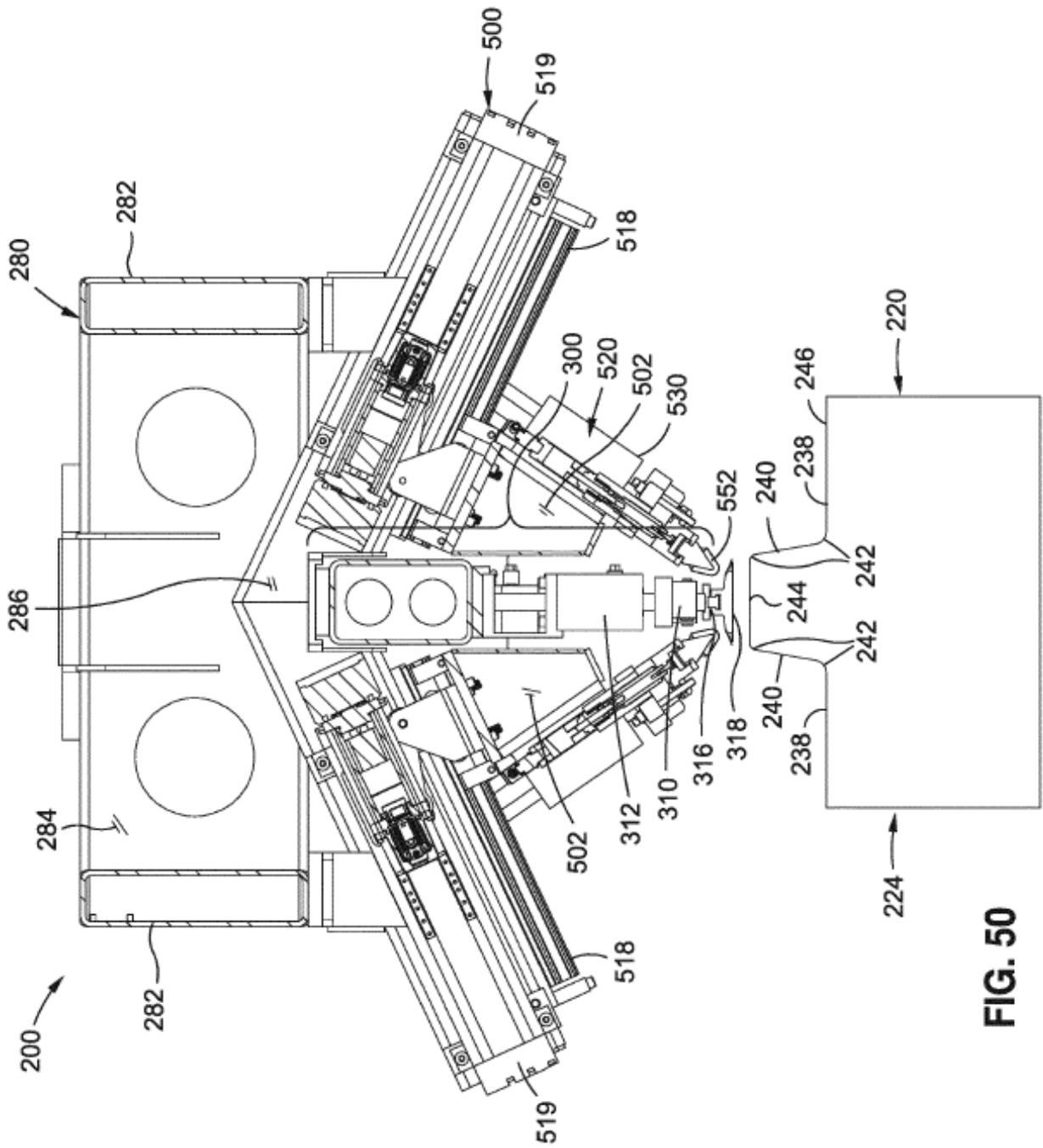


FIG. 50

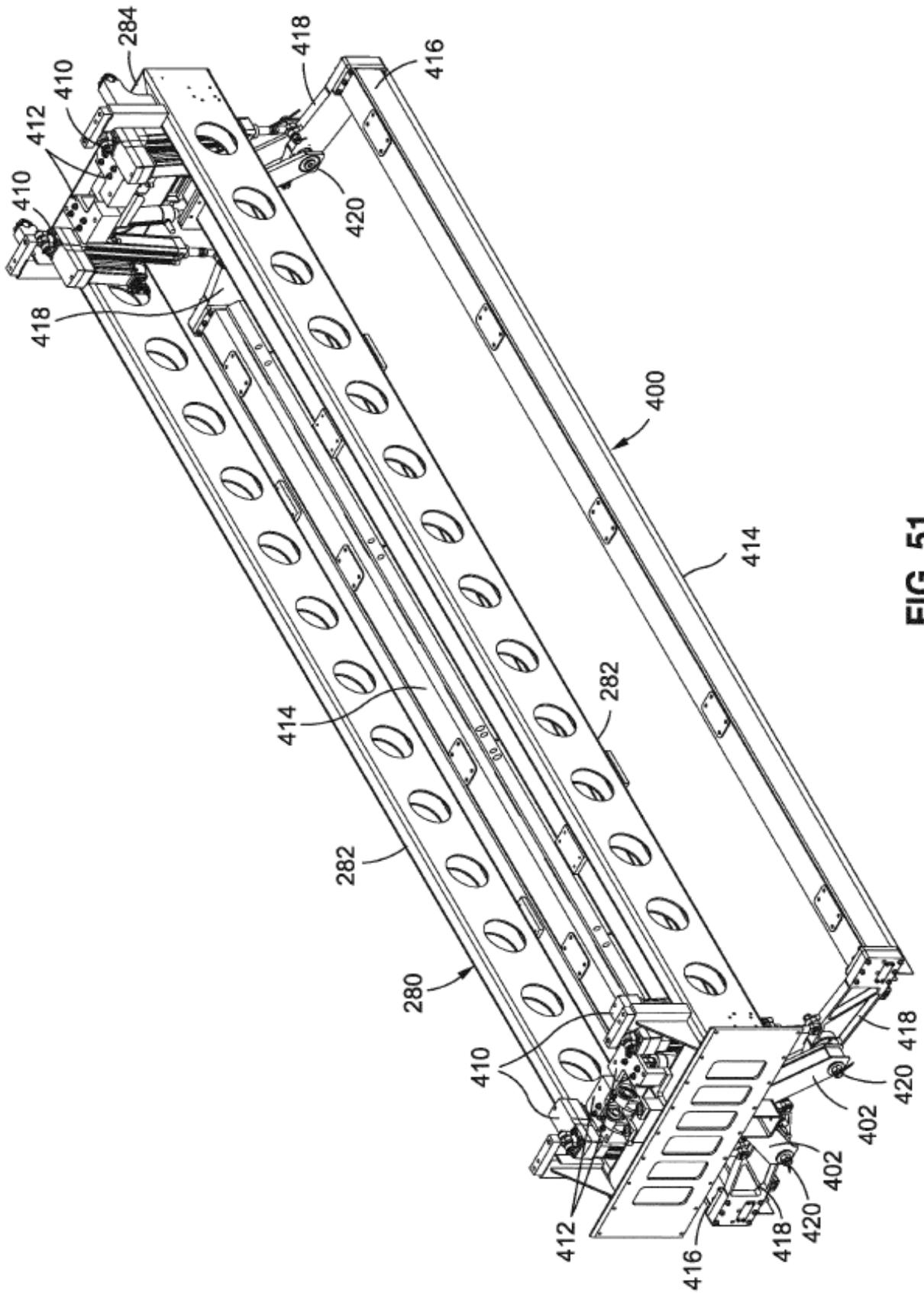


FIG. 51

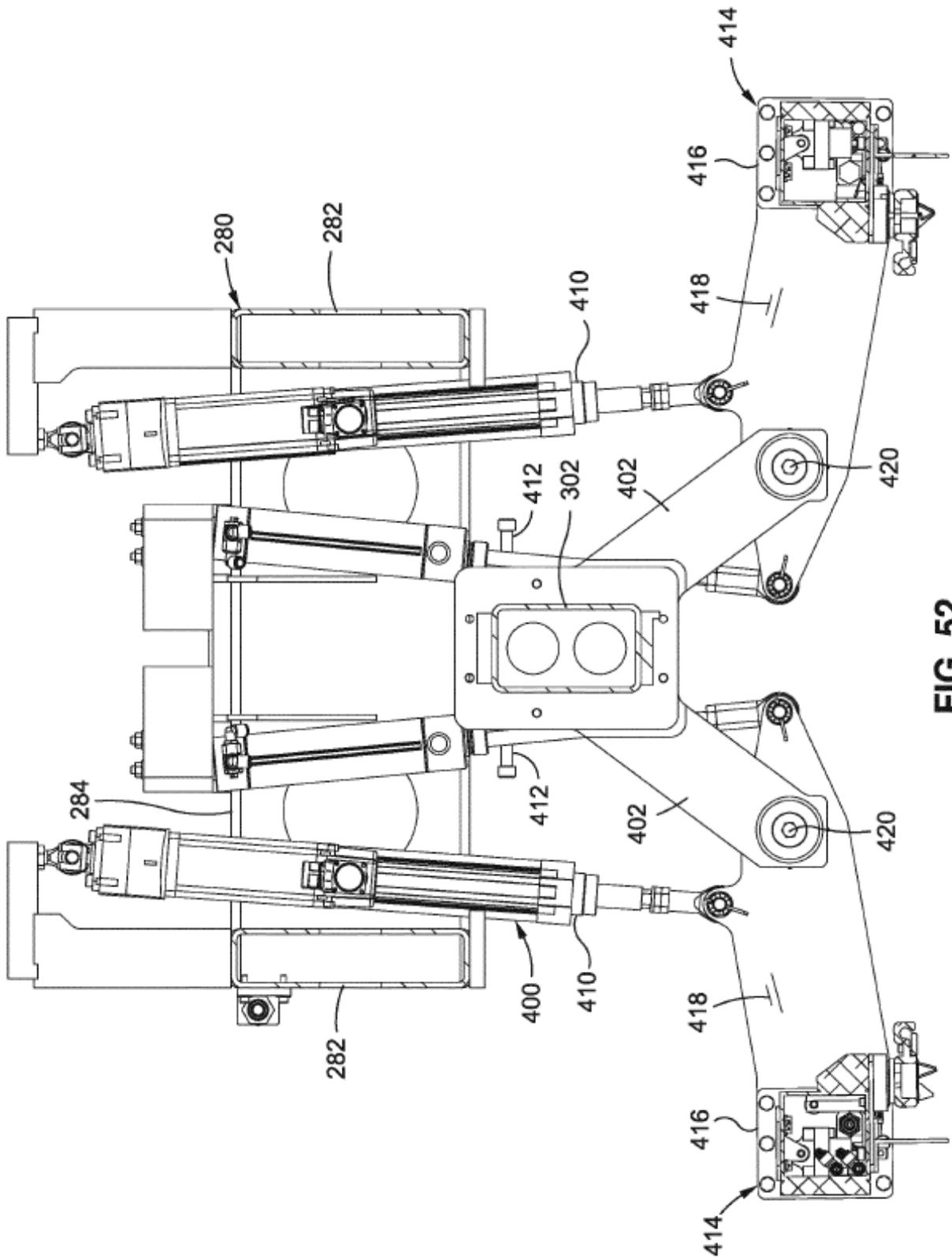


FIG. 52

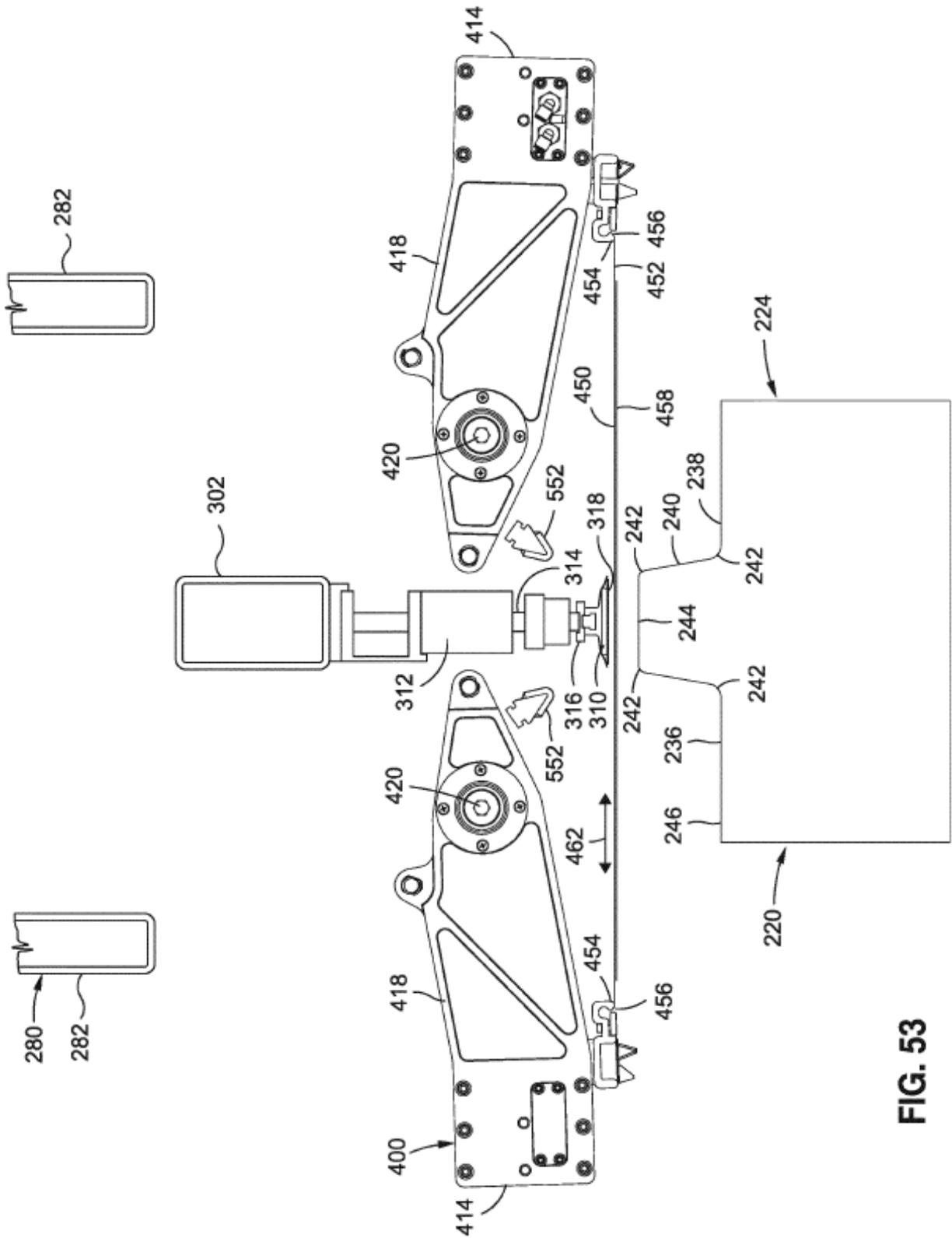


FIG. 53

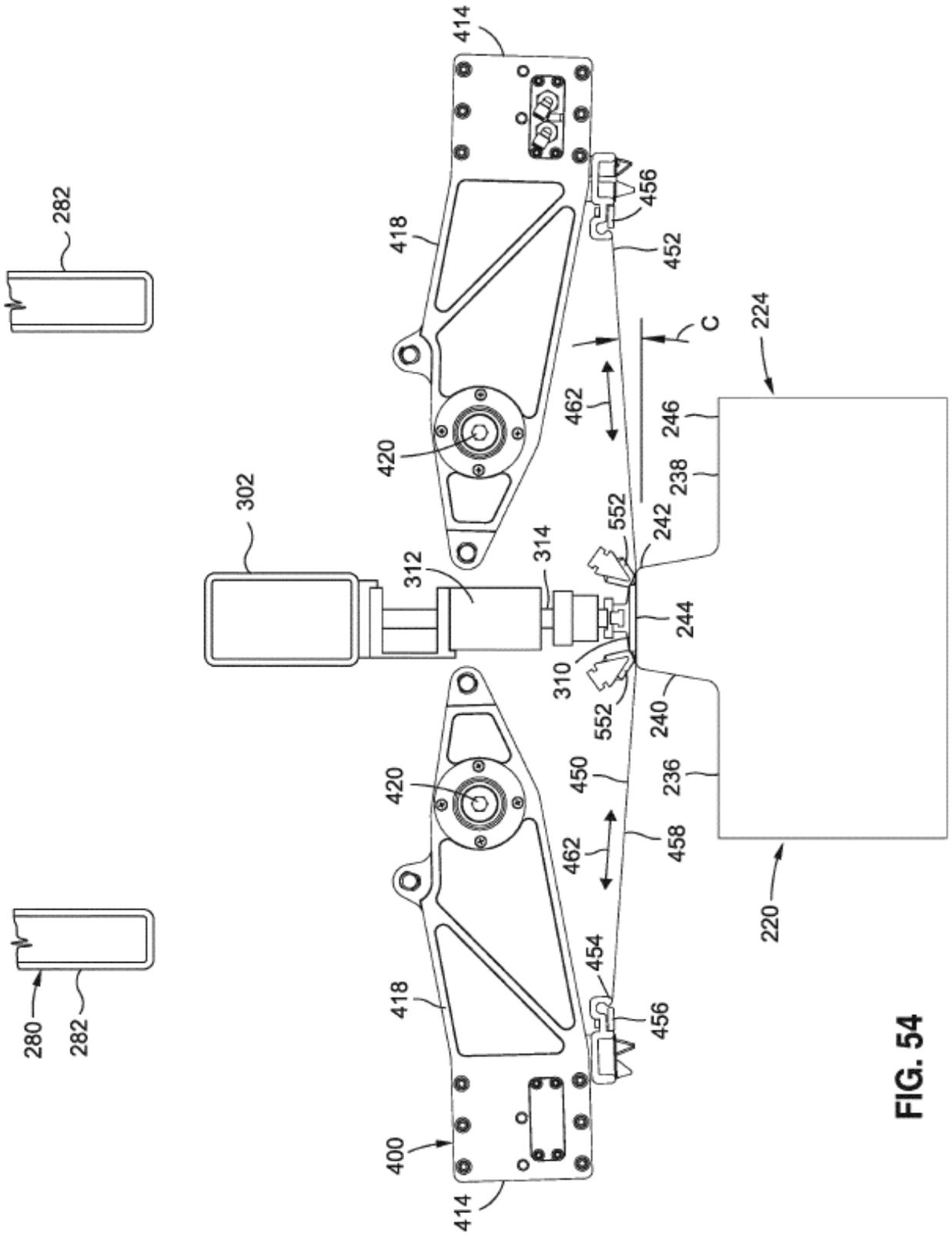


FIG. 54

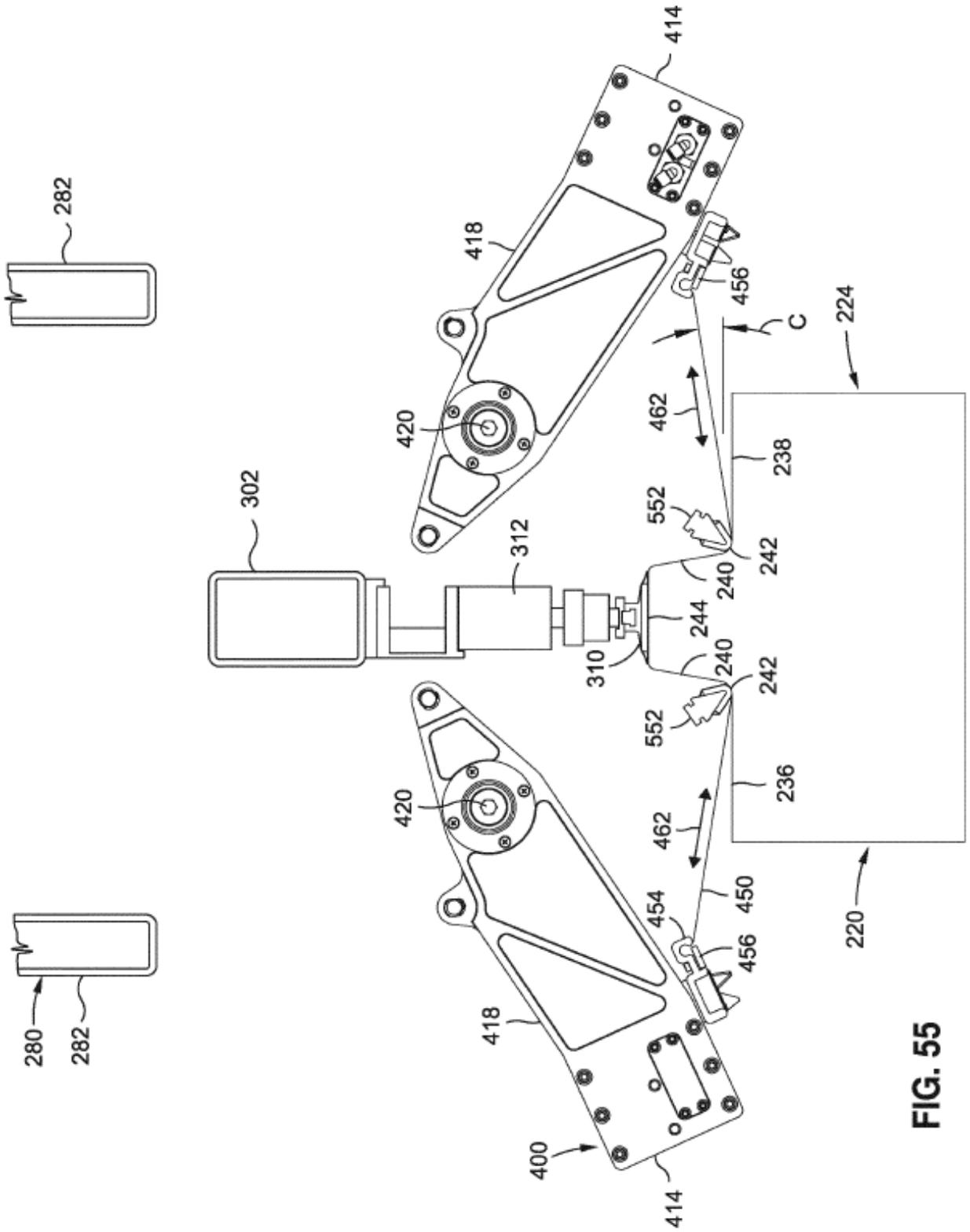


FIG. 55

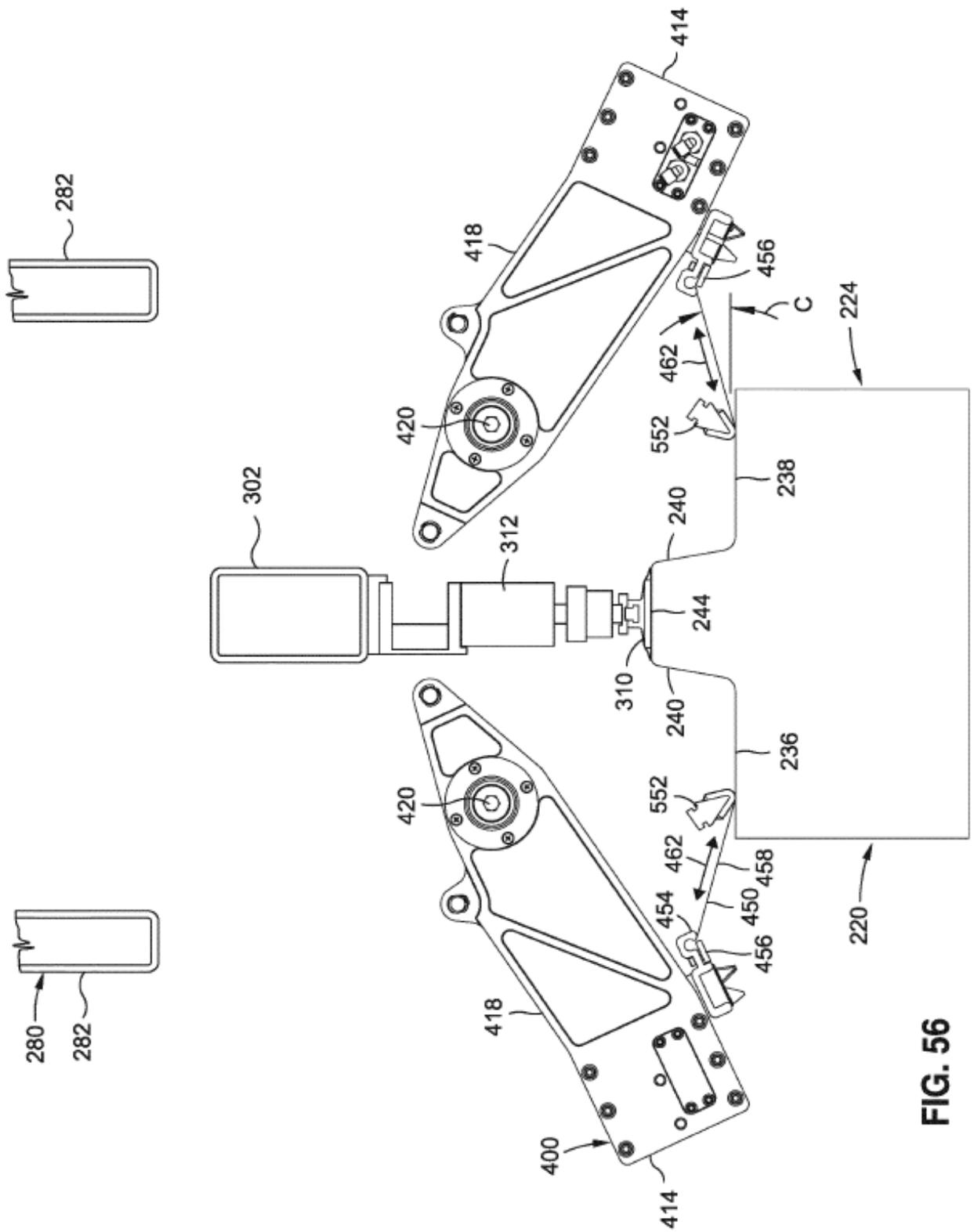


FIG. 56

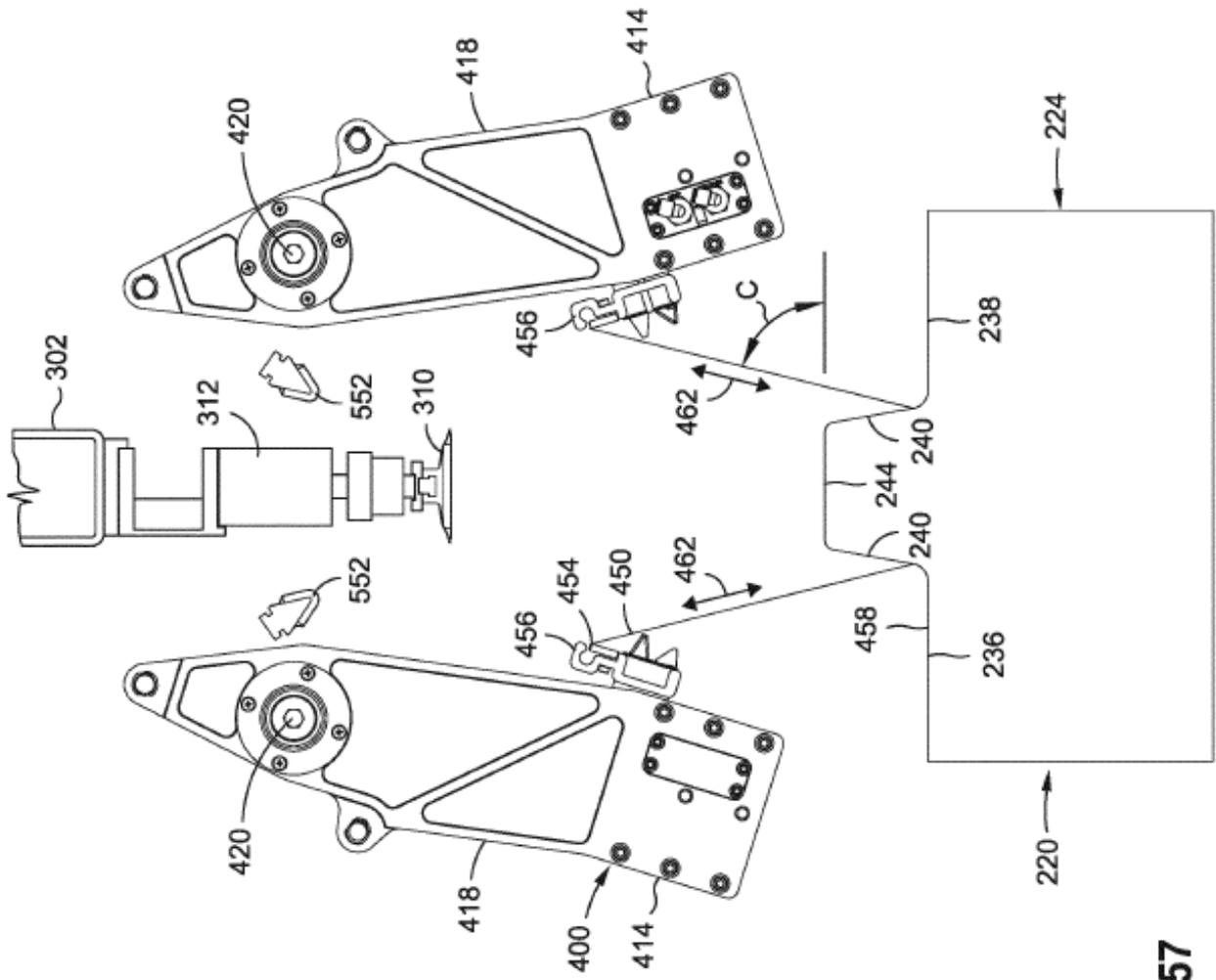


FIG. 57

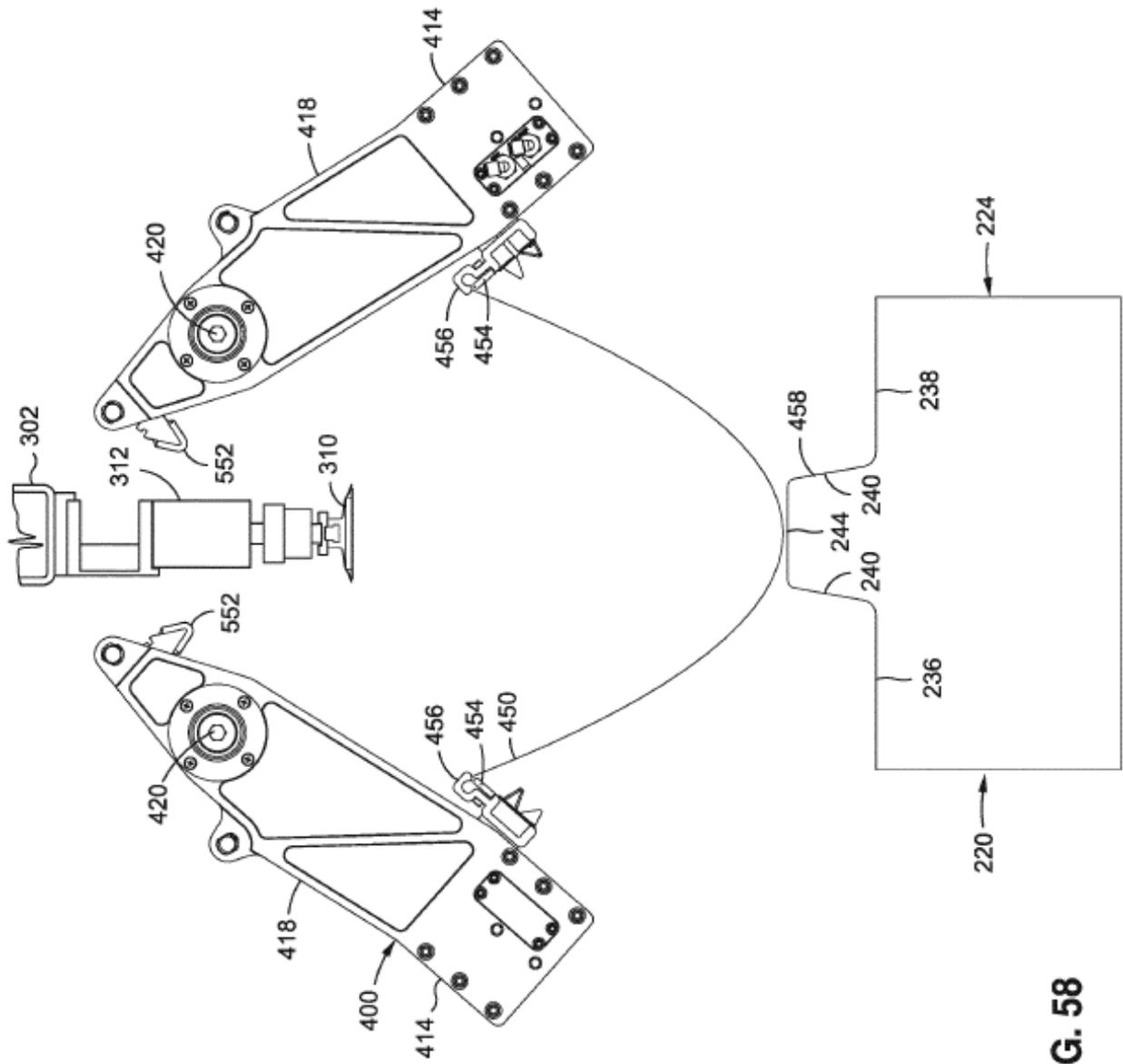


FIG. 58