(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 813 395**

(51) Int. CI.:

B29C 65/48 (2006.01)
B64C 3/28 (2006.01)
B29C 70/88 (2006.01)
B64C 3/20 (2006.01)
B64C 3/26 (2006.01)
B64D 15/02 (2006.01)
B64D 15/12 (2006.01)
B29L 31/30 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2015 E 15189048 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 3006189**

(54) Título: **Estructuras compuestas que tienen juntas de compuesto a metal y métodos para hacer las mismas**

(30) Prioridad:

09.10.2014 US 201414510736

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.03.2021

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

GEORGESON, GARY ERNEST y
GRIESS, KENNETH HARLAN

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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

Estructuras compuestas que tienen juntas de compuesto a metal y métodos para hacer las mismas

Campo técnico

Esta divulgación en general se refiere a estructuras compuestas, especialmente a laminados de resina reforzada con fibras, y trata más particularmente con un compuesto híbrido que tiene una junta de compuesto a metal.

Antecedentes

Una estructura compuesta de metal-fibroso fusionada para partes de aeronaves se conoce a partir del documento GB 724,758. Se conoce un laminado con elemento calefactor a partir del documento WO 2005/087589 A1.

Las técnicas de unión son a menudo utilizadas para ensamblar estructuras compuestas. En aplicaciones donde la estructura compuesta también requiere sujetadores, el grosor o el medidor locales de la estructura que rodea al sujetador pueden necesitar aumentarse con el fin de soportar las cargas transmitidas a través de la junta del sujetador. A medida que aumenta el grosor local de la estructura, es posible que sea necesario alargar el sujetador, agregando así peso a la estructura. Además, el aumento del grosor local de la estructura puede aumentar la excentricidad de la trayectoria de la carga a través de la junta del sujetador, lo cual puede colocar cargas de flexión no deseadas en el sujetador.

Una solución a los problemas mencionados anteriormente consiste en fijar accesorios de metal a la estructura compuesta en el área de los sujetadores. Estos accesorios de metal pueden estar formados por titanio o metales similares que pueden no reaccionar químicamente de manera sustancial con los compuestos reforzados con fibra de carbono con los cuales están en contacto. Sin embargo, los accesorios de titanio pueden ser relativamente costosos, particularmente cuando es necesario formarlos en formas complejas.

Por consiguiente, existe la necesidad de una junta de compuesto de resina a metal que pueda utilizarse para conectar sustancialmente todos los accesorios de metal con todas las estructuras de resina de compuesto de manera sustancial, lo cual es relativamente económico y fácil de fabricar, y la cual puede soportar cargas transferidas alrededor de puntos de conexión de sujetadores. También existe la necesidad para una junta de compuesto de resina a metal que impida sustancialmente las reacciones químicas entre todo el accesorio de metal y la toda estructura de resina de compuesto.

Resumen

Las realizaciones divulgadas proporcionan una estructura compuesta de tipo híbrido que incluye una junta de compuesto de resina a metal reforzada con fibra que se puede utilizar para conectar un accesorio sustancialmente todo de metal con una estructura de resina sustancialmente toda de compuesto. La junta proporciona una transición entre las estructuras compuestas y metálicas que es adecuada para uso en aplicaciones de mayor rendimiento, tales como los vehículos aeroespaciales. Esta transición a partir de un material sustancialmente todo de compuesto a un material sustancialmente todo de metal puede reducir o eliminar la posibilidad de corrosión y/o problemas derivados a partir de la excentricidad. Durante la disposición de la estructura compuesta, las hojas de metal se sustituyen por un número de chapas de compuesto, y la transición a partir de las chapas de compuesto a las hojas de metal se produce en ubicaciones escalonadas de manera que se proporcione una transferencia de carga adecuada a partir de la porción de compuesto a la porción de metal. La transición escalonada resulta en un entrelazado entre las chapas de compuesto y las hojas de metal y crea múltiples líneas de unión que pueden reducir la aparición y/o propagación de grietas o desuniones en la junta. Un adhesivo ubicado entre las hojas de metal se adhiere y unifica las hojas en un accesorio de metal casi sólido.

De acuerdo con una realización divulgada, se proporciona una estructura compuesta, que comprende una pila laminada de chapas de resina reforzada con fibra y una pila de hojas de metal. Las hojas de metal tienen bordes que se entrelazan con los bordes de las chapas de resina reforzada con fibra para formar una junta de compuesto a metal que conecta las chapas de resina reforzada con fibra con las hojas de metal.

De acuerdo con otra realización, se proporciona una estructura híbrida de resina a metal que comprende una porción de resina de compuesto, una porción de metal y una sección de transición entre la resina y las porciones de metal. La porción de resina incluye chapas de laminado de resina reforzada con fibra, y la porción de metal incluye hojas de metal unidas. La sección de transición incluye superposiciones escalonadas entre las chapas de laminado y las hojas de metal.

De acuerdo con otra realización, se proporciona una parte de metal de compuesto híbrida. La parte comprende una disposición de material compuesto reforzado con fibra que termina en una localización de la interfaz. En la localización de la interfaz, una chapa de metal del mismo grosor que el material compuesto continúa hasta el borde de metal de la parte, y la disposición se repite con una interfaz de compuesto a metal que se escalona hacia el borde de la parte a partir de la localización de la interfaz anterior. Se coloca una chapa de adhesivo estructural entre las chapas de metal, con la siguiente interfaz de metal a compuesto escalonada lejos del borde de la parte para producir un empalme

anidado, y el apilamiento de la interfaz escalonada produce pestañas anidadas y se continúa hasta todo el grosor de la parte con ninguna de las chapas de compuesto que se extienda completamente hasta el borde de la parte.

De acuerdo con aún otra realización, se proporciona un método de fabricación de una estructura compuesta. El método comprende formar una disposición de compuesto de múltiples chapas que tienen una porción de compuesto y una porción de metal, y formar una junta de compuesto a metal entre la porción de compuesto y la porción de metal. El método incluye además compactar y curar la disposición.

De acuerdo con una realización adicional, se proporciona un método para producir una parte de metal híbrida. El método comprende colocar al menos una chapa de compuesto reforzada con fibra que se termina en una localización de la interfaz, y colocar una chapa de metal adyacente donde la chapa de metal es sustancialmente del mismo grosor que la chapa de compuesto adyacente reforzada con fibra. Las etapas de colocar chapas de compuesto y chapas de metal adyacentes se repiten para formar una interfaz de compuesto a metal que se escalona hacia dicho borde de la parte a partir de la localización de la interfaz anterior. El método comprende además colocar una chapa de adhesivo estructural entre las chapas de metal, y repetir la disposición de la chapa de compuesto y de la capa de metal donde la siguiente interfaz de metal a compuesto se escalona lejos del borde de la parte para producir un empalme anidado.

Breve descripción de las ilustraciones

La Figura 1 es una ilustración de una vista en sección de una estructura compuesta que tiene una junta de compuesto a metal.

La Figura 2 es una ilustración de una vista en perspectiva de la estructura compuesta que incluye la junta de compuesto a metal.

La Figura 3 es una ilustración de una vista en perspectiva del área designada como Figura 3 en la Figura 2.

La Figura 4 es una ilustración de una vista en sección transversal de la junta, que muestra mejor el entrelazado entre chapas de compuesto y las hojas de metal.

La Figura 5 es una ilustración de una vista en sección transversal de dos capas separadas de la junta que se muestra en la Figura 4, que también muestra la aplicación de una película adhesiva sobre las hojas de metal.

La Figura 6 es una ilustración de una vista en sección transversal ampliada de una porción de la junta formada por las dos capas que se muestran en la Figura 5.

La Figura 7 es una ilustración de un diagrama de flujo amplio de un método para hacer una estructura compuesta que tiene la junta de compuesto que se muestra en las Figuras 2-4.

La Figura 8 es una ilustración de un diagrama de flujo que muestra detalles adicionales del método que se muestra en la Figura 7.

La Figura 9 es una ilustración de un diagrama de flujo de otro método de hacer una estructura compuesta que tiene la junta de compuesto que se muestra en las Figuras 2-4.

La Figura 10 es una ilustración de un diagrama de flujo de la producción de una aeronave y la metodología de servicio.

La Figura 11 es una ilustración de un diagrama de bloques de una aeronave.

La Figura 12A hasta la Figura 12D son realizaciones ilustrativas que representan una vista lateral en sección transversal de una estructura formada por un bastidor y un revestimiento que incluye la Figura 12A, la Figura 12B, la Figura 12C y la Figura 12D. La Figura 12A es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura formada por un bastidor y un revestimiento compuesto representado de acuerdo con una realización ilustrativa; la Figura 12B es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye: un bastidor, un revestimiento compuesto, un revestimiento de metal y una placa de empalme que conecta el revestimiento de metal al revestimiento compuesto que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa; la Figura 12C es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye un revestimiento compuesto conectado a un revestimiento de metal representado de acuerdo con una realización ilustrativa; la Figura 12D es una ilustración de una vista lateral en sección transversal ampliada de una conexión del revestimiento de metal al revestimiento compuesto en la estructura que se representa en la Figura 12C que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 13A es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura similar a la estructura que se representa en la Figura 12C, pero con una tira conductiva en una pila de hojas de metal, representada de acuerdo con una realización ilustrativa; la Figura 13B es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura similar a la estructura que se representa en la Figura 12C, pero con un conducto de calentamiento integrado, representado de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 14A es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una estructura similar a la estructura que se representa en la Figura 12C que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa; la Figura 14B es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de una realización ilustrativa de la estructura que se representa en la Figura 14A, pero diferente de la Figura 14A mediante la pila de hojas de metal cambiando su forma, que se representan de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 15 es una ilustración de una vista lateral en sección transversal de un motor con una boquilla que contiene una aleación con forma de memoria conectada a una cubierta de sección de turbina de motor compuesto que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 16 es una ilustración de una vista en perspectiva de una junta de chapas de titanio-material compuesto que conecta una estructura de aluminio a una estructura compuesta que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 17A es una ilustración de una vista en sección transversal en perspectiva de una junta de chapas de titanio-compuesto, a partir de la vista 17A en la Figura 16, de una pila de hojas de metal, que incorporan un limitador de desunión de Griesson, unidas a un laminado compuesto que se representa de acuerdo con una realización ilustrativa. En la Figura 17B, la Figura 17A se modifica para mostrar una configuración alternativa del limitador de desunión de Griesson. En la Figura 17C, la Figura 17B se modifica para mostrar otra configuración alternativa del limitador de desunión de Griesson.

La Figura 18 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para unir un revestimiento de metal a un revestimiento compuesto sin utilizar una placa de empalme representada de acuerdo con una realización ilustrativa.

La Figura 19 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para inhibir la corrosión galvánica de una estructura de aluminio conectada, sin utilizar una placa de empalme, a una estructura compuesta representada de acuerdo con una realización ilustrativa.

Descripción detallada

Con referencia primero a la Figura 1, la estructura 20 de compuesto híbrida incluye la porción 22 de resina de compuesto unida a la porción 24 de metal mediante la sección 25 de transición que incluye la junta 26 de compuesto a metal. En el ejemplo que se ilustra, la estructura 20 de compuesto es una hoja de compuesto sustancialmente plana, sin embargo, dependiendo de la aplicación, la estructura 20 puede tener una o más curvas, contornos u otras características geométricas. Por ejemplo, la estructura 20 de compuesto puede comprender un revestimiento contorneado interior y/o exterior de una aeronave (no se muestra) el cual está asegurado a la porción del bastidor 28 de la aeronave a través de la junta 30 de solapa y sujetadores 32 los cuales pasan a través del revestimiento 20 al bastidor 28.

El bastidor 28 puede comprender un compuesto, un metal u otro material rígido, y la porción 24 de metal de la estructura 20 puede actuar como un accesorio 24 de metal rígido que es adecuado para transferir un rango de cargas y tipos de cargas entre el bastidor 28 y la porción 20 de compuesto. Como se discutirá más adelante con más detalle, la porción 24 de metal puede comprender cualquiera de un número de metales tales como, sin limitación, titanio que es sustancialmente no reactivo a y compatible con la porción 20 de compuesto y el bastidor 28. En una realización práctica, por ejemplo, y sin limitación, la porción 22 de resina de compuesto puede comprender un epoxi reforzado con fibra de carbono, la porción 24 de metal puede comprender una aleación de titanio, y el bastidor 28 puede comprender una aleación o un compuesto de aluminio. La sección 25 de transición y la junta 26 son lo suficientemente fuertes como para soportar el rango típico y los tipos de cargas entre la porción 22 de resina de compuesto y la porción 24 de metal, que incluyen, pero no se limitan a, tensión, flexión, torsión y cargas de corte. Aunque la sección 25 de transición y la junta 26 que se ilustran están formadas entre una porción 22 de resina de compuesto y toda la porción 24 de metal, puede ser posible emplearlas para unir dos estructuras compuestas diferentes (no se muestran) o dos estructuras de metal diferentes (no se muestran).

Con referencia a las Figuras 1-4, una disposición de las chapas 35 de material compuesto termina en una ubicación 39 de interfaz a la que se hace referencia más adelante en el presente documento como un punto 39 de transición, donde una hoja o chapa 37 de metal sustancialmente del mismo grosor que las chapas 35 de material compuesto continúa al borde 24a de metal de la porción 24 de metal, y la disposición se repite con una interfaz 39 compuesto a metal que se escalona hacia el borde 24a de metal a partir de la ubicación 39 de interfaz anterior e incluye una chapa 45 de adhesivo de metal estructural (véanse las Figuras 5 y 6) entre las chapas 37 de metal, con la siguiente interfaz 39 de metal a compuesto escalonada lejos del borde 24a de la parte para producir un empalme 27 anidado. Este apilamiento de interfaz escalonado, el cual produce pestañas 29 anidadas (véase la Figura 3), es continuo hasta todo el grosor de la estructura 20 de compuesto híbrida sin que ninguna de las chapas 35 de compuesto se extendiera completamente hasta el borde 24a de metal de toda la porción 24 de metal.

Con referencia ahora también a las Figuras 2-4, la porción 22 de resina de compuesto de la estructura 20 comprende una pila 34 laminada de chapas 35 de resina reforzada con fibra, y la porción 24 de metal de la estructura 20 comprende una pila 36 de hojas de metal o chapas 37 que se unen entre sí para formar una estructura de metal sustancialmente unificada. Como se muestra en las Figuras 5 y 6, las chapas 35 de compuesto y las hojas 37 de metal

están dispuestas en capas 38. Cada una de las capas 38 comprende una o más de las chapas 35 de compuesto en lindero sustancialmente borde a borde con una de las hojas 37 de metal. Por lo tanto, cada una de las capas 38 hace transición en un punto 39 a partir de un compuesto, es decir, chapas 35 de resina de compuesto, a un metal, es decir, una hoja 37 de metal.

Los puntos 39 de transición están escalonados entre sí de acuerdo con un programa de disposición predeterminado de tal manera que las chapas 35 y las hojas 37 de metal se superponen entre sí en la sección 25 de transición (Figura 1). El escalonamiento de los puntos 39 de transición crea múltiples líneas de enlace que pueden reducir la aparición y/o propagación de grietas o desuniones en la junta 26. El escalonamiento de los puntos 39 de transición también resulta en una forma de entrelazado de las chapas 35 de compuesto y las hojas 37 de metal dentro de la junta 26 el cual forma un empalme 27 anidado entre toda la porción 22 de resina de compuesto y toda la porción 24 de metal. Este empalme 27 anidado también puede denominarse como unión 26 de dedo, junta 26 de dedo o junta 26 de solapa de múltiple etapa. Los adyacentes de los puntos 39 de transición están separados entre sí en la dirección en el plano de la estructura 20 de manera que se logre una junta 26 unida que exhiba características de rendimiento óptimas, que incluyen fuerza y resistencia para desunión y propagación de inconsistencias tales como grietas. En el ejemplo que se ilustra, el empalme 27 anidado que forma la junta 26 es una forma de una junta 26 de doble dedo en la cual los puntos 39 de transición están escalonados en direcciones opuestas a partir de un punto 55 central en general de superposición máxima. Sin embargo, son posibles otras configuraciones de juntas, que incluyen, pero no se limitan a una sola junta de dedo en la cual los puntos 39 de transición múltiples están escalonados en una sola dirección.

Las chapas 35 de compuesto pueden comprender una resina reforzada con fibra, tal como, sin limitación, epoxi de fibra de carbono, la cual puede estar en la forma de cinta o tela preimpregnada unidireccional. Son posibles otros refuerzos de fibra, que incluyen las fibras de vidrio, y puede ser posible el uso de materiales no preimpregnados. Las chapas 35 de compuesto pueden tener orientaciones de fibra predeterminadas y se disponen de acuerdo con un programa de chapa predefinido para cumplir con las especificaciones de rendimiento deseadas. Como se mencionó anteriormente, las hojas 37 unidas pueden comprender un metal tal como titanio que es adecuado para la aplicación prevista. En el ejemplo que se ilustra, la pila 36 de hojas 37 de metal tiene un grosor t_1 total el cual es en general sustancialmente igual al grosor t_2 de la pila 34 laminada de las chapas 35. Sin embargo, en el ejemplo que se ilustra, t_2 es ligeramente mayor que t_1 por un factor del grosor de diversas chapas 43 de envoltura en lados opuestos de la pila 34.

Las Figuras 5 y 6 ilustran detalles de dos capas 38 contiguas de la junta 26 que se muestra en las Figuras 2-4. En este ejemplo, cada lámina 38 comprende cuatro chapas 35 que tienen un grosor T_1 total colectivo. Las hojas 37 de metal individuales de las capas 38 adyacentes se unen entre sí a través de una capa de adhesivo 45 estructural, la cual puede comprender un adhesivo de película comercial u otras formas de un adhesivo adecuado que se ubica entre las hojas 37 de metal durante el proceso de disposición.

El grosor combinado de cada hoja 37 de metal y una capa 45 de adhesivo representada como T_2 en la Figura 5 es sustancialmente igual al grosor T_1 de las chapas 35 de compuesto en la capa 38. Aunque no se muestra en las figuras, se puede ubicar una película delgada de adhesivo entre las chapas 35 para aumentar la resistencia de la unión interlaminar. En una realización práctica, se pueden utilizar hojas 37 de metal de aleación de titanio, las cuales cada una tiene un grosor de aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas), el adhesivo 45 de película puede tener aproximadamente 0.127 mm (0.005 pulgadas) de grosor, y cuatro chapas 35 de epoxi compuesto de fibra de carbono pueden ser utilizadas en cada capa 38 que tiene un grosor total colectivo de aproximadamente 0.762 mm (0.030 pulgadas). Dependiendo de la aplicación, puede ser posible el uso de metales distintos al titanio. La distancia entre los puntos 39 de transición adyacentes y, por lo tanto, la longitud de la superposición entre las capas 38, así como el grosor y el número de chapas 35 de compuesto y el grosor de las hojas 37 de metal dependerán de los requisitos de la aplicación particular, que incluye el tipo y la magnitud de las cargas que se transmitirán a través de la junta 26, y posiblemente otras especificaciones de rendimiento.

Las diferentes capas 38 de la junta 26 entre los dos materiales diferentes de las porciones 22, 24 de compuesto y metal respectivamente (Figura 1), hacen que la estructura 20 sea muy adecuada para evaluaciones no destructivas de la calidad de la unión utilizando sensores integrados o montados (no se muestran). Las ondas estructurales ultrasónicas (no se muestran) pueden introducirse en la estructura 20 en el borde de la porción 24 de metal, en la porción 22 de compuesto o en la sección 25 de transición. Estas ondas ultrasónicas viajan a través de lo que equivale a una guía de onda formada mediante las hojas 37 de metal y las interfaces (no se muestran) entre las chapas 35 de compuesto y las hojas 37 de metal. Los sensores con base en MEMS (micro electromecánicos), los sensores piezoeléctricos delgados (no se muestran) u otros transductores ubicados en la estructura 20 pueden utilizarse para recibir las ondas estructurales ultrasónicas para propósitos de analizar la condición de las líneas de unión en la junta 26.

Con referencia ahora a la Figura 7, un método para hacer la estructura 20 de compuesto comprende formar una disposición de compuesto de múltiples capas como se muestra en 65. La formación de la disposición incluye colocar una porción 22 de resina de compuesto en la etapa 67, y colocar una porción 24 de metal en la etapa 69. La etapa 65 de formación de la disposición incluye además formar una junta de compuesto a metal entre la porción de resina de compuesto y la porción de metal de la disposición, que se muestra en la etapa 71.

La Figura 8 ilustra detalles adicionales del método que se muestra en la Figura 7. Comenzando en la etapa 40, las hojas 37 de metal individuales se recortan al tamaño y/o forma deseados. A continuación, en la etapa 42, las superficies de las hojas 37 de metal se preparan mediante procesos adecuados que pueden incluir limpiar las hojas 37 de metal con un solvente, secarlas, etc., luego, en la etapa 44, la disposición se ensambla colocando las hojas 37 de metal y las chapas 35 de compuesto en una secuencia que está determinada mediante un programa de chapa predefinido (no se muestra) el cual incluye un escalonamiento predeterminado de los puntos 39 de transición entre las chapas 35 y la hoja 37 de metal en cada lámina 38.

Durante el proceso de disposición, las hojas 37 de metal son secuenciadas como capas en la disposición, al igual que las capas de compuesto son secuenciadas en una disposición en un proceso de disposición convencional. Como se muestra en la etapa 46, se puede introducir un adhesivo entre las hojas 37 de metal con el fin de unirlas entre sí en una estructura de metal unificada. De manera similar, aunque no se muestra en la Figura 8, se puede introducir un adhesivo de unión entre las chapas 35 de compuesto individuales con el fin de aumentar la resistencia de la unión entre estas chapas 35. A continuación, en la etapa 48, la disposición se puede compactar utilizando cualquiera de las diversas técnicas de compactación conocidas, tal como el envasado al vacío seguido de lo cual la disposición se cura en la etapa 50 utilizando autoclave o procesos de curado fuera de autoclave. En la etapa 52, la estructura 20 de compuesto curada puede recortarse y/o inspeccionarse, como sea necesario.

La Figura 9 ilustra aún otra realización de un método para hacer una parte 20 de compuesto híbrida. El método comienza en la etapa 73 con la colocación de al menos una chapa 35 de compuesto que termina en una ubicación 39 de interfaz en una herramienta de disposición adecuada (no se muestra). En la etapa 75, se coloca una chapa 37 de metal adyacente la cual es sustancialmente del mismo grosor que la chapa 35 de compuesto adyacente. Como se muestra en la etapa 77, el proceso de disposición se repite con una interfaz 39 de compuesto a metal que se escalona hacia el borde 24a de metal de la parte 20 a partir de la ubicación 39 de interfaz anterior. En la etapa 79, se coloca una capa de adhesivo 45 estructural entre las chapas 37 de metal. Las etapas 73-79 se repiten sucesivamente para producir un empalme 27 anidado y un apilamiento escalonado de la interfaz formando pestañas 29 anidadas hasta todo el grosor de la parte 20 híbrida, con ninguna de las chapas 35 de compuesto que se extienden completamente hasta el borde 24a de metal de la parte 20. Aunque no se muestra en la Figura 9, la disposición completa se procesa en bolsas de vacío para eliminar vacíos, y posteriormente se cura utilizando cualquier método de curado adecuado.

Las realizaciones de la divulgación pueden encontrar uso en una variedad de aplicaciones potenciales, particularmente en la industria del transporte, que incluye, por ejemplo, aplicaciones aeroespaciales, marinas y automotrices. Por lo tanto, con referencia ahora a las Figuras 10 y 11, las realizaciones de la divulgación pueden utilizarse en el contexto de un método 60 de fabricación y servicio de una aeronave como se muestra en la Figura 10 y una aeronave 62 como se muestra en la Figura 11. Las aplicaciones de aeronaves de las realizaciones divulgadas pueden incluir, por ejemplo, una amplia variedad de partes y componentes de compuesto estructural, especialmente aquellos que requieren el uso de sujetadores durante el proceso de ensamblaje. Durante la pre-producción, el método 60 de ejemplo puede incluir la especificación y el diseño 64 de la aeronave 62 y la adquisición 66 de material. Durante la producción, tiene lugar la fabricación 68 de componentes y subconjuntos y la integración 70 del sistema de la aeronave 62. A partir de entonces, la aeronave 62 puede pasar por la certificación y entrega 72 con el fin de ser puesta en servicio 74. A la vez que está en servicio por un cliente, la aeronave 62 está programada para mantenimiento y servicio 76 de rutina (lo cual también puede incluir modificación, reconfiguración, renovación, etc.).

Cada uno de los procesos del método 60 puede ser realizado o llevado a cabo por un integrador de sistema, un tercero y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los propósitos de esta descripción, un integrador de sistema 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, una empresa de arrendamiento financiero, una entidad militar, una organización de servicios, etc.

Como se muestra en la Figura 11, la aeronave 62 producida por el método 60 de ejemplo puede incluir un fuselaje 78 con una pluralidad de sistemas 80 y un interior 82. Los ejemplos de sistemas 82 de alto nivel incluyen uno o más de un sistema 84 de propulsión, un sistema 86 eléctrico, un sistema 88 hidráulico y un sistema 90 ambiental. Se pueden incluir cualquier número de otros sistemas. El método divulgado puede emplearse para fabricar partes, estructuras y componentes utilizados en el fuselaje 78 o en el interior 82. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios de la divulgación pueden aplicarse a otras industrias, tales como las industrias marítimas y automotrices.

Los sistemas y métodos incorporados en el presente documento pueden emplearse durante una cualquiera o más de las etapas del método 60 de producción y servicio. Por ejemplo, las partes, estructuras y componentes correspondientes al proceso 68 de producción pueden fabricarse o manufacturarse de manera similar a partes, estructuras y componentes producidos a la vez que la aeronave 62 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 68 y 70 de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblaje o reduciendo el coste de una aeronave 62. De manera similar, una o más de las realizaciones de aparatos, realizaciones de métodos o una combinación de las mismas pueden utilizarse a la vez que la aeronave 62 está en servicio, por ejemplo y sin limitación, para mantenimiento y servicio 76.

Por lo tanto, las descritas anteriormente pueden ser realizaciones ilustrativas para una estructura compuesta. Las realizaciones pueden incluir una pila laminada de chapas de resina reforzada con fibra; y una pila de hojas de metal que pueden incluir bordes entrelazados con los bordes de las chapas de resina reforzada con fibra y pueden formar una junta de compuesto a metal que conecta las chapas de resina reforzada con fibra con las hojas de metal.

Las realizaciones de la estructura compuesta pueden incluir además las pilas de chapas de resina reforzada con fibra y hojas de metal que están dispuestas en capas, en donde cada una de las capas puede incluir una hoja de metal y al menos una de las chapas de resina reforzada con fibra. El grosor de las chapas de resina reforzada con fibra en cada una de las capas puede ser en general igual al grosor de la hoja de metal en la capa.

Además, la estructura compuesta puede incluir las chapas de resina reforzada con fibra y la hoja de metal en cada una de las capas que se configuran con bordes sustancialmente en lindero que forman un punto de transición de resina a metal. Los puntos de transición de las capas pueden estar escalonados entre sí.

Además, la realización de la estructura compuesta puede configurarse de tal modo que las capas formen una junta de dedo de resina a compuesto reforzada con fibra entre la pila de chapas de resina y la pila de hojas de metal. Una capa de adhesivo puede estar entre las adyacentes de las hojas de metal para unir las hojas entre sí. Las hojas de metal pueden ser una aleación de titanio. El refuerzo de fibra de las chapas puede incluir carbono.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también pueden mostrar una estructura híbrida de compuesto de resina a metal, la cual puede incluir una porción de resina de compuesto que incluye chapas de laminado de resina reforzada con fibra; una porción de metal que incluye hojas de metal unidas; y una sección de transición entre la porción de resina de compuesto y la porción de metal, la sección de transición incluye superposiciones escalonadas entre las chapas de laminado y las hojas de metal. Las realizaciones ilustrativas pueden incluir la estructura híbrida de compuesto de resina a metal de tal manera que las chapas de laminado y las hojas de metal pueden estar dispuestas en capas, y cada una de las capas puede incluir una de las hojas de metal y una pluralidad de chapas de resina reforzada con fibra en lindero sustancialmente de borde a borde.

Las realizaciones ilustrativas de la anterior estructura híbrida de compuesto de resina a metal también pueden incluir el grosor de las chapas en cada una de las capas siendo sustancialmente igual al grosor de la hoja de metal en la capa. Las superposiciones escalonadas pueden formar una junta de dedo de compuesto a metal entre la porción de resina de compuesto y la porción de metal. La estructura híbrida de compuesto de resina a metal también puede incluir una capa de adhesivo entre cada una de las hojas de metal configuradas para unir las hojas entre sí y unificar la porción de metal. Cada una de las hojas de metal puede ser una aleación de titanio.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también presentaron una parte híbrida de compuesto de metal, que puede incluir una disposición de material compuesto reforzado con fibra que puede terminarse en una localización de interfaz, donde una chapa de metal del mismo grosor que el material de compuesto puede continuar hacia borde de metal de la parte, y la disposición puede repetirse con una interfaz de compuesto a metal que puede ser escalonada hacia el borde de la parte a partir de la localización de la interfaz anterior y puede incluir una chapa de adhesivo estructural entre las chapas de metal. La siguiente interfaz de metal a compuesto puede estar escalonada lejos a partir del borde de la parte y puede producir un empalme anidado. El apilamiento escalonado de la interfaz puede producir pestañas anidadas y puede continuar hasta todo el grosor de la parte sin que ninguna de las chapas de compuesto se extienda completamente hasta el borde de la parte.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también presentaron un método para fabricar una estructura compuesta, el método puede incluir: formar una disposición de compuesto de múltiples capas que tiene una porción de resina de compuesto reforzada con fibra y una porción de metal, que incluye formar una junta de compuesto a metal entre la porción de resina de compuesto y la porción de metal de la disposición. La formación de la disposición puede incluir formar cada una de las capas colocando al menos una chapa de resina de compuesto reforzada con fibra y una hoja de metal sustancialmente en lindero de borde a borde entre sí para formar un punto de transición entre la resina de compuesto reforzada con fibra y el metal en la capa.

Las realizaciones ilustrativas del método también pueden incluir la formación de la disposición para incluir el escalonamiento de los puntos de transición en las capas entre sí. Unificar la porción de metal puede incluir colocar una capa de adhesivo entre las hojas de metal.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también presentaron un método para producir una parte de metal híbrida que puede incluir colocar al menos una chapa de compuesto reforzada con fibra que puede terminar en una localización de la interfaz; colocar una chapa de metal adyacente donde la chapa de metal puede ser del mismo grosor que la chapa de compuesto adyacente reforzada con fibra; repetir las etapas de colocar chapas de compuesto y chapas de metal adyacentes para formar una interfaz de compuesto a metal que se escalona hacia dicho borde de la parte a partir de la localización de la interfaz anterior; colocar una chapa de adhesivo estructural entre las chapas de metal; y repetir la disposición de chapas de compuesto y metal donde la siguiente interfaz de metal a compuesto puede estar escalonada lejos del borde de la parte para producir un empalme anidado. El método también puede incluir continuar el apilamiento escalonado de la interfaz de las chapas de compuesto y metal para producir pestañas anidadas hasta todo el grosor de la parte sin que ninguna de las chapas de compuesto se extienda completamente hasta el borde de

la parte. El método puede incluir además una bolsa de vacío que procesa la parte para eliminar los vacíos de aire en la disposición; y curar la parte colocada.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también presentaron una estructura híbrida de compuesto de resina a metal de aeronave que puede incluir: una pluralidad de capas laminadas que forman una fibra reforzada, toda la porción de compuesto, una porción toda de metal y una junta de dedo híbrida de compuesto a metal que conecta la porción de compuesto con la porción de metal. Cada una de las capas puede incluir una pluralidad de chapas de resina de compuesto y una hoja de metal de titanio, en donde las chapas y la hoja de metal pueden estar dispuestas en lindero sustancialmente de borde a borde entre sí formando un punto de transición de compuesto a metal en la capa, y en donde los puntos de transición en las capas pueden estar escalonados entre sí para formar la junta de dedo.

Las realizaciones ilustrativas de la estructura híbrida de compuesto de resina a metal de aeronave anterior también pueden incluir una capa de adhesivo entre las hojas de metal para unificar las hojas de metal. El grosor de las chapas en cada una de las capas puede ser sustancialmente igual al grosor combinado de una de las hojas y la capa del adhesivo.

Las realizaciones ilustrativas anteriores también presentaron un método para hacer una estructura híbrida de compuesto de resina a metal de aeronave. El método de las realizaciones ilustrativas puede incluir: formar una disposición que incluye una fibra reforzada, toda la porción de compuesto, una porción toda de metal y una junta de dedo híbrida de compuesto de metal que conecta la porción de compuesto con la porción de metal. Formar la disposición que incluye la colocación de una pluralidad de capas en donde cada una de las capas puede formarse mediante la colocación de una pluralidad de chapas de resina de compuesto en lindero sustancialmente de borde a borde con una hoja de metal de titanio que forma un punto de transición de compuesto a metal en la capa; colocar una capa de adhesivo entre las hojas de metal para unificar la porción de metal; formar la junta entre la porción de compuesto y la porción de metal mediante escalonamiento de los puntos de transición en las capas entre sí; compactando la disposición; y curando la disposición.

Las realizaciones ilustrativas reconocen y toman en cuenta que la capacidad para eliminar y reemplazar componentes dañados puede aumentar una funcionalidad y/o el valor de un producto que contiene componentes. A la vez que los diseños metálicos pueden favorecer el atornillado para unir componentes a una estructura, los diseños compuestos idealizados pueden tender a favorecer la unión. Las realizaciones ilustrativas reconocen y toman en cuenta que la capacidad para aprovechar las ventajas de las características de la junta de metal atornillada, a la vez que obtiene las ventajas de rendimiento de los compuestos en una sola junta y/o dentro de un solo componente puede proporcionar ventajas de resistencia mejorada y/o grosor reducido, y/o peso reducido sobre juntas y/o componentes que solo contienen metal, solo compuestos, o rellenan un medidor del componente y/o junta.

Las realizaciones ilustrativas reconocen y toman en cuenta que una sección dentro de un componente o una junta entre componentes en una estructura que une hojas de titanio a chapas de compuesto en un material Ti-Chapa puede permitir que una estructura tenga las características de peso y fatiga de un compuesto, junto con la capacidad de sujetarse y/o juntarse de manera similar a los componentes que son completamente metálicos.

Las realizaciones ilustrativas reconocen y toman en cuenta que las juntas tradicionales de compuesto a metal fallan en la junta una vez que la porción metálica de la junta comienza a ceder. Las pruebas de tracción han demostrado que una junta que utiliza materiales y/o métodos de Ti-Chapa puede sobrevivir no solo al punto crítico de rendimiento metálico, sino que la falla final de los componentes que se juntan puede ocurrir completamente fuera de la junta, en toda la porción de metal conectada a la junta. La falla eventual del metal puede resultar de un comportamiento y falla clásico al cuello, después de la transición a través de las zonas elásticas y plásticas para toda la porción de metal conectada a la junta. Por lo tanto, múltiples hojas de metal unidas a chapas de compuesto en una junta de Ti-Chapa pueden crear múltiples trayectorias de carga, lo cual contribuye a la durabilidad general de la junta de Ti-Chapa y su rendimiento superior en fuerza y/o resiliencia en comparación a una junta o sección de componente que puede ser completamente de compuesto o completamente metálica.

Las realizaciones ilustrativas reconocen además y toman en cuenta que la resistencia de un revestimiento de metal en una estructura a abolladuras o fallas causadas por las fuerzas de impacto a partir de un objeto que impacta el revestimiento puede ser más fuerte que la resistencia de un revestimiento compuesto en la misma estructura que recibe la misma fuerza de impacto. Por lo tanto, a la vez que el revestimiento compuesto puede ser conveniente en una estructura tal como el borde de ataque del ala de una aeronave o el bastidor de la puerta para reducir el peso y el riesgo de corrosión del revestimiento, cuando la resistencia al impacto es significativa, puede ser más conveniente utilizar un componente de metal en estas ubicaciones. Por lo tanto, por las razones mencionadas anteriormente, y otras, puede ser conveniente reemplazar un revestimiento compuesto con un revestimiento de metal en ciertas ubicaciones en una estructura.

Las realizaciones ilustrativas reconocen y toman en cuenta que el grafito puede actuar como un cátodo, a la vez que el aluminio puede actuar como un ánodo que puede facilitar la corrosión galvánica del aluminio conectado al grafito, particularmente en la presencia de una solución electrolítica. Por consiguiente, se ha observado que un material compuesto que contiene una fibra que incluye grafito induce corrosión galvánica en una estructura que incluye aluminio como un componente en contacto con el grafito. Los compuestos reforzados con fibras de carbono pueden contener

grafito. En consecuencia, conectar un componente que puede contener un elemento de fibra de carbono directamente a un componente que puede contener aluminio puede ser un diseño no deseado.

Con referencia ahora a la Figura 12A a la Figura 12D, son realizaciones ilustrativas que representan una vista lateral en sección transversal de una estructura formada por un bastidor y un revestimiento. La Figura 12A es una realización ilustrativa que representa una vista lateral en sección transversal de una estructura formada por un bastidor y un revestimiento compuesto. La Figura 12B es una realización ilustrativa que representa una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye un bastidor, un revestimiento compuesto, un revestimiento de metal y una placa de empalme que conecta el revestimiento de metal al revestimiento compuesto. La Figura 12C es una realización ilustrativa que representa una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye un revestimiento compuesto conectado a un revestimiento de metal. La Figura 12D es una realización ilustrativa que representa una vista ampliada de una conexión del revestimiento de metal al revestimiento compuesto en la estructura que se representa en la Figura 12C.

Con referencia ahora a la Figura 12A, la estructura 1202 se muestra con el bastidor 1204. Sin limitación, el bastidor 1204 puede ser una sección de un soporte esquelético para la estructura 1202. Sin limitación, cuando la estructura 1202 puede ser un ala, una estructura esquelética puede ser una caja de ala, y el bastidor 1204 puede ser una costilla del ala. Se puede colocar una cubierta en el bastidor 1204. La cubierta en el bastidor 1204 puede ser un revestimiento 1206 compuesto. El revestimiento 1206 compuesto puede incluir: una hoja continua, hojas separadas, o pueden ser hojas co-curadas o unidas que pueden cubrir la totalidad del bastidor 1204. Las hojas co-curadas pueden ser hojas que se juntan en una sola estructura durante el curado. Por lo tanto, el revestimiento 1206 compuesto puede cubrir el bastidor 1204 como una carcasa monolítica. El revestimiento 1206 compuesto puede estar conectado al bastidor 1204. El revestimiento 1206 compuesto puede estar unido al bastidor 1204.

La estructura 1202 puede denominarse una estructura de revestimiento compuesto. El bastidor 1204 puede tener una banda 1238. La banda 1238 puede tener una altura 1240.

La estructura 1202 puede ser un ala. Un ala puede ser parte de una aeronave. Sin limitación, el ala puede ser para una aeronave. Sin limitación, el bastidor 1204 puede ser parte de una caja de ala para un ala. Cuando la estructura 1202 es un ala, el revestimiento 1206 compuesto alrededor de un borde de ataque del ala puede ser impactada por un objeto. El objeto puede ser sin limitación: un objeto del suelo o un objeto en el aire. Sin limitación, el objeto del suelo puede ser una roca, una pieza de una maleta o un vehículo. Sin limitación, el objeto en el aire puede ser un pájaro o una piedra de granizo.

Un revestimiento 1206 compuesto puede, si se impacta, sufrir un daño que requiere reparación. Puede ser conveniente para tener un revestimiento sobre una estructura capaz de resistir una fuerza de impacto sin requerir reparación al revestimiento, tal como sin limitación 56.5 Nm (500 pulgadas-libra) del granizo. Puede ser conveniente para tener un revestimiento sobre una estructura capaz de resistir una fuerza de impacto sin requerir reparación en el revestimiento, tal como sin limitación 135.6 Nm (1200 pulgadas-libra) de una herramienta caída sobre el revestimiento.

Las fuerzas de impacto de un objeto particular pueden ser mayores si el objeto particular impacta el ala a la vez que el ala está en vuelo que si el ala no está en vuelo. Por lo tanto, el impacto al revestimiento 1206 compuesto puede dañar el revestimiento 1206 compuesto. El daño al revestimiento compuesto puede ser sin limitación: una muesca, una desunión o una grieta en o dentro del revestimiento compuesto, o una falla o ruptura del revestimiento compuesto. Por lo tanto, para reforzar contra el daño potencial del impacto al revestimiento 1206 compuesto en el bastidor 1204 de la estructura 1202, puede ser conveniente cubrir parte del bastidor 1204 con un material que pueda tener una mayor resistencia al daño por impacto que la resistencia al daño del revestimiento 1206 compuesto. En una realización ilustrativa, puede ser conveniente utilizar metal para cubrir el bastidor 1204, o como parte de la cubierta del revestimiento, para un borde de ataque de un ala.

En general, para cualquier material particular, un revestimiento más grueso puede proporcionar mayor resiliencia para absorber un impacto sin una falla estructural y/o una necesidad de reparación que un revestimiento más delgado del material particular. Sin embargo, para cualquier material en particular, aumentar el grosor del revestimiento aumentará su peso.

En aplicaciones de aeronaves, reducir el peso de cualquier componente beneficiará la eficiencia del combustible para la aeronave. Además, la reducción en el tamaño total de un ala puede reducir un componente de resistencia de perfil del ala. Por lo tanto, se puede desear un revestimiento más delgado sobre un revestimiento más grueso para mejorar el rendimiento y la eficiencia de la aeronave. Para un grosor dado, algunos materiales pueden proporcionar una mejor resistencia al impacto que otros materiales.

En general, para un revestimiento de un grosor dado, un revestimiento hecho con aluminio puede proporcionar una mejor resiliencia al impacto que un revestimiento compuesto. Sin limitación, un valor de dureza a la fractura para aluminio puede tener un valor de dureza a la fractura que es aproximadamente 8 veces el valor de dureza a la fractura de un compuesto reforzado con fibra. Por lo tanto, para una resistencia equivalente que toma en cuenta un módulo de Young relativamente igual, un revestimiento hecho con aluminio en comparación con un revestimiento hecho con un compuesto reforzado con fibra, el revestimiento hecho con aluminio puede ser 7 veces más fuerte que el revestimiento

hecho con compuesto reforzado con fibra. Por lo tanto, para una localización de una estructura que puede ser propensa a recibir un impacto, se puede favorecer un revestimiento de aluminio sobre un revestimiento compuesto. Sin embargo, como se indicó anteriormente, debido a la corrosión galvánica del aluminio en contacto con algunas fibras de compuesto, el revestimiento de aluminio puede no ser un componente deseado en una estructura con revestimiento de compuestos reforzados con fibra.

Para un revestimiento de un grosor dado, un revestimiento hecho con titanio puede proporcionar una mejor resiliencia al impacto que un revestimiento que incluye aluminio. Sin limitación, una aleación de titanio puede tener un módulo de Young que puede ser aproximadamente 1.6 veces mayor que el módulo de Young para aluminio o un compuesto. Sin limitación, una aleación de titanio puede tener una dureza a la fractura que puede ser aproximadamente el doble de la dureza a la fractura del aluminio o 20 veces la dureza a la fractura de un revestimiento hecho de un compuesto. Por lo tanto, para una resistencia equivalente que tome en cuenta el módulo de Young, el revestimiento hecho con titanio puede ser 1.4 veces más fuerte que el revestimiento hecho con aluminio o 10 veces más fuerte que el revestimiento hecho con compuestos.

Con referencia ahora a la Figura 12B, la Figura 12B es una realización ilustrativa que representa una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye un bastidor, un revestimiento compuesto, un revestimiento de metal y una placa de empalme que conecta el revestimiento de metal al revestimiento compuesto. La estructura 1242 puede incluir el bastidor 1244. Similar al bastidor 1204 anterior, sin limitación, el bastidor 1244 puede ser una sección de un soporte esquelético para la estructura 1242. Sin limitación, cuando la estructura 1242 puede ser un ala, la estructura esquelética puede ser una caja de ala, y el bastidor 1244 puede ser una costilla del ala. El bastidor 1244 puede estar cubierto por el primer laminado 1208 compuesto, el segundo laminado 1210 compuesto y el revestimiento 1212 de metal.

El primer extremo 1214 del revestimiento 1212 de metal puede conectarse al extremo 1218 del primer laminado 1208 compuesto, sin ninguna conexión directa, a través de la primera placa 1216 de empalme. Una distancia que separa el primer extremo 1214 y el extremo 1218 puede no mostrarse a escala en la Figura 12B.

El segundo extremo 1220 del revestimiento 1212 de metal puede conectarse al extremo 1224 del segundo laminado 1210 compuesto, sin ninguna conexión directa, a través de la segunda placa 1222 de empalme. Una distancia que separa el segundo extremo 1220 y el extremo 1224 puede no mostrarse a escala en la Figura 12B. Aunque la Figura 12B muestra el revestimiento 1212 de metal como una pila de hojas de metal, el revestimiento 1212 de metal puede ser una sola hoja de metal, tal como, sin limitación, una sola hoja de aleación de aluminio.

La estructura 1242 puede denominarse como una estructura de revestimiento de empalme. La estructura 1242 puede tener un perímetro que es sustancialmente igual en tamaño y forma al perímetro de la estructura 1202, de tal modo que, si la estructura 1202 y la estructura 1242 fueran alas de aeronave, estas podrían considerarse como que tienen la misma designación de perfil aerodinámico NACA.

El primer laminado 1208 compuesto y/o el segundo laminado 1210 compuesto pueden incluir una fibra de carbono. La fibra de carbono en el primer laminado 1208 compuesto y/o el segundo laminado 1210 compuesto puede incluir un material que puede causar corrosión galvánica del revestimiento 1212 de metal. Sin limitación, el material puede ser grafito. Cuando el revestimiento 1212 de metal es un metal que puede actuar como un ánodo cuando está en contacto con una fibra de carbono o grafito, tal como sin limitación aluminio o aleaciones de aluminio, luego para inhibir la corrosión galvánica del revestimiento 1212 de metal, el grafito puede separarse del contacto con el revestimiento 1212 de metal. Actualmente, la separación del revestimiento 1212 de metal de un componente compuesto se proporciona comúnmente mediante el uso de placas de empalme tal como la placa 1216 de empalme y la placa 1222 de empalme. Las placas de empalme se hacen comúnmente a partir de materiales que pueden no funcionar como un ánodo de una fibra de carbono o grafito, tal como sin limitación titanio o aleaciones de titanio. Por lo tanto, sin limitación, en la Figura 12B, la placa 1216 de empalme y la placa 1222 de empalme se pueden hacer que incluyan titanio o una aleación de titanio.

Comúnmente, el espacio ocupado por una placa de empalme puede requerir un desplazamiento adyacente hacia adentro de un perímetro de un bastidor de una estructura. Sin limitación, como se muestra en la realización ilustrativa de la Figura 12B, el lado 1226 superior del bastidor 1244 requiere un desplazamiento 1264 para acomodar la placa 1216 de empalme sin requerir un carenado y/o una extrusión de un perfil de estructura 1242 sobre la placa 1216 de empalme. Del mismo modo, el lado 1228 inferior del bastidor 1244 puede requerir un desplazamiento 1266 para acomodar la placa 1222 de empalme sin requerir un carenado y/o una extrusión de un perfil de estructura 1242 debajo de la placa 1222 de empalme. Sin limitación, cuando el bastidor 1244 puede ser una costilla de un ala, el lado 1226 superior puede ser una brida a lo largo de un lado superior de la costilla, y el lado 1228 inferior puede ser una brida a lo largo de un lado inferior de la costilla.

Como resultado, la altura 1248 de la banda 1246 del bastidor 1244 puede no ser tan grande como la altura 1240 de la banda 1238 del bastidor 1204 o tan grande como la altura 1256 de la banda 1254 del bastidor 1252. En consecuencia, para soportar la misma carga, la banda 1254 puede ser más delgada que la banda 1246. Por lo tanto, la banda 1254 puede tener menos peso que la banda 1246. La banda 1254 que tiene menos peso que la banda 1246 puede contribuir

a un mayor rendimiento y/o eficiencia de combustible para una aeronave que contiene el bastidor 1252 en comparación a la aeronave que contiene el bastidor 1244.

El primer laminado 1208 compuesto puede unirse al segundo laminado 1210 compuesto para formar una sola estructura, en un lado izquierdo de la estructura que no se muestra en la Figura 12B, o puede permanecer como dos hojas laminadas distintas. El primer laminado 1208 compuesto puede conectarse al lado 1226 superior del bastidor 1244. El segundo laminado 1210 compuesto puede conectarse al lado 1228 inferior del bastidor 1244. Sin limitación, cuando el bastidor 1244 puede ser una costilla de un ala, el lado 1226 superior puede ser una brida a lo largo de un lado superior de la costilla, y el lado 1228 inferior puede ser una brida a lo largo de un lado inferior de la costilla.

Cada placa de empalme puede requerir un hardware adicional, tal como, sin limitación, sujetadores 1230, para conectar cada placa de empalme al revestimiento 1212 de metal, al bastidor 1244 y/o a los laminados compuestos. Las placas de empalme y el hardware de sujeción asociados con las placas de empalme pueden agregar peso adicional, tiempo de fabricación y mano de obra, y el coste para construir una estructura con revestimiento 1212 de metal y una hoja laminada de compuesto, en comparación con la construcción de una estructura con un revestimiento sin placas de empalme.

La estructura 1242 puede tener una banda 1246 con una altura 1248. El bastidor 1244 puede ser similar al bastidor 1204, excepto que el bastidor 1244 puede necesitar ser alterado para acomodar la placa 1216 de empalme y/o la placa 1222 de empalme. Por lo tanto, cuando un perímetro de la estructura 1242 puede ser sustancialmente igual al perímetro de la estructura 1202, el uso de la placa 1216 de empalme y/o la placa 1222 de empalme puede requerir que la altura 1248 sea menor que la altura 1240. En consecuencia, la banda 1246 puede necesitar ser más gruesa que la banda 1238.

Con referencia ahora a la Figura 12C, la Figura 12C es una realización ilustrativa que representa una vista lateral en sección transversal de una estructura que incluye un revestimiento compuesto conectado a un revestimiento de metal. La Figura 12C representa la estructura 1250 que tiene el bastidor 1252 cubierto por el primer laminado 1208 compuesto, el segundo laminado 1210 compuesto y el revestimiento 1212 de metal. Similar al bastidor 1204 anterior, sin limitación, el bastidor 1252 puede ser una sección de un soporte esquelético para la estructura 1250. Sin limitación, cuando la estructura 1250 puede ser un ala, la estructura esquelética puede ser una caja de ala, y el bastidor 1252 puede ser una costilla del ala. El primer laminado 1208 compuesto puede considerarse una primera sección de un revestimiento en el bastidor 1252. El segundo laminado 1210 compuesto puede considerarse una segunda sección de un revestimiento en el bastidor 1252.

El revestimiento 1212 de metal puede conectarse al primer laminado 1208 compuesto y al segundo laminado 1210 compuesto a través de juntas de dedos unidas respectivas como se muestra con mayor detalle en la Figura 12D. Sin limitación, el revestimiento 1212 de metal puede estar curvado como se muestra en la Figura 12C. Sin limitación, el revestimiento 1212 de metal puede formar un borde de ataque de una estructura, tal como, sin limitación, un ala para una aeronave. Alternativamente, el revestimiento 1212 de metal puede tener alguna otra forma, tal como, sin limitación, en ángulo o recta.

Un primer extremo 1268 de revestimiento 1212 de metal puede conectarse directamente al primer laminado 1208 compuesto sin utilizar ninguna placa 1216 de empalme. Un segundo extremo 1270 de revestimiento 1212 de metal puede conectarse directamente al segundo laminado 1210 compuesto sin ninguna placa 1222 de empalme. Por lo tanto, el revestimiento 1212 de metal puede conectarse directamente a los laminados compuestos y formar una carcasa monolítica alrededor del bastidor 1252.

El revestimiento 1212 de metal puede estar hecho a partir de un metal que no actúa como un ánodo para un material en los laminados compuestos. Por lo tanto, sin limitación cuando el revestimiento 1212 de metal puede incluir titanio o una aleación de titanio, el revestimiento 1212 de metal puede conectarse directamente al primer laminado 1208 compuesto y al segundo laminado 1210 compuesto sin soportar la corrosión galvánica del revestimiento 1212 de metal.

El revestimiento 1212 de metal se puede unir al primer laminado 1208 compuesto y/o al segundo laminado 1210 compuesto a través de un adhesivo. De este modo, se puede formar un ala con un borde de ataque que incluye titanio o una aleación de titanio que se puede conectar directamente a un revestimiento compuesto en un lado superior y/o un revestimiento compuesto en un lado inferior del ala sin utilizar una placa de empalme para conectar el borde de ataque a los respectivos revestimientos compuestos. Por lo tanto, la Figura 12C muestra que el revestimiento 1212 de metal puede conectarse al primer laminado 1208 compuesto y/o al segundo laminado 1210 compuesto sin utilizar ninguna placa de empalme, y sin ninguno de los sujetadores 1230 que conecta el revestimiento 1212 de metal al primer laminado 1208 compuesto y/o al segundo laminado 1210 compuesto.

El revestimiento 1212 de metal puede incluir una hoja 1258 interior, una hoja 1260 intermedia y una hoja 1262 exterior. Cada hoja de metal puede unirse a cada hoja de metal adyacente. Las hojas pueden estar unidas mediante una capa de adhesivo. Por lo tanto, puede haber una primera capa de adhesivo entre la hoja 1258 interior y la hoja 1260 intermedia, y una segunda capa de adhesivo entre la hoja 1260 intermedia y la hoja 1262 exterior. En algunas

realizaciones ilustrativas, (como se muestra para la Figura 12D a continuación) se pueden utilizar menos o mas que tres hojas de metal.

La estructura 1250 puede denominarse como una estructura con revestimiento Ti-Chapa. La estructura 1250 puede tener un perímetro que es sustancialmente igual en tamaño y forma al perímetro de la estructura 1202 y/o al perímetro de la estructura 1242, de tal modo que si la estructura 1250, la estructura 1202 y la estructura 1242 fueran alas de aeronave, cada una de ellas puede considerarse como que tiene la misma designación de perfil aerodinámico NACA.

El bastidor 1252 puede tener una banda 1254. La banda 1254 puede tener una altura 1256. Debido a que la estructura de Ti-Chapa que se muestra en la Figura 12C puede no necesitar ninguna placa de empalme, la altura 1256 puede ser mayor que la altura 1248. Por lo tanto, la banda 1254 puede ofrecer mayor resistencia y capacidad de carga a la estructura 1250 en comparación a la estructura 1242 por virtud de la mayor altura 1256 de la banda 1254 en comparación a la banda 1246.

Alternativamente, si no fuera necesaria una mayor resistencia o capacidad de carga de la banda 1254 en comparación a la banda 1246, entonces la altura adicional de la banda 1254, en comparación a la banda 1246, puede permitir que la banda 1254 sea más delgada que la banda 1246. Por lo tanto, el bastidor 1252 puede ser más ligero que el bastidor 1244 y reduce el peso de la estructura 1250 en comparación a la estructura 1244. Cuando las estructuras 1242 y 1250 son alas, el peso reducido de la banda 1254, en comparación a la banda 1246, puede proporcionar una mayor eficiencia de combustible para la estructura 1250 en comparación a la estructura 1242. Por lo tanto, un ala con revestimiento Ti-Chapa, como se muestra sin limitación mediante la Figura 12C, puede proporcionar un peso reducido y un incremento de la eficiencia de combustible, o una mayor resistencia y capacidad de carga, que un ala con revestimiento de empalme, como se muestra sin limitación mediante la Figura 12B.

Además, en la compresión después de la prueba de impacto realizada en hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra sin limitación en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, un lado de laminado compuesto y un lado de apilamiento de metal de la unión toleraron 135.6 Nm (1200 pulgadas-libra) de impacto sin causar ninguna desunión o falla del material en la junta o componentes adyacentes. Por lo tanto, las hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra sin limitación en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, proporcionan una alta resiliencia operativa que puede proporcionar un borde tolerante al impacto para una estructura que puede ser más dura y más resiliente que una estructura con una forma y tamaño sustancialmente iguales que está completamente construida con un revestimiento compuesto, tal como sin limitación la estructura 1202 representada mediante la Figura 12A.

Además, las hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra sin limitación en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, pueden proporcionar una alta resiliencia operativa que puede proporcionar un borde tolerante al impacto para una estructura que puede ser más delgada y/o más liviana que una estructura con una forma y tamaño sustancialmente iguales que se puede construir utilizando una placa de empalme para separar los componentes del revestimiento de metal y compuesto para impedir la corrosión galvánica en los componentes de metal, tal como, sin limitación, la estructura 1242 representada mediante la Figura 12B. Por lo tanto, el uso de hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra sin limitación en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, puede permitir la construcción de un ala que puede proporcionar un ala con un borde de ataque que es más resiliente que un borde de ataque de un ala alternativo, tal como sin limitación un ala con un borde de ataque compuesto (tal como, sin limitación, la Figura 12A), y/o más ligero y/o más fuerte que un ala con una construcción de placa de empalme que aísla el metal de los componentes compuestos (tal como, sin limitación, la Figura 12B).

Además, la construcción de una estructura, tal como, sin limitación, la estructura 1250 con una carcasa monolítica que comprende el revestimiento 1212 de metal conectado al primer laminado 1208 compuesto y al segundo laminado 1210 compuesto puede no solo eliminar la necesidad de utilizar cualquier placa de empalme, cualquier sujetador para las placas de empalme y/o cualquier otro hardware asociado con la conexión del revestimiento 1212 de metal, sino también puede simplificar el ensamblaje de fijar un revestimiento a un bastidor y eliminar la necesidad de todas las herramientas asociadas con la fijación de las placas de empalme. La construcción monolítica del revestimiento 1212 de metal al primer laminado 1208 compuesto y al segundo bloqueo 1210 laminado compuesto permite asentar un solo componente monolítico sobre el bastidor 1252 y fijar el único componente monolítico sin requerir las herramientas, la alineación y los ajustes requeridos para ensamblar y sellar diversos revestimientos y componentes de empalme entre sí, utilizando sin limitación las juntas de solapa. Por lo tanto, la construcción monolítica del revestimiento 1212 de metal conectado al primer laminado 1208 compuesto y al segundo laminado 1210 compuesto puede requerir menos herramientas para fijarse al bastidor 1252 y proporcionar un revestimiento más liso y liviano en la estructura 1250 que la que puede requerirse o producirse mediante la estructura de revestimiento de empalme multi-componente tal como, sin limitación, la estructura 1242 descrita para la Figura 12B. Con referencia ahora a la Figura 12D, la Figura 12D es una realización ilustrativa que representa una vista ampliada de una conexión del revestimiento de metal al revestimiento compuesto en la estructura representada en la Figura 12C. Más específicamente, la Figura 12D muestra una vista ampliada de una realización ilustrada de la conexión entre el revestimiento 1212 de metal y el segundo laminado 1210 compuesto. La conexión entre el revestimiento 1212 de metal y el segundo laminado 1210 compuesto puede ser una unión. La unión puede estar formada por un adhesivo. La conexión que se muestra en la Figura 12D

entre el revestimiento 1212 de metal y el segundo laminado 1210 compuesto puede ser representativa de la conexión entre el revestimiento 1212 de metal y el primer laminado 1208 compuesto. La transición 1236 puede ser un ejemplo de la sección 25 de transición como se muestra en la Figura 4.

El revestimiento 1212 de metal puede estar hecho a partir de la pila 1232 de las hojas de metal, tal como la hoja 1234 de metal. Sin limitación, cada hoja 1234 de metal en la pila 1232 puede ser idéntica a cualquier otra hoja 1234 de metal en la pila 1232. Sin limitación, cada hoja 1234 de metal en la pila 1232 puede compartir características comunes con cada una otra hoja 1234 de metal, tal como, sin limitación, un grosor o una composición. Sin limitación, cada hoja 1234 de metal puede ser única de otra hoja 1234 de metal en la pila 1232.

Sin limitación, una cantidad de hoja 1234 de metal incluida en la pila 1232 puede ser tres. Sin limitación, una cantidad de hoja 1234 de metal incluida en la hoja 1234 de metal puede ser distinta de tres. Cada hoja 1234 de metal en la pila 1232 puede unirse a cada hoja 1234 de metal adyacente.

Sin limitación, el segundo laminado 1210 compuesto puede incluir cuatro chapas de compuesto para cada hoja 1234 de metal en la pila 1232. Por lo tanto, la pila 1232 puede unirse directamente a un revestimiento compuesto sin utilizar una placa de empalme. Cada hoja 1234 de metal en la pila 1232 puede estar entrelazada con chapas de compuesto dentro del segundo laminado 1210 compuesto en una junta de solapa de dedo de tal manera que cada extremo respectivo de cada hoja 1234 de metal colinde con cuatro chapas de compuesto en el segundo laminado 1210 compuesto.

La unión de diversas hojas 1234 de metal entre sí también puede proporcionar múltiples trayectorias para transportar una carga. Unir múltiples hojas 1234 de metal entre sí puede reducir un valor para el módulo de Young, en comparación a una placa de metal del mismo grosor que la pila 1232 hecha de múltiples hojas 1234 de metal unidas entre sí, e impedir un defecto crítico para el revestimiento 1212 de metal de la sección que cubre la estructura 1202. Unir diversas hojas 1234 de metal entre sí para formar un grosor dado, puede aislar cualquier defecto dentro de una hoja 1234 de metal particular a partir de la propagación más allí del grosor de esa hoja 1234 de metal particular, y por lo tanto ayudar a aislar el defecto y/o proporcionar alivio de tensión para la pila 1232 en comparación a una sola placa de metal del mismo grosor que la pila 1232.

Del mismo modo, el entrelazado de los extremos escalonados de las hojas de titanio en una junta de dedo con capas de chapas de compuesto, y en lindero con un extremo de cada hoja 1234 de metal con capas de chapas de compuesto, como se muestra en la Figura 12C y la Figura 12D, también puede reducir el módulo de Young para la junta de chapa de titanio-material compuesto en comparación con el módulo de Young para la propia pila 1232.

En las pruebas, se formó una sección 1236 de transición de unión de chapas de titanio-material compuesto con una pila de nueve hojas de titanio de 0.635 mm (0.025 pulgadas) de grosor, unidas entre sí con capas adhesivas de 0.127 mm (0.005 pulgadas) entrelazadas con chapas de compuesto para formar una junta de dedo, y un extremo de cada hoja 1234 de metal en lindero mediante 4 chapas de compuesto puede tener un punto de deformación bajo tensión de tracción que puede ser 4.92% mayor que un punto de deformación bajo tensión de tracción para la pila 1232 de hojas de titanio. Por lo tanto, la junta de unión representada mediante la Figura 12D puede tener un nivel de tensión en el punto de fractura que es mayor que un nivel de tensión en el punto de fractura de la propia pila 1232. Por lo tanto, si una carga aumentara continuamente en la pila 1232, la sección 1236 de transición y en el primer laminado 1208 compuesto y/o el segundo laminado 1210 compuesto, puede producirse una falla estructural en la pila 1232 antes de la sección 1236 de transición de la junta de unión de chapa de titanio-material compuesto representada mediante la Figura 12D que puede experimentar una falla estructural. Por lo tanto, una junta de unión, sin utilizar una placa de empalme, como se representa en la Figura 12D y la Figura 12C puede formar una junta más fuerte, una que puede soportar una carga mayor antes de una falla estructural, que una junta formada utilizando una placa de empalme como se muestra en la Figura 12B. Una junta de unión, sin utilizar una placa de empalme, como se representa en la Figura 12D y la Figura 12C puede ser una junta más delgada que una construida utilizando una placa de empalme como se muestra en la Figura 12C.

Al unir el revestimiento 1212 de metal al primer laminado 1208 compuesto y/o al segundo laminado 1210 compuesto utilizando la junta de unión, formada entre el revestimiento 1212 de metal hecho de hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, puede formar una junta más fuerte entre el revestimiento 1212 de metal y el primer laminado 1208 compuesto y/o el segundo laminado 1210 compuesto que puede formarse utilizando placas de empalme como se ilustra en la Figura 12B. Al unir el revestimiento 1212 de metal al primer laminado 1208 compuesto y/o al segundo laminado 1210 compuesto utilizando la junta de unión, formada entre el revestimiento 1212 de metal hecho de hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, puede formar una junta más delgada que puede formarse utilizando almohadillas de compuesto que pueden, sin limitación, requerirse para unir secciones de compuesto, o para reforzar una capacidad de carga para una sección de un revestimiento compuesto, tal como sin limitación el revestimiento 1206 compuesto en la Figura 12A, o el primer laminado 1208 compuesto y/o el segundo laminado 1210 compuesto como se muestra en la Figura 12B.

En las pruebas, se formó una sección 1236 de transición de unión de chapas de titanio-material compuesto con una pila de nueve hojas de titanio de 0.635 mm (0.025 pulgadas) de grosor, unidas entre sí con capas de adhesivo de 0.127 mm (0.005 pulgadas) entrelazadas con chapas de compuesto para formar una junta de dedo y un extremo de cada hoja 1234 de metal en lindero con 4 chapas de compuesto que pueden tener un punto de deformación bajo tensión de tracción que puede ser 7.3% mayor que un punto de deformación bajo tensión de tracción para una sola placa de titanio que puede estrecharse y unirse con un empalme de chapas de compuesto reforzadas con fibra de carbono. Por lo tanto, la formación de la junta de dedo entrelazada, sin limitación como se muestra en la Figura 12D, puede proporcionar una junta más fuerte que una junta de unión de materiales similares, pero utilizando una placa de metal que se puede estrechar y unir con chapas de compuesto en una configuración de una junta de empalme.

La pila 1232, que utiliza una configuración de junta de dedo entrelazada con una capa de adhesivo entre cada hoja 1234 de metal y cada hoja 1234 de metal en lindero con cuatro chapas de compuesto, puede tener: un mayor número de superficies de unión, más trayectorias de carga, una longitud de junta más corta, un coeficiente más bajo de tensiones inducidas por la expansión térmica, un módulo más alto, ser más fuerte, tener mayor durabilidad y ser más fácil de fabricar, que una junta de unión que utiliza materiales similares, excepto que el metal es una sola placa en lugar de la pila 1232 de hojas de metal.

El mecanizado y la formación de la pila 1232 utilizando capas unidas de múltiples hojas 1234 de metal entrelazadas con y en lindero con chapas de compuesto, como se muestra sin limitación en la Figura 12C, la Figura 12D, puede superar los problemas de deformación cuando se intenta formar una junta de metal de compuesto con una sola placa de metal. El mecanizado y la formación de la pila 1232 utilizando capas unidas de diversas hojas 1234 de metal entrelazadas con y en lindero con chapas de compuesto pueden superar los problemas de tensiones residuales en la junta y la deformación durante el curado cuando se intenta formar una junta de metal de compuesto con una sola placa de metal. Sin limitación, cuando la pila 1232 puede incluir una cantidad de nueve hojas 1234 de metal hechas de titanio, utilizando capas unidas de múltiples hojas 1234 de metal entrelazadas con y en lindero con chapas de compuesto, como se muestra en la Figura 12C, la Figura 12D, en lugar de formar una junta de unión utilizando una sola placa de titanio cónica unida en chapas de compuesto de empalme, entonces puede haber: 10 superficies de unión en lugar de 2 superficies de unión, 9 trayectorias de carga en la pila 1232 en lugar de 1 trayectoria de carga en la única placa de titanio, una longitud de la junta o sección 1236 de transición puede reducirse a la mitad, el coeficiente de tensiones inducidas por expansión térmica en la junta puede reducirse a la mitad, la resistencia de tracción puede aumentar en un 4.58% y la durabilidad puede aumentarse debido a la redistribución de la carga entre hojas de metal y como mucho hasta un 6% de alargamiento de la junta, después de que se alcanza el punto de deformación, antes de la falla de la junta de dedo entrelazada.

Algunas estructuras pueden experimentar cambios en las temperaturas durante la operación. Sin limitación en una realización ilustrativa, un componente de aeronave, tal como sin limitación un revestimiento en una aeronave, puede experimentar cambios de temperatura en un rango de -54°C (-65°F) a 71°C (160°F). Los cambios en la temperatura pueden inducir tensiones en el componente que pueden ser causadas por la expansión térmica del componente. Los ciclos de expansión térmica, tal como, sin limitación, experimenta una aeronave a lo largo de un vuelo, pueden aumentar la fatiga estructural del componente. Para gestionar las tensiones térmicas en el componente, puede ser necesario aumentar el grosor del componente. Para gestionar las tensiones térmicas, puede ser necesario un material de transición para proporcionar un coeficiente de transición de transición térmica entre otros dos materiales con coeficientes respectivos de expansión térmica que pueden no ser compatibles entre sí. Un coeficiente de expansión térmica para el aluminio puede no ser compatible con un coeficiente de expansión térmica para un laminado compuesto. Por lo tanto, en una realización ilustrativa, la placa 1216 de empalme, como se muestra en la Figura 12B, puede utilizarse para proporcionar una transición del coeficiente de transición de expansión térmica entre el revestimiento 1212 de metal si el revestimiento 1212 de metal puede incluir aluminio cuando el primer laminado 1208 compuesto puede incluir una chapa reforzada con fibra de carbono.

Con el fin de minimizar el grosor necesario de un componente, y por lo tanto minimizar el peso de la estructura, puede preferirse un material con un coeficiente de expansión térmica favorable para su uso en el componente. Un coeficiente de expansión térmica favorable puede ser un coeficiente de expansión térmica con un valor inferior, o puede ser un valor que sea favorablemente compatible con un coeficiente de expansión térmica de un material adyacente y/o en lindero.

Un coeficiente favorable de expansión térmica también puede reducir la fatiga por tensión térmica en el componente. Por lo tanto, unir materiales, de una manera o utilizando material que reduzca el coeficiente de expansión térmica de una junta que combina componentes, puede reducir un peso y mejorar la vida estructural de cada componente respectivo y/o de la estructura formada por los componentes unidos. En una realización ilustrativa, una junta de dedo entrelazada de chapa de titanio-material compuesto como se muestra para la sección 1236 de transición en la Figura 12D, puede tener un coeficiente favorable de expansión térmica que reduce tanto el peso como las tensiones de fatiga en la junta en comparación a la junta que se muestra en la Figura 12B utilizando una placa de empalme.

La reducción del coeficiente de tensiones inducidas por la expansión térmica en la junta a la mitad puede permitir que la junta de unión experimente el doble de calentamiento antes de la desunión en comparación con una junta de unión que utiliza una sola placa de metal cónica. Por lo tanto, una junta de unión, como se representa sin limitación en la

Figura 12C y la Figura 12D, pueden soportar el doble de calor antes de la desunión en comparación a una junta formada por una hoja de metal cónica unida a un laminado compuesto de empalme.

Además, cada hoja 1234 de metal puede tener una relación grosor a longitud que permita que la hoja 1234 de metal funcione como una guía de onda para pruebas no destructivas. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas no destructivas unilaterales. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas ultrasónicas. Debido a que la detección de defectos ultrasónicos puede no ser capaz de detectar un defecto con un grosor menor que la mitad de la longitud de onda ultrasónica, el grosor de cada hoja 1234 de metal puede afectar la capacidad de la hoja 1234 de metal para funcionar como una guía de onda. Cuando el grosor de la hoja 1234 de metal puede ser menor que una longitud de onda, se puede requerir una prueba guiada de onda Lamb de tal modo que la onda Lamb llene toda la sección transversal de la hoja 1234 de metal.

A medida que disminuye el ancho de un material, para detectar inconsistencias dentro del ancho del material, una longitud de onda de prueba ultrasónica puede necesitar disminuir proporcionalmente. Para acomodar la longitud de onda más pequeña requerida para detectar una inconsistencia dentro del material con una capa más delgada que aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas), una onda guiada viaja dentro del material con una capa más delgada que aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas), tal como, sin limitación, capas tipo lámina de metal, que podrían necesitar para ser transmitidas a una frecuencia más alta que para un material de una capa de aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas) o más.

La atenuación de una señal en una guía de onda es en general proporcional al cuadrado de una frecuencia de la onda (y también una función de las propiedades de atenuación del material). Por lo tanto, intentar transmitir ondas ultrasónicas en hojas de material más delgadas requiere frecuencias más altas y aumenta la atenuación de la señal. Por lo tanto, con un grosor más delgado, el incremento de la atenuación de la señal resulta en longitudes reducidas del material que la onda puede utilizar efectivamente para detectar una inconsistencia en su interior.

Cuando se utilizan capas de lámina de metal de menos de aproximadamente 0.635 mm (0,025 pulgadas), la distancia efectiva de las pruebas ultrasónicas puede caer hasta 5 mm, lo cual se vuelve poco práctico para las pruebas no destructivas de los componentes del ala.

A la vez que el incremento de la energía de las longitudes de onda transmitidas puede superar cierta atenuación y aumentar un rango de prueba efectivo para ondas ultrasónicas más allí de 5 mm. Una frecuencia de trabajo práctica para ondas guiadas puede ser de 150 kHz.

Un voltaje requerido para la detección de una inconsistencia en un material por un sensor rectangular, donde el sensor no tiene efecto sobre la estructura que se está probando, puede derivarse a partir de:

$$v = \frac{d_{31}E_p h_p \iint(\epsilon_x+\epsilon_y)d_S}{ab(e_{33}(1-v_p)-2d^2{}_{31}E_p)} \qquad (1)$$

donde a, b y h actúan como la longitud, el ancho y el grosor para el sensor, d31 y e33 representan las constantes piezoeléctricas (en m V-1) y la permisividad dieléctrica con tensión a cero y Ep y vp denotan el módulo de Young piezocerámico y la relación de Poisson respectivamente, y ϵx y ϵy representan deformaciones de superficie en las direcciones x y y.

Por lo tanto, los requisitos de energía de las pruebas de ondas ultrasónicas pueden ser inversamente proporcionales al cuadrado de la magnitud del cambio de grosor en el material y, por lo tanto, puede ser poco práctico y/o demasiado engorroso financieramente para la mayoría de los entornos operativos poder realizar pruebas ultrasónicas cuando el grosor de una hoja cae por debajo de 0.635 mm (0.025 pulgadas). Por lo tanto, las pruebas indican que para longitudes de material que se examinan por inconsistencias con ondas ultrasónicas, en un ala típica de una aeronave, los materiales de grosor menor a aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas) no soportan la inspección o monitorización de ondas guiadas. Por lo tanto, los espesores de capa típicos de las hojas de metal de tipo lámina, los cuales pueden ser de un orden de magnitud menor, simplemente no son funcionales como guía de onda para pruebas no destructivas, tales como, sin limitación, ondas ultrasónicas.

Aún más, las hojas de titanio unidas en lindero con chapas de laminado compuesto y entrelazadas en una junta de dedo, como se ilustra sin limitación en la Figura 12C y con mayor detalle en la Figura 12D, que elimina la necesidad para cualquier placa de empalme, pueden permitir una reducción general en las partes, tal como sin limitación, sujetadores, utilizados en la construcción de la estructura. La eliminación de partes puede simplificar la junta entre las hojas de titanio unidas y las chapas de laminado compuesto en lindero entrelazadas en una junta de dedo, y permiten un diseño y construcción monolíticos de la estructura. La construcción monolítica puede reducir el peso, el coste y el tiempo de producción y/o la complejidad en comparación a una estructura que puede formarse conectando componentes de metal a componentes compuestos a través de una placa de empalme, sin limitación, como se muestra en la Figura 12B. El diseño y la construcción monolíticos pueden proporcionar una alineación de carga más eficiente a lo largo de la estructura 1250 que puede estar disponible a partir de una construcción en empalme, tal como sin limitación la Figura12B.

Con referencia ahora a la Figura 13A y la Figura 13B, la Figura 13A es una vista lateral en sección transversal de una realización ilustrada que representa una estructura similar a la estructura representada en la Figura 12C, pero con una tira conductiva en una pila de hojas de metal. La Figura 13B es una vista lateral en sección transversal de una realización ilustrada que representa una estructura similar a la estructura representada en la Figura 12C, pero con un conducto de calefacción integrado. Las realizaciones ilustradas en la Figura 13A y la Figura 13B pueden facilitar cada uno un proceso de descongelación y/o anticongelante de una estructura.

Más específicamente, la estructura 1302 puede incluir el bastidor 1304 cubierto por un revestimiento que puede incorporar una tira 1306 conductiva, un primer laminado 1308 compuesto, un segundo laminado 1310 compuesto y una pila 1312. Sin limitación, el bastidor 1304 puede ser una sección de un soporte esquelético para la estructura 1302. Sin limitación, cuando la estructura 1302 puede ser un ala, la estructura esquelética puede ser una caja de ala, y el bastidor 1304 puede ser una costilla del ala. La pila 1312 puede incluir un número de hojas de metal. Cada hoja 1314 de metal puede estar unida a cada hoja 1314 de metal adyacente por una capa de adhesivo respectiva. Aunque dos hojas de metal, la hoja 1314 de metal externa y la hoja 1318 de metal interna, se muestran en la Figura 13A y la Figura 13B para simplificar la ilustración, la pila 1312 puede incluir diferentes números de hojas. La pila 1312 sin limitación puede incluir nueve o más hojas de metal como se muestra anteriormente en la Figura 12D. La pila 1312 puede incorporar una tira 1306 conductiva. Al menos una hoja de metal puede incorporar una tira 1306 conductiva.

La tira 1306 conductiva está configurada para funcionar como un elemento de calentamiento sin conducto para la estructura 1302. Sin limitación, un elemento de calentamiento sin conducto puede ser un elemento que puede ser calentado por otro que proporcione aire calentado a través de un conducto. La sección conductiva puede configurarse para recibir energía electromagnética. La sección conductiva puede configurarse para generar una temperatura superficial en la hoja 1314 de metal externa que puede ser suficiente para impedir la adhesión de hielo en la hoja 1314 de metal externa.

Sin limitación, la Figura 13A muestra la tira 1306 conductiva incorporada en la hoja 1314 de metal externa. La hoja 1314 de metal externa puede estar expuesta a la humedad. La hoja 1314 de metal externa puede estar en contacto con aire frío. La tira 1306 conductiva puede configurarse para calentar una superficie externa de la pila 1312. La tira 1306 conductiva puede configurarse para calentar la pila 1312. La tira 1306 conductiva puede generar suficiente calor para impedir que se acumule hielo en la pila 1312 y/o derretir cualquier hielo que pueda acumularse en la pila 1312. Por lo tanto, la tira 1306 conductiva puede facilitar el funcionamiento de la pila 1312 como parte de un elemento de calefacción sin conducto para un proceso anticongelante y/o descongelante para la estructura 1302.

Aunque la tira 1306 conductiva se muestra en la Figura 13A para estar en la hoja 1314 de metal externa, la tira 1306 conductiva puede ubicarse en cualquier parte de cualquier hoja de metal que pueda transferir calor para proporcionar capacidad anticongelante y/o descongelante a la hoja 1314 de metal externa para la pila 1312. La tira 1306 conductiva no puede estar integrada en alguna hoja de metal en la pila 1312, pero puede configurarse como una tira adicional, que puede conectarse a cualquier hoja de metal en la pila 1312 de una manera que pueda transferir calor a la hoja 1314 de metal externa y proporcionar capacidad anticongelante y/o descongelante para la pila 1312. La tira 1306 conductiva puede ubicarse entre cualquiera de las hojas de metal en la pila 1312 que pueda transferir calor a la hoja 1314 de metal externa y proporcionar capacidad anticongelante y/o descongelante para la pila 1312.

Sin limitación, la pila 1312 puede ser parte de un ala. Sin limitación, la pila 1312 puede ser parte de un borde de ataque de un ala. Alternativamente, sin limitación, la pila 1312 puede ser una placa de superficie para una fuente de aire estática a un sistema de datos de aire para una aeronave, de tal modo que la placa de superficie se pueda conectar a un revestimiento compuesto adyacente en una estructura de aeronave, tal como, sin limitación, un fuselaje o un empenaje. Con referencia ahora a la Figura 13B, la Figura 13B es una vista en sección transversal lateral de una realización ilustrada que representa una estructura similar a la estructura representada en la Figura 12C, pero con un conducto de calefacción integrado. El conducto 1316 puede estar formado entre la hoja 1318 de metal interna de la pila 1312 y la hoja 1320 interior. Cuando el conducto 1316 se agrega a la estructura 1302, una sección delantera del bastidor 1304 puede reformarse para acomodar la hoja 1320 interior.

La hoja 1320 interior puede ser del mismo material que la hoja 1318 de metal interna, y puede formarse para unirse a la hoja 1318 de metal interna de tal manera que la hoja 1318 de metal interna se una al primer laminado 1308 compuesto y/o al segundo laminado 1310 compuesto como parte de una junta de dedo entrelazada entre la pila 1312 y el primer laminado 1308 compuesto y/o el segundo laminado 1310 compuesto como se muestra anteriormente para la Figura 12C. Por lo tanto, al igual que la hoja 1318 de metal interna, la hoja 1320 interior puede estar formada de un material que no reacciona galvánicamente con el primer laminado 1308 compuesto y/o el segundo laminado 1310 compuesto.

Alternativamente, la hoja 1320 interior puede conectarse a la hoja 1318 de metal interna en una ubicación en la hoja 1318 de metal interna antes de que la hoja 1318 de metal interna entre en contacto con el primer laminado 1308 compuesto y/o el segundo laminado 1310 compuesto. Por lo tanto, la hoja 1320 interior puede estar hecha a partir de cualquier material que pueda impedir una interacción corrosiva con la hoja 1318 de metal interna y pueda soportar el aire caliente recibido en el conducto 1316 que es suficiente para transferir calor a la hoja 1314 de metal externa y proporcionar capacidad anticongelante y/o descongelante para la pila 1312. Por lo tanto, la hoja 1320 interior puede adaptarse para: impedir una interacción galvánica con un laminado compuesto; recibir un flujo de aire y dirigir el aire

de tal manera que el calor del aire mantenga la hoja 1314 de metal externa a una temperatura suficiente para al menos una de: impedir la adhesión de hielo en la hoja 1314 de metal externa, y derretir el hielo formado en la hoja 1314 de metal externa.

Aunque no se muestra, la tira 1306 conductiva puede colocarse en la hoja 1318 de metal interna y proporcionar calor al aire presente en el conducto 1316. Por lo tanto, el aire recibido por el conducto 1316 puede no necesitar ser calentado antes de entrar en el conducto 1316. De manera similar, la tira 1306 conductiva puede ubicarse en la hoja 1320 interior. Así mismo, puede estar presente otro tipo de elemento calefactor en el conducto 1316 o conectado a la hoja 1320 interior para calentar aire en el conducto 1316 y proporcionar calor en el conducto 1316 que puede ser suficiente para transferir calor a la hoja 1314 de metal externa y proporcionar capacidad anticongelante y/o descongelante para la pila 1312.

Además, para una o ambas de la Figura 13A y/o la Figura 13B, cada miembro de la pila 1312, el cual puede incluir al menos una hoja 1314 de metal externa, una hoja 1318 de metal interna y/o una hoja 1320 interior, puede tener una relación de grosor a longitud que permite que cada miembro de la pila 1312 funcione como una guía de onda para pruebas no destructivas. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas no destructivas unilaterales. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas ultrasónicas. Debido a que la detección de defectos ultrasónicos puede no ser capaz de detectar un defecto con un grosor menor a la mitad de la longitud de onda ultrasónica, el grosor de cada miembro de la pila 1312 puede afectar la capacidad de cada miembro de la pila 1312 para funcionar como una guía de onda. Cuando el grosor de cada miembro de la pila 1312 puede ser menor que una longitud de onda, se puede requerir una prueba de onda Lamb de tal manera que la onda Lamb llene toda la sección transversal de cada miembro respectivo de la pila 1312.

Con referencia ahora a la Figura 14A y la Figura 14B, la Figura 14A es una vista lateral en sección transversal de una realización ilustrativa que representa una estructura similar a la estructura representada en la Figura 12C. La Figura 14B es una vista lateral en sección transversal de una realización ilustrativa de la estructura representada en la Figura 14A, pero difiere de la Figura 14A mediante la pila de hojas de metal que cambia su forma.

La Figura 14A representa la estructura 1402 con el bastidor 1404 cubierto con el primer laminado 1406 compuesto conectado al lado 1408 superior del bastidor 1404, el segundo laminado 1410 compuesto conectado al lado 1414 inferior del bastidor 1404 y la pila 1414 conectada tanto al primer laminado 1406 compuesto como al segundo laminado 1410 compuesto. La estructura 1402 puede ser una realización ilustrativa de la estructura 1202 como se muestra en la Figura 12C.

La estructura 1402 puede ser un ala. Sin limitación, el bastidor 1404 puede ser una sección de un soporte esquelético para la estructura 1402. Sin limitación, cuando la estructura 1402 puede ser un ala, la estructura esquelética puede ser una caja de ala, y el bastidor 1404 puede ser una costilla del ala. Sin limitación, cuando el bastidor 1404 puede ser una costilla de un ala, el lado 1408 superior puede ser una brida a lo largo de un lado superior de la costilla, y el lado 1414 inferior puede ser una brida a lo largo de un lado inferior de la costilla.

La pila 1414 puede ser un borde de ataque del ala. La pila 1414 puede ser hojas de metal unidas entre sí mediante una capa de adhesivo. Cada hoja 1416 de metal en la pila 1414 puede ser una aleación de titanio. Cada hoja 1416 de metal en la pila 1414 puede ser una aleación con forma de memoria.

La Figura 14B representa la estructura 1402 después de que una forma de la pila 1414 ha cambiado. Un evento activo puede hacer que la pila 1414 cambie de forma. La pila 1414 puede conectarse a una fuente eléctrica. Una corriente eléctrica puede activar la pila 1414 para cambiar de forma.

La pila 1414 puede conectarse a una fuente de calor. Un cambio de temperatura de una hoja de metal en la pila 1414 puede activar a que la pila 1414 cambie de forma. El evento activo que puede hacer que la pila 1414 cambie su forma puede ser, sin limitación, una corriente eléctrica o puede ser una aplicación de calor.

Además, para una o ambas de la Figura 14A y/o la Figura 14B, cada miembro de la pila 1414, el cual puede incluir alguna o todas las hojas 1416 de metal, puede tener una relación de grosor a longitud que permite que cada miembro de la pila 1414 funcione como una guía de onda para pruebas no destructivas. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas no destructivas unilaterales. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas ultrasónicas. Debido a que la detección de defectos ultrasónicos puede no ser capaz de detectar un defecto con un grosor menor que la mitad de la longitud de onda ultrasónica, el grosor de cada miembro de la pila 1414 puede afectar la capacidad de cada miembro de la pila 1414 para funcionar como una guía de onda. Cuando el grosor de cada miembro de la pila 1414 puede ser menor que una longitud de onda, se puede requerir una prueba de onda Lamb de tal manera que la onda Lamb llene toda la sección transversal de cada miembro respectivo de la pila 1414.

Con referencia ahora a la Figura 15, la Figura 15 es una vista lateral en sección transversal de un motor con una boquilla que contiene una aleación con forma de memoria conectada a una cubierta de sección de turbina de motor compuesto de acuerdo con una realización ilustrativa. Más específicamente, la boquilla 1500 puede tener un segmento 1502 que incluye una hoja 1504 de metal y una hoja 1506 de metal unida a la estructura 1508 de compuesto. La boquilla 1500 también puede tener un segmento 1510 que incluye una hoja 1512 de metal y una hoja 1514 de metal unida a la estructura 1516 de compuesto.

Cada hoja de metal puede ser una aleación con forma de memoria que puede cambiar una forma de la hoja de metal respectiva. Cada hoja de metal puede cambiar de forma en respuesta a una activación. Por lo tanto, el segmento 1502 puede cambiar de forma de tal modo que un extremo del segmento 1502 pueda moverse a las posiciones indicadas a lo largo del arco 1518, tal como sin limitación la posición 1524. De manera similar, el segmento 1510 puede cambiar de forma de tal modo que un extremo del segmento 1510 pueda moverse a las posiciones indicadas a lo largo del arco 1520, tal como sin limitación la posición 1526. Por lo tanto, la boquilla 1500 puede cambiar de forma para variar su forma y rendimiento a partir de una boquilla convergente a través de una boquilla divergente.

El segmento 1502 puede formar una pila si la hoja 1504 de metal y la hoja 1506 de metal están unidas entre sí por una capa de adhesivo. El segmento 1502 puede unirse a la estructura 1508 de compuesto de manera muy similar como se describe anteriormente para la unión de la pila 1232 como una junta de dedo entrelazada al segundo laminado 1210 compuesto en la Figura 12B.

La estructura 1508 de compuesto puede estar unida a la estructura 1516 de compuesto. La estructura 1508 de compuesto y la estructura 1516 de compuesto pueden ser diferentes secciones transversales de una sola estructura que está conectada al segmento 1504 y al segmento 1510 de la boquilla 1500.

Similar a la pila 1414 en la Figura 14B, un evento activo puede hacer que el segmento 1502 y/o el segmento 1510 cambien de forma. El segmento 1502 y/o el segmento 1510 pueden conectarse cada uno a una fuente eléctrica, y/o a fuentes eléctricas separadas, y/o conectarse bajo control separado a una sola fuente eléctrica. Una corriente eléctrica puede activar el segmento 1502 y/o el segmento 1510 para cambiar de forma.

El segmento 1502 y/o el segmento 1510 pueden conectarse cada uno a una fuente de calor, y/o a fuentes de calor separadas, y/o conectarse bajo control separado a una sola fuente de calor. Un cambio de temperatura puede activar el segmento 1502 y/o el segmento 1510 para cambiar de forma. El evento de activación que puede hacer que el segmento 1502 y/o el segmento 1510 cambien de forma puede ser, sin limitación, una corriente eléctrica o puede ser una aplicación de calor.

Además, para uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510, cada miembro de la pila 1414, el cual puede incluir al menos uno de la hoja 1504 de metal, la hoja 1506 de metal, la hoja 1512 de metal y/o la hoja 1514 de metal, puede tener una relación de grosor a longitud que permite que uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510 funcionen como una guía de onda para pruebas no destructivas. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas no destructivas unilaterales. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas ultrasónicas. Debido a que la detección de defectos ultrasónicos puede no ser capaz de detectar un defecto con un grosor menor que la mitad de la longitud de onda ultrasónica, el grosor de cada miembro de uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510 puede afectar la capacidad de cada miembro respectivo de uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510 para funcionar como una guía de onda. Cuando el grosor de cada miembro de uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510 puede ser menor que una longitud de onda, se puede requerir una prueba guiada de onda Lamb de tal manera que la onda Lamb llene toda la sección transversal de cada miembro respectivo de uno o ambos del segmento 1502 y/o el segmento 1510.

Con referencia ahora a la Figura 16, la Figura 16 es una vista en perspectiva de una realización ilustrativa que representa una junta de chapa de titanio-material compuesto que conecta una estructura de aluminio a una estructura compuesta. La estructura 1602 de aluminio puede conectarse a la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto mediante de sujetadores 1606 montados a través de aberturas 1608 en los soportes 1610. Una cantidad de sujetadores 1606 y aberturas 1608 puede variar de la cantidad que se muestra en la Figura 16.

La estructura 1616 de compuesto puede conectarse a la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto mediante sujetadores 1612 montados a través de las aberturas 1614 en los soportes 1610. Una cantidad de sujetadores 1612 y aberturas 1614 puede variar de la cantidad que se muestra en la Figura 16. Para claridad ilustrativa, los sujetadores 1606 y los sujetadores 1612 solo se muestran para la mayoría de soportes 1610 posteriores. Los soportes 1610 pueden estar hechos de un material que no reaccione galvánicamente con la estructura 1616 de compuesto. Sin limitación, los soportes 1610 pueden estar hechos de titanio, una aleación de titanio o un recubrimiento de titanio.

Sin limitación, los sujetadores 1606 pueden ser de un tipo diferente de los sujetadores 1612. Sin limitación, los sujetadores 1606 pueden ser de una composición diferente que los sujetadores 1612.

La junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto puede formar una sección de extremo de la estructura 1616 de compuesto. Sin limitación, la junta 1606 de chapa de titanio-material compuesto puede formarse de manera similar a la anterior descripción de la Figura 12D. La estructura 1616 de compuesto puede incluir una fibra de grafito. La estructura 1616 de compuesto puede formarse de tal modo que una sección de extremo de la estructura 1616 de compuesto incluya la pila 1618. La pila 1618 puede estar hecha de hojas de metal unidas entre sí por una capa de adhesivo entre cada hoja, tal como se describe anteriormente sin limitación para la Figura 12C o la Figura 12D. La pila 1618 puede ser hojas de titanio. Un extremo de cada hoja de metal respectiva en la pila 1618 que es opuesta, a partir del extremo de cada hoja de metal respectiva en la pila 1618 que está unida a la estructura 1616 de compuesto en la junta de dedo entrelazada, puede alinearse sin limitación entre sí para formar un solo borde 1620 de la pila 1618.

La estructura 1602 de aluminio puede estar alineada y conectada a la pila 1618 de tal manera que la estructura 1602 de aluminio no pueda estar en contacto con la estructura 1616 de compuesto, sino que contacte con la pila 1618 de la porción de la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto. Por lo tanto, se impide que la estructura 1602 de aluminio contacte con la estructura 1616 de compuesto mediante la pila 1618 que se une a la estructura 1616 de compuesto y se conecte a la estructura 1602 de aluminio.

Aunque no se muestra en la Figura 16, la estructura 1602 de aluminio puede conectarse directamente a la pila 1618 en la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto sin utilizar soportes 1610. La conexión de la estructura 1602 de aluminio a la pila 1618 sin utilizar soportes 1610 puede hacerse utilizando un dispositivo de conexión y un adhesivo, o mediante otro método de unión. El dispositivo de conexión puede ser similar a los sujetadores 1606. Cuando no se utilizan soportes 1610, no se necesitan los sujetadores 1612. Por lo tanto, la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto puede unir la estructura 1602 de aluminio a la estructura 1616 de compuesto sin una fibra de carbono en la estructura 1616 de compuesto que contacte con la estructura 1602 de aluminio. Por lo tanto, la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto puede unir la estructura 1602 de aluminio a la estructura 1616 de compuesto de una manera que impida la corrosión galvánica de la estructura 1602 de aluminio, y utiliza menos sujetadores que un método que utiliza una placa de empalme como se muestra en la Figura 12B.

De acuerdo con una realización ilustrativa, la estructura 1616 de compuesto en la Figura 16 puede representar una estructura de ala de compuesto y la estructura 1602 de aluminio puede representar una estructura de montaje de ala. Las pruebas iniciales indican que cuando se utiliza la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto (Junta Ti-Chapa) en comparación con los métodos anteriores de unir estructuras compuestas directamente a estructuras de titanio, esas estructuras de aluminio, tal como sin limitación la estructura 1602 de aluminio, pueden reemplazar un uso previamente requerido de titanio para la misma función que la estructura 1602 de aluminio. Por lo tanto, para una raíz de ala de aeronave de cuerpo ancho típica, conectar un ala de compuesto a una caja de ala, utilizando la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto puede reducir un peso de la junta de raíz del ala mediante 113,4-158,8Kg (250-350 libras) en comparación a unir el ala de compuesto directamente a una estructura de titanio. Además, el mecanizado de la estructura de titanio para recibir y sujetar directamente al ala de compuesto puede ser más difícil y costoso que el mecanizado requerido para que la estructura 1602 de aluminio reciba y se asegure a la pila 1618 como se muestra en la Figura 16.

Además, cuando se conecta una hoja de compuesto, tal como, sin limitación, la estructura 1616 de compuesto, directamente a una estructura de titanio que cumple la función de la estructura 1602 de aluminio, la hoja de compuesto típicamente requiere una almohadilla o un aumento en el grosor de la hoja de compuesto a lo largo de la longitud de la conexión de la hoja de compuesto a la estructura de titanio. Además, las conexiones de componentes a la pila 1618 proporcionan el beneficio de las características bien conocidas de carga, fatiga y/o falla para cada hoja de metal que se utiliza en la pila 1618. Por lo tanto, una selección de una composición de aleación para la pila 1618, así como un grosor de cada hoja de metal en la pila 1618 puede eliminar la práctica actual de agregar grosor a los componentes de la junta de compuesto para proporcionar un refuerzo contra las características de carga, fatiga y/o falla potencialmente impredecibles.

Además, la pila 1618 puede extenderse sin conectarse a otra estructura, tal como sin limitación la estructura 1602 de aluminio, formando así un borde de titanio para una estructura compuesta, tal como sin limitación la estructura 1616 de compuesto. Formar un borde de la estructura 1616 de compuesto con la pila 1618 de la composición de titanio mediante el uso de una junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto, con respecto al uso de una continuación de una composición de compuesto que forma la estructura 1616 de compuesto para formar el borde, puede proporcionar un borde que tiene una dureza de resistencia y/o resiliencia al impacto en el borde utilizando un grosor de la pila 1618 que puede tener la mitad del grosor que se necesitaría para la misma dureza de resistencia y/o resiliencia al impacto de la estructura 1616 de compuesto sin el borde de titanio. Por lo tanto, donde una abertura en una aeronave con revestimiento puramente compuesto, tal como, sin limitación, para un bastidor de una puerta, con un revestimiento compuesto de 6,35 mm (1/4 pulgada) de grosor puede requerir una almohadilla que incremente el grosor del revestimiento compuesto a 12,7 mm (1/2 pulgada) para el borde del revestimiento compuesto alrededor del bastidor de la puerta con el fin de cumplir con la resistencia al impacto requerida, un borde formado de titanio mediante el uso de la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto que puede permitir que el borde alrededor de la puerta mantenga sustancialmente el mismo grosor de 6,35 mm (1/4 pulgada) como el revestimiento compuesto. Un beneficio adicional del uso de la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto, para formar un borde para un revestimiento o estructura compuesta, tal como, sin limitación, la estructura 1616 de compuesto, puede ser eliminar un peso y un tiempo de fabricación y/o herramientas, y/o costes, necesarios para agregar refuerzo y sujetadores asociados al borde para fijar una puerta o escotilla para al sellar una abertura que puede formarse en el borde.

Además, cada miembro de la pila 1618 puede tener una relación de grosor a longitud que permita que cada miembro de la pila 1618 funcione como una guía de onda para pruebas no destructivas. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas no destructivas unilaterales. Sin limitación, las pruebas no destructivas pueden ser pruebas ultrasónicas. Debido a que la detección de defectos ultrasónicos puede no ser capaz de detectar un defecto con un grosor menor que la mitad de la longitud de onda ultrasónica, el grosor de cada miembro de la pila 1618 puede afectar la capacidad de cada miembro de la pila 1618 para funcionar como una guía de onda. Cuando el grosor de cada miembro de la pila 1618 puede ser menor que una longitud de onda, puede ser necesaria una prueba guiada de

onda Lamb de tal modo que la onda Lamb llene toda la sección transversal de cada miembro respectivo de la pila 1618.

Pasando ahora a las Figuras 17A, 17B y 17C. En la Figura 17A una ilustración de una sección transversal en perspectiva de una junta de chapa de titanio-material compuesto, a partir de la vista A en la Figura 16, de una pila de hojas de metal que incorpora un limitador de desunión de Griesson y unido a un laminado compuesto se representa de acuerdo con una realización ilustrativa. En la Figura 17B, la Figura 17A se modifica para mostrar una configuración alternativa del limitador de desunión de Griesson. En la Figura 17C, la Figura 17B se modifica para mostrar otra configuración alternativa del limitador de desunión de Griesson.

Con referencia ahora a la Figura 17A, la vista en perspectiva de la sección transversal de la junta 1700 de chapa de titanio-material compuesto puede corresponder sin limitación a la vista A de la junta 1604 de chapa de titanio-material compuesto como se muestra en la Figura 16. La pila 1702 puede corresponder sin limitación a la pila 1618 de hojas de metal como se muestra en la vista A en la Figura 16. La estructura 1704 de compuesto puede corresponder sin limitación a la estructura 1616 de compuesto como se muestra en la Figura 16. El limitador 1706 de desunión de Griesson puede incluir un número de segmentadores, con cada segmentador que incluye un número de espacios en un número de hojas de metal en la pila 1702 de hojas de metal.

Un valor de la eficacia de la limitación de desunión proporcionada por el limitador 1706 de desunión de Griesson puede medirse por un aumento en el valor de una carga requerida para propagar una desunión entre las hojas que comprenden la junta 1700 de chapa de titanio-material compuesto. Las pruebas han demostrado que el limitador 1706 de desunión de Griesson puede aumentar el valor de la carga requerida para propagar la desunión en una unión tal como las uniones en la junta 1700 de chapa de titanio-material compuesto hasta como mucho un 57%. Una cantidad de limitación de desunión proporcionada por el limitador 1706 de desunión de Griesson puede determinarse por la distancia 1712 entre el primer segmentador 1708 y el segundo segmentador 1710, un ancho del primer segmentador 1708, un ancho del segundo segmentador 1710, y/o por el número de y la relación entre porciones extraídas de cada hoja de metal dentro de la pila 1702. Cada segmentador del limitador 1706 de desunión de Griesson puede ser una junta de expansión formada en la pila 1702 y/o 1704. La junta de expansión, o segmentador, pueden formarse sin limitación en la pila 1702 sin extenderse a la estructura 1704 de compuesto. Sin limitación, la junta de expansión, o segmentador, pueden extenderse a través de la pila 1702 y dentro de capas de compuesto de la estructura 1704 de compuesto.

Como se muestra sin limitación en la Figura 17A, los segmentadores que forman el limitador 1706 de desunión de Griesson, tal como el primer segmentador 1708 y el segundo segmentador 1710, pueden estar orientados, sin limitación, sustancialmente perpendiculares a un borde de la estructura 1704 de compuesto, tal como el borde 1734 que se muestra en la Figura 17C.

El primer segmentador 1708 y/o el segundo segmentador 1710 pueden formarse por extracción de alguna porción de al menos una hoja de metal en la pila 1702. Como se muestra en la Figura 17A, después de dejar intacta la hoja 1714 de metal superior, el espacio 1716 se ha cortado en cualquier otra hoja de metal en el primer segmentador 1708, a la vez que en el segundo segmentador 1710 el espacio 1718 se ha cortado en cada hoja de metal que no tiene un espacio en el primer segmentador 1708, que incluye una hoja 1714 de metal superior.

Con referencia a la Figura 17B, la Figura 17B modifica la Figura 17A para mostrar una configuración alternativa del limitador de desunión de Griesson. En la Figura 17B, el limitador 1706 de desunión Griesson, la distancia 1712 entre el primer segmentador 1708 y el segundo segmentador 1710 difiere a partir de la distancia 1712 de la Figura 17A por ser más pequeño, de tal modo que el primer segmentador 1708 está más cerca al segundo segmentador 1710 que como se muestra en la Figura 17A. El limitador 1706 de desunión de Griesson de la Figura 17B también difiere del limitador 1706 de desunión de Griesson de la Figura 17A por el espacio 1716 que solo está presente en dos hojas de metal para el primer segmentador 1708 y el espacio 1718 que solo está presente en dos hojas de metal en el segundo segmentador 1710 que no son las mismas hojas de metal que tienen espacios en el primer segmentador. El limitador 1706 de desunión de Griesson en la Figura 17B también difiere del limitador 1706 de desunión de Griesson de la Figura 17A agregando el tercer segmentador 1720. El tercer segmentador 1720 puede tener un espacio 1722 presente en cada hoja de metal que no tenga ningún espacio en el primer segmentador 1708 y el segundo segmentador 1710. Además, el tercer segmentador 1720 puede estar centrado sobre una costilla 1724 de una estructura, tal como, sin limitación, la banda 1254 de la estructura 1250 como se muestra en la Figura 12C.

Con referencia a la Figura 17C, en la Figura 17C, la Figura 17B se modifica para mostrar otra configuración alternativa del limitador 1706 de desunión de Griesson. En la Figura 17C, el limitador 1706 de desunión de Griesson puede incluir solo el primer segmentador 1708 con el espacio 1726 cortado en cada hoja de metal en la pila 1702. Además, el espacio 1726 puede extenderse a través de la sección 1728 de transición de 1700 en la estructura 1704 de compuesto y terminar mediante la transición en la abertura 1730.

Las combinaciones de configuraciones que se muestran en las Figuras 17A-17C también se pueden aplicar, de tal modo que, sin limitación, la pila 1702 puede incluir alguno del espacio 1716, el espacio 1718 y/o el espacio 1722, a la vez que la sección 1728 de transición y la estructura 1704 de compuesto pueden incluir el espacio 1726 que se extiende a través de un grosor completo de la pila 1702 y a través de un grosor completo de la estructura 1704 de

compuesto, y puede hacer transición para incluir la abertura 1730. Las limitaciones a la desunión de hojas dentro de la pila 1702 de hojas de metal, y/o de hojas de metal a la estructura compuesta, y/o las hojas laminadas dentro de la estructura compuesta pueden alterarse variando la cantidad y el posicionamiento relativo de los espacios dentro de la pila 1702. En otras palabras, el limitador 1706 de desunión de Griesson puede incluir configuraciones de diversos segmentadores y espacios que pueden ser variaciones de los que se presentan en la Figura 17A-C.

El eje 1732 longitudinal del primer segmentador 1708 y el espacio 1726 pueden orientarse en un ángulo normal al borde 1734 de la estructura 1704 de compuesto, como se muestra sin limitación en la Figura 17C. Las limitaciones a la desunión de hojas dentro de la pila 1702 de hojas de metal, y/o de hojas de metal a la estructura compuesta, y/o de hojas laminadas dentro de estructura compuesta pueden alterarse variando un ángulo de cada segmentador con respecto al borde de la estructura compuesta. El eje 1732 longitudinal del primer segmentador 1708 y el espacio 1726 pueden estar orientados en un ángulo que puede ser un ángulo que no sea normal al borde 1734, tal como sin limitación 15, 30 o 45 grados al borde 1734 de la estructura 1704 de compuesto. La abertura 1730 puede extenderse a través de la estructura 1704 de compuesto. La estructura 1704 de compuesto puede tener una forma circular. La estructura 1704 de compuesto puede tener otra forma tal como, sin limitación, al menos una de: un óvalo, un óvalo alargado, una forma de “L” y una brida en forma de T.

Con referencia a la Figura 18, la Figura 18 es un diagrama de flujo de un proceso para unir un revestimiento de metal a un revestimiento compuesto sin utilizar una placa de empalme representada de acuerdo con una realización ilustrativa. El proceso 1800 puede incluir las etapas 1802-1822. El proceso 1800 puede comenzar integrando una sección conductiva en una primera hoja de metal (Operación 1802). La sección conductiva puede ser parte de un sistema para impedir la acumulación y/o eliminar la acumulación de hielo en el revestimiento de metal. La sección conductiva puede configurarse para recibir energía electromagnética.

El proceso 1800 puede incluir unir la primera hoja de metal a una segunda hoja de metal mediante una capa de adhesivo para formar una pila (Operación 1804). La pila puede incluir una hoja interna, una hoja intermedia y una hoja externa. Por lo tanto, puede haber una primera capa de adhesivo entre la hoja interna y la hoja intermedia, y una segunda capa de adhesivo entre la hoja intermedia y la hoja externa. Cada hoja puede incluir titanio. Cada hoja de metal en la pila puede tener una longitud que difiere de una hoja de metal contigua. Cada hoja de metal puede tener un grosor que permita que la hoja funcione como una guía de onda para pruebas no destructivas (por ejemplo, pruebas no destructivas unilaterales). El proceso 1800 puede incluir el entrelazado de cada hoja en la pila con chapas de un laminado compuesto respectivo en una junta de solapa de dedo (Operación 1806). Cada extremo respectivo de la hoja de metal puede colindar respectivamente con cuatro chapas del laminado compuesto respectivo. Cada laminado compuesto puede incluir una fibra. La fibra que refuerza cualquier laminado compuesto puede incluir grafito.

El proceso 1800 puede incluir unir un primer laminado compuesto a un primer extremo de la pila sin utilizar una placa de empalme (Operación 1808). El proceso 1800 puede incluir unir un segundo laminado compuesto a un segundo extremo de la pila sin utilizar una placa de empalme (Operación 1810). El proceso 1800 puede incluir formar la pila a una forma. (Operación 1812). La forma puede ser una curva. La forma puede formar un borde de ataque para una estructura, tal como sin limitación un borde de ataque para un ala.

El proceso 1800 puede incluir aumentar la capacidad de carga de la estructura aumentando la altura de una costilla de un bastidor de la estructura con respecto a la altura de una costilla de una estructura de revestimiento de empalme con un tamaño y forma sustancialmente iguales a la estructura (Operación 1814). El proceso 1800 puede incluir disminuir el peso de la estructura disminuyendo el ancho de la costilla del bastidor de la estructura en relación con el ancho de la costilla de la estructura de revestimiento de empalme con un tamaño y forma sustancialmente iguales a la estructura (Operación 1816).

El proceso 1800 también puede incluir conectar el primer laminado compuesto a un lado superior del bastidor de la estructura (Operación 1818). El proceso 1800 puede incluir conectar el segundo laminado compuesto a un lado inferior del bastidor de la estructura (Operación 1820). El proceso 1800 puede incluir integrar una hoja interior en una hoja interna de la pila para formar un conducto (Operación 1822).

Con referencia a la Figura 19, se representa un diagrama de flujo de un proceso para inhibir la corrosión galvánica de una estructura de aluminio conectada, sin utilizar una placa de empalme, a una estructura compuesta de acuerdo con una realización ilustrativa. El proceso 1900 puede incluir las etapas 1902-1906. El proceso 1900 puede comenzar uniendo una primera hoja de metal a una segunda hoja de metal mediante una capa de adhesivo para formar una pila (Operación 1902). El proceso 1900 puede incluir unir la estructura compuesta a un primer extremo de una pila de hojas de metal en una junta de solapa de dedo, sin utilizar la placa de empalme (Operación 1904). El proceso 1900 puede incluir conectar la pila a la estructura de aluminio de tal manera que la estructura de aluminio no entre en contacto con la estructura compuesta (Operación 1906).

Los diagramas de flujo y los diagramas de bloques en las diferentes realizaciones representadas ilustran la arquitectura, la funcionalidad y operación de algunas implementaciones posibles de aparatos y métodos en una realización ilustrativa. A este respecto, cada bloque en los diagramas de flujo o diagramas de bloques puede representar un módulo, un segmento, una función y/o una porción de una operación o etapa.

En algunas implementaciones alternativas de una realización ilustrativa, la función o funciones indicadas en los bloques pueden ocurrir fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, en algunos casos, dos bloques que se muestran en sucesión pueden ejecutarse sustancialmente al mismo tiempo, o los bloques a veces pueden realizarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada. También, se pueden agregar otros bloques además de los bloques ilustrados en un diagrama de flujo o diagrama de bloques.

La descripción de las diferentes realizaciones ilustrativas se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos, y no pretende ser exhaustiva o limitada a las realizaciones en la forma divulgada. Diversas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos en la técnica. Además, diferentes realizaciones ilustrativas pueden proporcionar diferentes características en comparación a otras realizaciones convenientes. La realización o las realizaciones seleccionadas se eligen y describen con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros expertos en la técnica entiendan la divulgación de diversas realizaciones con diversas modificaciones que sean adecuadas para el uso particular contemplado.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para unir un revestimiento de metal, sin utilizar una placa de empalme, a un revestimiento compuesto, comprendiendo el revestimiento compuesto un primer laminado compuesto y un segundo laminado compuesto, cada laminado compuesto comprende una fibra respectiva que comprende grafito; comprendiendo el proceso:

unir el primer laminado (1208) compuesto a un primer extremo de una pila (1212), comprendiendo la pila hojas (1234) de metal, y unir el segundo laminado (1210) compuesto a un segundo extremo de la pila (1212);

formar la pila (1212) a una forma;

conectar el primer laminado (1208) compuesto a un lado superior de un bastidor (1252) de una estructura; y

conectar el segundo laminado (1210) compuesto a un lado inferior del bastidor (1252) de la estructura;

en donde cada hoja de metal tiene un grosor de aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas) formando una guía de onda para pruebas no destructivas unilaterales.

2. El proceso de la reivindicación 1, que comprende además cada hoja (1234) de metal unida a una hoja de metal adyacente mediante una capa de adhesivo.

3. El proceso de cualquier reivindicación precedente, en donde la unión además comprende:

entrelazar cada hoja en la pila con chapas de al menos uno de:

el primer laminado (1208) compuesto y el segundo laminado (1212) compuesto, en una junta de solapa de dedo de tal modo que cada extremo respectivo de cada hoja de metal en la pila colinde con cuatro chapas del laminado compuesto respectivo.

4. El proceso de cualquier reivindicación precedente, en donde la pila comprende unir en conjunto una hoja (1258) interna, una hoja (1260) intermedia y una hoja (1262) externa, comprendiendo cada hoja titanio, mediante: una primera capa de adhesivo entre la hoja interna y la hoja intermedia, y una segunda capa de adhesivo entre la hoja intermedia y la hoja externa.

5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la pila (1212) que comprende una hoja externa y un proceso de anticongelamiento seleccionado a partir de al menos uno de:

integrar una sección conductiva que comprende un elemento (1306) calefactor sin conducto en al menos una hoja de metal en la pila, que proporciona energía electromagnética a la sección conductiva, la sección conductiva que recibe energía electromagnética y genera una temperatura superficial en la hoja externa, siendo suficiente la temperatura superficial para al menos uno de: impedir la adhesión de hielo en la hoja externa y derretir el hielo formado en la hoja externa; e

integrar un conducto (1316) a la pila mediante una hoja interior a una hoja interna de la pila, la hoja interior impide la interacción galvánica con el laminado compuesto; recibir un flujo de aire; y dirigir el aire de tal manera que el calor del aire mantenga la hoja externa de la pila a una temperatura suficiente para al menos uno de: impedir la adhesión de hielo en la hoja externa y derretir el hielo formado en la hoja externa.

6. El proceso de cualquier reivindicación precedente, que comprende además: el primer laminado compuesto, la pila y el segundo laminado compuesto, que forman una carcasa monolítica.

7. El proceso de cualquier reivindicación precedente, que comprende además aumentar la capacidad de carga de la estructura, en relación con una estructura con revestimiento de empalme, aumentando la altura de una banda en el bastidor, en relación con la altura de una banda en un bastidor de la estructura de revestimiento de empalme.

8. Un aparato configurado como una estructura que comprende un revestimiento, comprendiendo el revestimiento:

una pila (1212) que comprende hojas (1234) de metal;

una primera sección comprendiendo un primer laminado (1208) compuesto, el primer laminado (1208) compuesto conectado a un lado superior de un bastidor de la estructura, y unido sin una placa de empalme, a un primer extremo de la pila (1212);

una segunda sección comprendiendo un segundo laminado (1210) compuesto, el segundo laminado (1210) compuesto conectado a un lado inferior del bastidor y unido a un segundo extremo de la pila (1212); y

cada hoja de metal en la pila tiene un grosor de aproximadamente 0.635 mm (0.025 pulgadas) formando una guía de onda para pruebas no destructivas unilaterales, y unida a una hoja de metal adyacente mediante una capa de adhesivo.

9. El aparato de la reivindicación 8, que comprende además la primera sección, la pila y la segunda sección, formando una carcasa monolítica para la estructura.

10. El aparato de la reivindicación 8 o 9, que comprende además una unión en cada extremo de la pila configurada como una junta de solapa de dedo, en donde cada junta de solapa de dedo comprende cuatro chapas de laminado compuesto en lindero con cada hoja de metal en la pila.

11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además la pila que comprende una aleación con forma de memoria que cambia, en respuesta a una activación, una forma de un borde de la estructura.

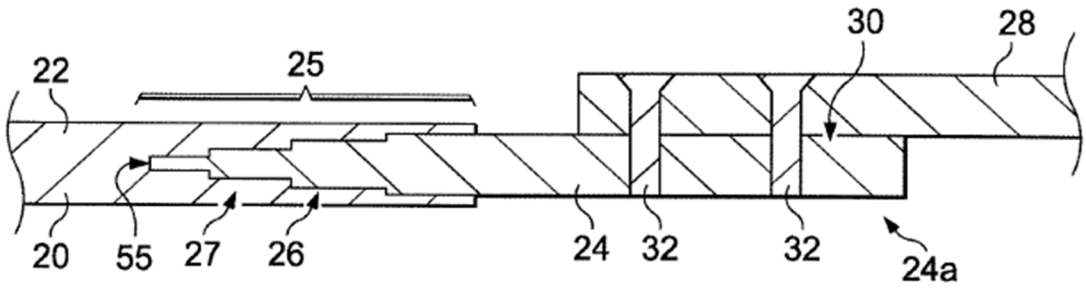


FIG. 1

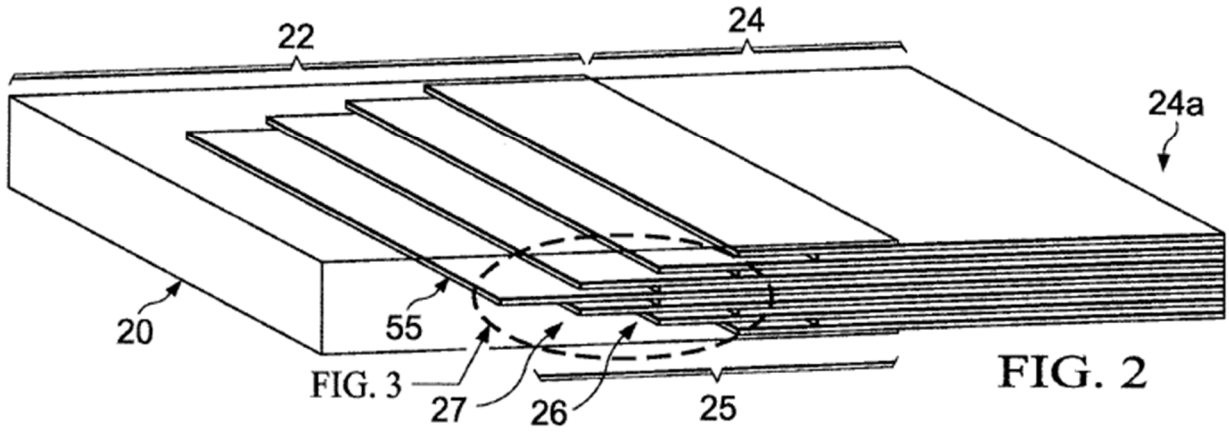


FIG. 3

FIG. 2

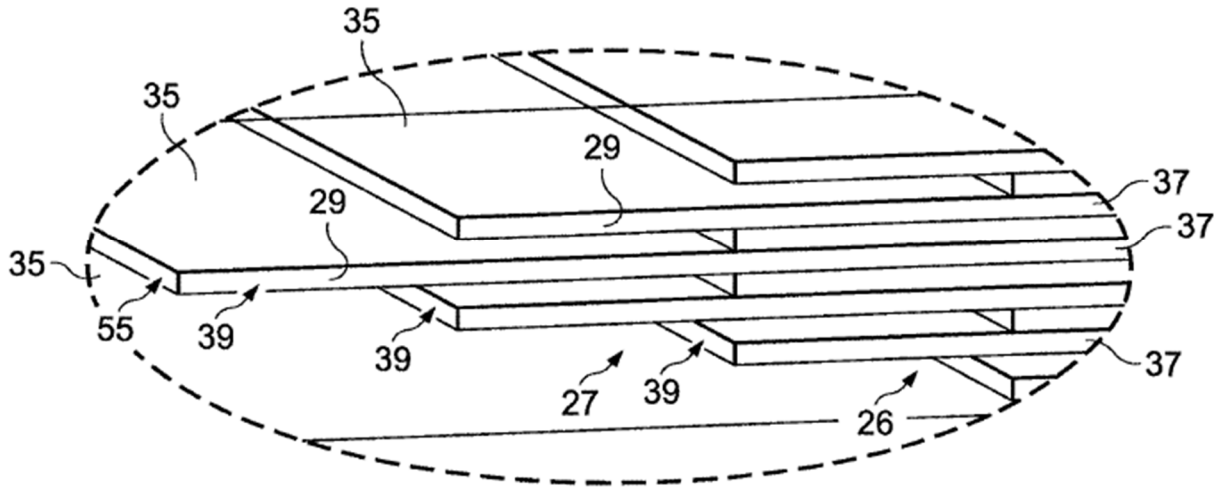


FIG. 3

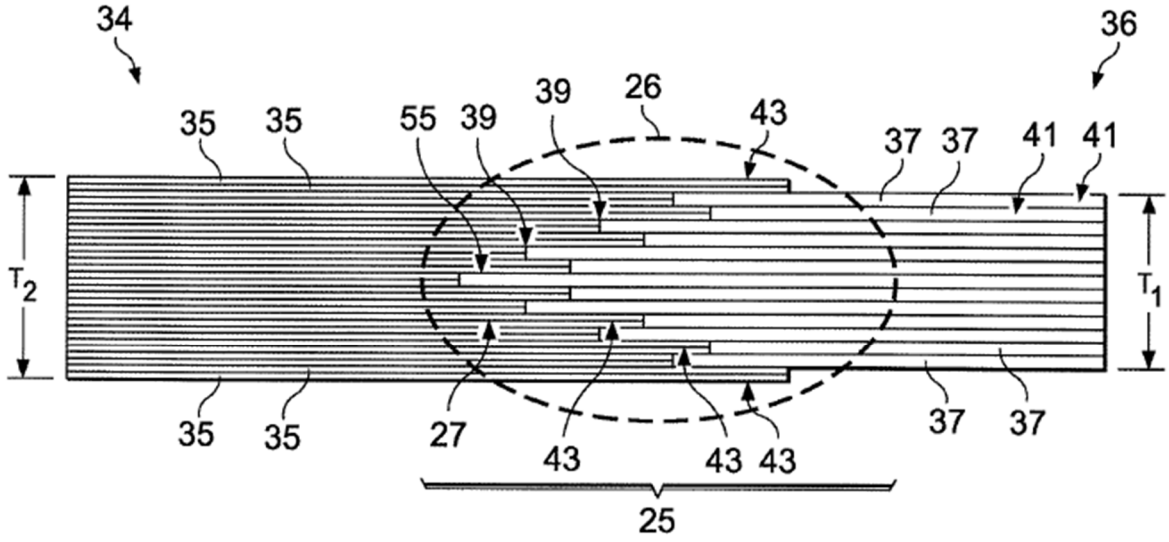


FIG. 4

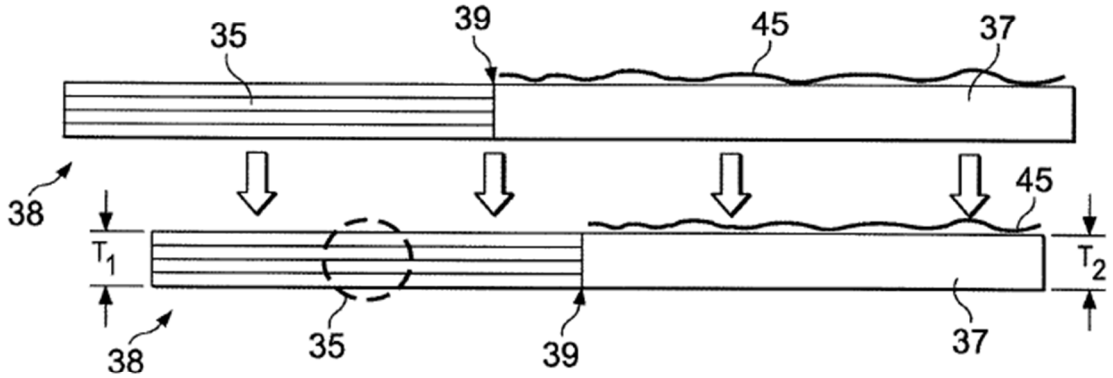


FIG. 5

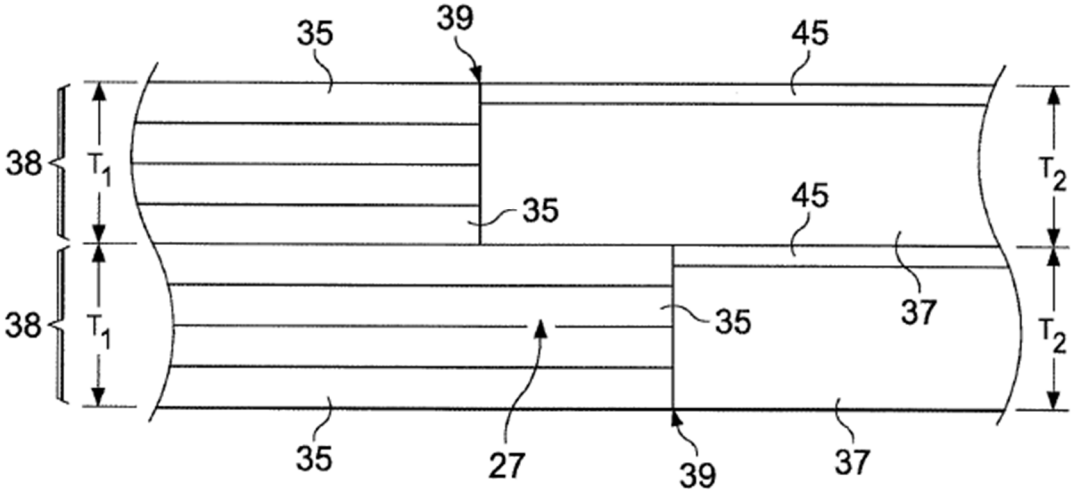


FIG. 6

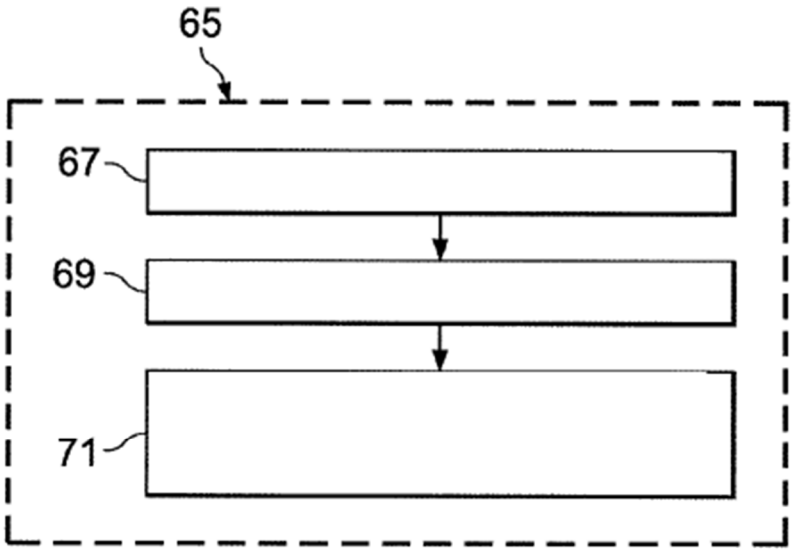


FIG. 7

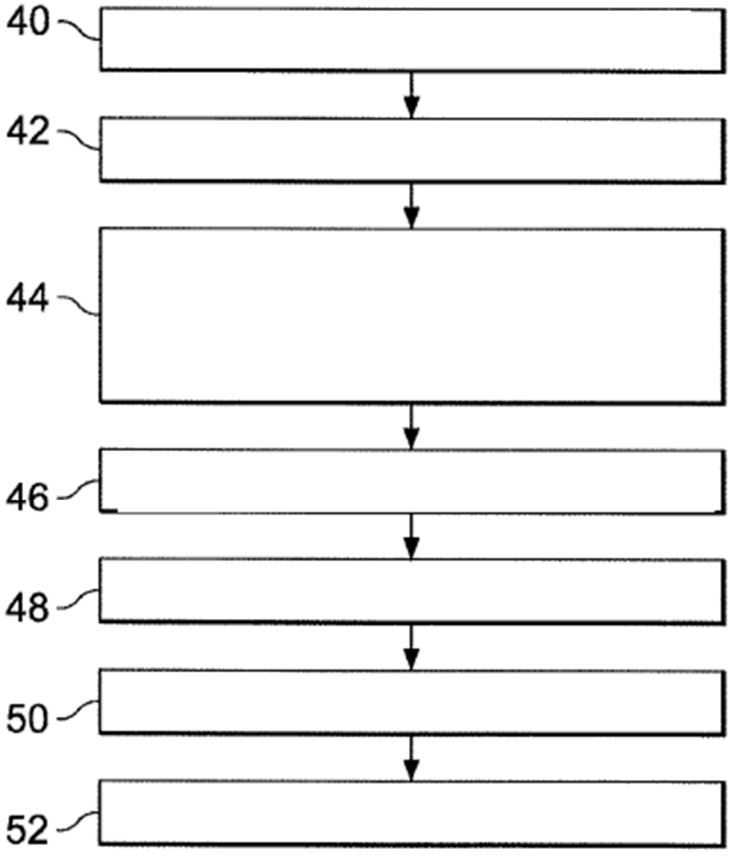


FIG. 8

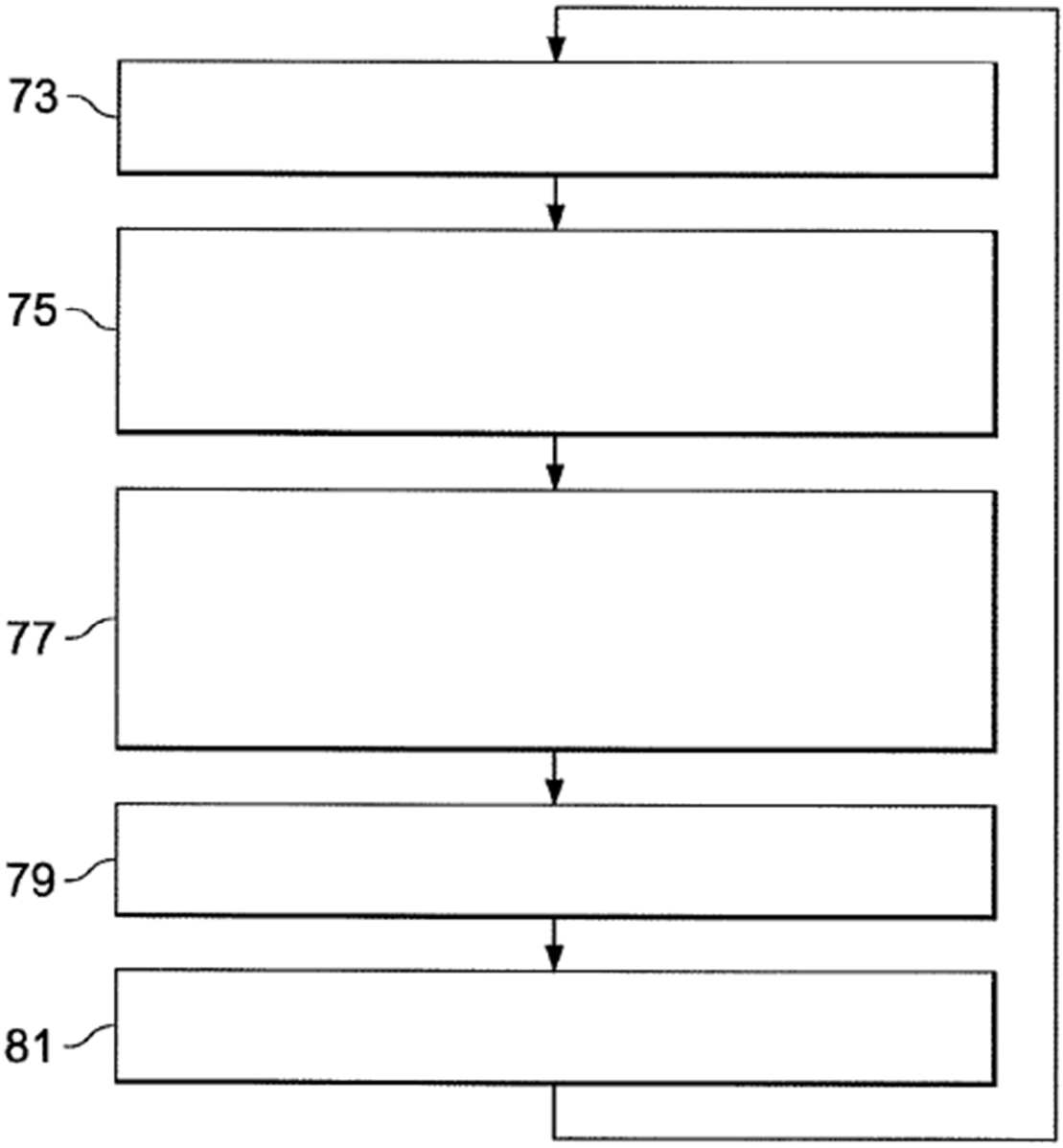


FIG. 9

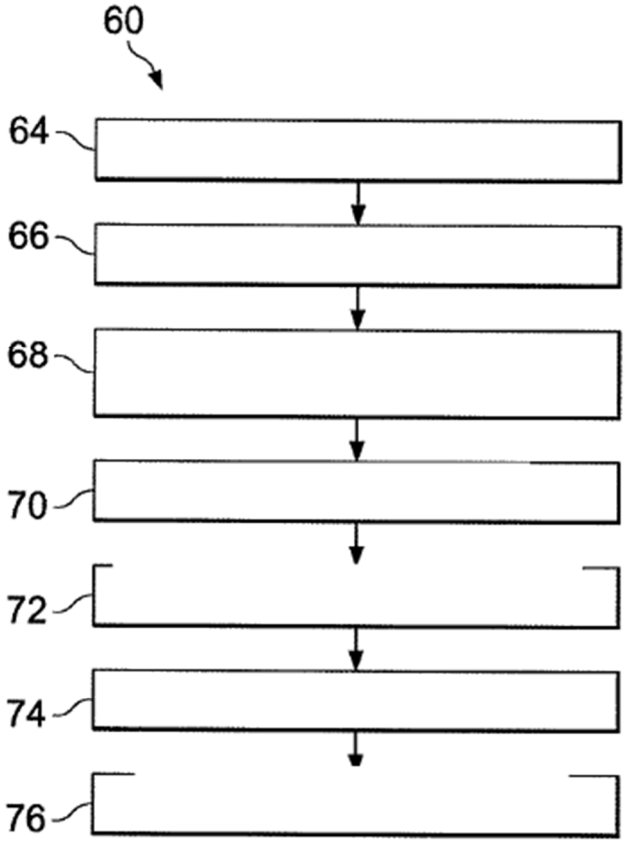

60
64
66
68
70
72
74
76

FIG. 10

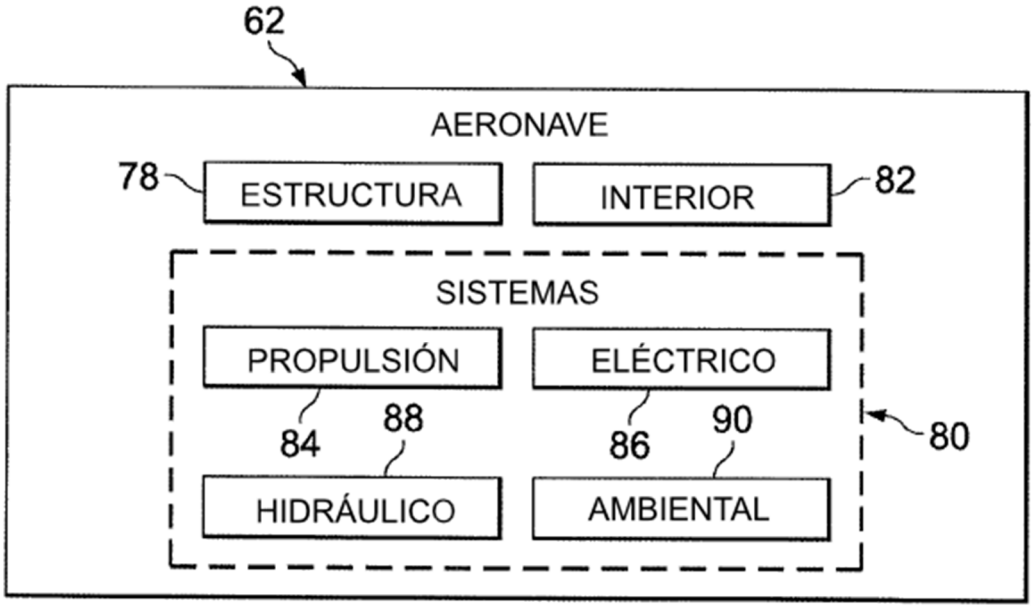

62
AERONAVE
78
ESTRUCTURA
INTERIOR
82
SISTEMAS
PROPULSIÓN
ELÉCTRICO
84
88
86
90
80
HIDRÁULICO
AMBIENTAL

FIG. 11

FIG. 12A

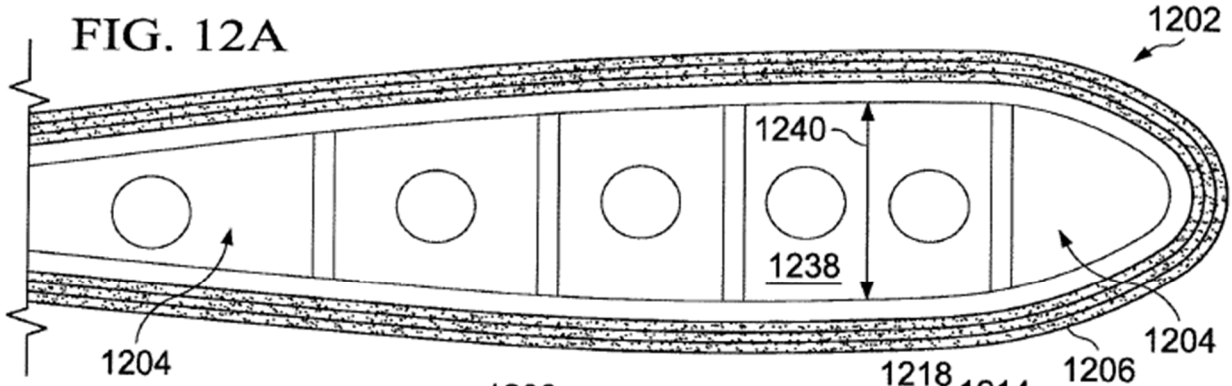


FIG. 12B

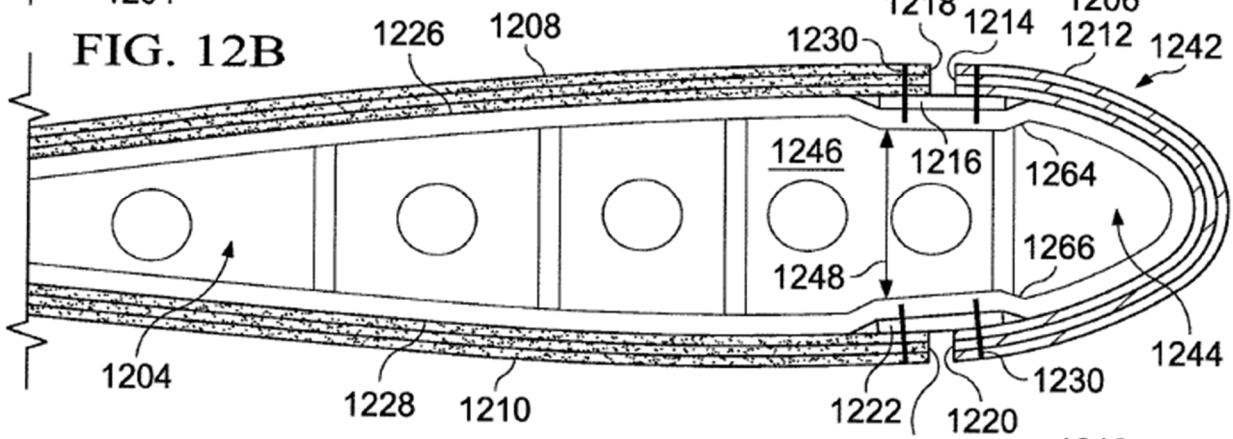
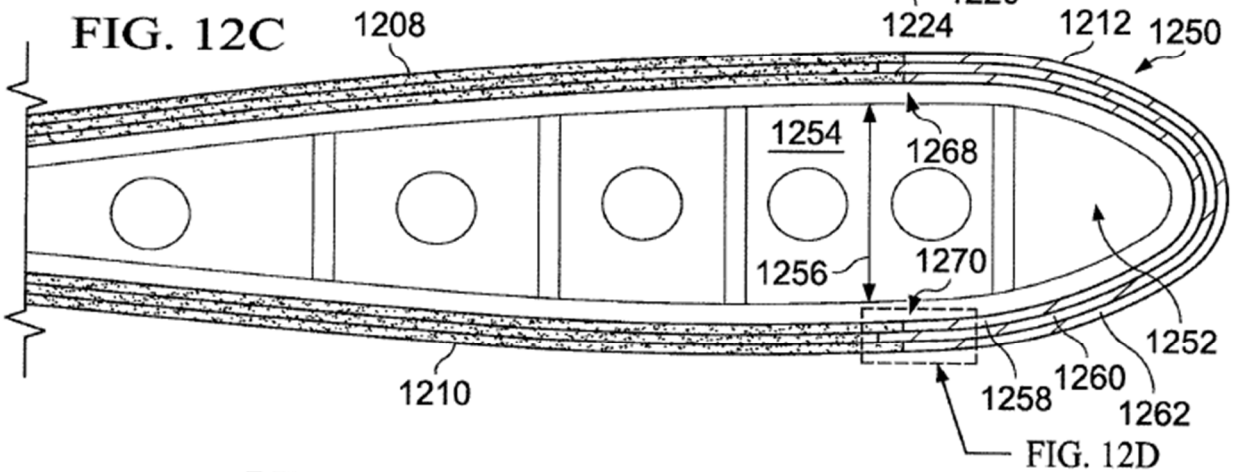


FIG. 12C



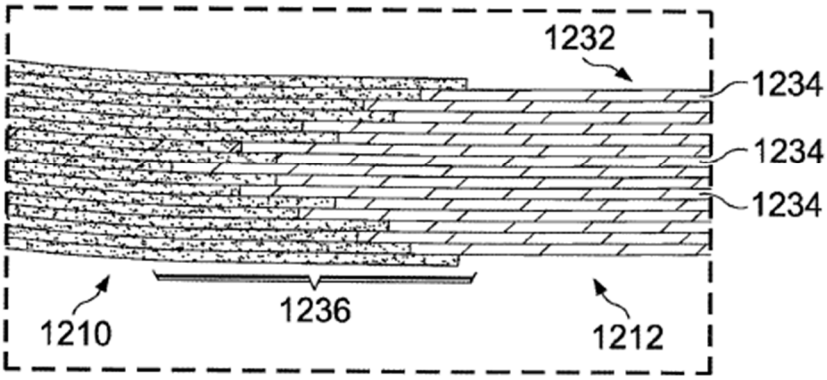


FIG. 12D

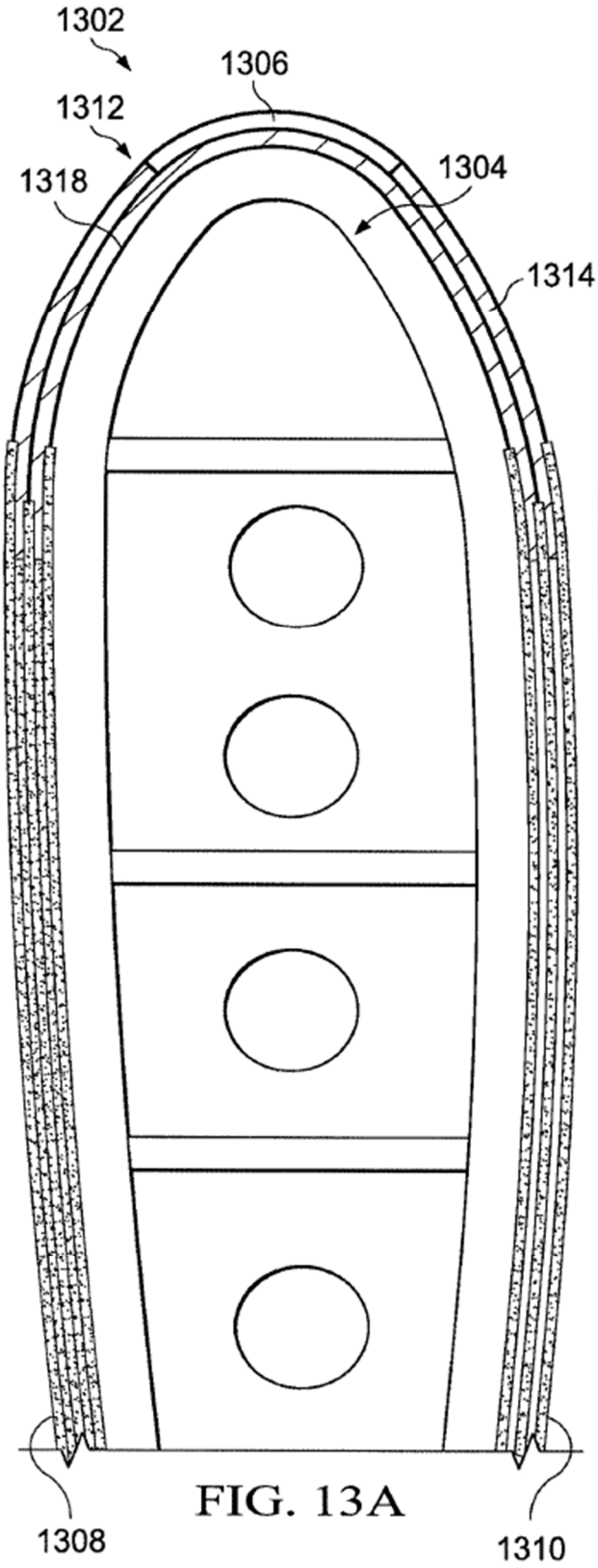


FIG. 13A

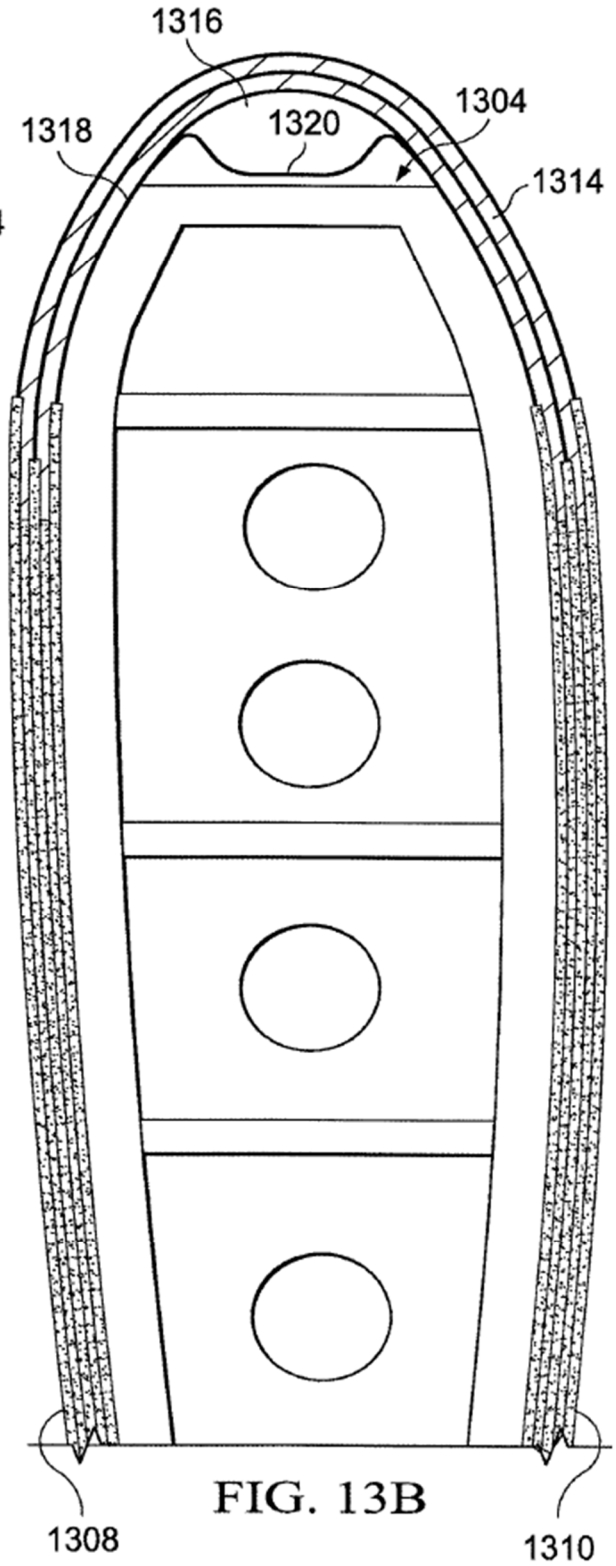


FIG. 13B

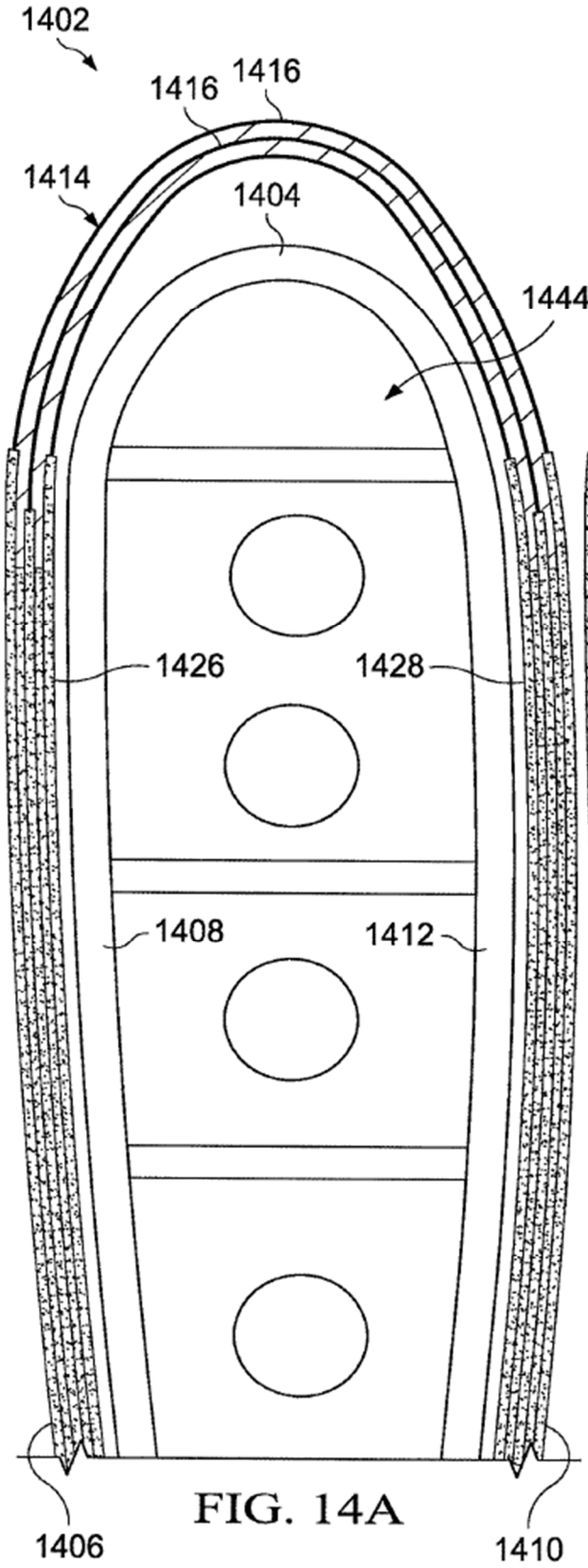


FIG. 14A

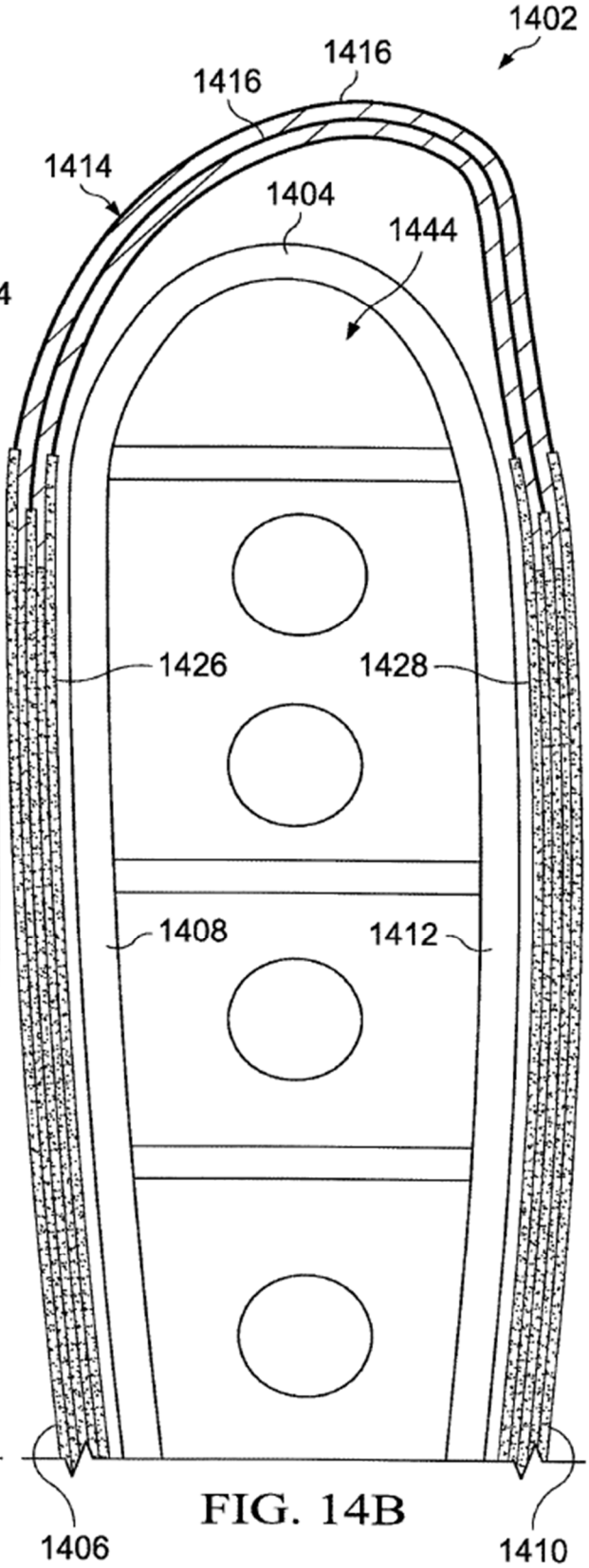


FIG. 14B

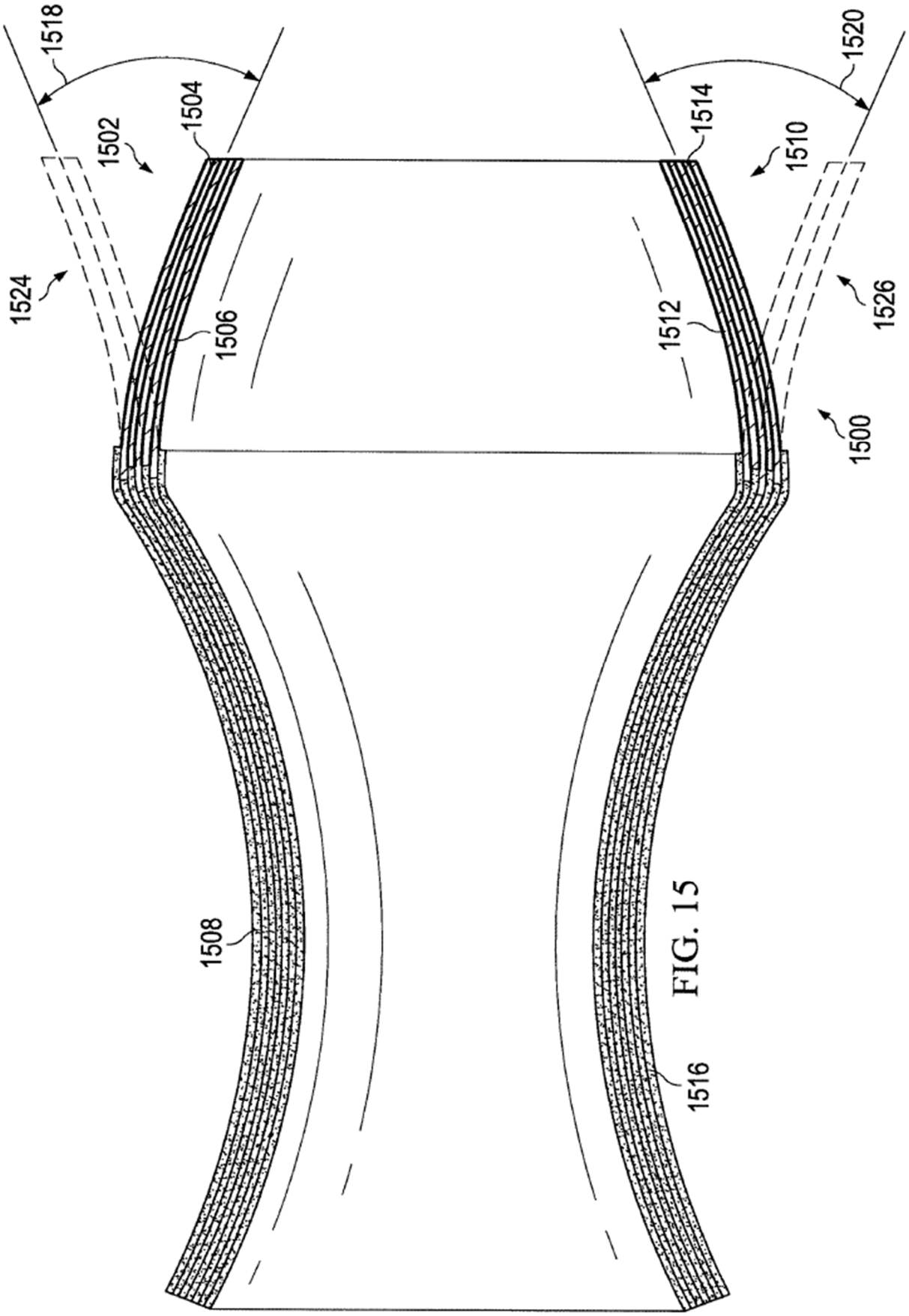
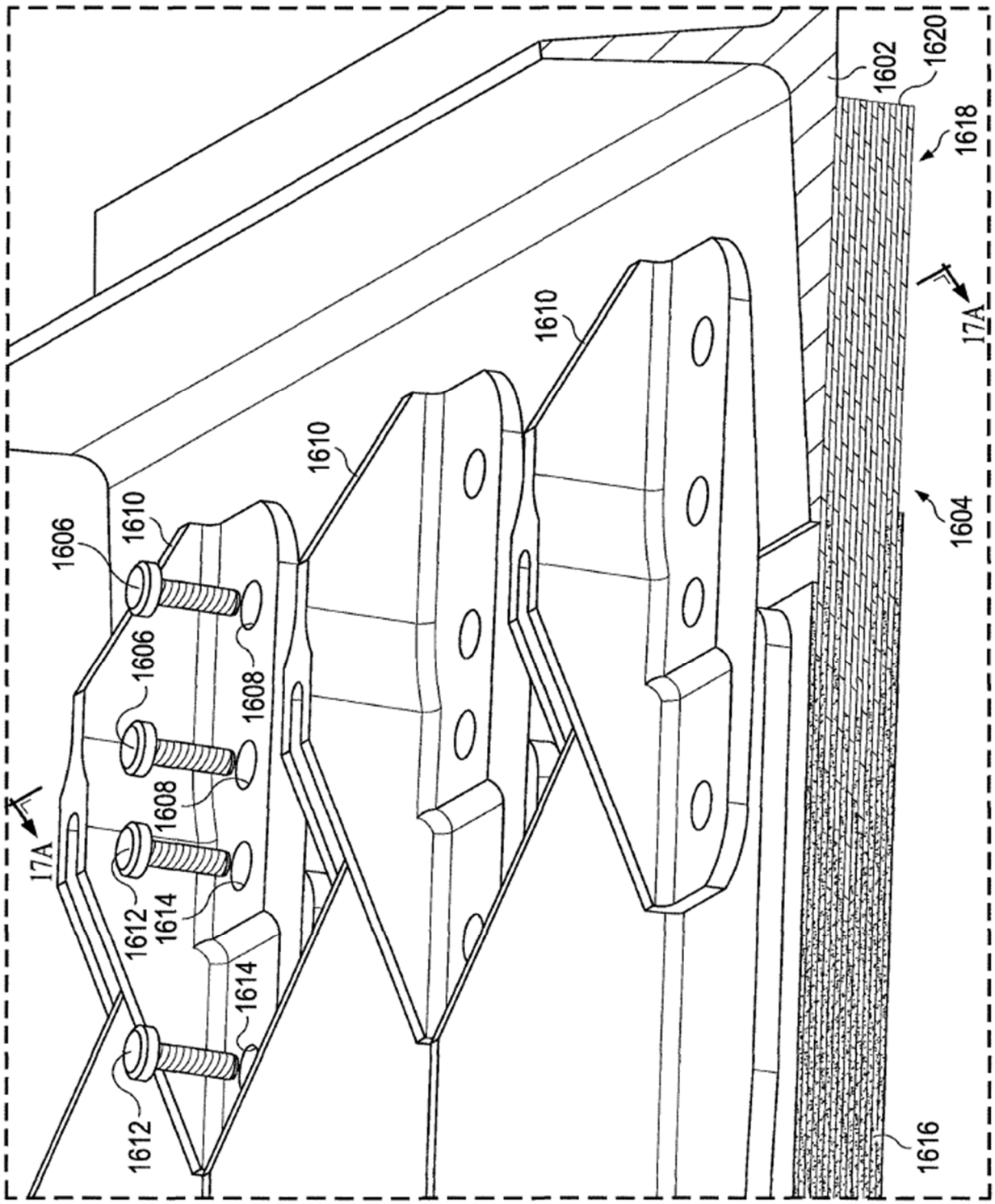

1518
1520
1504
1514
1502
1510
1524
1526
1506
1512
1500
1508
1516

FIG. 15

FIG. 16


1602
1620
1618
17A
1610
1610
1606
1610
1606
1608
1608
17A
1612
1614
1614
1612
1604
1616

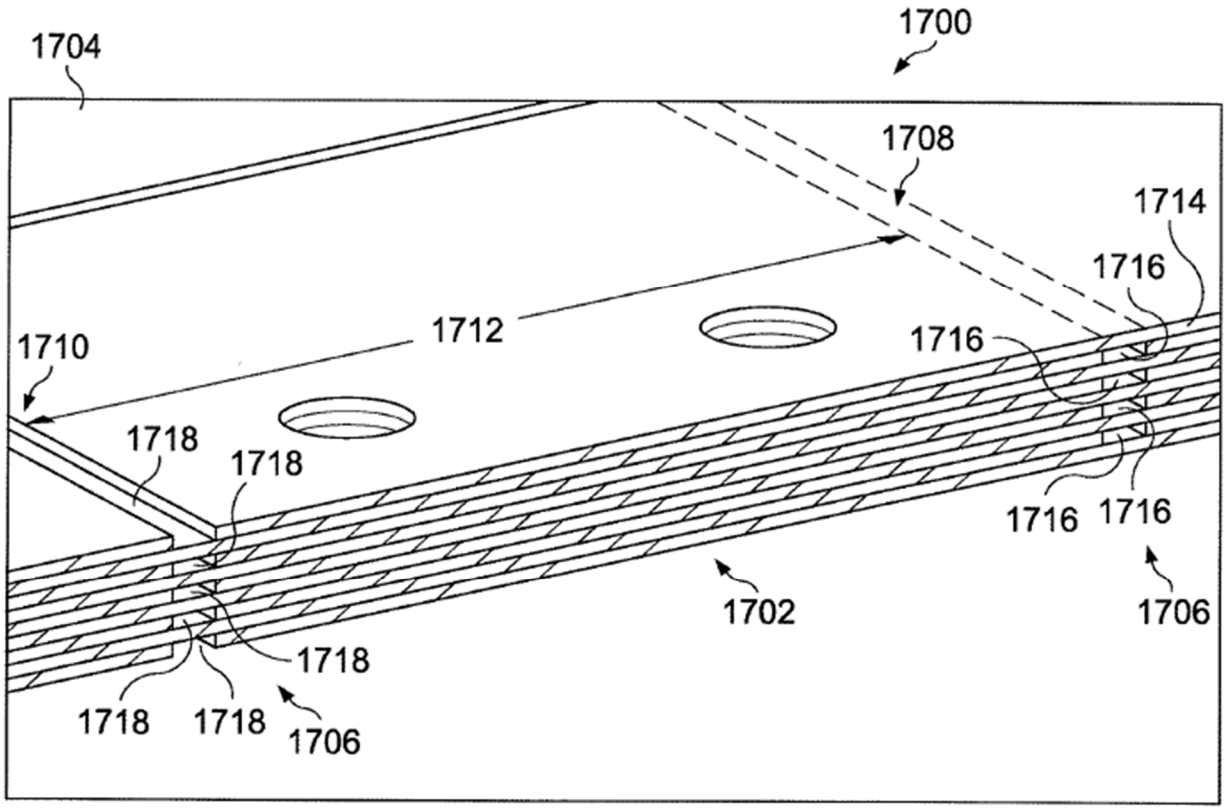


FIG. 17A

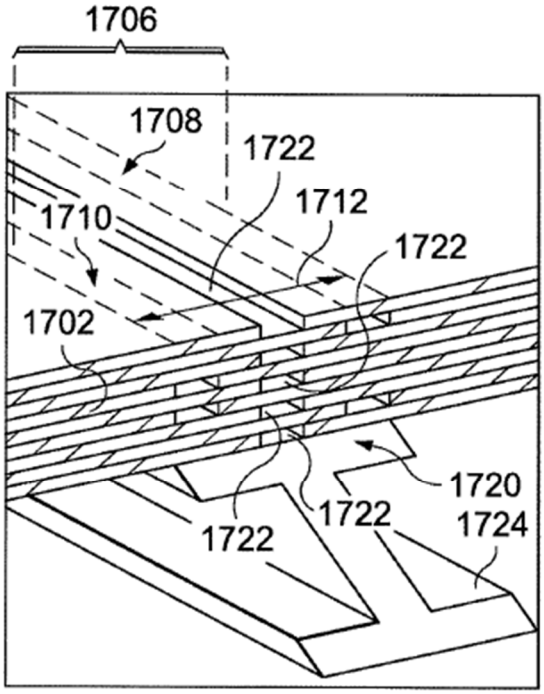


FIG. 17B

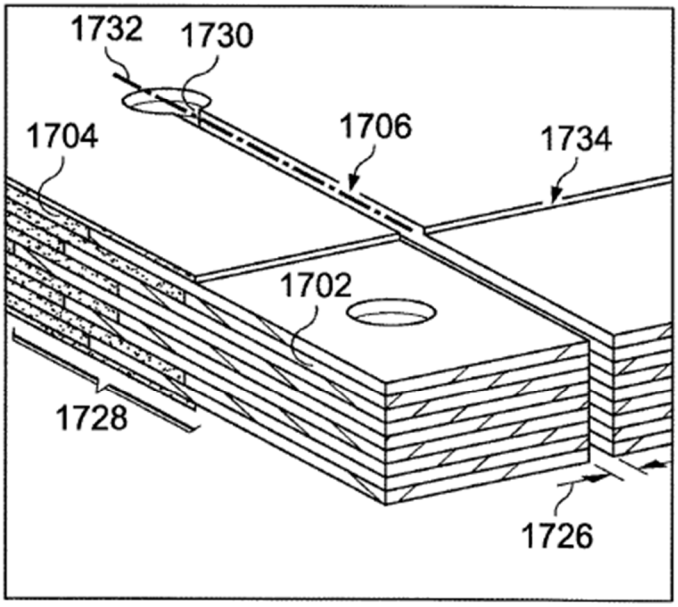


FIG. 17C

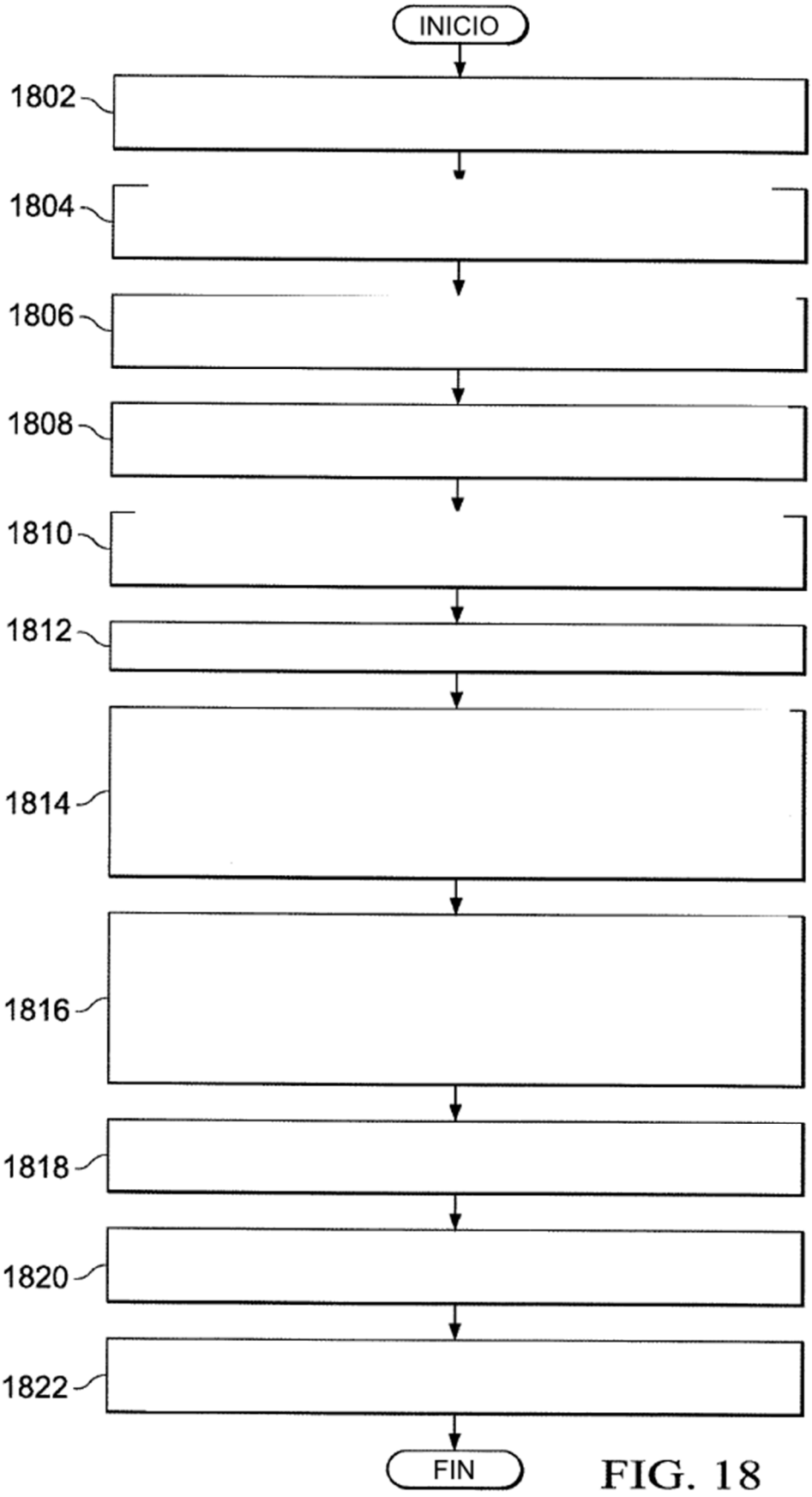

INICIO
1802
1804
1806
1808
1810
1812
1814
1816
1818
1820
1822
FIN

FIG. 18

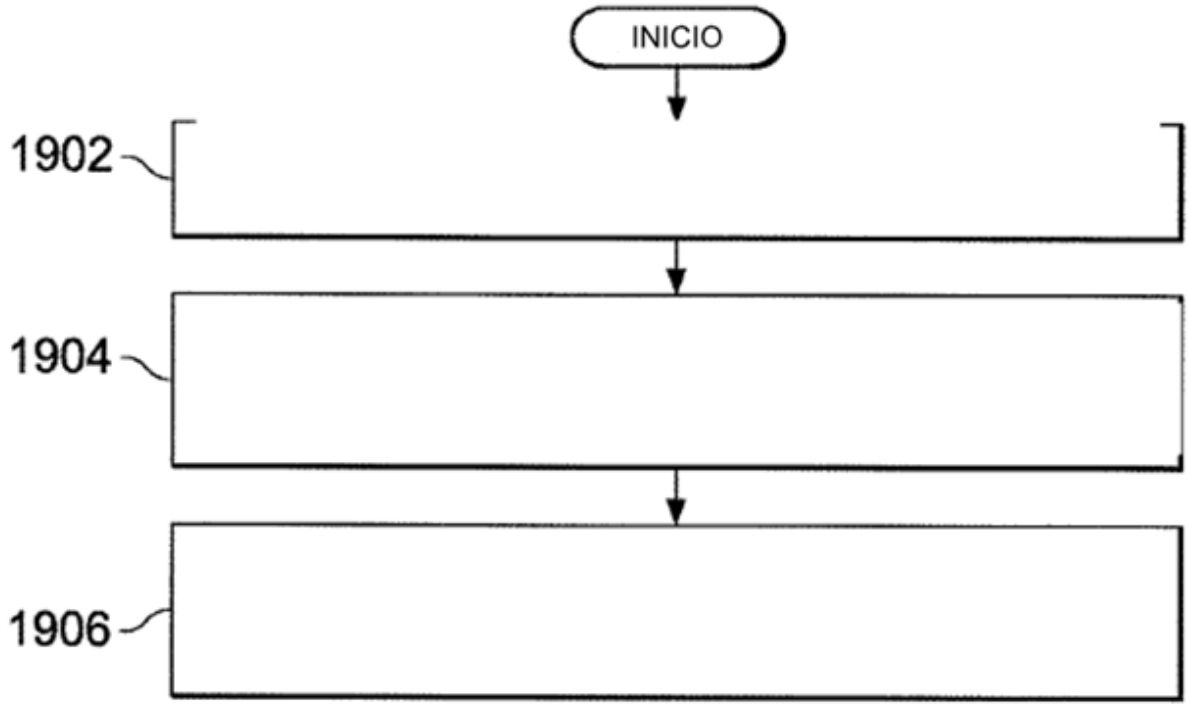


FIG. 19