

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 506 092**

51 Int. Cl.:

B29C 70/34 (2006.01)
B29C 70/46 (2006.01)
B29C 33/30 (2006.01)
B29C 70/44 (2006.01)
B29C 43/10 (2006.01)
B29C 43/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2008 E 08011313 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.08.2014 EP 2014448**

54 Título: **Método y aparato para el contorneado de artículos compuestos preimpregnados**

30 Prioridad:

27.06.2007 US 769082

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

13.10.2014

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**NELSON, PAUL E.;
MCCOWIN, PETER D. y
LUND, WORM**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 506 092 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

Método y aparato para el contorneado de artículos compuestos preimpregnados

5 CAMPO TÉCNICO

Esta invención se refiere en general a la conformación de estructuras compuestas y, más en particular, a un método de conformación y utillaje para la conformación según uno o múltiples ejes de una carga laminada o estratificada (en capas), plana, preimpregnada (pre-preg) con resina epoxi mediante la utilización de un mandril flexible, que mantiene toda la sección transversal del mandril y de la pieza bajo tensión durante la operación de conformación en curva.

ANTECEDENTES

El reemplazamiento de elementos estructurales metálicos mecanizados, moldeados por colada, forjados o estampados, tales como cordones de refuerzo de aluminio para alas, en la industria aeroespacial, por ejemplo, por estructuras compuestas, se está convirtiendo en altamente deseable para lograr una reducción en el peso y una mejora en el rendimiento de los conjuntos estructurales. Para el ejemplo de los cordones de refuerzo compuestos para alas, sin limitación, los cordones de refuerzo pueden ser similares a los cordones de refuerzo de aluminio ensamblados que utilizan almas separadas, piezas angulares y refuerzos. Todas las piezas se pueden fabricar fundamentalmente a partir de banda compuesta preimpregnada con resina epoxi, la cual normalmente se sitúa manualmente en un mandril de forma predeterminada, seguido esto de un proceso de curado dentro de una autoclave.

Los dos enfoques fundamentales actualmente en la técnica son ensamblar un laminado compuesto y conformarlo de una manera predeterminada de acuerdo a su forma final en el mandril de curado, como, por ejemplo, se describe en el documento de EE.UU. nº 2006/0108055 A1 y según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 7, o ensamblar de una manera predeterminada una carga plana de laminado compuesto, conformarla mecánicamente hasta la forma deseada, y a continuación curarla.

La conformación de elementos compuestos que tienen un contorno variable, con zonas localizadas que tienen un contorno tan acusado como de 762 cm (300 pulgadas) de radio requiere actualmente de un moldeado manual sobre un mandril con la forma adecuada. A un precio normal de una libra esterlina por hora por empleado, el montaje manual de los laminados de los grandes elementos estructurales no es una estrategia económica para aplicaciones de producción completa. El moldeado automatizado de elementos estructurales compuestos directamente sobre mandriles de curado es posible con máquinas de colocación de fibras modificadas. Sin embargo, tal enfoque requiere un desarrollo de maquinaria específica con una inversión de capital asociada muy alta.

Es por tanto deseable montar de una manera predeterminada cargas o conjuntos laminados compuestos planos y conformarlos hasta la forma deseada. Las cargas planas se fabrican normalmente utilizando métodos de automatización de banda compuesta y estas máquinas son muy rentables para la fabricación de cargas planas. La posibilidad está fácilmente disponible gracias a los procesos actuales de fabricación para extender y conformar cargas planas según una forma en canal sobre un mandril flexible y, a continuación, curar el mandril. Sin embargo, este proceso es adecuado únicamente para curvaturas de gran radio. Con radios de 3.810 cm (1.500 pulgadas) o menos, puede haber problemas de creación de pliegues en el conjunto laminado compuesto preimpregnado.

Es por tanto deseable además proporcionar un método y utillaje para la conformación y cura de moldeados de cargas planas de materiales preimpregnados con uno o múltiples centros de curvatura, lo cual impide el plegado del conjunto compuesto.

COMPENDIO

Las realizaciones descritas en la presente memoria proporcionan una herramienta y un método de conformación para su utilización con cargas o conjuntos laminados preimpregnados planos, que incorporan un mandril segmentado en múltiples bloques de conformación, estando los bloques de conformación dimensionados para recibir un conjunto laminado compuesto extendido, con todas las partes del conjunto laminado compuesto separadas de una superficie de conformación de cada bloque. Una placa acanalada se acopla a la superficie de conformación de los bloques de conformación. En las realizaciones a modo de ejemplo, el conjunto laminado compuesto extendido se conforma en los bloques de conformación a partir del conjunto laminado compuesto plano y se mantiene en contacto con los bloques de conformación utilizando una bolsa de vacío. Los bloques de conformación del mandril se desplazan a continuación hasta una curvatura deseada por medio de unos actuadores fijados a la placa acanalada que hacen que la placa acanalada adopte la curvatura deseada. Se puede emplear una herramienta de contorneado, en la cual se acopla la placa acanalada, para establecer la curvatura deseada.

En una realización, la curvatura se induce mediante el empleo de la placa acanalada en una silleta sobre la cual se sitúa el mandril segmentado. La curvatura deseada se induce después de que se aflojen los bloques de conformación segmentados del mandril en la silleta.

Las enseñanzas de la presente invención se pueden implementar además en un sistema de utillaje para la conformación de elementos estructurales compuestos, que comprende:

- 5 un mandril que tiene una pluralidad de bloques de conformación en segmentos, estando dichos bloques de conformación dimensionados para recibir un conjunto laminado compuesto extendido, con todas las partes del conjunto laminado compuesto separadas de una superficie de conformación de cada bloque;
una placa acanalada que se acopla a la superficie de conformación de los bloques de conformación y que incorpora juntas de sellado al vacío;
- 10 una bandeja de carga que recibe un conjunto laminado compuesto plano, pudiendo dicha bandeja de carga variar su posición con respecto al mandril;
- una bolsa de vacío que se inserta entre la bandeja de carga y el conjunto laminado compuesto plano, acoplándose dicha bolsa de vacío a las juntas de sellado al vacío de la placa acanalada y, después de la aplicación de vacío, haciendo dicha bolsa de vacío que el conjunto laminado compuesto entre en contacto con los bloques de conformación del mandril; y,
- 15 una pluralidad de actuadores que soportan la placa acanalada, pudiendo dichos actuadores variar su posición para inducir una curvatura deseada en la placa acanalada.
Preferiblemente, el sistema de utillaje comprende además una herramienta de contorneado que se acopla a la placa acanalada, haciendo los actuadores que la placa acanalada entre en estrecho contacto con la herramienta de contorneado para inducir la curvatura deseada.
- 20 Preferiblemente, la bandeja de carga incorpora calentadores para calentar el conjunto laminado compuesto hasta la temperatura de conformación.
- 25 Preferiblemente, el sistema de utillaje comprende además una herramienta de transferencia que incorpora cabezales conformados que tienen una curvatura sustancialmente equivalente a la curvatura deseada de la placa acanalada y que pueden variar su posición con respecto al mandril para recibir un conjunto laminado compuesto conformado.
- Preferiblemente, el sistema de utillaje comprende además una herramienta de curado contorneada que puede variar su posición para recibir el conjunto laminado compuesto conformado desde la herramienta de transferencia, siendo dicha herramienta de curado manipulable para soportar el conjunto laminado compuesto conformado en una autoclave en el curado.
- 30 Preferiblemente, la herramienta de curado se puede girar hasta una posición invertida para acoplarse al conjunto laminado compuesto conformado en la herramienta de transferencia y se puede girar hasta una posición vertical para soportar el conjunto laminado compuesto conformado en el curado y dicho sistema comprende además medios para fijar el conjunto laminado compuesto conformado a la herramienta de curado para el giro desde la posición invertida a la vertical.
- 35 Las enseñanzas de la presente invención se pueden implementar además en un método de conformación de componentes estructurales compuestos preimpregnados, que comprende
- 40 colocar un conjunto laminado compuesto multicapa preimpregnado sobre una lámina de elastómero que recubre los lados y el fondo de una bandeja alargada que tiene paredes laterales y extremas verticales;
- 45 calentar el conjunto laminado compuesto hasta una temperatura de conformación de aproximadamente 54° C (130° F);
- situar un mandril de conformación flexible que tiene un eje de flexión neutro en su superficie superior encima del conjunto laminado compuesto, de manera tal que se crea una cámara sellada entre el mandril y la bandeja alargada recubierta de elastómero;
- 50 aplicar un vacío en la cámara sellada, haciendo por tanto que la lámina de elastómero y el conjunto laminado compuesto preimpregnado se retiren de la superficie de la bandeja alargada y se sitúen alrededor de la superficie del mandril de conformación;
- eleva y retirar el mandril de conformación de la bandeja alargada y ajustar dicho mandril de conformación al contorno deseado en la dirección longitudinal sin dejar de aplicar todavía dicho vacío a la lámina de elastómero y al conjunto laminado compuesto;
- 55 retirar la bandeja alargada de la parte inferior del conjunto laminado compuesto y del conjunto de mandril y reemplazarla por una herramienta de transferencia para soportar el conjunto laminado compuesto conformado;
- dejar de aplicar vacío entre el conjunto laminado compuesto y el mandril de conformación, y transferir el conjunto laminado compuesto a la herramienta de transferencia;
- 60 retirar la herramienta de conformación de la parte superior del conjunto laminado compuesto soportado y situar un mandril de curado sobre el conjunto laminado compuesto soportado;
- fijar el conjunto laminado compuesto al mandril de curado, elevar y retirar el mandril de curado y el conjunto laminado compuesto de la herramienta de soporte y girar la herramienta de curado y el conjunto laminado compuesto ciento ochenta grados hasta una orientación vertical;

retirar la lámina de elastómero y el vacío que envuelve el mandril y el conjunto laminado compuesto de forma normal; y,
curar el conjunto laminado compuesto en una autoclave.

- 5 Se pueden extraer características y ventajas adicionales a partir de la siguiente descripción y de los dibujos adjuntos.

10 Se debe entender que las características mencionadas anteriormente y aquellas que van a ser explicadas a continuación se pueden utilizar no sólo en las respectivas combinaciones indicadas, sino también en otras combinaciones o aisladamente, sin salirse del alcance de la presente invención tal como está reivindicada. En particular, las características definidas en cualquier reivindicación se pueden utilizar en cualquier combinación con otras características definidas en cualquier otra reivindicación. Además, las características mencionadas en relación con una realización se pueden utilizar también en otras realizaciones descritas en la solicitud.

15 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Éstas y otras características y ventajas de las realizaciones de la descripción se entenderán mejor haciendo referencia a la siguiente descripción en detalle cuando ésta se considera en relación con los dibujos que se acompañan, en los que:

- 20 La figura 1A es una vista posterior de una realización de un mandril flexible con una placa acanalada y un conjunto laminado compuesto plano conformado sobre una sección transversal del mandril.
La figura 1B es una vista lateral de la realización de la figura 1A.
La figura 2A es una vista posterior de la realización de la figura 1A después de la flexión del mandril y de la placa acanalada.
- 25 La figura 2B es una vista lateral de la realización flexionada de la figura 2A.
La figura 3A es una vista posterior de un utillaje de soporte a modo de ejemplo para el funcionamiento del mandril flexible, con la placa acanalada mostrando la inserción inicial de un conjunto laminado compuesto plano.
La figura 3B es una vista lateral en sección por la línea media del utillaje a modo de ejemplo y el conjunto laminado compuesto de la figura 3A.
- 30 La figura 4A es una vista posterior que muestra el conjunto laminado compuesto extendido y soportado por la bolsa de vacío sobre el mandril.
La figura 4B es una vista lateral en semi-sección del conjunto laminado compuesto extendido y soportado de la figura 4A.
- 35 La figura 5A es una vista posterior que muestra el conjunto laminado compuesto conformado.
La figura 5B es una vista lateral en semi-sección del conjunto laminado compuesto conformado de la figura 5A.
La figura 6 es una vista posterior de la herramienta de transferencia recibiendo el conjunto laminado compuesto conformado.
- 40 La figura 7 es una vista posterior del mandril de curado invertido situado en posición de acoplamiento con el conjunto laminado compuesto conformado.
La figura 8 es una vista posterior del mandril de curado invertido con el conjunto laminado compuesto ya acoplado en su sitio.
La figura 9 es una vista posterior del mandril de curado con el conjunto laminado compuesto curado.
- 45 La figura 10A es una vista posterior del conjunto laminado compuesto curado que muestra la línea de separación de las partes simétricas.
La figura 10B es una vista lateral parcial del conjunto laminado compuesto curado.
La figura 11A es una disposición en perspectiva de una línea de utillaje a modo de ejemplo para llevar a cabo el método a modo de ejemplo.
- 50 La figura 11B es un diagrama de flujo de un flujo de fabricación a modo de ejemplo que emplea la línea de utillaje de la figura 11A para la conformación de las piezas.
La figura 12A es una vista en perspectiva de un conjunto estructural compuesto alternativo a modo de ejemplo.
La figura 12B es una vista en sección del conjunto estructural compuesto de la figura 12A.
- 55 La figura 13 es una vista posterior que muestra el moldeado de un conjunto laminado compuesto para el conjunto estructural compuesto de las figuras 12A y B.
La figura 14 es una vista posterior de una primera alternativa de moldeado de un conjunto laminado compuesto para el conjunto estructural compuesto de las figuras 12A y B.
La figura 15 es una vista posterior de una alternativa de moldeado de un conjunto laminado compuesto para el conjunto estructural compuesto de las figuras 12A y B.
- 60 La figura 16 es una vista posterior de una disposición de mandril flexible y utillaje de soporte para conformar un eje múltiple de curvatura.
La figura 17 es una vista lateral de una disposición de mandril flexible y utillaje de soporte para conformar un eje múltiple de curvatura.
- 65 La figura 18 es una vista en perspectiva de las figuras 16 y 17.

La figura 19 es una vista en detalle de los elementos del mandril flexible.
 La figura 20 es una pieza estructural conformada a modo de ejemplo.
 La figura 21 es un diagrama de flujo de la metodología de fabricación y revisión de aeronaves; y,
 La figura 22 es un diagrama de bloques de una aeronave.

5

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las realizaciones descritas en la presente memoria emplean un mandril flexible segmentado que recibe un conjunto laminado compuesto plano para conformación y aplicación a una placa acanalada que está desplazada del conjunto laminado compuesto en dirección radial hacia dentro con respecto al centro de curvatura y que proporciona un eje neutro para mantener todo el conjunto laminado compuesto en tensión durante la conformación. La figura 1A muestra en vista posterior el mandril 10 unido a una placa acanalada 12, con un conjunto laminado compuesto 14 plano (mostrado en su configuración inicial en línea discontinua 14') que se aplica a la superficie exterior 16 del mandril y cubre los lados 18 del mandril, como se describirá en mayor detalle posteriormente. El conjunto laminado compuesto de la realización mostrada es para formar cordones de refuerzo en una estructura de aeronave. Para la realización mostrada, el moldeado no ha interrumpido ninguna capa para ayudar en la conformación. La figura 1B muestra en vista lateral el conjunto laminado compuesto extendido alrededor de la superficie lateral del mandril, el cual está segmentado en bloques de conformación (con segmentos a modo de ejemplo nombrados como los elementos 10a, 10b y 10c) que se unen a la placa acanalada.

Las figuras 2A y 2B muestran el mandril en una posición conformada alrededor de un centro de curvatura designado mediante la flecha de dirección 20. El radio de curvatura mostrado en el dibujo es constante, pero para realizaciones alternativas varía a lo largo de la longitud del mandril segmentado, con grupos de segmentos que dan lugar a diversos radios de curvatura. Se pueden ver el alma 22 y la pestaña 24 del cordón de refuerzo a modo de ejemplo, con una línea de separación 25 de las partes izquierda y derecha. Como se muestra en las figuras, la placa acanalada está desplazada hacia dentro con respecto a todos los elementos del conjunto laminado compuesto extendido, haciendo contacto los bloques de conformación en una superficie de conformación 11 y proporcionando un eje neutro. Los segmentos del mandril se expanden en respuesta a la curvatura de la placa acanalada, manteniendo así todo el conjunto laminado compuesto en tensión para la conformación.

Las figuras 3A y 3B muestran una primera realización a modo de ejemplo de un soporte y una herramienta de conformación para el mandril 10 y la placa acanalada 12 y se describirá un método para la conformación de las piezas compuestas deseadas comenzando con estas figuras. Se emplea una bandeja 28 para recibir el conjunto laminado compuesto 14' plano, el cual ha sido estratificado con la estructura deseada de capas utilizando Flat Tape Laminating Machine (FTLM), una máquina laminadora de material compuesto o Composite Spar and Stringer Reciprocating Laminator (CSSRL) o máquinas de estratificación similares conocidas en la técnica. Se extiende una lámina de elastómero 29 dentro de la bandeja 28 antes de insertar el conjunto laminado compuesto plano para su uso, como se describirá en mayor detalle posteriormente. Se fijan calentadores de tiras 30 en el fondo de la bandeja para el calentamiento del conjunto laminado compuesto plano dentro de la bandeja, reduciendo de esta manera la viscosidad total del sistema de resina dentro del conjunto compuesto para facilitar la conformación del laminado plano. La placa acanalada 12 se extiende más allá de la extensión lateral de los bloques de conformación del mandril e incorpora juntas de sellado piramidales 32 que se unen de forma compresiva hacia abajo sobre la lámina de elastómero 29 como una junta de vacío. Unos actuadores móviles en forma de barras de soporte retráctiles 34 están montados en la placa acanalada y una herramienta de contorneado 36 del cordón proporciona una superficie de contorno para su acoplamiento con la placa acanalada 12 para así conferir el contorno deseado. A pesar de que se emplea una herramienta de contorneado en la realización mostrada, realizaciones alternativas pueden emplear un mayor número de barras de soporte situadas a una distancia menor entre ellas con una placa acanalada más gruesa para conferir directamente el contorno a la placa.

El conjunto laminado compuesto 14' plano se calienta hasta la temperatura de conformación utilizando los calentadores de tiras 30 y se hace bajar el mandril 10 (o alternativamente, se eleva la bandeja) para aplicar el conjunto laminado compuesto sobre la superficie exterior 16 del mandril, como se muestra en las figuras 4A y 4B. Se aplica vacío haciendo que la lámina de elastómero 29 adopte el contorno del mandril 10, extendiendo el conjunto laminado compuesto 14 plano sobre los lados del mandril 10.

El mandril 10 se eleva y saca a continuación de la bandeja 28 mediante la retracción de las barras de soporte 34, las cuales aplican además la placa acanalada 12 a la herramienta de contorneado 36, como se muestra en las figuras 5A y 5B. Los segmentos individuales o bloques de conformación (10a, 10b a modo de ejemplo) del mandril se desplazan de forma congruente con la curvatura inducida en la placa acanalada, conformando así el conjunto laminado compuesto 14, el cual está fijado en su posición mediante la lámina de elastómero evacuada. Se obtienen curvaturas alternativas mediante la utilización de herramientas de contorneado diferentes o, para la realización descrita, utilizando actuadores sólo mediante la programación de la longitud de retracción de los diferentes actuadores que permita alcanzar la curvatura deseada de la placa acanalada.

La figura 6 muestra una herramienta de transferencia 38 que se inserta debajo de la pieza de soporte del mandril para recibir el conjunto laminado compuesto 14 conformado. Para la realización mostrada, la herramienta de

transferencia 38 emplea múltiples cabezales 40 ajustables que para la realización mostrada se corresponden con los segmentos del mandril, soportados mediante brazos 42 que se extienden desde los elementos de soporte verticales 44. Se extiende material de sujeción 46 en los cabezales 40 para recibir el conjunto laminado compuesto 14. El conjunto laminado compuesto 14 se separa del mandril al dejar de aplicar vacío sobre la lámina de elastómero 29. A continuación se retiran el mandril, su estructura de soporte asociada y la herramienta de transferencia, y se coloca sobre el conjunto laminado compuesto 14 soportado un mandril de curado 48, como se muestra en la figura 7. El mandril de curado 48 tiene un perfil adaptado para recibir el conjunto laminado compuesto conformado, y se hace descender dicho mandril de curado 48 hasta hacer contacto con el conjunto laminado compuesto 14. Después se fija la sujeción 46 al mandril de curado 48 para soportar el conjunto laminado compuesto 14 y seguidamente se eleva y retira el mandril de curado 48 de la estructura de soporte que sostiene el conjunto laminado compuesto, como se muestra en la figura 8. A continuación se invierte el mandril de curado 48 para soportar el conjunto laminado compuesto 14, se retiran las sujeciones 46 y se introducen el mandril y el conjunto laminado compuesto en una autoclave u otro elemento de calentamiento para el curado del conjunto laminado compuesto. En la figura 10 se muestra una parte de un cordón de refuerzo de ala ya terminada. Para la realización mostrada, se emplea un único conjunto laminado compuesto 14 para fabricar piezas simétricamente idénticas, con la línea de separación 25 descrita anteriormente para separar los elementos del lado derecho y del lado izquierdo.

El método y utillaje descritos se adaptan fácilmente a una producción de alta velocidad mediante el empleo de una línea como la mostrada en la figura 11A. La bandeja 28 está montada mediante rodillos sobre unos raíles de guía 50. Se prepara, indexa y carga un conjunto laminado compuesto preimpregnado plano en la bandeja 28, en la parte superior de la lámina de elastómero, como se ha descrito anteriormente. La bandeja 28 se sitúa en una mesa de alimentación. El conjunto laminado compuesto preimpregnado se calienta hasta la temperatura de conformación; para la realización a modo de ejemplo aproximadamente 54° C (130° F). La bandeja 28 se desplaza a lo largo de los raíles de guía 50 hasta una posición bajo la placa acanalada 12, que está soportada por sus actuadores 34, los cuales están situados en un bastidor vertical 52. Los actuadores 34 hacen descender la placa acanalada 12 hasta la parte superior de la bandeja 28. Con la bandeja unida de forma sellada a la placa acanalada, se aplica vacío en la cavidad. Esto desplaza la lámina de elastómero 29 y el conjunto laminado compuesto 14 preimpregnado hasta el mandril 10 segmentado de conformación. El conjunto laminado compuesto se extiende y rodea los segmentos de conformación, creando una forma en canal. La bandeja 28 de carga se retira a su posición inicial.

Los actuadores 34 elevan y retiran de la bandeja la placa acanalada 12, el conjunto laminado compuesto 14 y la lámina de elastómero 29. Al mismo tiempo que se aplica vacío, los actuadores 34 se mueven a unas posiciones programadas para curvar la placa acanalada 12 y el conjunto laminado compuesto 14 con forma de canal. Mientras que el conjunto laminado compuesto se enfría, una mesa de transporte con la herramienta de transferencia 38 con cabezales correspondientes se sitúa en una posición por debajo del conjunto laminado compuesto 14 y se elevan unos soportes para sostener el conjunto laminado compuesto conformado. Se deja de aplicar vacío, permitiendo que el conjunto laminado compuesto 14 sea soportado completamente por la mesa de transporte que lleva la herramienta de transferencia 38. La mesa de transporte desplaza el conjunto laminado compuesto conformado hacia el manipulador de la herramienta de curado.

La herramienta de curado 48, en posición invertida, se hace descender hasta encajar con el conjunto laminado compuesto 14 conformado. Después de que la herramienta de curado 48 se sitúa en el conjunto laminado compuesto 14 conformado, el conjunto laminado compuesto conformado y la lámina de elastómero se fijan a la herramienta de curado. La herramienta de curado 48 y el conjunto laminado compuesto 14 conformado se elevan y retiran de la herramienta de transferencia 38 y se gira la herramienta de curado hasta su posición vertical. Se retiran la sujeción y la lámina de elastómero, dejando el conjunto laminado compuesto 14 conformado sobre la herramienta de curado. Se saca la herramienta de curado de la celda. El conjunto laminado compuesto 14 conformado se embolsa al vacío en la herramienta de curado y se envía a una autoclave para su curado. A pesar de que no se muestra en los dibujos, si la duración del curado y de los procesos mencionados anteriormente son aproximadamente equivalentes, la autoclave se puede situar en una prolongación de los carriles de guía, permitiendo que los soportes de la herramienta de curado sean montados sobre los raíles de guía para así desplazar directamente la herramienta y el conjunto laminado compuesto 14 embolsado a la autoclave.

En la figura 11B se describe una realización del proceso que emplea el sistema de utillaje de la figura 11A. El proceso se inicia en la etapa 1102 mediante la colocación de una carga multicapa de material preimpregnado sobre una lámina de elastómero, la cual recubre los lados y el fondo de una bandeja alargada que tiene paredes laterales y extremas verticales. La bandeja alargada está situada sobre una mesa plana y horizontal. En la etapa 1104 la carga se calienta hasta una temperatura de conformación de aproximadamente 54° C (130° F). En la etapa 1106 se sitúa encima de la carga un mandril de conformación flexible que tiene un eje de flexión neutro en su superficie superior, de manera que se crea una cámara sellada entre el mandril y la bandeja alargada recubierta de elastómero. En la etapa 1108 se aplica vacío en la cámara sellada, haciendo por tanto que la lámina de elastómero y la carga preimpregnada se retiren de la superficie de la bandeja alargada y se sitúen alrededor de la superficie del mandril de conformación. En la etapa 1110 el mandril de formación se eleva y retira de la bandeja alargada y en la etapa 1112 el mandril de conformación es ajustado al contorno deseado en la dirección longitudinal sin dejar de aplicar todavía dicho vacío a la lámina de elastómero y a la carga de material compuesto. En la etapa 1114 se retira la bandeja

alargada de la parte inferior del conjunto compuesto por el mandril y la carga conformada y en la etapa 1116 es reemplazada por una herramienta de transferencia para soportar la carga conformada. En la etapa 1118 se deja de aplicar vacío entonces entre la carga y el mandril de conformación y en la etapa 1120 la carga se transfiere al soporte de la herramienta de transferencia. En la etapa 1122 la herramienta de conformación es entonces retirada de la parte superior de la carga soportada y en la etapa 1124 se sitúa un mandril de curado sobre la carga soportada. En la etapa 1126 la carga se fija entonces al mandril de curado, en la etapa 1128 el mandril de curado y la carga se elevan y retiran de la herramienta de soporte y en la etapa 1130 la herramienta de curado y la carga se giran ciento ochenta grados hasta una orientación vertical. En la etapa 1132 se retira entonces la lámina de elastómero y en la etapa 1134 el mandril y la carga se embolsan al vacío de forma normal. En la etapa 1136 la carga es entonces curada en una autoclave.

Realizaciones alternativas del utillaje y proceso descritos proporcionan diferentes formas y contornos de elementos estructurales con la posibilidad de crear parejas estructurales simétricas. La figura 12A muestra un segundo miembro estructural a modo de ejemplo, un refuerzo en forma de T 60. El refuerzo en forma de T se forma a partir de elementos inversamente simétricos conjugados, un cordón convencional 62 y un cordón invertido 64. Como se muestra en la figura 12B, los cordones convencionales e invertidos están unidos por un ala y, para la realización mostrada, el hueco entre las curvas de unión se rellena con una banda de material compuesto preformada con una sección transversal triangular que se denomina macarrón 66. Como se muestra en la figura 13, el utillaje descrito anteriormente es adaptable a la fabricación de elementos conjugados tales como el refuerzo en forma de T. Se conforman piezas moldeadas de conjuntos laminados compuestos planos individuales o piezas moldeadas únicas, con líneas de separación, en el mandril 10 mediante la evacuación de materiales de embolsado elastómeros, como se ha descrito anteriormente, para producir una extensión de los elementos 14a, 14b, 14c y 14d del conjunto laminado compuesto. El contorneado de la placa acanalada 12 conforma simultáneamente entonces una pareja de cordones convencional e invertido 14a y 14c, así como la pareja de cordones convencional e invertido opuestos 14b y 14d. Se producen hasta cuatro ángulos de cordón de una sola vez con esta disposición de mandril. Los ángulos diagonalmente opuestos se unen para dar lugar a formas en T. Los segmentos de bloques de conformación 10d del mandril son altos y anchos para adaptarse a los elementos de múltiples partes.

La figura 14 muestra una disposición alternativa de mandril y conjunto laminado compuesto que permite fabricar dos ángulos de cordón cada vez. Esta configuración produce una pareja de lado izquierdo y lado derecho de ángulos de cordón ya sea convencionales (14e y 14f) o invertidos (14g y 14h). El mandril segmentado emplea bloques de conformación de perfil bajo 10e. De forma similar, la figura 15 muestra una segunda alternativa que permite fabricar de una sola vez dos ángulos de cordón 14i y 14j ó 14k y 14l que son montados formando un cordón en forma de T. A pesar de que son similares en cuanto a disposición a los bloques de conformación de la figura 13, los bloques de conformación 10f de la figura 15 no requieren tanta anchura debido a que las parejas individuales se conforman de manera separada.

El presente método también se puede aplicar a miembros estructurales compuestos que tienen un centro de curvatura complejo. Como se muestra en las figuras 16, 17 y 18, las placas acanaladas 70 y 72, que están curvadas con centros de curvatura diferentes reflejados mediante las flechas 74 y 76, respectivamente, están incluidas en una silleta como la estructura de soporte de la superficie de conformación de los segmentos bloque de conformación del mandril flexible, como se ve mejor en la figura 19. La curvatura de la placa acanalada 70 de la silleta se ha exagerado para mayor claridad. Una superficie de conformación 11 de los bloques de conformación se acopla con una placa acanalada, mientras que una segunda superficie de conformación 13 se acopla con la segunda placa acanalada. La segunda superficie de conformación se proporciona en la realización mostrada mediante una protuberancia 75 para producir una separación del eje neutro del mandril con respecto al segundo centro de curvatura de manera que se asegura que el conjunto laminado compuesto extendido se mantiene en tensión en todas las posiciones. Los bloques de conformación del mandril están unidos a lo largo de un eje neutro 77 de la curvatura de conformación mediante un cable de acero 78 que tiene un alargamiento mínimo, pero sí flexibilidad lateral. Para la realización mostrada, un tornillo de fijación 79 en cada bloque de conformación evita el movimiento del bloque a lo largo del cable. Un cable de enderezamiento 80 situado en el centro de los bloques de conformación emplea unos sujetadores tensores en sus extremos para tirar de los segmentos y juntarlos en la extensión inicial del conjunto laminado compuesto sobre el mandril, pudiéndose aflojar el cable mediante la disminución de la tensión aplicada en los sujetadores. Unos pasadores 82 de alineación situados en posición diametralmente opuesta con respecto al cable de enderezamiento con referencia al cable rígido 78 mantienen la alineación relativa de las esquinas opuestas de los segmentos del mandril, al mismo tiempo que se permite la expansión de los segmentos una vez que se afloja el cable de enderezamiento. Para la realización mostrada, no se emplea ninguna capa discontinua con embolsado al vacío con envoltura completa para conformar el conjunto laminado compuesto en el mandril, como se ha descrito previamente.

Una vez que el conjunto laminado compuesto se extiende sobre el mandril, se disminuye la tensión del cable de enderezamiento y así el mandril se afloja y apoya sobre las placas acanaladas de la silleta en dos direcciones, proporcionando un centro de curvatura resultante que es perpendicular al eje neutro, como se representa mediante la flecha de dirección 84. El mandril se flexiona sobre la herramienta de la silleta a la vez que se aplica calor y vacío.

Se permite que el conjunto laminado compuesto se enfríe y a continuación se retira del mandril de flexión y se sitúa en un mandril de curado rígido para llevar a cabo el curado, como se ha descrito previamente.

En la figura 20 se muestra la parte resultante con curvatura multidimensional, un cordón exterior. A modo de ejemplo de la capacidad del utillaje y método descritos en la presente memoria, el cordón exterior es de aproximadamente 332,74 cm (131 pulgadas) de longitud total 86, con una anchura de pestaña 88 de 11,43 cm (4,5 pulgadas) y una anchura del canal interior que varía desde la del extremo interior 90 de 16,764 cm (6,6 pulgadas) hasta la del extremo exterior 92 de 11,43 cm (4,5 pulgadas). Se puede obtener una altura de cordón 94 de 33,02 cm (13 pulgadas) con el utillaje y método descritos.

Las realizaciones expuestas en la presente memoria pueden ser descritas en el contexto de un método 100 de fabricación y revisión de una aeronave, como se muestra en la figura 21, y en el contexto de una aeronave 102, como se muestra en la figura 22. Durante la preproducción, un método 100 a modo de ejemplo puede incluir el diseño y la especificación 104 de la aeronave 102 y la adquisición de material 106. Durante la producción, tiene lugar la fabricación de componentes y subconjuntos 108 y la integración del sistema 110 de la aeronave 102. A partir de ahí, la aeronave 102 tiene que pasar por la certificación y entrega 112 con objeto de ser puesta en servicio 114. Mientras está en uso por parte de un cliente, están programados la revisión y el mantenimiento 116 rutinarios de la aeronave 102 (los cuales pueden incluir además modificación, reconfiguración, remodelación, etc.).

Cada uno de los procesos del método 100 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistemas, una tercera parte, y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los fines de esta descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de grandes sistemas industriales; una tercera parte puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, una sociedad de arrendamiento financiero, una entidad militar, una organización de servicios, etc.

Como se muestra en la figura 22, la aeronave 102 fabricada mediante el método 100 a modo de ejemplo puede incluir un fuselaje 118 con una pluralidad de sistemas 120 y un interior 122. Ejemplos de sistemas 120 de alto nivel incluyen uno o más sistemas de propulsión 124, un sistema eléctrico 126, un sistema hidráulico 128 y un sistema medioambiental 130. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se ha mostrado un ejemplo de una aeronave, los principios de las realizaciones descritas en la presente memoria se pueden aplicar a otras industrias, tal como la industria de la automoción.

Los métodos y aparatos descritos en la presente memoria se pueden emplear durante una o más de las etapas del método 100 de fabricación y revisión. Por ejemplo, los componentes o subconjuntos correspondientes al proceso de fabricación 108 se pueden producir o fabricar de forma similar a cómo se fabrican los componentes o subconjuntos cuando la aeronave 102 ya está en servicio. Además, se pueden utilizar una o más realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos o una combinación de las mismas durante las etapas de fabricación 108 y 110, por ejemplo, mediante una aceleración importante en el montaje de una aeronave 102 o la reducción de los costes de una aeronave 102. De forma similar, se puede utilizar una o más realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos o una combinación de las mismas mientras la aeronave 102 está en servicio, por ejemplo, y sin limitación, para la revisión y mantenimiento 116.

Habiendo ya descrito en detalle realizaciones a modo de ejemplo como se requiere por las leyes de patentes, aquellos expertos en la materia reconocerán modificaciones y sustituciones aplicables a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria. Tales modificaciones se encuentran dentro del alcance y propósito de la presente invención, tal como está definida en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una herramienta de conformación para conjuntos laminados compuestos preimpregnados planos, que comprende:

un mandril (10) segmentado en una pluralidad de bloques de conformación montados contiguamente, estando dichos bloques de conformación dimensionados para recibir un conjunto laminado compuesto (14) extendido, con todas las partes del conjunto laminado compuesto sobre una superficie (16) que está separada de una superficie de conformación (11) de cada bloque;
una placa acanalada (12) que se acopla a la superficie de conformación (11) de los bloques de conformación; medios para mantener el conjunto laminado compuesto (14) extendido en contacto con los bloques de conformación; y,
medios (34) para desplazar los bloques de conformación del mandril hasta una curvatura deseada, **caracterizada por que** los medios (34) para desplazar los bloques de conformación del mandril comprenden una pluralidad de actuadores espaciados entre sí fijados a la placa acanalada (12), siendo dichos actuadores movibles para inducir una curvatura en la placa acanalada (12).

2. La herramienta de conformación según se define en la reivindicación 1, en la que los medios para mantener el conjunto laminado compuesto (14) extendido en contacto comprenden una bolsa de vacío.

3. La herramienta de conformación según se define en la reivindicación 1, que comprende además una herramienta de contorneado (36) que se acopla a la placa acanalada (12), haciendo los actuadores que la placa acanalada (12) entre en estrecho contacto con la herramienta de contorneado (36).

4. La herramienta de conformación según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la placa acanalada (12) comprende una herramienta de silleta que recibe la superficie de conformación (11) de los bloques de conformación y que tiene un primer centro de curvatura; y los medios (34) para desplazar los bloques de conformación del mandril comprenden un cable tensor, que se puede aflojar, que hace que los bloques de conformación entren en contacto mutuo.

5. La herramienta de conformación según se define en la reivindicación 4, en la que la herramienta de silleta incluye una segunda placa acanalada que hace contacto con una segunda superficie de conformación de los bloques de conformación del mandril y que tiene un segundo centro de curvatura.

6. La herramienta de conformación según se define en la reivindicación 5, que comprende además unos medios para fijar los bloques de conformación en un eje neutro.

7. Un método para la conformación de miembros estructurales preimpregnados que comprende las etapas de:

proporcionar un mandril (10) que tiene una pluralidad de bloques de conformación en segmentos, estando dichos bloques de conformación dimensionados para recibir un conjunto laminado compuesto (14) extendido; mantener todas las partes del conjunto laminado compuesto sobre una superficie (16) que está separada de una superficie de conformación (11) de cada bloque durante la extensión;
proporcionar una placa acanalada (12);
acoplar la superficie de conformación (11) de los bloques de conformación con la placa acanalada (12); mantener el conjunto laminado compuesto (14) extendido en contacto con los bloques de conformación; **caracterizado por**
proporcionar una pluralidad de actuadores (34) fijados en intervalos separados a la placa acanalada (12); y mover los actuadores (34) para inducir la curvatura en la placa acanalada (12).

8. El método definido en la reivindicación 7, que comprende las etapas iniciales de proporcionar un conjunto laminado compuesto (14') plano; orientar para alinear el conjunto laminado compuesto con respecto al conjunto de segmentos de bloques de conformación; y
impulsar y hacer que el conjunto laminado compuesto entre en contacto, estando extendido, con los bloques de conformación.

9. El método definido en la reivindicación 8, en el que la etapa de impulsar y hacer que el conjunto laminado compuesto entre en contacto, estando extendido, comprende las etapas de:

proporcionar una bolsa de vacío que rodea el conjunto laminado compuesto (14) plano y se acopla a la placa acanalada (12); y
aplicar vacío en la bolsa de vacío para conformar el conjunto laminado compuesto alrededor de los bloques de conformación.

10. El método definido en la reivindicación 8, que comprende además la etapa de proporcionar una herramienta de contorneado (36) y en el que la etapa de mover los actuadores (34) comprende además impulsar y hacer que la placa acanalada (12) entre en estrecho contacto con la herramienta de contorneado (36).
- 5 11. El método definido en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que la placa acanalada (12) comprende una silleta y la etapa de acoplarse a la superficie de conformación comprende montar el mandril segmentado en la silleta y la etapa de desplazar los bloques de conformación del mandril comprende aflojar y apoyar los bloques de conformación del mandril sobre la placa acanalada.
- 10 12. El método definido en la reivindicación 11, que comprende además la etapa de proporcionar una segunda placa acanalada, como una parte de la silleta, con un segundo centro de curvatura.
13. El método definido en la reivindicación 12, en el que la etapa de proporcionar un mandril incluye fijar los bloques de conformación en un eje neutro.

15

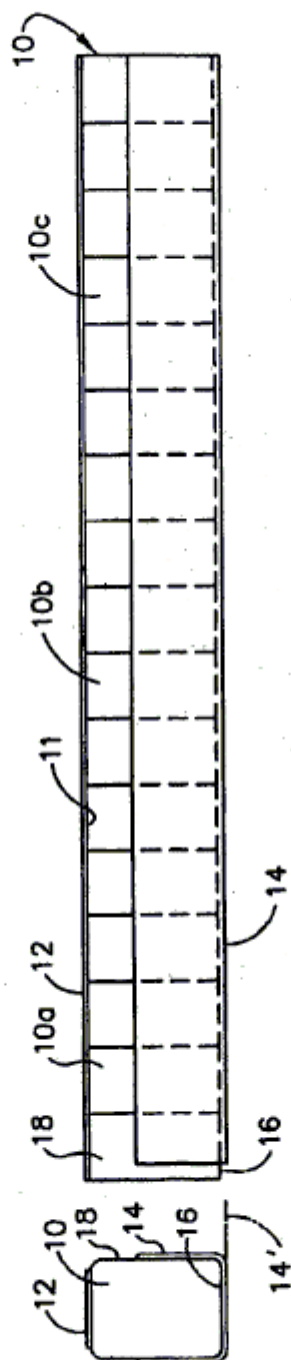


FIG. 1B

FIG. 1A

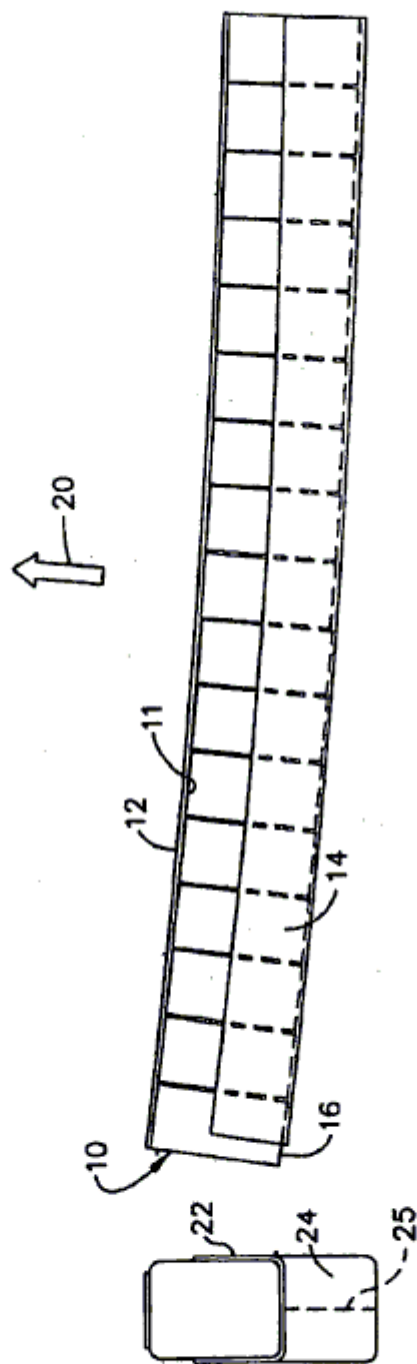


FIG. 2A

FIG. 2B

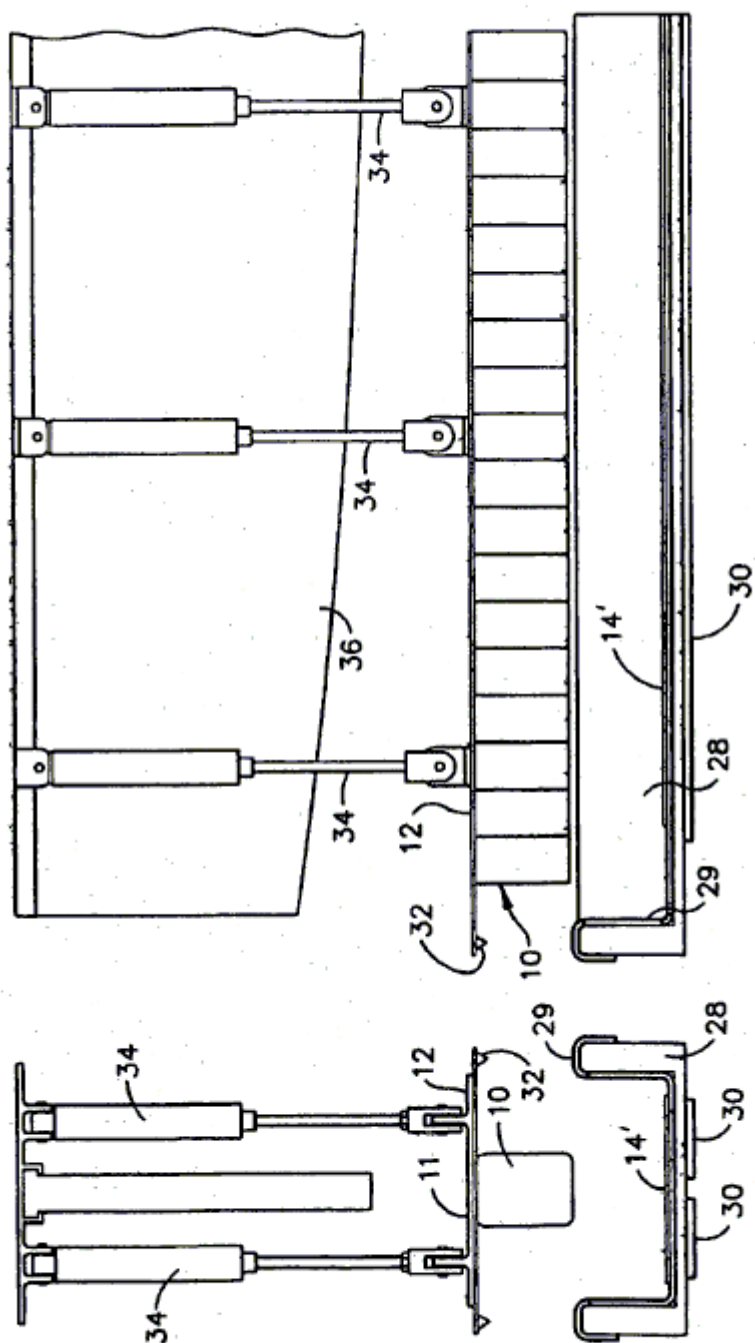


FIG. 3B

FIG. 3A

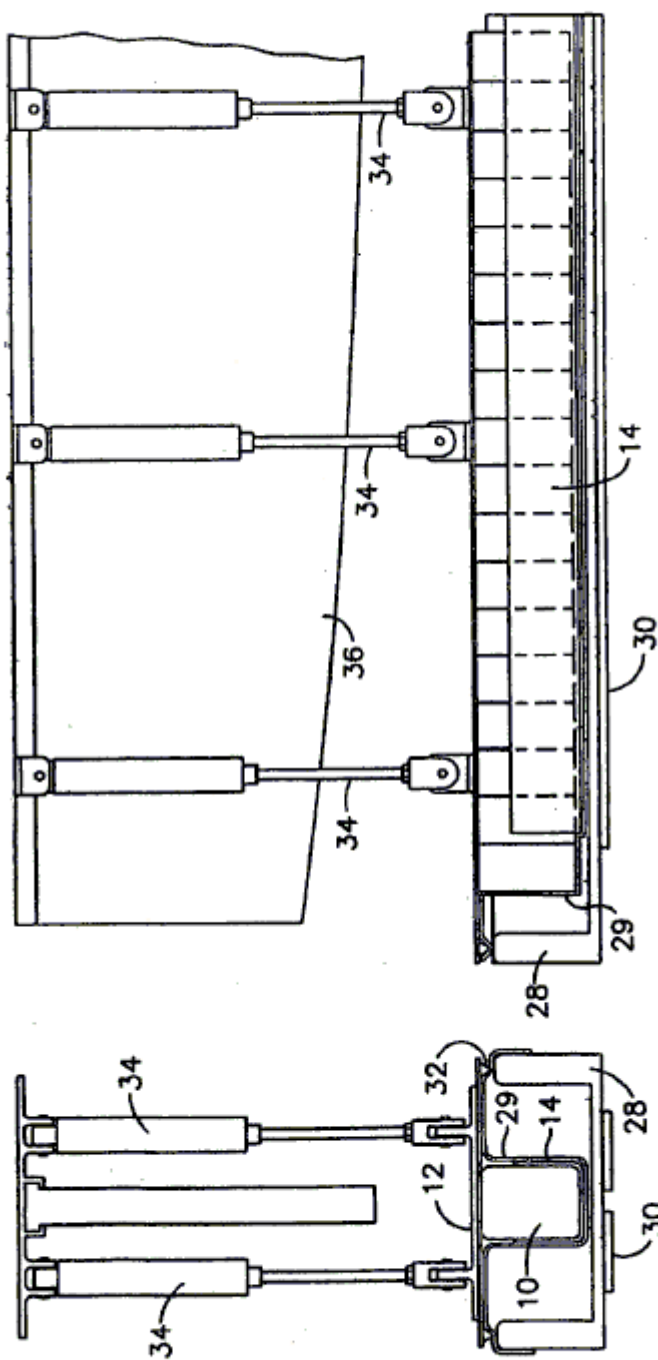


FIG. 4B

FIG. 4A

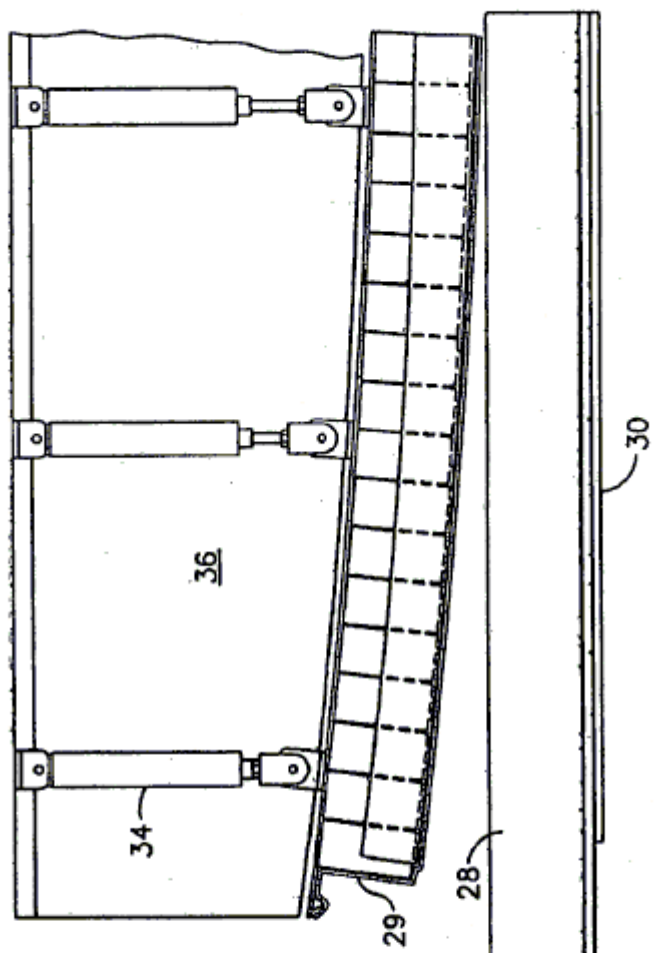


FIG. 5B

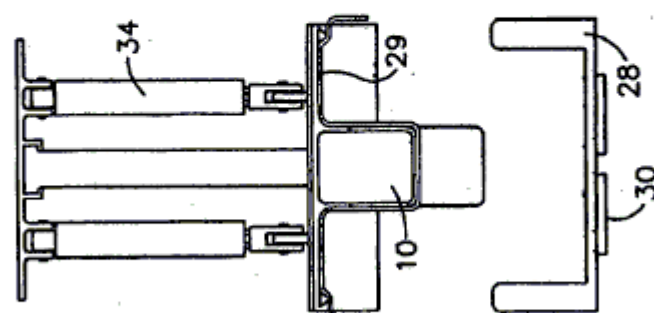
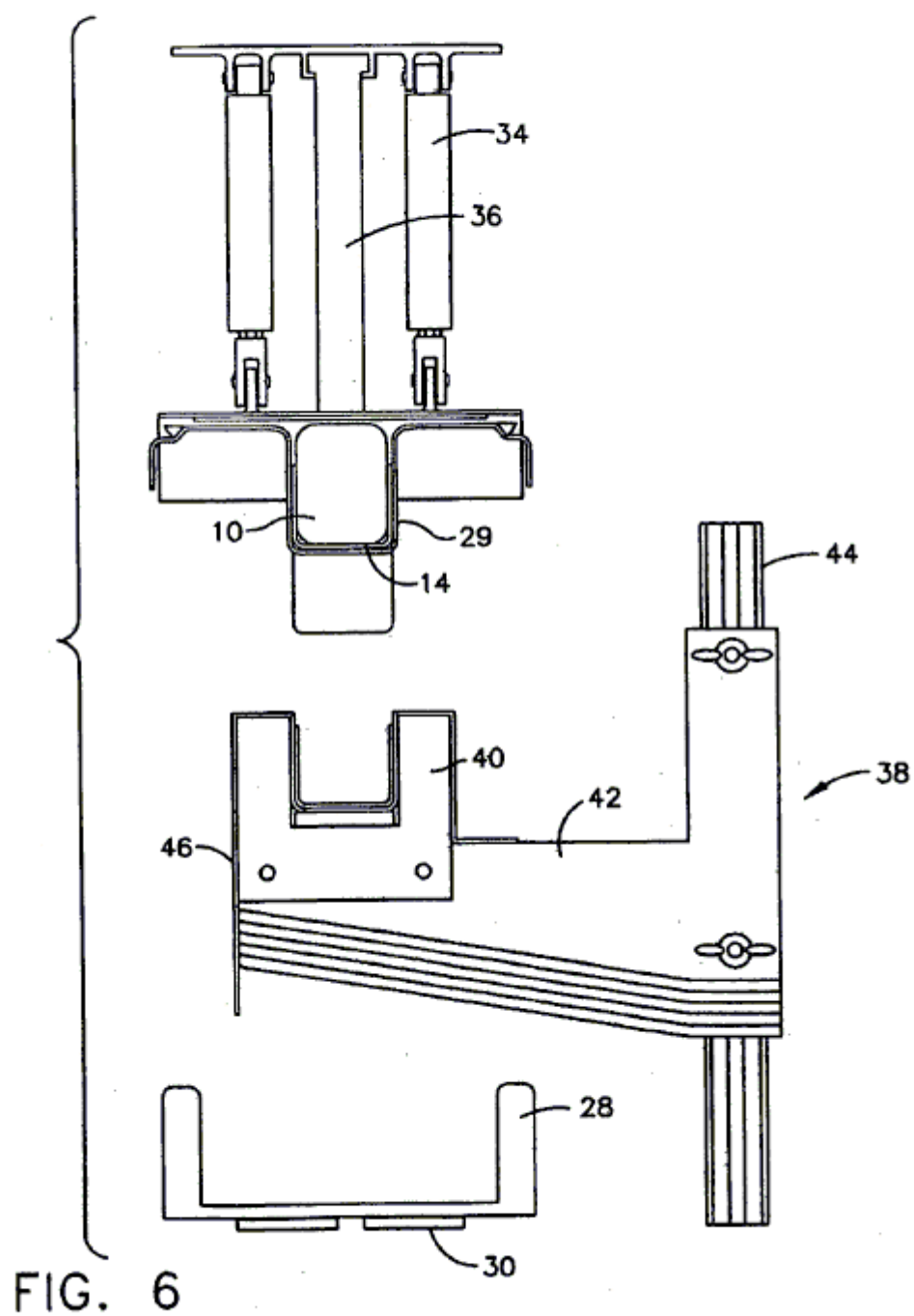


FIG. 5A



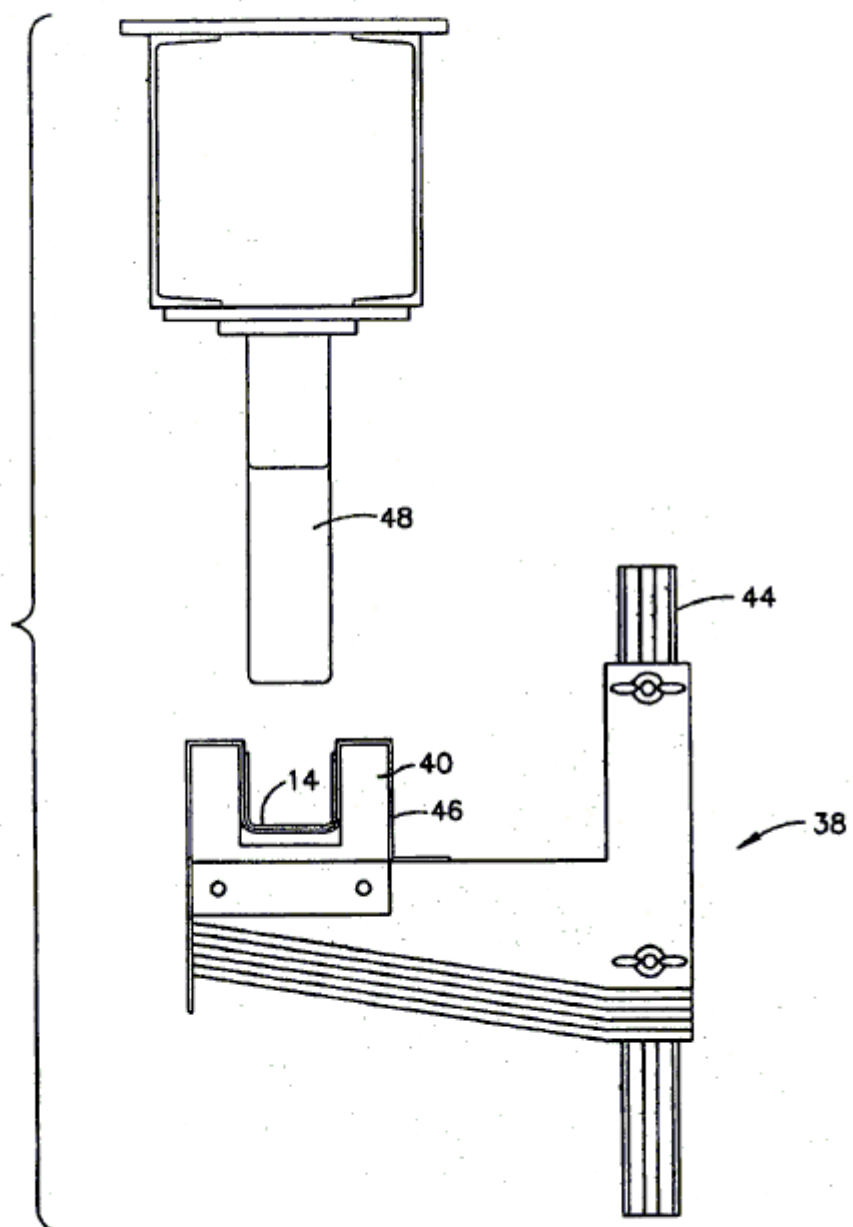


FIG. 7

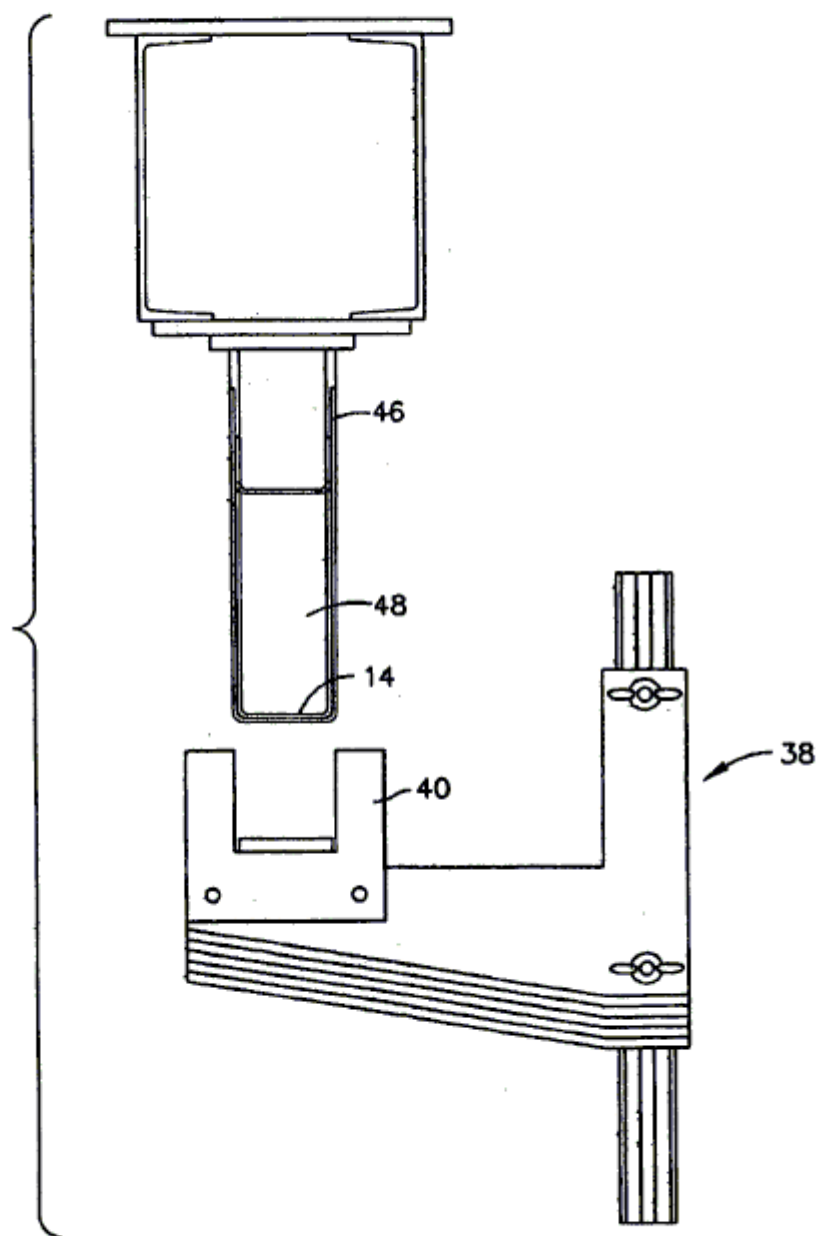


FIG. 8

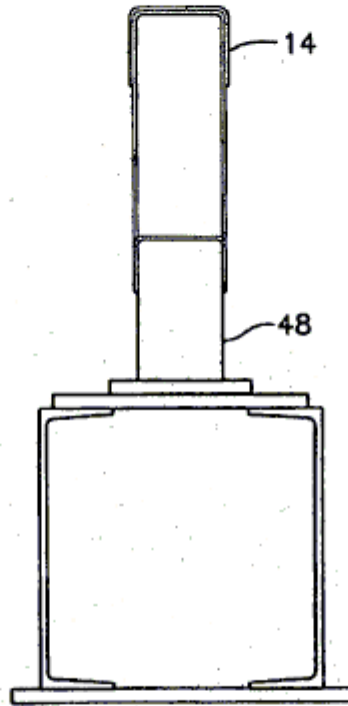


FIG. 9

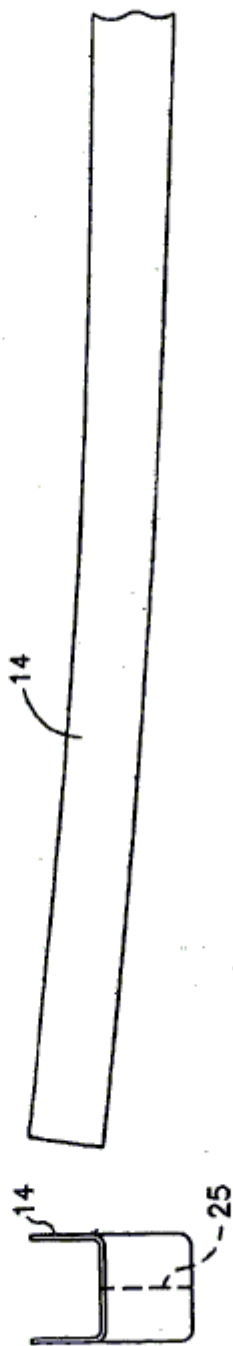


FIG. 10A

FIG. 10B

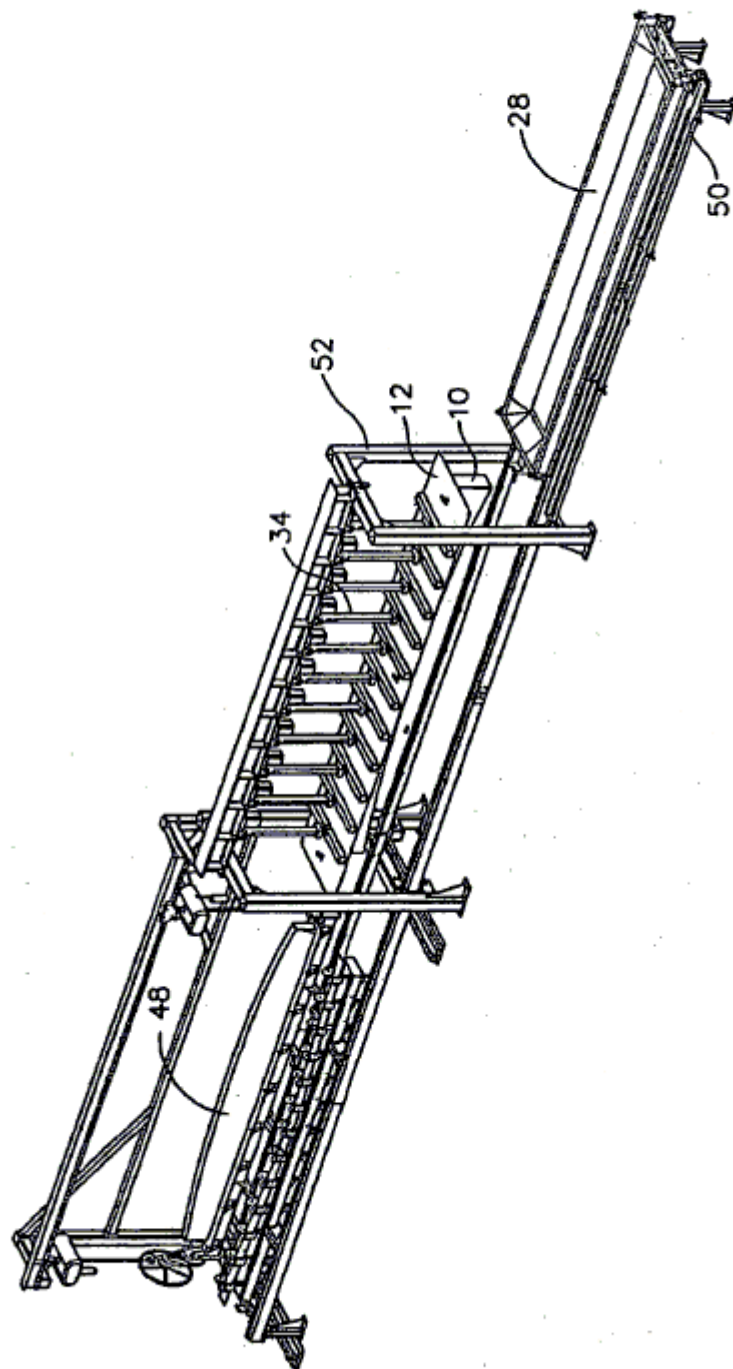


FIG. 11A

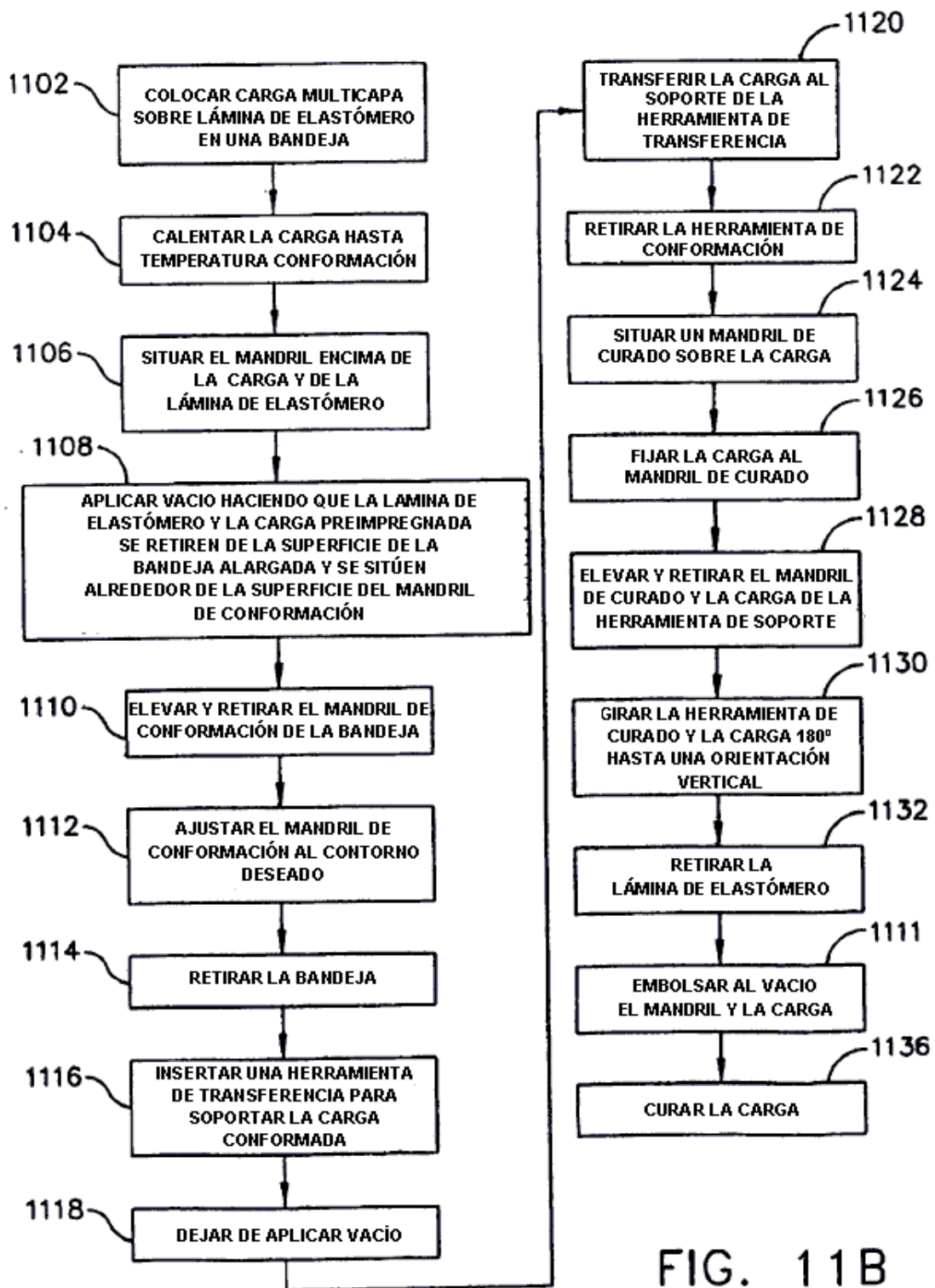


FIG. 11B

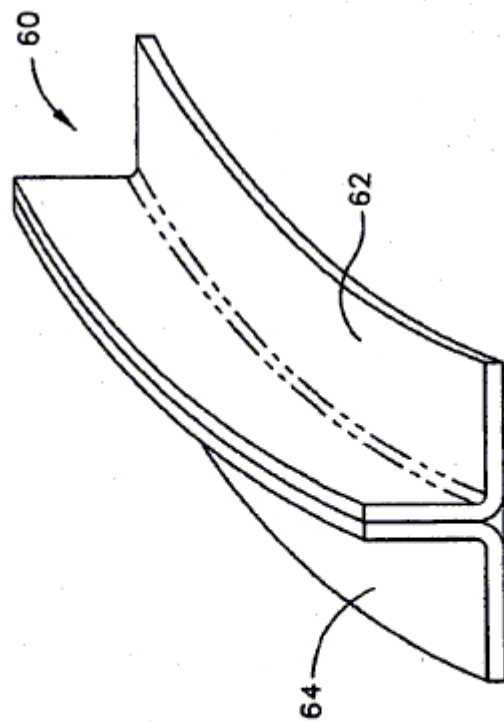


FIG. 12A

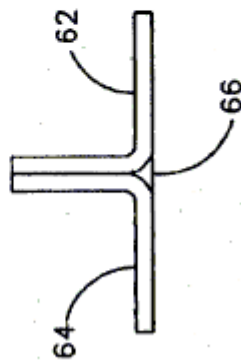


FIG. 12B

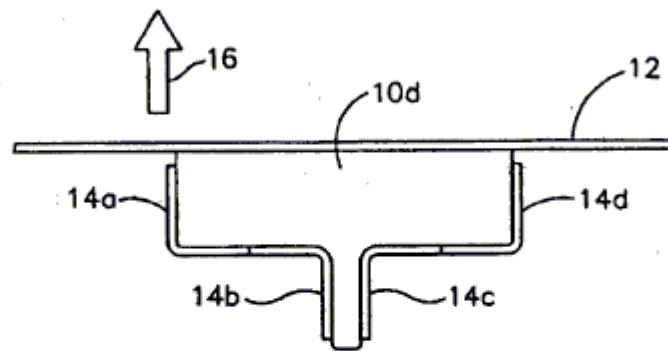


FIG. 13

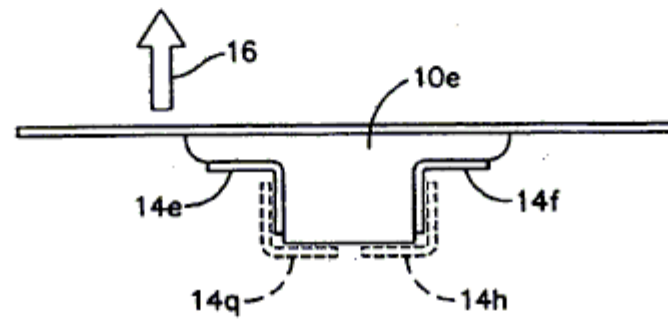


FIG. 14

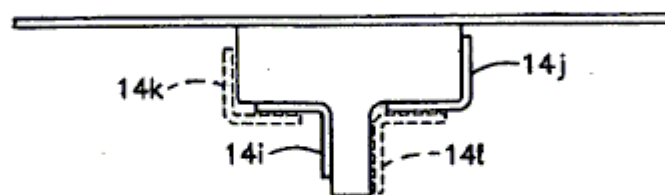


FIG. 15

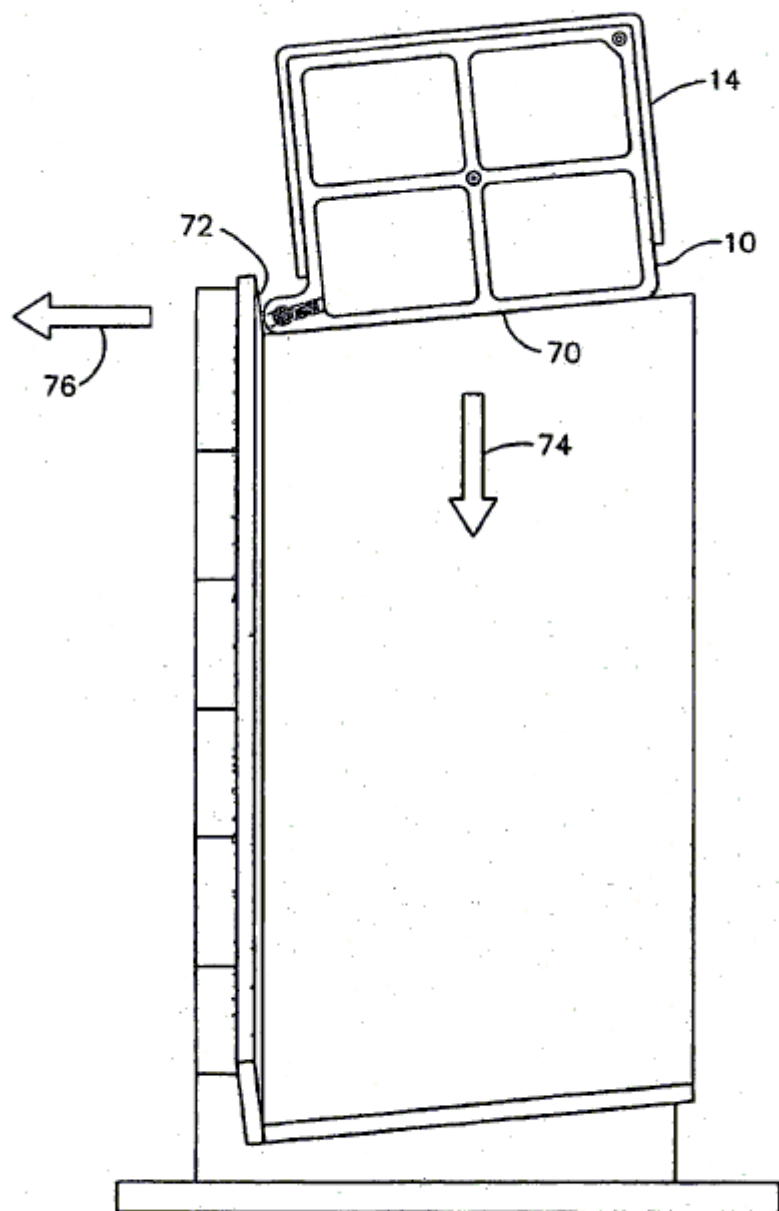


FIG. 16

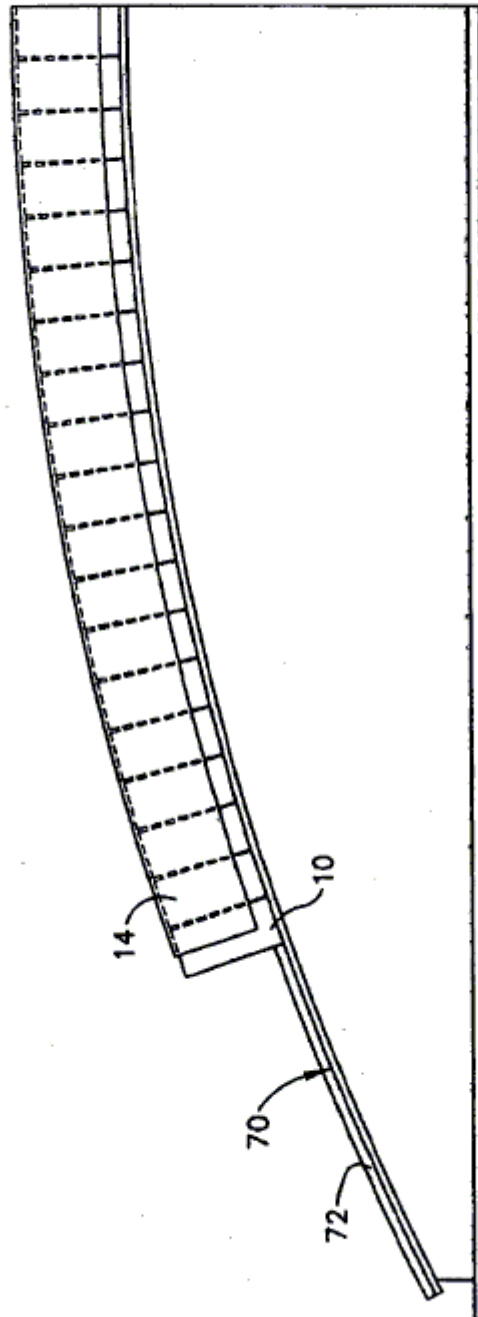


FIG. 17

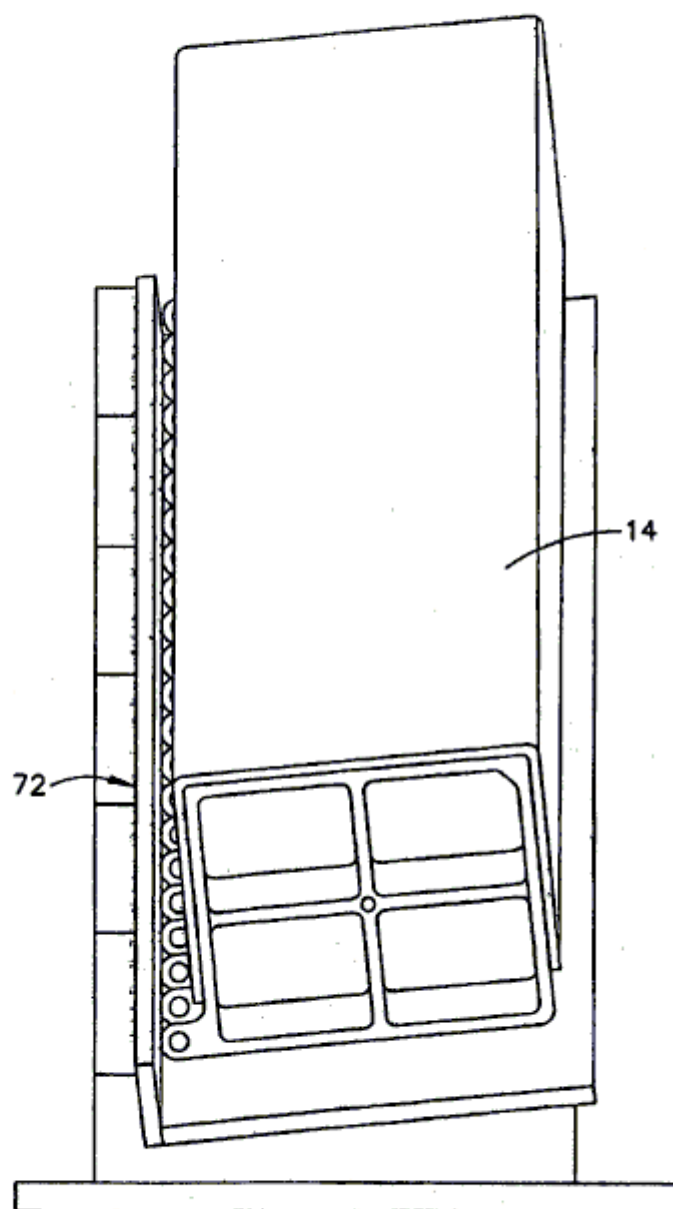


FIG. 18

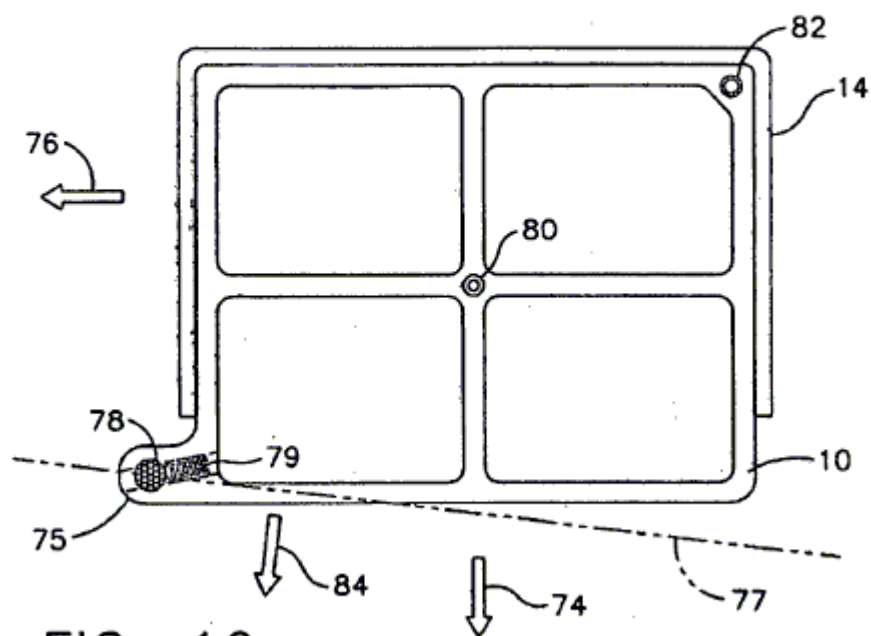


FIG. 19

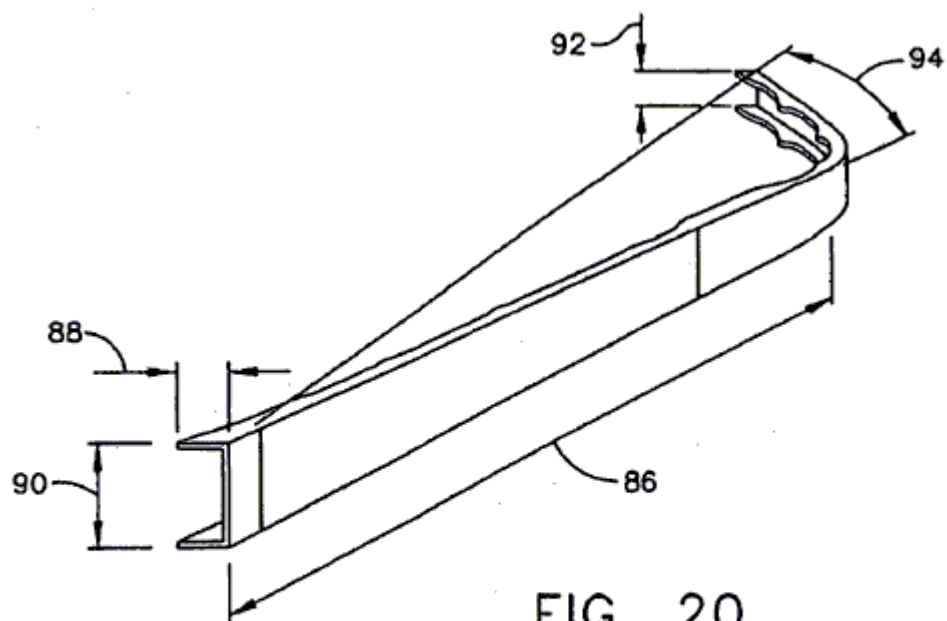


FIG. 20

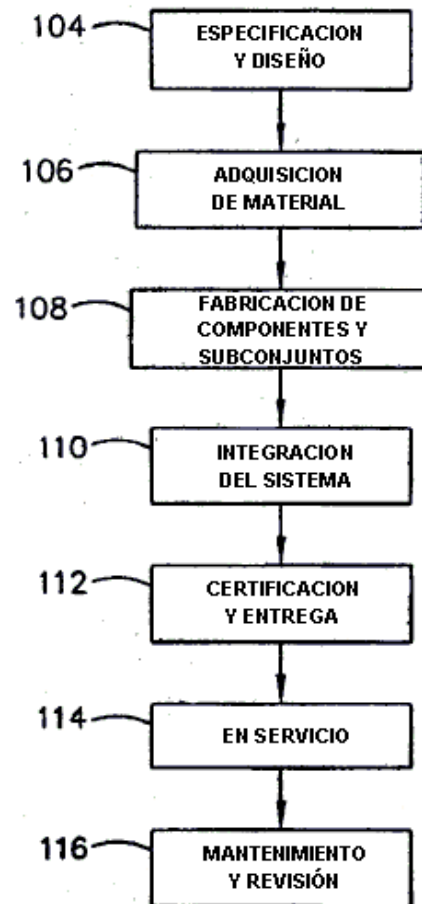


FIG. 21

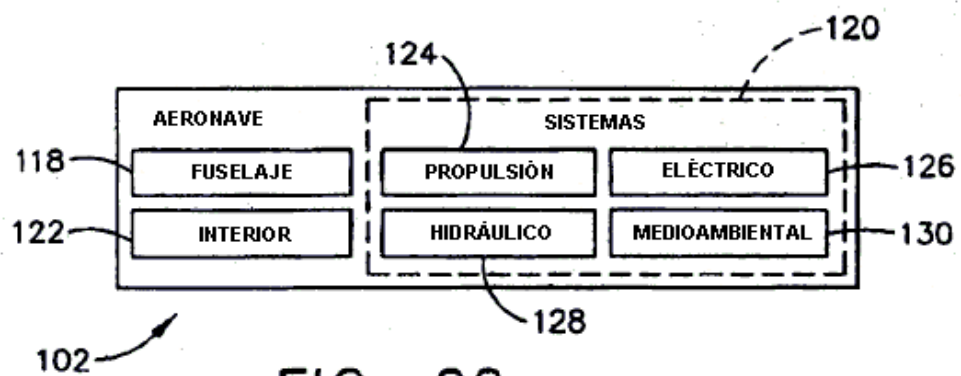


FIG. 22