

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 374**

51 Int. Cl.:

B29C 70/38 (2006.01)

B29C 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.03.2014 PCT/US2014/031621**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.10.2014 WO14172073**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.03.2014 E 14721157 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 2986440**

54 Título: **Compactación de elementos de material compuesto sin curar sobre superficies de mandril contorneadas**

30 Prioridad:

19.04.2013 US 201361813821 P
29.05.2013 US 201313904224

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.08.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

STEWART, SAMUEL R.

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 778 374 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

Compactación de elementos de material compuesto sin curar sobre superficies de mandril contorneadas

Información de antecedentes**1. Campo:**

- 5 La presente divulgación se refiere en general a procedimientos para la fabricación de estructuras de material compuesto, y trata más particularmente de la compactación de larguerillos laminados de material compuesto sobre superficies de mandril contorneadas.

2. Antecedentes:

- 10 Elementos de material compuesto alargados tales como larguerillos usados en la industria aeronáutica pueden contornearse en uno o más planos a lo largo de su longitud para ajustarse a la curvatura de una estructura tal como un revestimiento de fuselaje. El contorneado de un larguerillo puede efectuarse usando un compactador para compactar un apilamiento de larguerillos sin curar contra superficies contorneadas de un mandril, tales como una herramienta de curado. Se han desarrollado compactadores flexibles que se flexionan o se doblan, permitiéndoles ajustarse a superficies de herramienta contorneadas durante el procedimiento de compactación.

- 15 El documento WO2013/022534 declara que “un dispositivo para compactar un apilamiento de material compuesto alargado contorneado incluye secciones flexibles de resina reforzadas con fibras primera y segunda flexibles a lo largo de sus longitudes. La primera sección es flexible dentro de un primer plano y la segunda sección es flexible dentro del primer plano, así como dentro de un segundo plano”.

- 20 Dependiendo del grado de contorno de herramienta, el apilamiento de larguerillos sin curar puede desarrollar arrugas a medida que se compacta contra la herramienta, particularmente cerca del centro de la curvatura o el contorno más grande de la herramienta. Este arrugamiento se produce como resultado de doblar las capas de material compuesto más cercanas a la superficie de herramienta contorneada, colocándolas en compresión. De esta manera, la compresión del material provoca que el material en exceso se acumule y se agrupe produciendo arrugas. El arrugamiento puede tener un efecto no deseado sobre el rendimiento del larguerillo curado.

- 25 Por consiguiente, existe la necesidad de un método de compactación de elementos de material compuesto sin curar, tales como larguerillos, sobre herramientas contorneadas, que controle el arrugamiento del material. También existe la necesidad de un método de compactación de un larguerillo sobre una herramienta de curado usando un compactador flexible que reduce el tamaño de las arrugas mientras distribuye las arrugas de manera generalmente uniforme a lo largo de la longitud del larguerillo.

30 Sumario

- En resumen, se proporciona un método de compactación de un elemento de material compuesto sin curar contra una superficie de mandril que tiene un contorno, que comprende: adherir el elemento de material compuesto sin curar a un compactador; usar el compactador para alinear el elemento de material compuesto sin curar con el contorno de la superficie de mandril; usar el compactador para poner el elemento de material compuesto sin curar inicialmente en contacto con la superficie de mandril en un vértice del contorno; formar el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril hacia afuera del vértice; y usar el compactador para compactar el elemento de material compuesto sin curar contra la superficie de mandril, en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante drapeado del elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril; y el drapeado incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del elemento de material compuesto sin curar y la superficie de mandril a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril.

- 45 Los elementos de material compuesto sin curar tales como larguerillos pueden doblarse para ajustarse a un mandril de conformación tal como una herramienta de curado contorneada, mientras evitan la formación de arrugas relativamente grandes en el material compuesto. Cualquier arrugamiento del material compuesto se limita a arrugas relativamente pequeñas que se distribuyen de manera generalmente uniforme a lo largo de las áreas contorneadas del larguerillo. Evitar grandes arrugas da como resultado larguerillos que tienen uniformidad y rendimiento estructurales mejorados. La distribución uniforme del arrugamiento del material se logra usando un método de formación de vértice y un compactador flexible. Durante la formación de vértice, se usa el compactador flexible para colocar y doblar el larguerillo sin curar contra una superficie de herramienta contorneada, empezando en el vértice del contorno, y moviéndose hacia fuera del vértice. El compactador flexible incluye una serie de entalladuras transversales en el mismo en el que puede recibirse material compuesto en exceso durante el procedimiento de compactación para permitir la formación controlada de arrugas de material relativamente pequeñas que no afectan materialmente al rendimiento del larguerillo.

- 55 Según una realización dada a conocer, se proporciona un método de compactación de un elemento de material compuesto sin curar contra una superficie de mandril que tiene un contorno. El método comprende adherir el elemento de material compuesto sin curar a un compactador. El compactador también se usa para alinear el elemento de material compuesto

sin curar con el contorno de la superficie de mandril, y para poner el elemento de material compuesto sin curar inicialmente en contacto con la superficie de mandril en el vértice del contorno. El método incluye formar el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril, y el compactador se usa para compactar el elemento de material compuesto sin curar contra la superficie de mandril. La formación del elemento de material compuesto sin curar puede llevarse a cabo mediante drapeado del elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril. El drapeado incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del elemento de material compuesto sin curar y la superficie de mandril a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril. La formación del elemento de material compuesto sin curar puede llevarse a cabo mediante ahuecado. La formación incluye reducir las fuerzas de compresión localizadas en el elemento de material compuesto sin curar adyacente a la superficie de mandril induciendo una doblez con forma de S en el elemento de material compuesto sin curar. La formación del elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno se lleva a cabo después de que el elemento de material compuesto sin curar se haya puesto en contacto inicial con la superficie de mandril en el vértice. La formación puede llevarse a cabo formando el elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril progresivamente hacia fuera a lo largo del elemento de material compuesto sin curar desde el vértice. El elemento de material compuesto sin curar tiene un actitud posicional preseleccionada cuando se pone en contacto inicial con la superficie de mandril en el vértice, y la actitud posicional de las secciones exteriores del elemento de material compuesto sin curar se mantiene sustancialmente paralela a la actitud posicional preseleccionada a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril. La formación del elemento de material compuesto sin curar incluye doblar el elemento de material compuesto sin curar hasta un radio de curvatura progresivamente más pequeño. El método puede comprender además distribuir cualquier arruga que se forme en el elemento de material compuesto sin curar durante la formación permitiendo que el material en el elemento de material compuesto sin curar se comprima en entalladuras en el compactador. El método también puede comprender usar el compactador para reducir el arrugamiento del elemento de material compuesto sin curar durante la formación cambiando la ubicación del eje neutro del elemento de material compuesto sin curar.

Según otra realización, se proporciona un método de control del arrugamiento de un larguerillo de material compuesto sin curar durante la formación del larguerillo de material compuesto sobre un contorno de una superficie de mandril, que comprende alinear el larguerillo de material compuesto con el vértice del contorno de la superficie de mandril, y poner el larguerillo de material compuesto en contacto con la superficie de mandril en el vértice. El larguerillo de material compuesto se forma a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril. La formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice incluye doblar el larguerillo de material compuesto hacia abajo contra la superficie de mandril y progresivamente hacia fuera del vértice. La formación del larguerillo incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del larguerillo de material compuesto y la superficie de mandril, y puede llevarse a cabo mediante uno de drapeado y ahuecado. El método puede comprender además instalar un compactador flexible dentro del larguerillo de material compuesto, adherir el larguerillo de material compuesto al compactador y usar el compactador para poner el larguerillo de material compuesto en contacto con la superficie de mandril en el vértice, y formar el larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril. La adhesión del larguerillo de material compuesto al compactador se lleva a cabo usando una fuerza de succión. El larguerillo puede formarse a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril usando un compactador. El arrugamiento del larguerillo de material compuesto se controla permitiendo que el material del larguerillo de material compuesto se comprima en el compactador. La formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril se lleva a cabo usando un compactador, y el compactador se usa para fomentar una distribución sustancialmente uniforme de arrugas en el larguerillo de material compuesto.

Según todavía otra realización, se proporciona un método de formación de un elemento de material compuesto sin curar en una ranura contorneada en una herramienta de curado. El método comprende adherir un elemento de material compuesto sin curar a un compactador, y usar el compactador para poner el elemento de material compuesto sin curar en contacto inicial con la herramienta de curado en un vértice de un contorno a lo largo de la ranura contorneada. El compactador se usa para formar el elemento de material compuesto sin curar hacia abajo en y a lo largo de la ranura contorneada y progresivamente hacia fuera del vértice. El compactador también se usa para distribuir las arrugas formadas en el elemento de material compuesto sin curar durante la formación del elemento de material compuesto sin curar hacia abajo en y a lo largo de la ranura contorneada. El uso del compactador para formar el elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante uno de drapeado y ahuecado.

En resumen, lo siguiente describe un método de compactación de un elemento de material compuesto sin curar contra una superficie de mandril que tiene un contorno, que incluye adherir el elemento de material compuesto sin curar a un compactador; usar el compactador para alinear el elemento de material compuesto sin curar con el contorno de la superficie de mandril; usar el compactador para poner el elemento de material compuesto sin curar inicialmente en contacto con la superficie de mandril en un vértice del contorno; formar el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril hacia fuera del vértice; y usar el compactador para compactar el elemento de material compuesto sin curar contra la superficie de mandril, en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante drapeado del elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril, en el que el drapeado incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del elemento de material compuesto sin curar y la superficie de mandril a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril.

ES 2 778 374 T3

- De manera ventajosa, el método incluye además distribuir cualquier arruga que se forme en el elemento de material compuesto sin curar durante la formación permitiendo que el material en el elemento de material compuesto sin curar se comprima en entalladuras en el compactador.
- 5 De manera ventajosa, el método en el que el elemento de material compuesto sin curar tiene un eje neutro y el método incluye además usar el compactador para reducir el arrugamiento del elemento de material compuesto sin curar durante la formación cambiando la ubicación del eje neutro del elemento de material compuesto sin curar.
- De manera ventajosa, el método en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar incluye usar el compactador para formar una rotación en el elemento de material compuesto sin curar.
- 10 De manera ventajosa, el método en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante ahuecado.
- De manera ventajosa, el método en el que el ahuecado incluye reducir las fuerzas de compresión localizadas en el elemento de material compuesto sin curar adyacente a la superficie de mandril induciendo una doblez con forma de S en el elemento de material compuesto sin curar.
- 15 De manera ventajosa, el método en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno se lleva a cabo después de que el elemento de material compuesto sin curar se haya puesto en contacto inicial con la superficie de mandril en el vértice.
- De manera ventajosa, el método en el que la formación se lleva a cabo mediante la formación del elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril progresivamente hacia fuera a lo largo del elemento de material compuesto sin curar desde el vértice.
- 20 De manera ventajosa, el método en el que el elemento de material compuesto sin curar tiene un actitud posicional preseleccionada cuando se pone en contacto inicial con la superficie de mandril en el vértice, y la actitud posicional de secciones exteriores del elemento de material compuesto sin curar se mantiene sustancialmente paralela a la actitud posicional preseleccionada a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril.
- 25 De manera ventajosa, el método en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar incluye doblar el elemento de material compuesto sin curar hasta un radio de curvatura progresivamente más pequeño.
- 30 Un método de control del arrugamiento de un larguerillo de material compuesto sin curar durante la formación del larguerillo de material compuesto sobre un contorno de una superficie de mandril incluye alinear el larguerillo de material compuesto con un vértice del contorno de la superficie de mandril; y poner el larguerillo de material compuesto en contacto con la superficie de mandril en el vértice; y formar el larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril.
- De manera ventajosa, el método en el que la formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice incluye doblar el larguerillo de material compuesto hacia abajo contra la superficie de mandril y progresivamente hacia fuera del vértice.
- 35 De manera ventajosa, el método en el que la formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del larguerillo de material compuesto y la superficie de mandril.
- De manera ventajosa, el método en el que la formación del larguerillo de material compuesto se lleva a cabo mediante uno de drapeado y ahuecado.
- 40 De manera ventajosa, el método incluye además instalar un compactador flexible dentro del larguerillo de material compuesto, adherir el larguerillo de material compuesto al compactador y usar el compactador para poner el larguerillo de material compuesto en contacto con la superficie de mandril en el vértice, y formar el larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril.
- 45 De manera ventajosa, el método en el que la adhesión del larguerillo de material compuesto al compactador se lleva a cabo usando una fuerza de succión.
- De manera ventajosa, el método en el que la formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril se lleva a cabo usando un compactador, y el arrugamiento del larguerillo de material compuesto se controla permitiendo que el material del larguerillo de material compuesto se comprima en el compactador.
- 50 De manera ventajosa, el método en el que la formación del larguerillo de material compuesto a partir del vértice hacia abajo sobre la superficie de mandril se lleva a cabo usando un compactador, y el compactador se usa para fomentar una distribución sustancialmente uniforme de las arrugas en el larguerillo de material compuesto.

5 Un método de formación de un elemento de material compuesto sin curar en una ranura contorneada en una herramienta de curado incluye adherir el número de material compuesto sin curar a un compactador; usar el compactador para poner el elemento de material compuesto sin curar en contacto inicial con la herramienta de curado en un vértice de un contorno a lo largo de la ranura contorneada; usar el compactador para formar el elemento de material compuesto sin curar hacia abajo en y a lo largo de la ranura contorneada y progresivamente hacia fuera del vértice; y usar el compactador para distribuir las arrugas formadas en el elemento de material compuesto sin curar durante la formación del elemento de material compuesto sin curar hacia abajo en y a lo largo de la ranura contorneada.

De manera ventajosa, el método en el que el uso del compactador para formar el elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante uno de drapeado y ahuecado.

10 Las características, funciones y ventajas pueden lograrse de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en incluso otras realizaciones en las que pueden observarse detalles adicionales con referencia a la descripción y los dibujos siguientes.

Breve descripción de los dibujos

15 Las características novedosas consideradas características de las realizaciones ilustrativas se exponen en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, las realizaciones ilustrativas, así como un modo de uso preferido, objetivos adicionales y ventajas de los mismos, se comprenderán mejor mediante la referencia a la siguiente descripción detallada de una realización ilustrativa de la presente divulgación cuando se lee junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración de una vista en perspectiva de un larguerillo contorneado a lo largo de su longitud en un plano XZ.

20 La figura 2 es una ilustración de una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea 2-2 en la figura 1.

La figura 3 es una ilustración de una vista en planta de un larguerillo contorneado a lo largo de su longitud en un plano XY.

La figura 4 es una ilustración de una vista en perspectiva de un compactador flexible usado para compactar los larguerillos mostrados en las figuras 1-3 contra una herramienta de curado.

25 La figura 5 es una ilustración de una vista en sección longitudinal del compactador mostrado en la figura 4, junto con un apilamiento de larguerillos durante la compactación en una herramienta de curado.

La figura 6 es una ilustración del área designada como figura 6 en la figura 5.

La figura 7 es una ilustración de una vista en sección transversal que muestra el compactador retirando un larguerillo de un troquel conformador.

30 La figura 8 es una ilustración de una vista en sección transversal que muestra el compactador indexado y alineado en disposición para la formación del larguerillo en una cavidad de herramienta de curado contorneada.

La figura 9 es una ilustración de una vista en sección transversal que muestra el larguerillo que se ha formado en la cavidad de herramienta contorneada, y una bolsa de vacío que se ha instalado en la preparación para la curación del larguerillo.

35 La figura 10 es una ilustración de una vista en sección transversal que muestra el compactador que se retira del larguerillo tras la curación.

La figura 11 es una ilustración de una vista en perspectiva de una parte de un larguerillo, útil para explicar los esfuerzos sobre el larguerillo a medida que se forma en la herramienta de curado.

40 La figura 12 es una ilustración de una vista desde un extremo del larguerillo mostrado en la figura 11, que muestra el eje neutro y centroide del larguerillo.

La figura 13 es una ilustración de una vista lateral longitudinal de un larguerillo, en el que el larguerillo se ha puesto en contacto inicial con el vértice de una superficie de mandril contorneada en la preparación para la formación del vértice del larguerillo.

45 La figura 14 es una ilustración de un diagrama útil para explicar el método de formación del vértice usando una técnica de ahuecado.

La figura 15 es una ilustración del área designada como figura 15 en la figura 14.

La figura 16 es una ilustración de un diagrama útil para explicar el método de formación de vértice usando una técnica de drapeado.

La figura 17 es una ilustración que muestra la conformación progresiva del larguerillo durante la formación de vértice usando la técnica de drapeado.

La figura 18 es una ilustración de un diagrama de flujo de un método de fabricación de un larguerillo que incluye el uso del método de formación de vértice.

5 La figura 19 es una ilustración de un diagrama de flujo de la metodología de producción y mantenimiento de una aeronave.

La figura 20 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

Descripción detallada

10 Las realizaciones dadas a conocer pueden emplearse en la fabricación de un elemento de material compuesto alargado que se contornea o se curva en uno o más planos. Por ejemplo, haciendo referencia a las figuras 1 y 2, se une un larguerillo 30 de fuselaje de material compuesto mediante cualquier medio adecuado a un revestimiento 32. El larguerillo 30 presenta una forma en sección transversal con forma de sombrero, que comprende una tapa 34, paredes laterales o bandas 36 inclinadas y salientes 38 sustancialmente planos y girados hacia fuera. Son posibles otras formas en sección transversal. En este ejemplo, el larguerillo 30 presenta un contorno 42 que yace en el plano XZ de un sistema 40 de coordenadas ortogonal. El larguerillo 30 puede comprender un laminado múltiple de material compuesto, tal como, sin limitación, CFRP (plástico reforzado con fibra de carbono). Debe observarse en este caso que aunque se ha ilustrado un larguerillo 30, las realizaciones dadas a conocer pueden emplearse para fabricar cualquiera de una variedad de elementos de material compuesto alargados que tienen una o más curvaturas en uno o más planos.

20 Tal como se muestra en la figura 3, el larguerillo 30 puede contornearse 42 en otros planos, tal como en el plano XY. En todavía otros ejemplos, el larguerillo 30 puede contornearse en múltiples planos. Tal como se comentará a continuación en más detalle, el larguerillo 30 se fabrica mediante el apilamiento y la formación de material preimpregnado en la forma en sección transversal deseada. Se usa un compactador 44 (figura 4) para formar el larguerillo 30 sin curar en una herramienta 68 de curado contorneada (figura 8), y después se compacta durante un ciclo de curado.

25 Haciendo referencia ahora a la figura 4, puede usarse un compactador 44 para ayudar en el transporte, la colocación, la formación y la compactación del larguerillo 30 sin curar. El larguerillo 30 se sujeta o se adhiere de manera extraíble al compactador 44 usando una fuerza de succión o vacío que se comentará a continuación. El compactador 44 es generalmente semirrígido, con un grado de flexibilidad que le permite flexionarse y ajustarse a superficies 66 de herramienta contorneadas durante la colocación y compactación del larguerillo 30. El compactador 44 puede construirse de materiales que son adecuados para la aplicación tal como, sin limitación, una combinación de CFRP y caucho elastomérico. El compactador 44 funciona tanto como un dispositivo para la instalación y formación del larguerillo 30, como para el control de la forma en sección transversal del larguerillo 30 formado a medida que se cura. La adherencia de vacío del larguerillo 30 al compactador 44 puede reducir el riesgo de daño al larguerillo 30 durante la manipulación, y controla el larguerillo 30 durante la instalación sobre una superficie de mandril contorneada tal como una herramienta 68 de curado (véase la figura 5).

35 El compactador 44 comprende ampliamente una sección 46 de sombrero, una sección 52 de saliente y paredes 48 de extremo que definen un espacio 58 interior generalmente abierto. La sección 46 de sombrero incluye una pluralidad de hendiduras o entalladuras 54 que se extienden transversalmente, espaciadas longitudinalmente que dotan al compactador 44 de flexibilidad, y permiten que se introduzca aire en el espacio 58 interior abierto. Las conexiones 50 de vacío en cualquiera de o ambas paredes 48 de extremo, están adaptadas para acoplarse con una fuente de vacío (no mostrada) para evacuar el espacio 58 interior abierto. Aunque no se muestra en la figura 4, la sección 52 de saliente puede incluir una o más secciones o juntas a lo largo de su longitud que son flexibles, permitiendo que el compactador 44 se flexione en cualquiera de o ambos de los planos XY y XZ.

45 El vacío creado dentro del espacio 58 interior abierto provoca que se introduzca aire a través de las entalladuras 54, produciendo una fuerza 55 de succión de vacío. Esta fuerza de succión de vacío agarra el larguerillo 30 sin curar, provocando que se adhiera y se aferre al compactador 44 durante los procedimientos de transporte, colocación y compactación. Más particularmente, la tapa 34 y las bandas 36 del larguerillo 30 se adhieren a la sección 46 de sombrero del compactador 44 debido a la fuerza 55 de succión de vacío, mientras que los salientes 38 del larguerillo 30 están en contacto directo con, pero no se adhieren a la sección 52 de saliente del compactador 44. La adhesión de vacío del larguerillo 30 al compactador 44 también puede permitir una distribución más simétrica del arrugamiento y acumulación de capas durante la compactación de larguerillo, tal como se comentará a continuación en mayor detalle. Además, el compactador 44 induce arrugas 60a aceptables en las ubicaciones de las entalladuras 54. "Arrugas o arrugamiento aceptables", tal como se usa en el presente documento, se refiere a arrugas que tienen un tamaño suficientemente pequeño y generalmente se distribuyen a lo largo de una longitud suficiente de tal manera que no tienen un impacto material en el rendimiento del larguerillo 30 curado en servicio, cuando se coloca bajo carga.

55 Haciendo referencia ahora a las figuras 5 y 6, el compactador 44 puede usarse para formar y compactar el larguerillo 30 sin curar sobre una superficie 66 contorneada de una herramienta 68 de curado o una superficie de mandril contorneada similar. En la figura 5, se muestra el compactador 44 flexionado en el plano XZ, para formar el larguerillo 30 hacia abajo sobre la superficie 66 contorneada de la herramienta 68 de curado. La adhesión de vacío del larguerillo 30 al compactador 44 puede ayudar a fomentar el resbalamiento de capa plana deseado entre las capas exteriores (más cercanas al

compactador 44) y las capas interiores (más cercanas a la superficie 66 de herramienta de curado) durante este procedimiento de formación. El método usado para alinear, acoplar inicialmente y después formar el larguerillo 30 sobre la superficie 66 contorneada se denominará a continuación en el presente documento un método de formación de "vértice".

El método de formación de vértice da como resultado la distribución de material 60 de larguerillo en exceso a lo largo de la longitud del larguerillo 30 orientado hacia la superficie 66 de herramienta contorneada. Se permite y se fomenta que este material 60 de larguerillo en exceso distribuido se mueva parcialmente en las entalladuras 54 bajo la fuerza de compactación aplicada al larguerillo 30 mediante el compactador 44. El material 60 de larguerillo en exceso que está bajo compresión 78 (véase la figura 6) forma una serie de arrugas 60a aceptables relativamente pequeñas distribuidas respectivamente dentro de las entalladuras 54. Debido al tamaño relativamente pequeño de las arrugas 60a, y el hecho de que se distribuyan de manera generalmente uniforme a lo largo de una longitud suficiente del larguerillo 30, se reducen o se eliminan sustancialmente concentraciones de esfuerzo dentro del larguerillo 30 curado bajo carga, causadas por el arrugamiento del material. La ubicación y la distribución de las arrugas 60a depende en parte de la distancia "D" entre las entalladuras 54. La distancia "D" entre las entalladuras 54 puede ser generalmente constante a lo largo de la longitud del compactador 44 para producir una distribución sustancialmente uniforme de las arrugas 60a. Sin embargo, en algunas realizaciones, puede resultar deseable adaptar la distribución de las arrugas 60a de tal manera que no estén distribuidas de manera uniforme. A medida que aumenta el número de entalladuras 54 proporcionadas en el compactador 44, aumenta asimismo el número de arrugas inducidas, aunque disminuye el tamaño de cada una de las arrugas inducidas. Además, a medida que aumenta el número de entalladuras 54, aumenta la capacidad del compactador 44 de doblarse alrededor de superficies de herramienta con radios más apretados. Generalmente, puede resultar deseable aumentar el número de arrugas 60a mientras se disminuye su tamaño hasta el punto en el que las arrugas 60a tengan un efecto sustancialmente insignificante sobre el rendimiento del larguerillo 30 cuando se pone en servicio.

Las figuras 7-10 ilustran las etapas secuenciales de formación, transporte, colocación, formación y compactación del larguerillo 30 sobre la superficie 66 contorneada de una herramienta 68 de curado usando el compactador 44. Puede formarse un apilamiento de material preimpregnado en una sección transversal con forma de sombrero deseada usando cualquiera de diversas técnicas, tal como mediante la formación por estampación de un apilamiento plano (no mostrado) entre troqueles macho y hembra (solo se muestra el troquel 64 hembra en la figura 7), o mediante la formación por bolsa de vacío de un apilamiento plano sobre un troquel macho (no mostrado).

Con el larguerillo 30 que se ha formado en la forma de sección transversal deseada, por ejemplo, en un troquel 64 hembra, se coloca el compactador 44 en el larguerillo 30 de tal manera que la sección 46 de sombrero del compactador 44 se acople con las bandas 36 y la tapa 34 del larguerillo 30, y la sección 38 de saliente del compactador 44 cubra y se acople con los salientes 38 del larguerillo 30. Dependiendo del acabado del material y de la superficie a partir del que se forma el compactador 44, puede ser necesario instalar un agente de desmoldeo, tal como una capa provisional, entre el compactador 44 y el larguerillo 30. Por ejemplo, y sin limitación, puede pegarse una capa (no mostrada) de una película de FEP (etileno-propileno fluorado) al compactador 44, cubriendo la sección 46 de sombrero del compactador 44. Pueden formarse hendiduras verticales (no mostradas) en la película de FEP a lo largo de la longitud del compactador 44 para permitir que fluya el aire a través de la película y en las entalladuras 54 del compactador 44.

El larguerillo 30 y el compactador 44 pueden permanecer en el troquel 64 hembra que puede usarse como dispositivo de sujeción para mantener la forma del larguerillo 30 hasta que el larguerillo 30 esté preparado para retirarse y transportarse para su colocación. Opcionalmente, el larguerillo 30 puede transferirse a un dispositivo de sujeción (no mostrado) hasta que esté preparado para transferirlo a una herramienta 68 de curado. Con el fin de retirar el larguerillo 44 del troquel 64 hembra (o un dispositivo de sujeción opcional), se introduce un vacío dentro del compactador 44 que introduce aire a través de las entalladuras 54 (figuras 4-6) para crear una fuerza de succión que provoca que el larguerillo 30 se adhiera a y se agarre mediante el compactador 44.

Con el larguerillo 30 adherido al compactador 44 a lo largo de su longitud, el larguerillo 30 y el compactador 44 actúan como una única unidad durante el procesamiento posterior, incluyendo la formación sobre la herramienta 68 de curado. Con el fin de controlar el arrugamiento del larguerillo 30 durante el procesamiento posterior, se mantiene el vacío que provoca la adhesión del larguerillo 30 al compactador 44 hasta que se ha formado el larguerillo 30 sobre la herramienta 68 de curado. Con el fin de garantizar que el larguerillo 30 no se despegue del compactador 44 durante el procedimiento de formación, puede ser necesario ajustar la tasa de formación con respecto a la cantidad de fuerza de vacío aplicada al larguerillo 30 para permitir que se doble lentamente el larguerillo 30 junto con el doblado del compactador 44. La fuerza de adhesión generada por el vacío que adhiere el larguerillo 30 al compactador 44 debe ser más fuerte que las fuerzas de flexión localizadas inducidas en el larguerillo 30 con el fin de dispersar las arrugas 60a a lo largo del larguerillo 30.

Tal como se muestra en la figura 7, con el larguerillo 30 adherido al compactador 44, se retira el compactador 44 junto con el larguerillo 30 del troquel 64 hembra, y se usa para transportar el larguerillo 30 hasta un mandril de formación tal como la herramienta 68 de curado mostrada en la figura 8. La herramienta 68 de curado tiene superficies 66 de herramienta contorneadas que forman una cavidad de herramienta contorneada o ranura 70. Las superficies 66 de herramienta contorneadas se curvan o se contornean en al menos un plano y coinciden sustancialmente con la superficie (no mostrada) de línea de molde exterior (OML) del larguerillo 30.

El compactador 44 se usa para colocar y formar el larguerillo 30 sobre las superficies 66 de herramienta contorneadas, a lo largo de la longitud de la cavidad 70 de herramienta, tal como se muestra en la figura 8. Tal como se comentará

posteriormente, el compactador 44 se flexiona para ajustarse a las superficies 66 contorneadas de la cavidad 70 de herramienta, provocando que el larguerillo 30 también se forme en la forma contorneada de la cavidad 70 de herramienta. Según el método de formación de vértice dado a conocer, cualquier arrugamiento del larguerillo 30 a medida que se forma hacia abajo en la cavidad 70 de herramienta contorneada se limitará a arrugas "aceptables" de escala relativamente pequeña que generalmente se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la longitud del larguerillo 30.

Con el compactador 44 y el larguerillo 30 formados en la cavidad 70 de herramienta, se instala una bolsa 62 de vacío (figura 9) sobre el compactador 44 y el larguerillo 30, y se introduce un vacío en la bolsa 62 que, junto con el compactador 44, compacta el apilamiento 30 contra las superficies 66 de herramienta contorneadas. Tras la compactación del larguerillo 30, tal como se muestra en la figura 10, el compactador 44 se separa del larguerillo 30. En algunas aplicaciones, puede resultar deseable aplicar un agente de pegajosidad a las superficies 66 de herramienta contorneadas antes de la instalación del larguerillo 30 y la herramienta 68 de curado con el fin de ayudar a la separación del compactador 44 del larguerillo 30 curado tras el curado. Entonces, puede procesarse adicionalmente el larguerillo 30. Por ejemplo, pueden instalarse productos de relleno (no mostrado) en el larguerillo 30, pueden instalarse una o más cámaras de aire (no mostrado) contra el larguerillo 30, puede unirse el larguerillo 30 al revestimiento 32 (figura 1) u otra estructura, y curarse en un autoclave (no mostrado).

Ahora se dirige la atención a las figuras 11 y 12 que ilustran esfuerzos que actúan sobre el larguerillo 30 cuando se forma sobre superficies 66 de herramienta contorneadas de un mandril, tal como la herramienta 68 de curado descrita anteriormente. El larguerillo 30 puede formarse a lo largo de una curvatura (no mostrado en la figura 11) en cualquiera de los planos XY o XZ. La geometría del larguerillo 30 determinará cuál de estos dos planos tiene la mayor influencia sobre la instalación. Independientemente de la geometría en sección transversal particular del larguerillo 30, el larguerillo 30 posee un eje 80 neutro y un centro 82 geométrico o centroide. En la figura 11, se muestra la ubicación del eje 80 neutro cuando se forma el larguerillo 30 en el plano XY, mientras que la figura 12 muestra la ubicación del eje 80 neutro cuando se forma el larguerillo 30 en el plano XZ.

Haciendo referencia a la figura 11, cuando se forma el larguerillo 30 a lo largo de una curvatura en el plano XY, se produce un momento M de flexión alrededor del eje Z (eje de inducción de momento) que provoca que un lado del larguerillo 30 se ponga en tensión 76, y el otro lado del larguerillo 30 se ponga en compresión 78. El eje 80 neutro mostrado en la figura 12 es sustancialmente perpendicular al eje 80 neutro mostrado en la figura 11 porque los planos XZ y XY son perpendiculares entre sí y, asimismo, los ejes del momento (el eje Y y el eje Z) son perpendiculares entre sí. El eje 80 neutro del larguerillo 30 es una línea o un plano dentro de la sección transversal del larguerillo 30 en el que no se produce ninguna extensión o compresión del larguerillo 30 cuando se dobla, tal como se produce cuando el larguerillo 30 se forma en una cavidad 70 de herramienta (figura 8) que se curva en cualquiera de o ambos planos XY y XZ. Haciendo referencia a la figura 12, cuando se forma el larguerillo 30 a lo largo de una curvatura en el plano XZ, se produce un momento M de flexión alrededor del eje 80 neutro (el eje Y) que provoca que el área 81 sobre el eje 80 neutro se ponga en tensión, y el área 83 bajo el eje 80 neutro se ponga en compresión.

El área 83 del larguerillo 30 bajo el eje 80 neutro es el área más propensa a arrugarse porque se carga en compresión 78 a medida que el larguerillo 30 se forma en cualquiera de los planos XY o XZ. En cambio, el área 81 que está en tensión 76 durante la formación experimenta una cantidad relativamente pequeña de deformación y, por tanto, normalmente no se arruga. La compresión 78 bajo el eje 80 neutro provoca que se forme una arruga 60a (véase la figura 6) en el larguerillo 30 a medida que se dobla el larguerillo 30 hasta un radio de curvatura progresivamente más pequeño durante un procedimiento de formación, porque la misma cantidad de material de larguerillo se ajusta a un radio más pequeño dentro del área 83 bajo el eje 80 neutro. En efecto, el compactador 44 flexible funciona desplazando 85 (figura 12) el eje 80 neutro hacia abajo, hacia la tapa 34 del larguerillo 30. Como resultado del desplazamiento 85 del eje 80 neutro hacia abajo, se reduce la cantidad de compresión en el área 83 bajo el eje 80 neutro dentro del larguerillo 30 y se produce menos arrugamiento en este área debido a las fuerzas de compresión reducidas.

Tal como se ha comentado anteriormente, la formación de vértice se usa para formar el larguerillo 30 en y a lo largo de la cavidad 70 de herramienta contorneada (figura 8) con el fin de controlar el arrugamiento del larguerillo 30 durante el procedimiento de formación. La figura 13 ilustra esquemáticamente el método de formación de vértice, de manera genérica. Una herramienta 68 de curado tiene una superficie 66 de herramienta contorneada sobre la que va a formarse un larguerillo 30 sustancialmente recto doblándolo hasta un radio de curvatura progresivamente más pequeño hasta que se ajusta a la curvatura de la superficie 66 de herramienta contorneada. El larguerillo 30 recto comprende una pila de capas sustancialmente planas de material compuesto sin curar tal como material preimpregnado. La curvatura de la superficie 66 de herramienta contorneada tiene un vértice 84 que se corresponde con el punto de curvatura máxima en una superficie 66 de herramienta. Con el larguerillo 30 adherido al compactador 44 (tal como se muestra en la figura 8), el compactador 44 se usa para alinear e indexar el larguerillo 30 con respecto a la herramienta 68 de curado. Entonces, el compactador 44 pone inicialmente el larguerillo 30 en contacto con la superficie 66 de herramienta en el vértice 84. Tras este contacto inicial en el vértice 84, se forma el larguerillo 30 hacia abajo 72 sobre la superficie 66 de herramienta contorneada y en la cavidad 70 de herramienta (figura 8). La técnica particular usada para formar el larguerillo 30 hacia abajo sobre la superficie 66 de herramienta contorneada tras la compactación en el vértice 84 dependerá de si el larguerillo 30 se forma en el plano XY o XZ, tal como se comentará a continuación. En aplicaciones en las que la superficie 66 de herramienta tiene contornos compuestos y es necesaria para formar el larguerillo 30 en ambos planos XY y XZ, el compactador 44 puede flexionarse simultáneamente en ambos planos XY y XZ. El compactador 44 también puede formar

una rotación torsional en el larguerillo 30 durante el procedimiento de formación, ya sea independientemente de, o además de flexionarse en cualquiera de los planos XY y XZ.

5 Las figuras 14 y 15 ilustran la formación de vértice de un larguerillo 30 sobre una superficie 66 de mandril contorneada, tal como la de una herramienta 68 de curado contorneada, contorneada en el plano XZ, usando una técnica de ahuecado que no forma una realización de la invención. Las posiciones secuenciales y las formas de flexión del larguerillo 30 se designan respectivamente mediante las letras "A-D" en la figura 14, y las capas 90 laminadas individuales del larguerillo 30 se muestran en la figura 15. Durante este ahuecado, las secciones 74 exteriores que aún no están en contacto con la superficie 66 de la herramienta se sostienen sustancialmente paralelas a la actitud posicional inicial (designada mediante la letra "A") del larguerillo 30 cuando se pone inicialmente en contacto con el vértice 84. De esta manera, el ahuecado del larguerillo 30 induce una flexión 87 con forma de "S" (véase la figura 15) en el larguerillo 30. La formación de la flexión 87 con forma de "S" cambia la ubicación dentro del larguerillo 30 donde las fuerzas 76, 80 de tensión y compresión actúan respectivamente. Inducir una flexión 87 con forma de "S" en las capas 90 del larguerillo 30 ayuda a extender el arrugamiento de las capas reduciendo las fuerzas de compresión localizadas en el área adyacente a la superficie 66 de herramienta contorneada donde se espera que se produzca arrugamiento.

15 Las figuras 16 y 17 ilustran la formación de vértice de un larguerillo 30 contorneado en el plano XY, usando el compactador 44 para realizar una técnica de drapeado. El compactador se alinea y se indexa de tal manera que pone inicialmente al larguerillo 30 en un primer punto de contacto "A" que se corresponde con el vértice 84 de la superficie 66 de herramienta contorneada. Entonces, el larguerillo 30 se drapea de manera uniforme sobre la herramienta 68 de curado, en la cavidad 70 de herramienta contorneada (figura 8), doblando el larguerillo 30 alrededor del vértice 84. Las letras "B", "C", "D" y "E" en la figura 16 representan respectivamente puntos de contacto simultáneos entre el larguerillo 30 y la superficie 66 de la herramienta a medida que progresa el procedimiento de doblado. Las posiciones de doblado correspondientes del larguerillo 30 se designan asimismo en la figura 17 mediante las letras "B'", "C'", "D'" y "E'". Durante el procedimiento de doblado, se mantiene la relación de las distancias 92, 94 (figura 16) entre los extremos del larguerillo 30 y la superficie 66 de herramienta sustancialmente constante con el fin de mantener una actitud del larguerillo 30 que da como resultado un doblado sustancialmente uniforme alrededor del vértice 84. Tal como se indicó anteriormente, durante este procedimiento de formación, la adhesión de vacío del larguerillo 30 al compactador 44 puede ayudar a fomentar el resbalamiento deseado entre las capas planas del larguerillo 30.

30 Ahora se dirige la atención a la figura 18 que ilustra ampliamente las etapas de un método de fabricación de un larguerillo 30 de material compuesto contorneado usando el método de formación de vértice y el compactador 44 descrito anteriormente. Empezando en 96, se apila y se recorta una carga de larguerillos según sea necesario. Entonces, se forma el apilamiento de larguerillos a la forma en sección transversal de larguerillo deseada en la etapa 98. Opcionalmente, en la etapa 100, una película de desmoldeo perforada adecuada tal como FEP puede colocarse sobre y adherirse a la superficie de compactación de un compactador 44 flexible. Las perforaciones permiten el flujo de aire de vacío a través de la película y pueden formarse, por ejemplo y sin limitación, mediante la creación de una serie de hendiduras en la película. En la etapa 102, el compactador 44 se instala en la cavidad del larguerillo 30 formado.

40 En 104, se genera un vacío dentro del compactador 44 que adhiere el larguerillo 30 al compactador 44, provocando de manera efectiva que el compactador 44 agarre el larguerillo 30. En 106, el compactador 44 puede usarse para retirar y transportar el larguerillo 30 a un mandril de formación contorneado, que puede comprender una herramienta 68 de curado. A medida que se retira y se transporta el larguerillo 30, se mantiene el vacío dentro del compactador 44 para mantener la adherencia entre el compactador 44 y el larguerillo 30. En 108, se ubica el vértice 84 del mandril contorneado o la herramienta 68 de curado, y puede marcarse como punto de comienzo de referencia para ayudar en el procedimiento de formación posterior. En la etapa 110, el compactador 44 se usa para alinear y poner el larguerillo 30 inicialmente en contacto con la superficie de mandril contorneada o una herramienta 68 de curado, en el vértice 84 de la superficie 66 de herramienta contorneada.

45 En 112, el compactador 44 se usa para doblar el larguerillo 30 hacia abajo sobre el mandril o la superficie 66 de herramienta de curado, de manera sustancialmente uniforme, hacia fuera del vértice, usando la técnica de o bien drapeado o bien ahuecado descrita anteriormente. Durante el procedimiento de doblado, el compactador 44 junto con el larguerillo 30 se flexiona para ajustarse al contorno del mandril o la herramienta 68, provocando que el material de larguerillo se arrugue en una distribución sustancialmente uniforme a lo largo de la longitud del contorno del larguerillo. En 114, el larguerillo 30 formado puede embolsarse a vacío y después compactarse a temperatura ambiente usando el compactador 44, durante el que se mantiene el vacío dentro del compactador 44. En la etapa 116, se desembolsa el larguerillo 30, y se libera el vacío dentro del compactador 44, permitiendo la retirada del compactador 44 y el larguerillo 30 de la herramienta 68 de curado.

55 Pueden encontrar uso realizaciones de la divulgación en una variedad de aplicaciones potenciales, particularmente en la industria del transporte, incluyendo por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marinas y automovilísticas y otras aplicaciones en las que pueden usarse elementos de material compuesto alargados contorneados, tales como larguerillos. Por tanto, haciendo referencia ahora a las figuras 19 y 20, pueden usarse realizaciones de la divulgación en el contexto de un método 118 de fabricación y mantenimiento de una aeronave tal como se muestra en la figura 19 y una aeronave 120 tal como se muestra en la figura 20. Las aplicaciones aeronáuticas de las realizaciones dadas a conocer pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, elementos de refuerzo alargados tales como larguerillos usados en el fuselaje 136 de la aeronave 120. Durante la producción previa, el método 118 a modo de ejemplo puede incluir especificación y diseño

122 de la aeronave 120 y obtención 124 de material. Durante la producción, tiene lugar la fabricación 126 de componentes y subconjuntos y la integración 128 de sistemas de la aeronave 120. A continuación, la aeronave 120 puede someterse a certificación y entrega 130 con el fin de ponerse en servicio 132. Cuando se encuentra en servicio por un cliente, la aeronave 120 se programa para labores 134 de mantenimiento y servicio rutinarias, que también pueden incluir modificación, reconfiguración, renovación, y así sucesivamente.

Cada uno de los procedimientos del método 118 puede llevarse a cabo o realizarse por un integrador de sistemas, un tercero 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 sistemas principales; un tercero puede incluir sin limitación cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, empresa de alquiler, entidad militar, organización de servicio, y así sucesivamente.

Tal como se muestra en la figura 20, la aeronave 120 producida mediante el método 118 a modo de ejemplo puede incluir un fuselaje 136 con una pluralidad de sistemas 138 y un interior 140. Ejemplos de sistemas 138 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema 142 de propulsión, un sistema 144 eléctrico, un sistema 146 hidráulico y un sistema 148 ambiental. Puede incluirse cualquier número de sistemas adicionales. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, tales como la industria marina y automovilística.

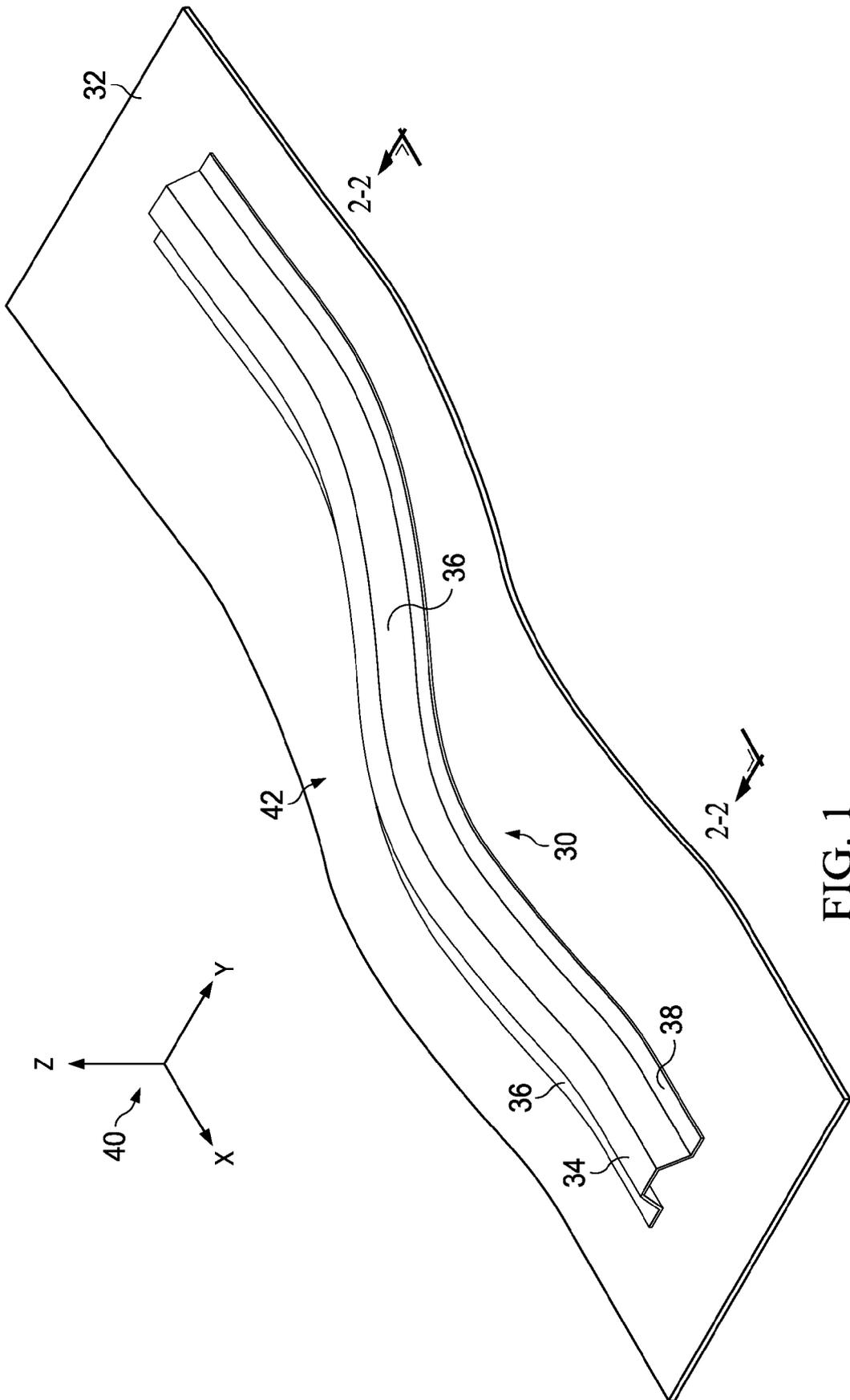
Los sistemas y métodos realizados en el presente documento pueden emplearse durante una cualquiera o más de las fases del método 118 de producción y mantenimiento. Por ejemplo, pueden fabricarse o realizarse componentes o subconjuntos correspondientes al procedimiento 126 de producción de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos cuando la aeronave 120 se encuentra en servicio. Además, pueden utilizarse una o más realizaciones de aparato, realizaciones de método, o una combinación de las mismas durante las fases 126 y 128 de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblaje de o reduciendo el coste de una aeronave 120. De manera similar, pueden utilizarse una o más de realizaciones de aparato, realizaciones de método, o una combinación de las mismas mientras que la aeronave 120 se encuentra en servicio, por ejemplo y sin limitación, para labores 134 de mantenimiento y servicio.

Tal como se usa en el presente documento, la frase “al menos uno de”, cuando se usa con una lista de elementos, significa que pueden usarse diferentes combinaciones de uno o más de los elementos enumerados y puede ser necesario solo uno de cada elemento en la lista. Por ejemplo, “al menos uno del elemento A, elemento B y elemento C” puede incluir, sin limitación, elemento A, elemento A y elemento B, o elemento B. Este ejemplo también puede incluir elemento A, elemento B, y elemento C, o elemento B y elemento C. El elemento puede ser un objeto, cosa o categoría particular. Dicho de otro modo, “al menos uno de” significa que puede usarse cualquier combinación de elementos y número de elementos de la lista pero no se requieren todos los elementos en la lista.

Se ha presentado la descripción de las diferentes realizaciones ilustrativas con fines de ilustración y descripción, y no pretende ser exhaustiva o estar limitada a las realizaciones en la forma dada a conocer. Muchas modificaciones y variaciones resultarán evidentes para los expertos habituales en la técnica. Además, diferentes realizaciones ilustrativas pueden proporcionar diferentes ventajas en comparación con otras realizaciones ilustrativas. La realización o realizaciones seleccionadas se eligen y se describen con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos habituales en la técnica entiendan la divulgación para diversas realizaciones con diversas modificaciones tal como resultan adecuadas para el uso particular contemplado.

REIVINDICACIONES

1. Método de compactación de un elemento (30) de material compuesto sin curar contra una superficie (66) de mandril que tiene un contorno, que comprende:
- adherir el elemento de material compuesto sin curar a un compactador (44);
- 5 usar el compactador para alinear el elemento de material compuesto sin curar con el contorno de la superficie de mandril;
- usar el compactador para poner el elemento de material compuesto sin curar inicialmente en contacto con la superficie de mandril en un vértice (84) del contorno;
- formar el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril hacia fuera del vértice;
- y
- 10 usar el compactador para compactar el elemento de material compuesto sin curar contra la superficie de mandril,
- en el que la formación del elemento de material compuesto sin curar se lleva a cabo mediante drapeado del elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril; y
- el drapeado incluye mantener una relación sustancialmente constante entre los extremos del elemento de material compuesto sin curar y la superficie de mandril a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre la superficie de mandril.
- 15
2. Método según la reivindicación 1, que comprende además: distribuir cualquier arruga (60a) que se forme en el elemento (30) de material compuesto sin curar durante la formación permitiendo que el material en el elemento de material compuesto sin curar se comprima en entalladuras (54) en el compactador (44).
3. Método según la reivindicación 1, en el que el elemento (30) de material compuesto sin curar tiene un eje (80) neutro y el método comprende además: usar el compactador para reducir el arrugamiento (60a) del elemento de material compuesto sin curar durante la formación cambiando la ubicación del eje neutro del elemento de material compuesto sin curar.
- 20
4. Método según la reivindicación 1, en el que la formación del elemento (30) de material compuesto sin curar sobre el contorno se lleva a cabo después de que el elemento de material compuesto sin curar se haya puesto en contacto inicial con la superficie (66) de mandril en el vértice (80).
- 25
5. Método según la reivindicación 1, en el que la formación se lleva a cabo mediante la formación del elemento (30) de material compuesto sin curar sobre la superficie (66) de mandril progresivamente hacia fuera a lo largo del elemento de material compuesto sin curar a partir del vértice (80).
6. Método según la reivindicación 5, en el que:
- 30 el elemento (30) de material compuesto sin curar tiene una actitud posicional preseleccionada cuando se pone en contacto inicial con la superficie (66) de mandril en el vértice (80), y
- la actitud posicional de las secciones exteriores del elemento de material compuesto sin curar se mantiene sustancialmente paralela a la actitud posicional preseleccionada a medida que se forma el elemento de material compuesto sin curar sobre el contorno de la superficie de mandril.
- 35
7. Método según la reivindicación 5, en el que la formación del elemento (30) de material compuesto sin curar incluye doblar el elemento de material compuesto sin curar hasta un radio de curvatura progresivamente más pequeño.



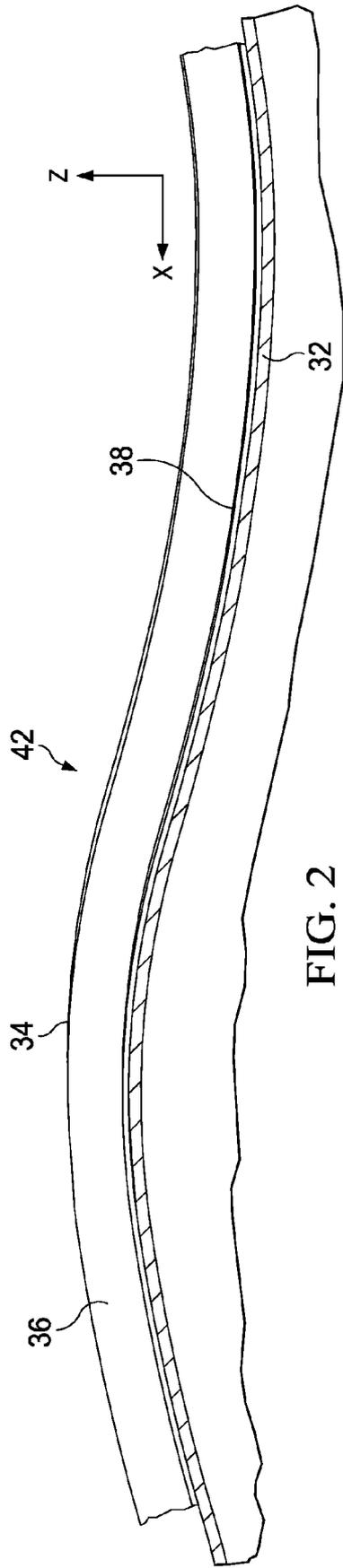


FIG. 2

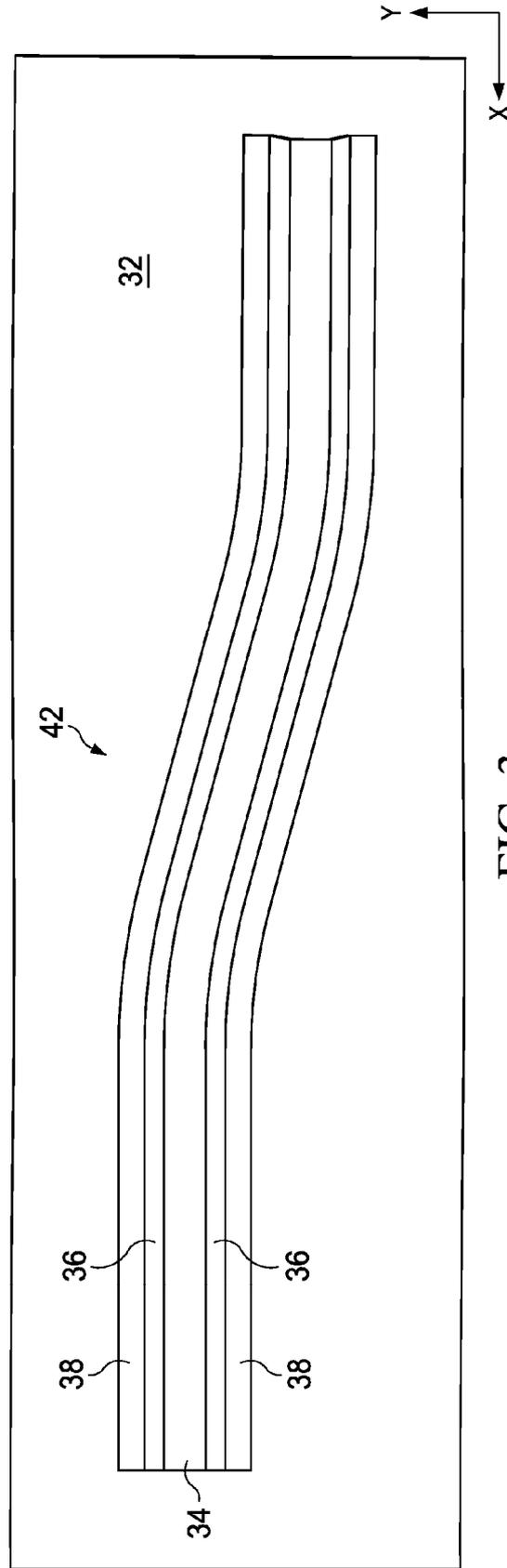


FIG. 3

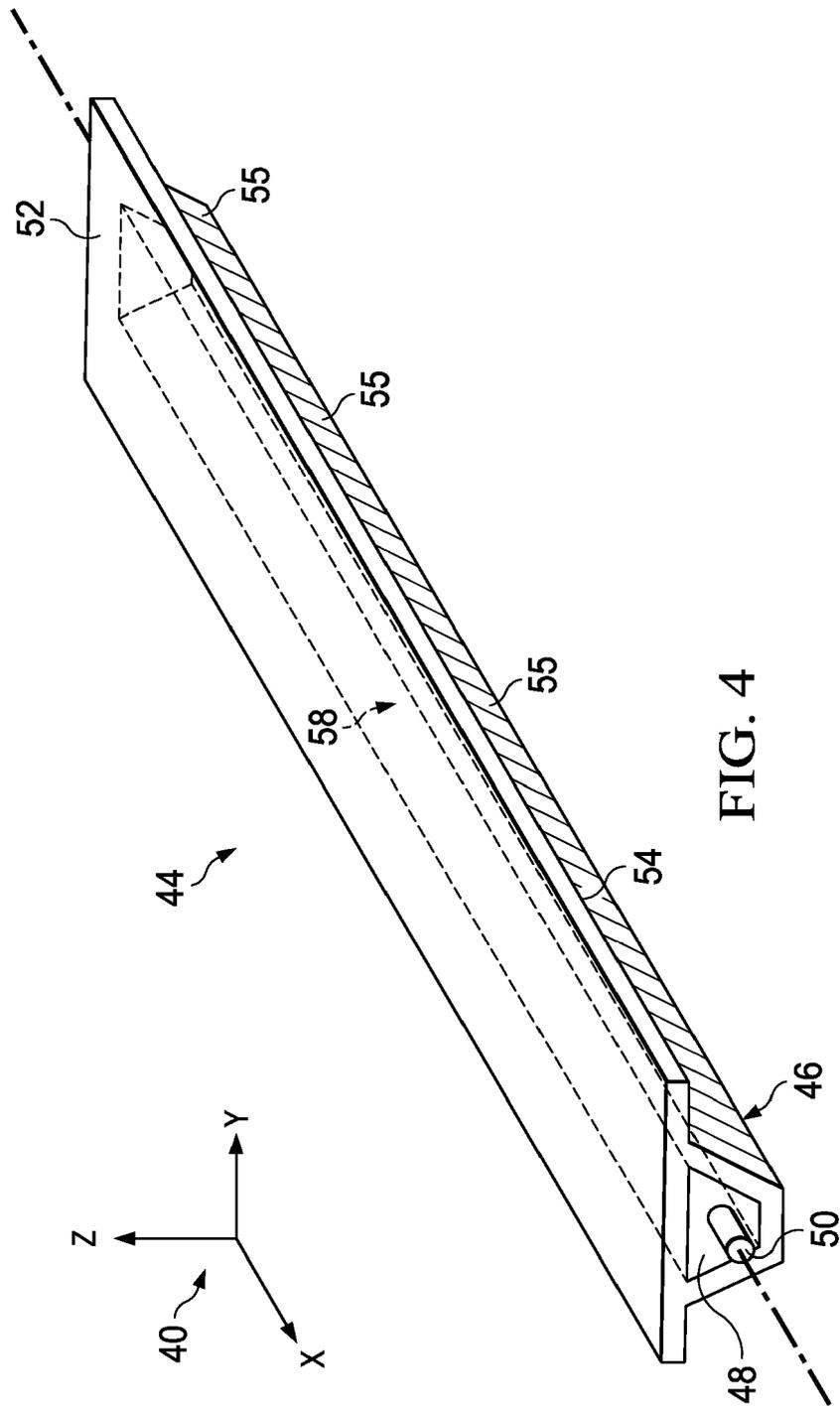
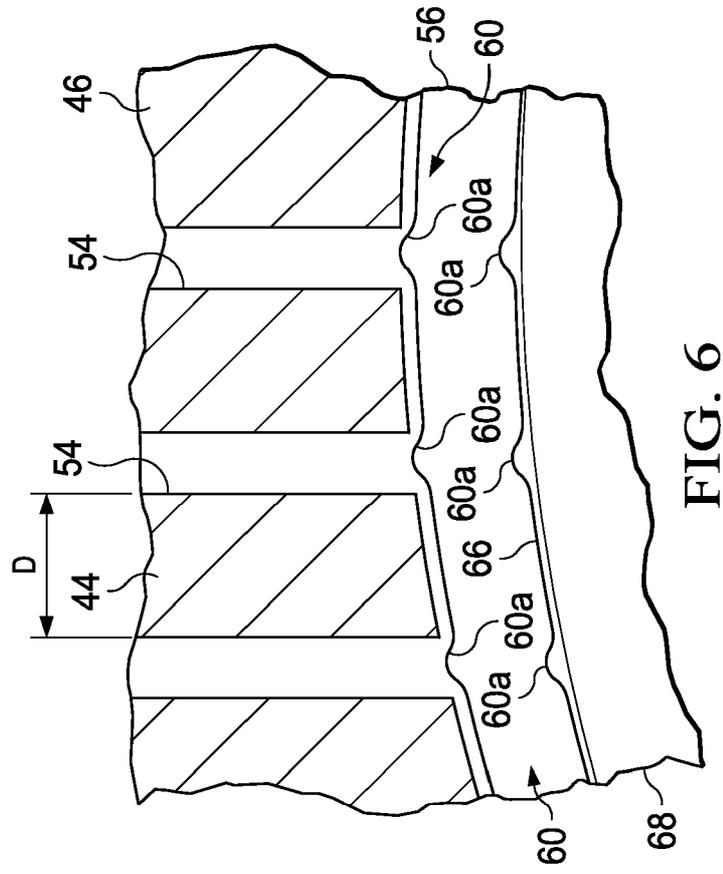
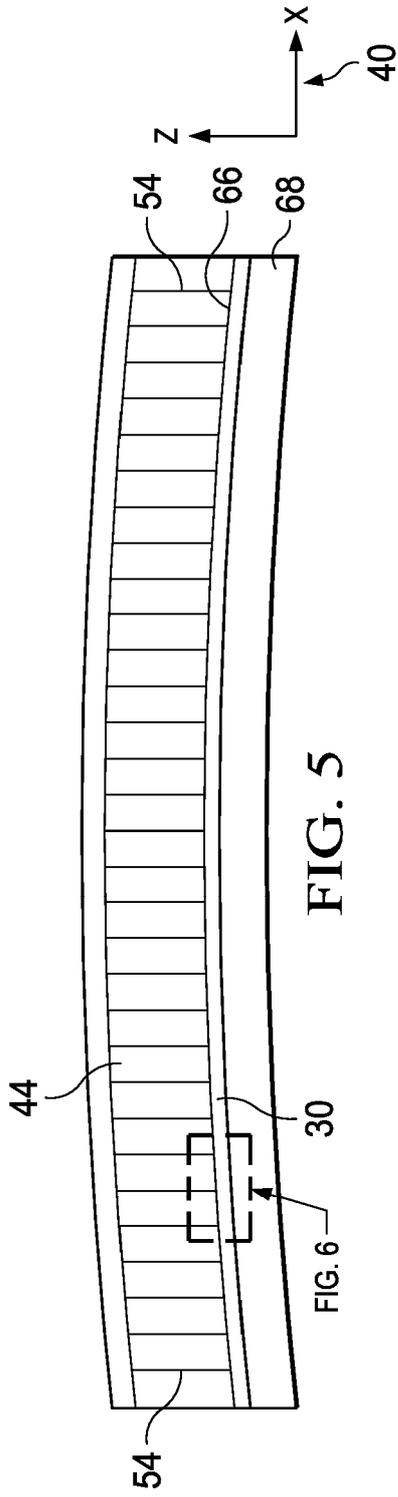


FIG. 4



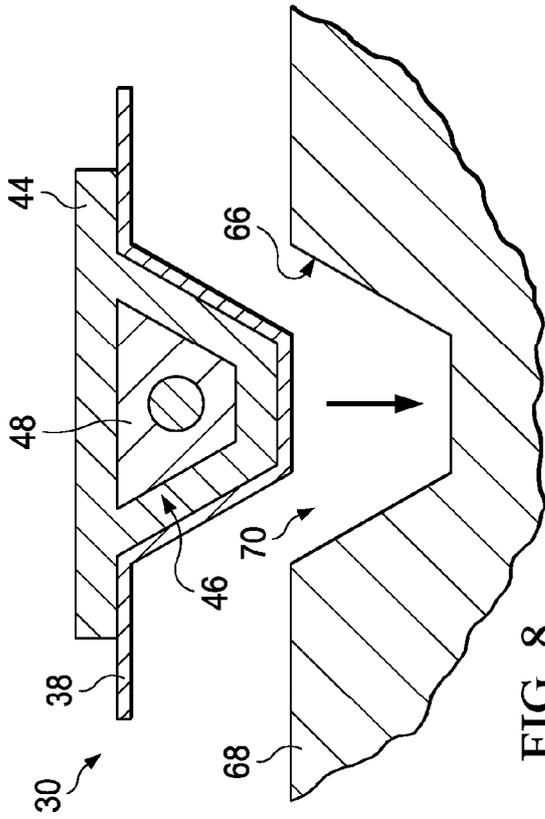


FIG. 8

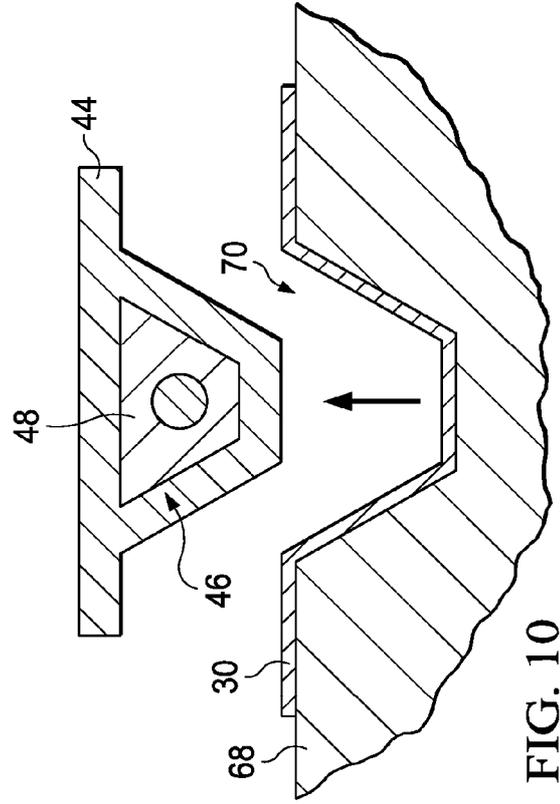


FIG. 10

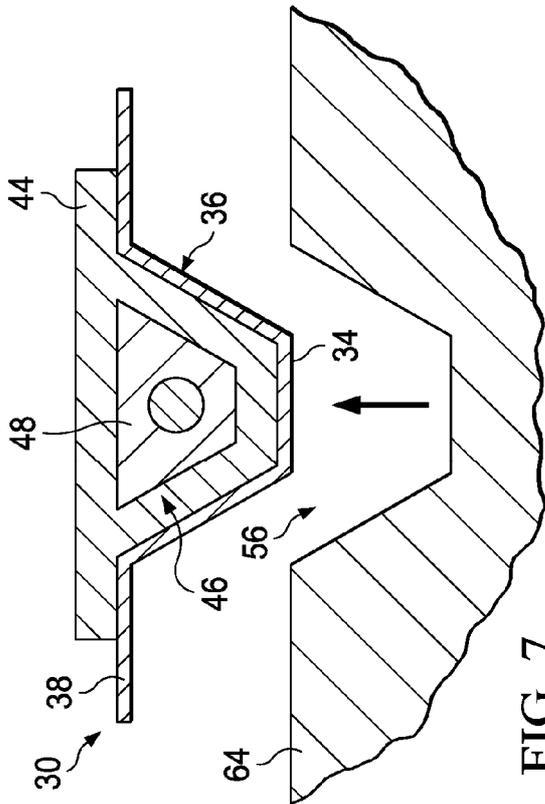


FIG. 7

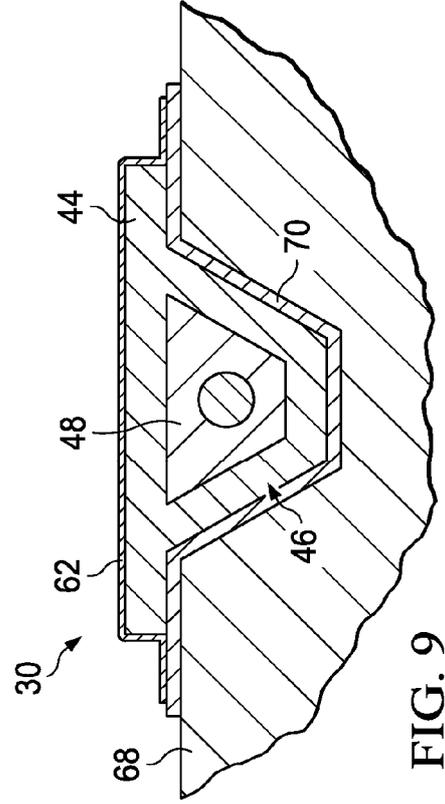
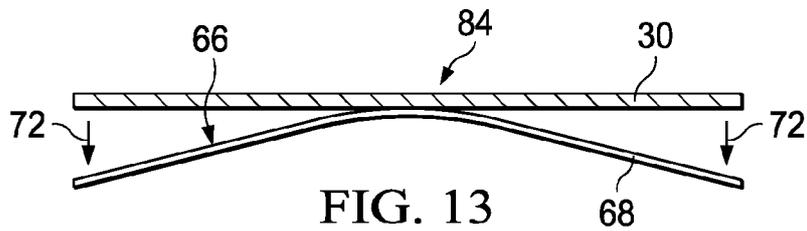
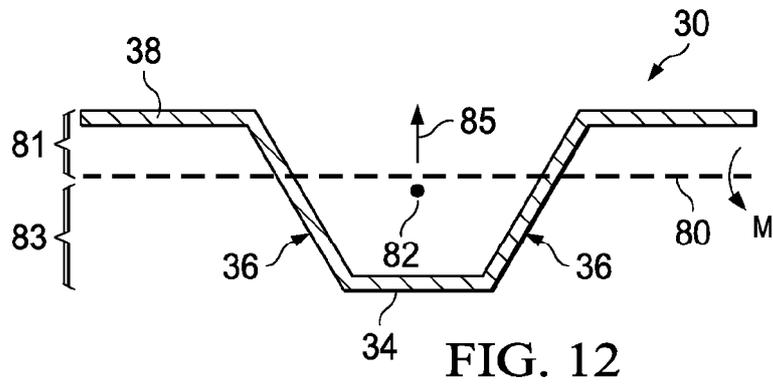
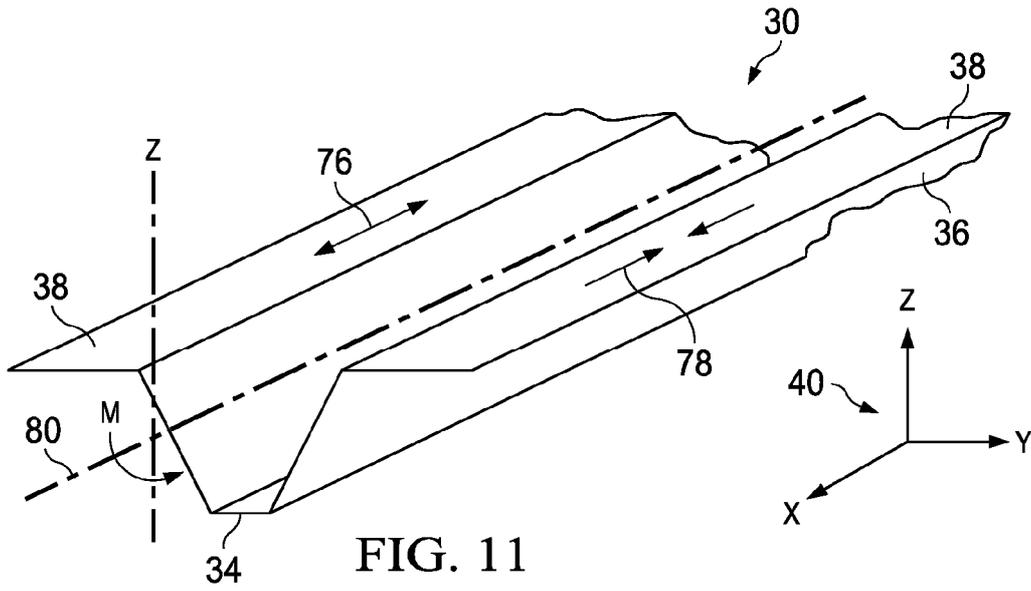
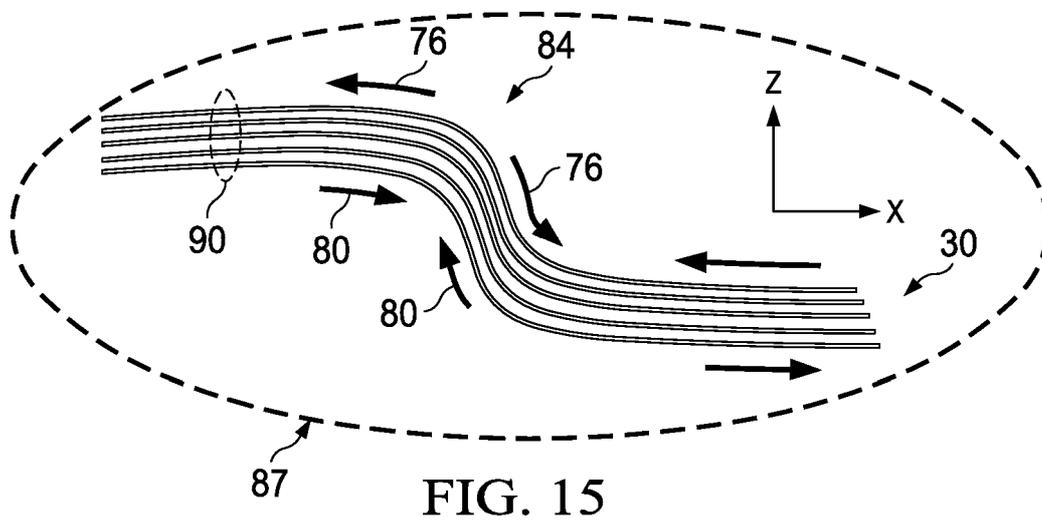
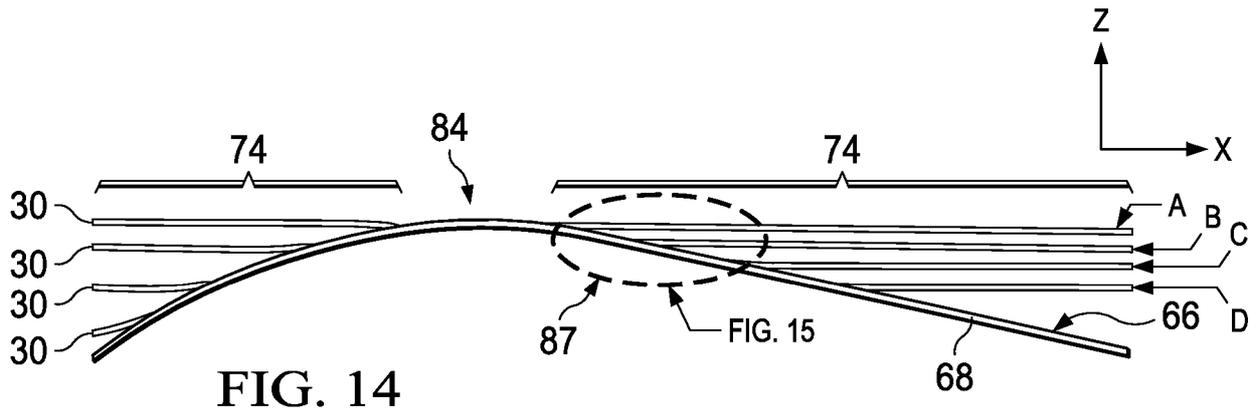


FIG. 9





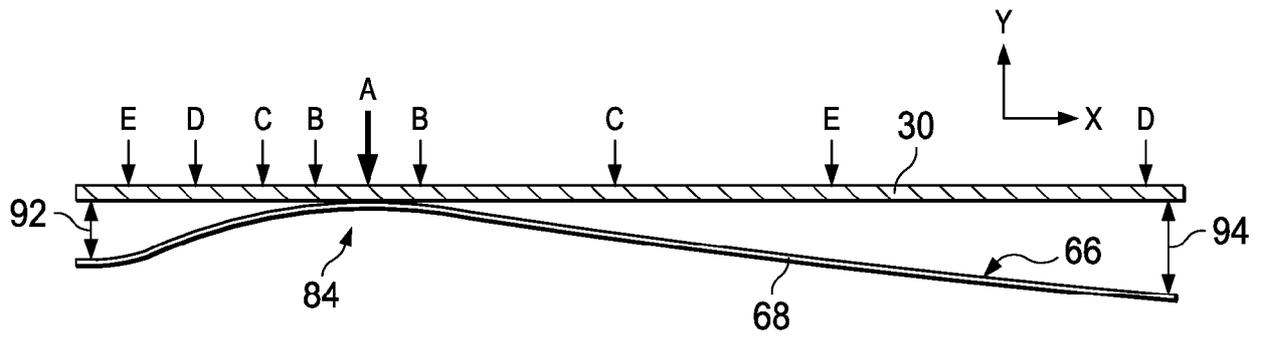


FIG. 16

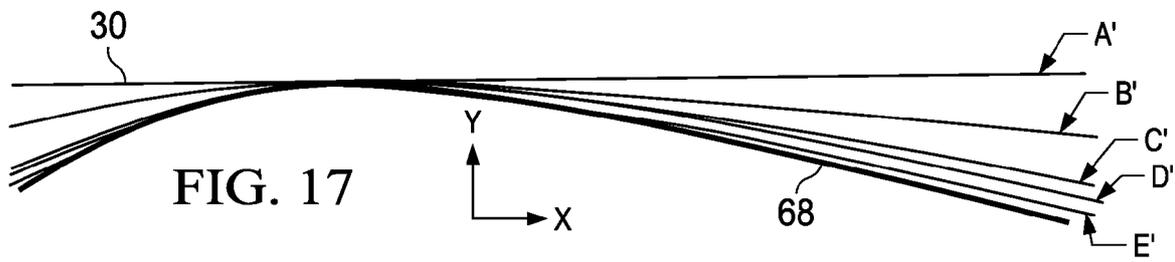


FIG. 17



FIG. 18

FIG. 19 ¹¹⁸

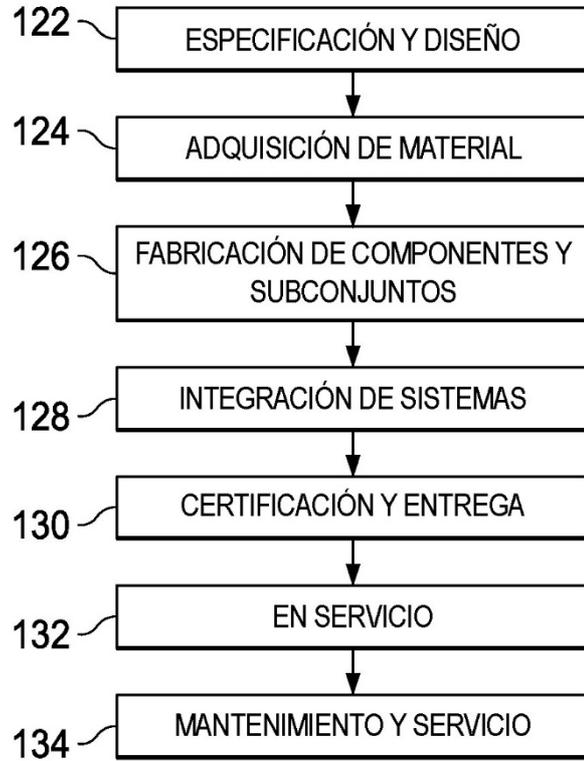


FIG. 20 ¹²⁰

