

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 486**

51 Int. Cl.:

**B32B 3/08** (2006.01)  
**B32B 5/02** (2006.01)  
**B32B 5/12** (2006.01)  
**B32B 5/26** (2006.01)  
**B32B 7/08** (2009.01)  
**B32B 37/06** (2006.01)  
**B64C 3/18** (2006.01)  
**B64C 3/26** (2006.01)  
**B64F 5/10** (2007.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.05.2019 PCT/US2019/030611**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.11.2019 WO19213529**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2019 E 19796952 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024 EP 3787965**

54 Título: **Aeroestructura termoplástica con aislamiento de capa localizado y método para formar  
aeroestructura**

30 Prioridad:

**03.05.2018 US 201862666193 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**26.11.2024**

73 Titular/es:

**QARBON AEROSPACE (FOUNDATION), LLC  
(100.0%)  
300 Austin Blvd.  
Red Oak TX 75154, US**

72 Inventor/es:

**CALDER, MARK, A.;  
ELLIS, JOHN, F.;  
DENNISON, WILLIAM, DAVID;  
WIMMER, MARTIN, A. y  
STONE, EARL, L., III**

74 Agente/Representante:

**EBRI SAMBEAT, Ana**

ES 2 989 486 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Aeroestructura termoplástica con aislamiento de capa localizado y método para formar aeroestructura

### Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de los materiales compuestos. En particular, la presente solicitud se refiere a estructuras formadas por múltiples componentes formados por materiales compuestos. La presente invención encuentra una aplicación particular en el campo de las aeroestructuras formadas por múltiples elementos compuestos.

### Antecedentes

Los materiales compuestos se han utilizado en una gran variedad de aplicaciones en las que el beneficio de los materiales de alta resistencia y bajo peso supera el coste de los materiales. Por ejemplo, históricamente, las aeroestructuras se han formado de metales ligeros, tales como aluminio y, más recientemente, titanio. Sin embargo, una parte sustancial de las aeronaves modernas está formada por materiales compuestos. Un material comúnmente utilizado en la industria aeroespacial es el plástico termoestable reforzado con fibra de carbono. Se pueden formar estructuras complejas de tales materiales y, una vez que las estructuras se curan, la forma es permanente. Sin embargo, esa ventaja limita la capacidad de fusionar la estructura formada con una estructura separada. En su lugar, los elementos separados se conectan usando conectores separados, tales como elementos de fijación. Aunque los elementos estructurales formados por material termoplástico reforzado pueden conectarse sin elementos de fijación separados, el proceso de fusión de los elementos requiere calentar los componentes por encima de una temperatura que puede causar daños a la estructura. Por consiguiente, existe la necesidad de un proceso eficiente para conectar componentes estructurales de material compuesto sin causar daños a los componentes.

El documento de patente US 2002/168184 A1 describe un panel de calefacción de suelo de aeronave para resistencia mecánica y para cumplir requisitos especiales de calentamiento junto a una puerta en una aeronave, teniendo el panel un núcleo ligero, estando cada superficie del núcleo cubierta con al menos una capa de material compuesto reforzada con fibra de carbono para la protección contra el deterioro. El documento de patente EP 2 910 365 A1 describe un elemento estructural de material compuesto específicamente para su uso en una caja de torsión de una aeronave. C M Worrall et. al.; "Novel induction heating technique for joining carbon fibre composites" ("Nueva técnica de calentamiento por inducción para unir materiales compuestos con fibra de carbono"); 26 de junio de 2014; páginas 22-26; ECCM - 16ª Conferencia europea sobre materiales compuestos, Sevilla, España describe el control del calentamiento por inducción a través del espesor de los materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibra de carbono. El documento de patente WO 96/40551 A1 describe una viga de material compuesto con alma híbrida que incluye una sección de alma metálica en I o en T y una tapa de material compuesto formada sobre y adherida al alma en I o en T.

### Resumen de la invención

Se proporciona una aeroestructura de material compuesto de acuerdo con la reivindicación 1. Otros aspectos de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes. Los siguientes aspectos pueden ser útiles para comprender la invención y están presentes solo con fines ilustrativos, ya que estos aspectos no están dentro del alcance de las reivindicaciones.

De acuerdo con un aspecto, la presente invención proporciona una estructura laminada que está configurada para localizar el calor producido durante un proceso de soldadura por inducción. En particular, el laminado está configurado para localizar el calor en un área particular de una capa (o capas) particular de un laminado de material compuesto termoplástico reforzado con fibra de carbono multicapa. De acuerdo con un aspecto, el calor se localiza en un área particular de una capa particular incorporando múltiples capas de elementos aislantes dispuestos en un patrón e incrustados dentro de las capas del laminado. Opcionalmente, el laminado puede incorporarse en una aeroestructura, tal como una caja de ala.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona una aeroestructura de material compuesto que tiene una pluralidad de largueros y costillas longitudinalmente alargados interconectados para formar un entramado, en donde cada uno de los largueros y costillas comprende un elemento superior que tiene una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido formando una zona de soldadura. Un revestimiento de material compuesto está conectado con el entramado de largueros y costillas. El laminado incluye al menos cinco capas de material termoplástico reforzado con fibra de carbono. En la primera capa, las fibras de carbono están orientadas en una primera dirección. En la segunda capa, las fibras de carbono están orientadas en la primera dirección y la primera capa se solapa, y está conectada directamente, con la segunda capa. La tercera capa tiene fibras de carbono orientadas en una segunda dirección transversal a la primera dirección y la cuarta capa tiene fibras de carbono orientadas en la segunda dirección y la tercera capa se solapa, y está conectada directamente, con la cuarta capa. La quinta capa tiene fibras de carbono orientadas transversalmente a las fibras de carbono en los elementos superiores de los largueros y las costillas. El laminado también incluye una pluralidad de elementos

aislantes alargados formados por material eléctricamente aislante. Cada uno de los elementos aislantes tiene una longitud y una anchura y al menos una pluralidad de los elementos aislantes tiene una longitud que es sustancialmente mayor que la anchura. Los elementos aislantes forman un entramado configurado sustancialmente de manera similar al entramado formado por las costillas y los largueros, de modo que los elementos aislantes se solapan con los elementos superiores de los largueros y las costillas. El entramado de elementos aislantes está dispuesto entre la segunda capa y la tercera capa. Opcionalmente, cada elemento aislante comprende fibras de vidrio incrustadas dentro de una matriz de material termoplástico. Además, los elementos aislantes pueden comprender una pluralidad de aislantes de larguero alargados que se solapan con los largueros y una pluralidad de aislantes de costilla alargados que se solapan con las costillas que son más cortos que los aislantes de larguero. Los aislantes de costilla pueden extenderse entre los aislantes de larguero sin solaparse sustancialmente con los aislantes de larguero. Además, los aislantes de larguero pueden estar opcionalmente separados entre sí.

Opcionalmente, el revestimiento de material compuesto puede incluir capas adicionales de material termoplástico reforzado con fibra de carbono y el entramado de elementos aislantes puede formar un primer entramado y la pluralidad de elementos aislantes forma un segundo entramado configurado sustancialmente de manera similar al primer entramado de elementos aislantes. El segundo entramado puede disponerse entre las capas adicionales de material termoplástico reforzado con carbono de modo que el segundo entramado esté alineado con el primer entramado.

Además, la aeroestructura puede incluir un segundo revestimiento de material compuesto conectado con el entramado de costillas y largueros. Cada larguero y costilla puede incluir un elemento inferior que tiene una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido que forma una zona de soldadura inferior y el segundo revestimiento puede estar conectado con los elementos inferiores de las costillas y largueros.

De acuerdo con un aspecto adicional, la presente invención proporciona una aeroestructura en la que una pluralidad de elementos aislantes forman un entramado y los elementos aislantes pueden disponerse para formar una pluralidad de aberturas.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona una aeroestructura formada por termoplástico que comprende un termoplástico semicristalino de la familia de las poliariletercetonas.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona una aeroestructura formada por termoplástico que tiene una temperatura de fusión superior a 260 °C (500 grados Fahrenheit).

De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona una aeroestructura en la que un laminado incluye elementos aislantes y capas estructurales y los elementos aislantes están configurados de tal manera que el termoplástico de las capas estructurales se mantiene por debajo de una temperatura de fusión cuando la capa inferior se calienta a una temperatura por encima de la temperatura de fusión por un cabezal de soldadura por inducción.

De acuerdo con otro aspecto más, se proporciona una aeroestructura en la que un laminado incluye elementos aislantes y capas estructurales y los elementos aislantes están configurados de tal manera que el termoplástico de una inferior de las capas estructurales tiene una temperatura de fusión y los elementos aislantes están configurados para impedir el calentamiento de las capas estructurales distintas de la capa inferior por encima de la temperatura de fusión cuando la capa inferior se expone a un campo electromagnético suficiente para elevar una porción del laminado inferior por encima de la temperatura de fusión.

De manera similar, la presente invención también proporciona una aeroestructura que tiene un laminado formado por una pluralidad de elementos aislantes incrustados dentro de una pluralidad de capas estructurales y una capa inferior, en donde el termoplástico de la capa inferior tiene un punto de fusión y los elementos aislantes están configurados para evitar que el termoplástico de las capas estructurales se funda cuando la capa inferior se suelda a aeroestructuras separadas mediante soldadura por inducción.

De acuerdo con un aspecto adicional, la presente invención proporciona una aeroestructura de material compuesto formada por una pluralidad de largueros alargados longitudinalmente, una pluralidad de costillas alargadas conectadas con la pluralidad de largueros para formar un entramado y un revestimiento de material compuesto. El revestimiento de material compuesto incluye una pluralidad de capas estructurales, una pluralidad de elementos aislantes y una capa de soldadura. Cada una de las capas estructurales está formada por material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido. Los elementos aislantes están formados por material eléctricamente aislante y forman una pluralidad de entramados aislantes en donde los entramados aislantes están alineados entre sí y están dispuestos entre las capas estructurales. La capa de soldadura también está formada por material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido. La aeroestructura también incluye una pluralidad de elementos de conexión que comprenden una capa de material termoplástico reforzado con fibra unidireccional o tejido. Cada elemento de conexión está conectado con uno de los largueros o una de las costillas. Además, las fibras de carbono de la capa de soldadura están orientadas en una primera dirección y las fibras de carbono de los elementos de conexión están orientadas en una segunda dirección transversal a la primera dirección. La capa de soldadura se solapa, y está conectada, con los elementos de conexión.

Además, la presente invención proporciona un laminado de material compuesto para su uso en una aerestructura. El laminado incluye una pluralidad de capas estructurales, una pluralidad de elementos aislantes y una capa de soldadura. Cada una de las capas estructurales está formada por láminas termoplásticas reforzadas con fibra de carbono unidireccionales o tejidas y la dirección de fibras de al menos algunas de las capas estructurales es transversal a la dirección de fibras de una capa estructural adyacente. Los elementos aislantes están formados por material eléctricamente aislante y forman una pluralidad de entramados aislantes. Los entramados aislantes están alineados entre sí y están incrustados dentro de las capas estructurales entre capas estructurales adyacentes en las que la dirección de fibras de la fibra de carbono es transversal. La capa de soldadura también puede estar formada por una lámina termoplástica reforzada con fibra de carbono unidireccional o tejida.

Además, la presente invención proporciona un método para formar una caja de ala de material compuesto. El método incluye las etapas de proporcionar una pluralidad de largueros, conectar una pluralidad de costillas con la pluralidad de largueros y formar un revestimiento de material compuesto. El revestimiento de material compuesto incluye una pluralidad de capas estructurales, una pluralidad de capas aislantes y una capa de soldadura. Cada capa estructural está formada por material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido. Cada capa aislante está formada por una pluralidad de elementos eléctricamente aislantes separados. Cada elemento aislante tiene una longitud y una anchura y la longitud es sustancialmente más larga que la anchura. Las capas aislantes están alineadas entre sí y están dispuestas entre las capas estructurales. Las capas aislantes están configuradas de modo que los elementos aislantes se solapan con los largueros y costillas cuando el revestimiento de material compuesto se solapa con los largueros y costillas. La capa de soldadura está formada por material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido. El método incluye la etapa de colocar el revestimiento de material compuesto sobre las costillas y largueros de modo que las capas del revestimiento de material compuesto se solapen con las costillas y largueros. A continuación, el revestimiento de material compuesto se suelda a las costillas y largueros. La etapa de soldadura comprende la etapa de desplazar un cabezal de soldadura por inducción sobre el laminado de material compuesto adyacente a las costillas y largueros de modo que el cabezal de soldadura por inducción imponga un campo electromagnético a través del laminado de material compuesto de modo que la capa de soldadura se caliente por encima de la temperatura de fusión del termoplástico en la capa de soldadura mientras que las capas aislantes impiden el calentamiento de las capas estructurales por encima de la temperatura de fusión del termoplástico.

Opcionalmente, el método puede incluir la etapa de conectar una pluralidad de elementos de conexión a las costillas y los largueros. Cada elemento de conexión puede incluir una capa de termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido y la etapa de soldadura puede comprender soldar la capa de soldadura con los elementos de conexión. Además, las fibras de carbono de la capa de soldadura pueden estar orientadas en una primera dirección y las fibras de carbono de los elementos de conexión pueden estar orientadas en una segunda dirección. La etapa de conectar una pluralidad de conectores puede comprender conectar los conectores de modo que la segunda dirección sea transversal a la primera dirección.

De acuerdo con otro aspecto más, la presente invención proporciona un método que incluye la etapa de proporcionar un laminado de material compuesto que tiene una pluralidad de capas aislantes, que comprende la etapa de disponer la pluralidad de elementos aislantes en un entramado.

De acuerdo con un aspecto adicional, la presente invención proporciona un método que incluye la etapa de proporcionar un laminado de material compuesto que tiene una pluralidad de capas aislantes y el método comprende la etapa de disponer la pluralidad de elementos aislantes de modo que se forme una pluralidad de aberturas entre los elementos aislantes.

De acuerdo con otro aspecto adicional, la presente invención proporciona un método que incluye la etapa de formar un revestimiento de material compuesto, que incluye la etapa de proporcionar pares de las capas estructurales en donde cada capa de un par de capas estructurales es adyacente y está directamente conectada a la otra capa estructural del par y las dos capas de un par están orientadas de modo que las fibras de ambas capas sean sustancialmente paralelas. Los pares adyacentes de capas estructurales están orientados de modo que las fibras de un par sean transversales a las fibras del par adyacente. Opcionalmente, el método incluye la etapa de proporcionar capas aislantes interponiendo una capa aislante entre el un par y el par adyacente. Además, puede interponerse una capa aislante entre cada par adyacente de capas estructurales.

Además, de acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método que incluye un método para formar un laminado de material compuesto para una aerestructura. El método incluye las etapas de proporcionar una pluralidad de capas estructurales, cada una formada por láminas termoplásticas reforzadas con fibra de carbono unidireccionales o tejidas y proporcionar una pluralidad de elementos aislantes formados por material eléctricamente aislante, en donde cada elemento aislante tiene una longitud y una anchura y la longitud es sustancialmente más larga que la anchura. El método incluye además la etapa de crear una pluralidad de capas aislantes, en donde cada capa se forma mediante la etapa de disponer los elementos aislantes en un patrón en el que una pluralidad de los elementos aislantes están espaciados entre sí. Las capas aislantes se colocan entre las capas estructurales alineando el patrón en cada capa de aislamiento. Las capas estructurales están dispuestas de modo que la capa inferior forme una capa de soldadura. El método incluye la etapa de consolidar la pluralidad de capas estructurales y las capas aislantes calentando las

capas y aplicando presión para formar un laminado de material compuesto con las capas aislantes incrustadas dentro de las capas estructurales. Opcionalmente, la etapa de disposición comprende disponer una pluralidad de los elementos aislantes de modo que los elementos aislantes se extiendan entre la pluralidad de elementos aislantes espaciados. Además, la etapa de disposición puede comprender disponer los elementos aislantes de modo que haya huecos entre elementos separados de los elementos aislantes.

De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona un método que incluye colocar un laminado consolidado sobre una capa de conexión de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido de modo que la dirección de las fibras en una capa de soldadura sea transversal a las fibras de la capa de conexión y la etapa de inducir un campo electromagnético a través del espesor del laminado y la capa de conexión para calentar la capa de soldadura y la capa de conexión lo suficiente como para soldar la capa de soldadura y la capa de conexión entre sí.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método que incluye la etapa de inducir un campo electromagnético desplazando una bobina de inducción sobre un laminado siguiendo un patrón de capas de aislamiento en el laminado.

Aún más, la presente invención proporciona un método que incluye la etapa de inducir un campo electromagnético concentrando un campo electromagnético dentro de la anchura de una pluralidad de elementos de aislamiento. Opcionalmente, se conecta rigidamente una capa de conexión con una aeroestructura de modo que la etapa de inducir un campo electromagnético suelde el laminado con la capa de conexión para conectar de manera fija el laminado con la aeroestructura.

De acuerdo con otro aspecto más, se proporciona un método en el que una aeroestructura comprende una pluralidad de elementos estructurales que forman un patrón y el método comprende alinear el patrón de los elementos estructurales con un patrón de capas aislantes en un laminado. La capa aislante puede estar formada por elementos aislantes dispuestos en un entramado. Opcionalmente, la etapa de disponer los elementos aislantes en un patrón puede comprender disponer los elementos aislantes de modo que se forme una pluralidad de aberturas entre los elementos aislantes.

Debería entenderse que los dibujos y la descripción detallada de los mismos no pretenden limitar las realizaciones a la forma particular divulgada. Cualquier título usado en el presente documento es solo para fines organizativos y no pretende limitar el alcance de la descripción ni de las reivindicaciones. Como se usa en el presente documento, la palabra "puede" se usa en un sentido permisivo (es decir, que significa tener la posibilidad de), en lugar del sentido obligatorio (es decir, que significa debe). De manera similar, las palabras "incluye", "incluyendo" e "incluyen" significan que incluye, pero sin limitación.

### Descripción de los dibujos

El sumario anterior y la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lean junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en perspectiva despiezada de una caja de ala que incorpora aspectos de la presente invención;
- la figura 2 es una vista esquemática de un sistema para formar la caja de ala de la figura 1;
- la figura 3 es una vista en perspectiva ampliada de una porción de la caja de ala de la figura 1;
- la figura 4 es una vista lateral esquemática de la porción de la caja de ala ilustrada en la figura 3.

### Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia ahora a las figuras en general, y a la figura 1 en particular, una aeroestructura de material compuesto se designa en general con 10. En el presente caso, la aeroestructura 10 es una caja de ala que tiene un revestimiento superior 40 y un revestimiento inferior, ambos soportados por una estructura de soporte 15. El o los revestimientos superior y/o inferior están formados por un material termoplástico reforzado con fibra de carbono. El revestimiento de material compuesto incluye elementos aislantes para que el revestimiento pueda soldarse de manera eficiente a la estructura de soporte sin calentar la mayor parte del revestimiento, lo que puede causar daños en el revestimiento. En particular, el revestimiento 40 está formado por un laminado que está configurado para localizar el efecto de calentamiento producido por un cabezal de soldadura por inducción para limitar el calentamiento del revestimiento de modo que solo una porción del revestimiento en una zona de soldadura se caliente a una temperatura de soldadura.

Haciendo referencia a la figura 1, los detalles de la aeroestructura se describirán con mayor detalle. En la figura 1, la aeroestructura incorpora un laminado en la estructura de una caja de ala. Sin embargo, debería entenderse que esta es simplemente una estructura ilustrativa; el laminado se puede incorporar en una variedad de estructuras compuestas. Además, aunque el laminado tiene una aplicación particular en una aeroestructura, el laminado no se limita al uso en una aeroestructura.

La aeroestructura 10 de la figura 1 es una caja de ala que incluye una estructura de soporte 15 subyacente y una

cubierta que se solapa con la estructura de soporte. En el presente caso, la cubierta 40 se denomina revestimiento y se muestra en la figura 3. Para mayor claridad, en la figura 1 se muestra el revestimiento con capas estructurales separadas de las capas de aislamiento, y solo se muestra una única capa estructural (designada como 50). Además, en la figura 1, el conjunto se ilustra con un único revestimiento que se solapa con la parte superior de la estructura de soporte. Sin embargo, debe entenderse que el conjunto 10 también puede incluir un revestimiento inferior que cubre la parte inferior de la estructura de soporte. El revestimiento inferior puede estar formado por un laminado similar al laminado del revestimiento superior 40. Además, los revestimientos superior y/o inferior pueden envolverse alrededor del borde delantero y/o trasero de la estructura de soporte para formar un conjunto cerrado.

La estructura de soporte 15 puede ser cualquiera de una variedad de configuraciones dependiendo de la aplicación de la estructura. En el presente caso, la estructura de soporte 15 está formada por una pluralidad de largueros y costillas alargadas. Un larguero delantero 20 se extiende a lo largo de la caja de ala. Un primer extremo del larguero delantero está conectado con una primera costilla de extremo 30 y un segundo extremo del larguero delantero está conectado con una segunda costilla de extremo 30 de modo que el larguero delantero abarca la distancia entre las dos costillas de extremo. Las costillas de extremo 30 se extienden a lo ancho de la caja de ala y son transversales al larguero delantero 20. El larguero delantero 20 es una viga alargada que tiene un alma central que tiene una altura y un espesor, en donde la altura es sustancialmente mayor que el espesor. El alma del larguero delantero puede incorporarse en cualquiera de una variedad de configuraciones de viga, tal como una viga de caja, una viga de canal o una viga en I. En el presente caso, el larguero puede ser una viga de canal con el alma extendiéndose entre una superficie superior 22 y una superficie inferior 24. Como se describe a continuación, las superficies superior e inferior 22, 24 pueden formar superficies de conexión para conectar los revestimientos 40 a los largueros.

Un larguero trasero 25 espaciado del larguero delantero 20 también está conectado con las dos costillas de extremo 30 de modo que el larguero trasero abarca la longitud entre las costillas de extremo. El larguero trasero 25 puede configurarse sustancialmente de manera similar al larguero delantero. En el presente caso, el larguero trasero 25 es sustancialmente similar al larguero delantero con la excepción de que el larguero trasero es más corto que el larguero delantero. De esta manera, los largueros interconectados 20, 25 y las costillas de extremo 30 forman los lados de una estructura de soporte 15 general en forma de caja. Además, la estructura de soporte 15 puede incluir una pluralidad de elementos adicionales para hacer rígida y/o reforzar la estructura. Por ejemplo, la estructura de soporte 15 puede incluir largueros adicionales que se extienden a lo largo de la longitud de la estructura. En el presente caso, la estructura de soporte 15 incluye una pluralidad de costillas intermedias 35 que se extienden a lo largo de la anchura de la estructura de soporte.

En la presente realización, la altura de las costillas 30, 35 se estrecha para formar una caja de ala ahusada. En particular, la altura de las costillas 30, 35 adyacentes al larguero delantero 20 es mayor que la altura de las costillas 30, 35 adyacentes al larguero trasero 25. Las costillas intermedias 35 están espaciadas de las costillas de extremo 30 y entre sí. Las costillas 30, 35 pueden configurarse como vigas alargadas, de forma similar al larguero 20, 25 como se ha descrito anteriormente. En el presente caso, las costillas 30, 35 están configuradas de manera similar a vigas de canal, que tienen un alma central que se extiende entre las patas transversales superior e inferior. Además, de manera similar a los largueros, las patas superior e inferior de las costillas 30, 35 pueden formar superficies que contactan con los revestimientos 40 para proporcionar puntos de conexión entre los revestimientos y la estructura de soporte 15. Específicamente, las costillas de extremo 30 pueden incluir pestañas superior e inferior 32, 34 que forman superficies de contacto y las costillas intermedias 35 pueden incluir rebordes superior e inferior 37, 38 que forman superficies de contacto.

Haciendo referencia ahora a las figuras 1 y 3-4, se describirán con mayor detalle los detalles del laminado que forma el revestimiento 40. El laminado incluye una pluralidad de capas estructurales 50, 52, 54, 56, 58 con una pluralidad de elementos aislantes 60 incrustados entre una o más capas estructurales. Cada capa estructural comprende elementos de refuerzo incrustados dentro de un material de matriz. Dependiendo de la aplicación, los elementos de refuerzo pueden ser cualquiera de una variedad de materiales de refuerzo. A modo de ejemplo, los elementos de refuerzo pueden ser hebras alargadas o fibras de vidrio o carbono. Por ejemplo, una fibra de carbono ilustrativa es una fibra continua, de alta resistencia, alta tensión, basada en PAN en haces de 3,00 a 12,000. Estas fibras de refuerzo pueden tratarse con un tratamiento superficial y pueden dimensionarse para mejorar sus propiedades de cizallamiento interlaminar con el material de matriz. Sin embargo, debe entenderse que estos materiales pretenden ser materiales ilustrativos; se pueden utilizar otros materiales dependiendo del entorno en el que se vaya a utilizar el laminado.

Los elementos de refuerzo están incrustados dentro de un material de matriz, tal como un polímero. Dependiendo de la aplicación, se puede usar cualquiera de una variedad de polímeros para el material de matriz, incluyendo polímeros amorfos, cristalinos y semicristalinos. En el presente caso, el material de matriz es un material termoplástico, tal como un elastómero termoplástico. Más específicamente, el material termoplástico es un termoplástico semicristalino. En particular, el termoplástico puede ser un polímero termoplástico de la familia de la poliariletercetona (PAEK), que incluye sin límite alguno, la polieterecetona (PEEK) y la polietercetona (PEKK).

Como se ha indicado anteriormente, las capas estructurales 50, 52, 54, 56, 58 pueden ser materiales compuestos, que pueden ser compuestos termoplásticos reforzados con fibra de carbono. En particular, la lámina pueden ser preimpregnados termoplásticos, que son láminas en las que los materiales de refuerzo se han impregnado

previamente con resina. Por ejemplo, el preimpregnado pueden ser preimpregnados termoplásticos producidos recubriendo fibras de refuerzo con una matriz termoplástica. Una lámina preimpregnada de este tipo tiene la capacidad de recalentarse y reformarse calentando la lámina por encima del punto de fusión de la matriz termoplástica. Varios materiales preimpregnados ilustrativos que pueden usarse para formar los elementos estructurales 25, 26 incluyen, pero sin limitación, materiales producidos por TenCate Advanced Composites USA de Morgan Hill, California y comercializados bajo el nombre CETEX, tales como TC1200, TC1225 y TC1320. TC1200 es un compuesto de PEEK semicristalino reforzado con fibra de carbono que tiene una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de 143 °C / 289 °F y una temperatura de fusión ( $T_m$ ) de 343 °C/649 °F. TC1225 es un compuesto de PAEK semicristalino reforzado con fibra de carbono que tiene una  $T_g$  de 147 °C / 297 °F y una  $T_m$  de 305 °C / 581 °F. TC1320 es un compuesto de PEKK semicristalino reforzado con fibra de carbono que tiene una  $T_g$  de 150 °C / 318 °F y una  $T_m$  de 337 °C / 639 °F.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, el laminado 40 comprende una pluralidad de capas estructurales configuradas para soportar la carga estructural. Una pluralidad de capas de aislamiento 60 están incrustadas dentro de las capas estructurales. Aunque las capas de aislamiento pueden configurarse para soportar una carga estructural, en el presente caso, las capas de aislamiento están configuradas para aislar el calentamiento del laminado durante la soldadura sin soportar una carga estructural significativa, si la hay. Para ilustrar los detalles de las capas de aislamiento 60, en la figura 1, las capas de aislamiento 60 se muestran separadas de las capas estructurales del laminado, junto con una única capa estructural 50 del laminado. En la realización ilustrada en la figura 1, se ilustra una pluralidad de capas de aislamiento 60 alineadas y solapadas, sin embargo, debe entenderse que el número y la ubicación de las capas de aislamiento pueden variar dependiendo de la aplicación.

Las capas de aislamiento 60 están incrustadas dentro de un material de matriz. Preferiblemente, el material de matriz es un material termoplástico que puede fusionarse térmicamente con las otras capas del laminado. Mediante la fusión térmica del material de matriz de la capa de aislamiento, la capa de aislamiento se forma integralmente con el laminado. En particular, en el presente caso, las capas de aislamiento están formadas por un material compuesto que tiene una matriz que es sustancialmente similar al material de matriz de las capas estructurales. Por ejemplo, los elementos resistivos son fibras de carbono y el material de matriz es un material termoplástico, tal como un termoplástico semicristalino de la familia de la poliariletercetona (PAEK).

Las capas de aislamiento 60 proporcionan aislamiento eléctrico entre las porciones de las capas estructurales cuando se aplica un campo electromagnético al laminado adyacente a las capas de aislamiento 50. Las capas de aislamiento 60 pueden comprender cualquiera de una variedad de materiales eléctricamente aislantes. Preferiblemente, las capas de aislamiento 60 comprenden un material termoplástico. En el presente caso, la capa de aislamiento comprende una o más láminas de termoplástico reforzado con vidrio.

Las capas de aislamiento 60 están configuradas para aislar el calor de un proceso de calentamiento a una zona o área particular del laminado. Debería entenderse que, aunque las capas de aislamiento 60 limitan el calentamiento de las capas estructurales, las capas de aislamiento no limitan el calentamiento proporcionando un aislamiento térmico significativo. En su lugar, las capas de aislamiento proporcionan aislamiento eléctrico para aislar selectivamente diferentes áreas del calentamiento por calentamiento inductivo.

Por ejemplo, durante un proceso en el que el revestimiento 40 se suelda sobre la estructura de soporte 15, las capas de aislamiento limitan el calor que se crea durante el proceso de soldadura de modo que solo se calientan una capa o unas capas seleccionadas del laminado y solo en ciertas áreas de la capa o capas seleccionadas. Por consiguiente, las capas de aislamiento 60 están configuradas para formar un patrón que corresponde a las porciones del laminado destinadas a calentarse. Específicamente, las capas de aislamiento pueden configurarse para formar un patrón que corresponde a las porciones del laminado destinadas a soldarse. En particular, el patrón puede corresponder a las áreas del laminado que entran en contacto con la parte a la que se va a soldar el laminado. Por ejemplo, la capa de aislamiento 60 puede formarse para que corresponda al patrón formado por las superficies superiores de los largueros 20, 25 y las costillas 30, 35 (por ejemplo, las superficies superiores 22, 27, 32 y 37).

Cada capa de aislamiento 60 puede estar formada por una sola pieza de material aislante configurada en el patrón deseado. En algunos casos, el patrón puede ser un patrón sólido de modo que el material aislante simplemente forme un patrón de bloque, franja o similar. Sin embargo, en el presente caso, la capa de aislamiento 60 forma un patrón que tiene una pluralidad de aberturas de modo que la capa de aislamiento 60 se solapa con menos de la mayor parte del área del laminado. En algún caso, el aislamiento puede formar un patrón que tiene suficientes áreas abiertas para que el aislamiento se solape con menos del 40 % del área total del laminado. Además, en algunas aplicaciones, la capa de aislamiento puede formar un patrón que tiene suficientes áreas abiertas para que el aislamiento se solape con menos del 30 % del área total del laminado. Además, en algunas aplicaciones puede ser deseable configurar la capa de aislamiento para que tenga suficientes áreas abiertas de modo que el aislamiento se solape con menos del 20 % del área total del laminado. Además, la capa de aislamiento en la estructura ilustrada forma un patrón que cubre al menos aproximadamente el 5 % del área total del laminado.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, en el presente caso, la capa de aislamiento 60 forma un patrón de entramado de una pluralidad de franjas de intersección de material aislante. Específicamente, la capa de aislamiento 60 está formada por una pluralidad de elementos de aislamiento alargados que tienen una longitud y una anchura, en

donde la longitud es significativamente mayor que la anchura. Un material ilustrativo para formar los elementos de aislamiento es una cinta de fibras de vidrio incrustadas en material termoplástico. Un primer grupo de elementos aislantes forma elementos de aislamiento de larguero 70 que se extienden al menos sustancialmente en toda la longitud de los largueros 20, 25. Como se muestra en la figura 1, los elementos de aislamiento de larguero 70 se disponen de modo que un primer elemento de aislamiento de larguero se solapa con la superficie superior 22 del larguero delantero 20 y un segundo elemento de aislamiento de larguero 70 se solapa con la superficie superior 27 del larguero trasero 25. Un par de elementos aislantes de costilla de extremo 80 se disponen adyacentes a los extremos de los largueros traseros de modo que los elementos aislantes de costilla de extremo se solapan con las superficies superiores 32 de las costillas de extremo. De manera similar, una pluralidad de elementos aislantes 82 se extienden entre los elementos de aislamiento de larguero 72 para solaparse con las costillas intermedias 35. Como puede verse, las costillas 30, 35 se extienden hacia atrás más allá del larguero trasero 25. Por lo tanto, los elementos de aislamiento de costilla intermedia pueden extenderse sobre el elemento de aislamiento de larguero 70 solapándose con el larguero trasero 25. De esta manera, el elemento de aislamiento de costilla 82 y el elemento de aislamiento de larguero 70 se solaparían para formar un elemento de aislamiento que tiene un espesor de dos capas. Sin embargo, en el presente caso, los elementos de aislamiento de la capa de aislamiento sustancialmente no se solapan, por lo que sustancialmente toda la capa de aislamiento tiene un espesor de una sola capa. Por consiguiente, para evitar un solapamiento sustancial de elementos de aislamiento, los elementos de aislamiento de costilla intermedia se forman en dos segmentos: un primer segmento 82 se extiende sobre los largueros intermedios y se extiende entre los elementos de aislamiento de larguero 70; y un segundo segmento 84 se extiende sobre el extremo trasero de las costillas intermedias 35 de modo que los segundos segmentos se extienden lejos del elemento de aislamiento de larguero 70 que se solapa con el larguero trasero.

Como puede verse por lo anterior, la capa de aislamiento 60 forma un patrón que tiene una pluralidad de áreas abiertas. En particular, la capa de aislamiento forma un patrón que forma un entramado para conectar el laminado 40 con la parte superior de las costillas y largueros.

En algunas aplicaciones, puede ser deseable variar el patrón o tamaño de las diferentes capas de aislamiento de modo que diferentes capas de aislamiento aíslan diferentes capas del laminado. Sin embargo, en el presente caso, cada una de las capas de aislamiento 60 es sustancialmente similar. Específicamente, cada capa de aislamiento 60 tiene un tamaño y patrón similares. Además, como se muestra en la figura 1, cada una de las capas de aislamiento 60 del laminado está alineada de modo que los elementos de aislamiento que forman el patrón para cada capa se solapan con los elementos correspondientes de las otras capas de aislamiento.

Como se ha analizado anteriormente, cada una de las capas estructurales 50, 52, 54, 56, 58 y las capas aislantes 60 pueden comprender capas de materiales compuestos termoplásticos reforzados. Por consiguiente, las capas estructurales y la capa de aislamiento pueden conectarse integralmente fusionando las capas. Específicamente, las capas pueden consolidarse aplicando suficiente calor para elevar las capas por encima del punto de fusión de la matriz termoplástica y aplicando suficiente presión para fusionar las capas entre sí. De esta manera, las capas de aislamiento 60 se incrustan dentro del laminado entre las capas estructurales.

El número de capas estructurales y la orientación de las capas en el laminado pueden variar dependiendo de la aplicación. Además, la orientación de las capas y la colocación de las capas de aislamiento pueden variar dependiendo del aislamiento térmico deseado. Las figuras 3 y 4 ilustran una disposición ilustrativa del laminado 40. Sin embargo, debe entenderse que el número de capas, la orientación de las capas, así como el número y ubicación de las capas aislantes 60 son solo un ejemplo; la invención no se limita a la disposición ilustrada en este laminado ilustrativo.

El laminado incluye diez capas estructurales designadas 50a,b, 52a,b, 54a,b, 56a,b y 58a,b. Como se ha descrito anteriormente, cada capa estructural puede ser una lámina o capa de material compuesto, tal como cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono unidireccional o tejida. La dirección de fibras para cada capa estructural puede variar para proporcionar resistencia en una pluralidad de direcciones. Sin embargo, en el presente caso, las capas pueden disponerse en pares, en donde la dirección de fibras en ambas capas del par es paralela. Por ejemplo, la primera capa del laminado se designa como 50a y tiene una dirección de fibras de 90° y la segunda capa del laminado (designada como 50b) también tiene un ángulo de fibra de 90°. Estas dos primeras capas 50a, 50b forman un par, son adyacentes entre sí y están unidas entre sí. La tercera y cuarta capas estructurales comprenden el segundo par de capas 52a, 52b. Cada capa de este segundo par tiene una dirección de fibras de 0°. La quinta y sexta capas estructurales comprenden el tercer par de capas 54a, 54b. Cada capa del tercer par tiene una dirección de fibras de 45°. La séptima y octava capas estructurales comprenden el cuarto par de capas 56a, 56b. El laminado puede formarse de modo que sea simétrico alrededor de su línea media, que en el presente caso es el tercer par de capas. Por consiguiente, el cuarto par de capas estructurales 56a, 56b puede tener una dirección de fibras que es similar a la dirección de fibras del segundo par de capas estructurales (por ejemplo, 0°). De manera similar, la novena y décima capas forman el quinto par y cada capa del quinto par puede tener una dirección de fibras de 90°. Cabe señalar que las capas no necesitan disponerse en pares. Por ejemplo, como se muestra en la figura 4, las capas se disponen en pares. Sin embargo, en la figura 3, las capas superior e inferior 52, 58 se disponen como capas individuales, mientras que las seis capas entre las capas superior e inferior se disponen en pares.

Las capas de aislamiento 60 se insertan selectivamente entre las capas estructurales del laminado. Aunque las capas



de aislamiento pueden insertarse entre cada capa del laminado, en el presente caso, las capas de aislamiento se insertan entre menos de todas las capas estructurales. En particular, las capas de aislamiento se insertan entre capas que tienen una característica seleccionada. Por ejemplo, en el presente caso, la característica de selección es un cambio en la dirección de fibras. Una capa de aislamiento 60 se inserta entre capas adyacentes que tienen un ángulo de fibra diferente. Por consiguiente, en la acumulación descrita anteriormente, las capas aislantes 60 se interponen entre los pares de capas estructurales pero no con las capas del par. Más específicamente, haciendo referencia a las figuras 3-4, la primera capa aislante 60a se coloca entre la capa 50 (en la figura 3) o 50b (en la figura 4) y la capa 52a porque la interfaz entre la capa 50/50b y la capa 52a es una interfaz en la que las fibras de capas adyacentes son transversales entre sí (es decir, el ángulo de fibra cambia de 90° a 0°). De manera similar, la segunda capa aislante 60b se coloca entre la capa 52b y la capa 54a porque el ángulo de fibra cambia de 0° a 45°. La tercera capa aislante 60c se coloca entre el tercer y cuarto pares (es decir, la interfaz de las capas 54b y 56a) donde el ángulo de fibra cambia de 45° a 0°. La cuarta capa aislante 60d se sitúa entre los pares cuarto y quinto (es decir, la interfaz de las capas 56b y 58a o la capa 58 en la figura 3) donde el ángulo de fibra cambia de 0° a 90°.

Cabe señalar que el espesor de las capas en las figuras no está a escala y, en algunos casos, el espesor se exagera solo con fines ilustrativos. Por ejemplo, en la figura 2, las capas estructurales 50, 52, 54, 56, 58 y las capas aislantes 60 se representan con huecos entre capas adyacentes. Sin embargo, debe entenderse que las capas del laminado son capas consolidadas en las que las diferentes capas se han fusionado entre sí. Además, como se ha indicado anteriormente, cada capa de aislamiento 60 se describe como una única capa de material aislante formada por uno o más elementos aislantes. Sin embargo, puede ser deseable en ciertas aplicaciones aumentar una o más de las capas de aislamiento de modo que la capa o capas de aislamiento puedan estar formadas por múltiples capas de material aislante. Además, como se muestra en la figura 2, la capa aislante 60 puede no ser una capa continua que se extienda por toda la longitud y anchura del laminado como se muestra en la figura 1. En su lugar, la capa aislante 60 puede cubrir solo una pequeña porción del área de las capas estructurales.

El laminado 40 puede formarse usando una variedad de procesos. A continuación, se describirán los detalles de un método para formar el laminado 40 a partir de una pluralidad de capas termoplásticas reforzadas. Además, también se describirá el método de formación de una aeroestructura usando el laminado.

Una pluralidad de capas de cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono se disponen una encima de otra para formar una pluralidad de capas que son capas estructurales. La orientación de fibras en las capas se puede variar y las capas aislantes se pueden colocar en la interfaz de capas que tienen orientaciones de fibra transversales. Por ejemplo, las capas pueden estar formadas por diez capas estructurales y 4 capas aislantes orientadas a 90°, 90°, Ais, 0°, 0°, Ais, 45°, 45°, Ais, 0°, 0°, Ais, 90°, 90° (en donde "Ais" se refiere a una capa aislante). Las capas aislantes están formadas por uno o más elementos aislantes que forman un patrón. Las capas aislantes pueden estar alineadas a lo largo del espesor del laminado de modo que el patrón de cada capa aislante se solape con el patrón de las otras capas aislantes del laminado. En este laminado ilustrativo, las capas de fibra de carbono de las capas estructurales están formadas por cinta reforzada con fibra de carbono unidireccional PEEK/AS4 y las capas de aislamiento están formadas por cinta termoplástica reforzada con fibra de vidrio unidireccional PEEK/S2.

Las capas estructurales y las capas aislantes se consolidan para formar un laminado calentando las capas ensambladas bajo presión. Por ejemplo, el conjunto puede calentarse hasta una temperatura por encima de la temperatura de fusión. En el presente caso, las capas ensambladas se calientan a aproximadamente 725° bajo una presión de aproximadamente 206843 Pa (30 psi). Después de que las capas ensambladas alcancen los 725°, la presión se eleva a aproximadamente 689476 Pa (100 psi) y el conjunto se mantiene a la temperatura elevada durante un periodo de tiempo prolongado, tal como aproximadamente 30 minutos. A continuación, se elimina la presión y el laminado consolidado se enfría a temperatura ambiente.

Formado como se ha descrito anteriormente, el laminado puede conectarse con uno o más elementos separados para formar una estructura. Una estructura ilustrativa es una aeroestructura. Más específicamente, el laminado está configurado para que el laminado pueda soldarse a una estructura separada. Además, el laminado se construye de modo que el calor generado durante el proceso de soldadura se aisle en una capa o unas capas seleccionadas del laminado. Además, el calor generado puede aislarse a áreas seleccionadas de la capa seleccionada. Ahora se describirá con mayor detalle el proceso de soldadura del laminado con un elemento separado.

Como se ha descrito anteriormente, el laminado se forma con una o más capas aislantes. La capa o capas aislantes pueden formarse de acuerdo con un patrón. En particular, el patrón puede ser similar al área de contacto del conjunto o elemento separado que se va a soldar al laminado. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 1, la capa aislante puede formar un entramado que tiene una forma similar al entramado formado por las costillas 30, 35 y los largueros 20, 25 de la estructura de soporte 15. Por consiguiente, el método incluye la etapa de alinear el patrón de la capa o capas aislantes con el entramado formado por las costillas y los largueros. Haciendo referencia a la figura 2, la superficie superior de la estructura de soporte comprende uno o más elementos de conexión para soldar la estructura de soporte al laminado. En particular, las costillas 30, 35 y los largueros 20, 25 pueden formarse de modo que la superficie superior 22, 27, 32, 37 forme elementos de conexión. Como alternativa, los elementos de conexión pueden ser elementos separados que están conectados de manera fija con las costillas y los largueros.

En la realización ilustrada, el elemento de conexión es una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono similar al material que forma las capas estructurales del laminado 40. En la figura 2, el elemento de conexión se designa como 39 y se ilustra como un laminado conectado de manera fija a la parte superior del reborde 37 de la costilla intermedia 35. Sin embargo, debe entenderse que el elemento de conexión puede ser una parte integral de la estructura subyacente. Por ejemplo, las costillas 35 pueden formarse de modo que el reborde 37 esté formado por material termoplástico reforzado con fibra de carbono que funcionaría como el elemento de conexión. Como alternativa, el elemento de conexión puede ser un elemento separado que se sujeta mecánicamente, tal como mediante un clip o un sujetador.

La dirección de fibras de las fibras de carbono del elemento de conexión 39 puede estar orientada en una dirección que es transversal a la dirección de fibras de la capa inferior 58b del laminado. El laminado 40 se coloca sobre la estructura de modo que la capa inferior 58b entre en contacto con el elemento o elementos de conexión 39, con las capas aislantes 60a, b, c, d alineadas con los elementos de conexión. A continuación, un cabezal de soldadura por inducción 100 se pone en acoplamiento operativo con el laminado para inducir un campo electromagnético a través del espesor del laminado. En particular, el cabezal de soldadura por inducción 100 se desplaza sobre la superficie superior del laminado. No es necesario que el cabezal de soldadura entre en contacto con la superficie superior; sin embargo, el cabezal de soldadura está lo suficientemente cerca de la superficie superior del laminado para inducir un campo electromagnético a través del espesor del laminado que tiene suficiente fuerza para soldar la capa inferior 58a y el elemento de conexión 39.

El cabezal de soldadura 100 calienta la capa inferior y el elemento de conexión por inducción electromagnética, a través del calor generado por corrientes de Foucault. El cabezal de soldadura incluye un oscilador electrónico que pasa una corriente alterna de alta frecuencia a través de un electroimán. A continuación, el campo magnético de alternancia rápida penetra en el laminado y el elemento de conexión para generar las corrientes de Foucault que, a su vez, calientan la capa inferior y el elemento de conexión.

En el presente caso, el cabezal de soldadura induce un campo electromagnético a través del laminado y los elementos de conexión, de modo que las capas adyacentes que tienen fibras de carbono transversales se calientan en respuesta al campo electromagnético. Sin embargo, las capas que están separadas por las capas aislantes 60 no se calientan por encima de la temperatura de fusión en respuesta al campo electromagnético. En particular, en el presente caso, el campo electromagnético producido por el cabezal de soldadura es suficiente para calentar la capa inferior 58a y el elemento de conexión 39 por encima de la temperatura de fusión del material de matriz termoplástico para la capa inferior y el elemento de conexión. Después de elevar la capa inferior y el elemento de conexión por encima de la capa de fusión mientras se aplica presión, la capa inferior se fusiona con el elemento de conexión para soldar los dos artículos juntos. Además, como se ha indicado anteriormente, las capas aislantes 60 aíslan las capas adyacentes del calor inductivo provocado por el cabezal de soldadura. En particular, debe observarse que parte del campo electromagnético puede extenderse más allá de los bordes de los elementos aislantes de la capa aislante. Por consiguiente, el campo electromagnético puede inducir algo de calentamiento en las capas estructurales. Sin embargo, el calentamiento inducido será sustancialmente menor que el calentamiento inducido entre las capas no aisladas (es decir, 58b y 39) y estará sustancialmente por debajo del punto de fusión de las capas estructurales. De esta manera, las capas aislantes limitan el calentamiento de las capas estructurales por debajo de la temperatura de fusión mientras permiten que la capa inferior y el elemento de conexión se calienten por encima de la temperatura de fusión. Por lo tanto, aunque las capas aislantes no evitan necesariamente todo el calentamiento de las capas adyacentes a las capas aislantes, para los fines de esta metodología, las capas aislantes evitan el calentamiento de las capas si las capas aislantes limitan el calentamiento de las capas sustancialmente por debajo del punto de fusión.

En la figura 2, se muestra el cabezal de soldadura 100 induciendo un campo electromagnético a través del laminado para soldar el laminado a la costilla 35. El método incluye la etapa de controlar el recorrido del cabezal de soldadura de modo que el cabezal de soldadura se desplace sobre el laminado para soldar una pluralidad de puntos del laminado a la estructura de soporte 15. En particular, el método puede incluir la etapa de controlar la posición del cabezal de soldadura para que siga el patrón formado por la capa aislante. De esta manera, el cabezal de soldadura suelda el laminado a la estructura de soporte a lo largo de las áreas correspondientes al patrón formado por la capa aislante 60.

En la descripción anterior, el laminado se describe como un laminado de panel plano. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a estructuras de panel plano. Por ejemplo, el laminado puede usarse en una variedad de estructuras en una variedad de campos y puede tener una aplicación particular en el campo aeroespacial para proporcionar una variedad de componentes, incluyendo, pero sin limitación, fuselajes, góndolas y superficies aerodinámicas, tales como alas, elevadores, etc. El laminado 40 descrito anteriormente puede formarse en una estructura curva y conectarse con un elemento o estructura separada.

Los expertos en la materia reconocerán que pueden hacerse cambios o modificaciones de las realizaciones anteriormente descritas sin apartarse de los conceptos de la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Una aeroestructura de material compuesto (10), que comprende:

- 5 una pluralidad de largueros alargados longitudinalmente (20, 25), cada uno de los cuales comprende un elemento superior que tiene una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido que forma una zona de soldadura; y
- 10 una pluralidad de costillas alargadas (30, 35) interconectadas con la pluralidad de largueros (20, 25) para formar un entramado, en donde cada costilla comprende un elemento superior que tiene una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional o tejido que forma una zona de soldadura;
- un revestimiento de material compuesto conectado con el entramado de largueros (20, 25) y costillas (30, 35), que comprende:
- una primera capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional, en donde las fibras de carbono están orientadas en una primera dirección;
- 15 una segunda capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional, en donde las fibras de carbono están orientadas en la primera dirección y la primera capa se solapa, y está directamente conectada, con la segunda capa;
- una tercera capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional, en donde las fibras de carbono están orientadas en una segunda dirección transversal a la primera dirección;
- 20 una cuarta capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional, en donde las fibras de carbono están orientadas en la segunda dirección y la tercera capa se solapa, y está conectada directamente, con la cuarta capa;
- una quinta capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional, en donde las fibras de carbono están orientadas transversalmente a las fibras de carbono en los elementos superiores de los largueros
- 25 (20, 25) y las costillas (30, 35);
- una pluralidad de elementos aislantes alargados formados por material eléctricamente aislante, en donde cada uno de los elementos aislantes tiene una longitud y una anchura y al menos una pluralidad de los elementos aislantes tienen una longitud que es sustancialmente mayor que la anchura; y en donde los elementos aislantes forman un entramado configurado sustancialmente de manera similar al entramado formado por las costillas (30, 35) y los largueros (20, 25) de modo que los elementos aislantes se solapan con los elementos superiores de los
- 30 largueros (20, 25) y las costillas (30, 35), en donde el entramado de elementos aislantes está dispuesto entre la segunda capa y la tercera capa.

2. La aeroestructura (10) de la reivindicación 1, en donde el revestimiento de material compuesto comprende capas adicionales de material termoplástico reforzado con fibra de carbono y en donde el entramado de elementos aislantes es un primer entramado y la pluralidad de elementos aislantes forma un segundo entramado configurado sustancialmente de manera similar al primer entramado de elementos aislantes, en donde el segundo entramado está dispuesto entre las capas adicionales de material termoplástico reforzado con carbono de modo que el segundo entramado está alineado con el primer entramado.

3. La aeroestructura (10) de la reivindicación 2, en donde cada elemento aislante comprende fibras de vidrio incrustadas dentro de una matriz de material termoplástico y la aeroestructura (10) comprende un segundo revestimiento de material compuesto conectado con el entramado de costillas (30, 35) y largueros (20, 25).

4. La aeroestructura (10) de la reivindicación 3, en donde cada larguero (20, 25) y costilla (30, 35) comprende un elemento inferior que tiene una capa de material termoplástico reforzado con fibra de carbono unidireccional que forma una zona de soldadura inferior.

5. La aeroestructura (10) de la reivindicación 4, en donde el segundo revestimiento está conectado con los elementos inferiores de las costillas (30, 35) y los largueros (20, 25).

6. La aeroestructura (10) de la reivindicación 1, en donde los elementos aislantes están configurados de tal manera que el termoplástico de las capas primera a cuarta se mantiene por debajo de una temperatura de fusión cuando la quinta capa se calienta a una temperatura por encima de la temperatura de fusión mediante un cabezal de soldadura por inducción.

7. La aeroestructura (10) de la reivindicación 1, en donde el termoplástico de la quinta capa tiene una temperatura de fusión y los elementos aislantes están configurados para impedir el calentamiento de la segunda y tercera capas por encima de la temperatura de fusión cuando el quinto laminado se expone a un campo electromagnético suficiente para elevar una porción del quinto laminado por encima de la temperatura de fusión.

FIGURAS

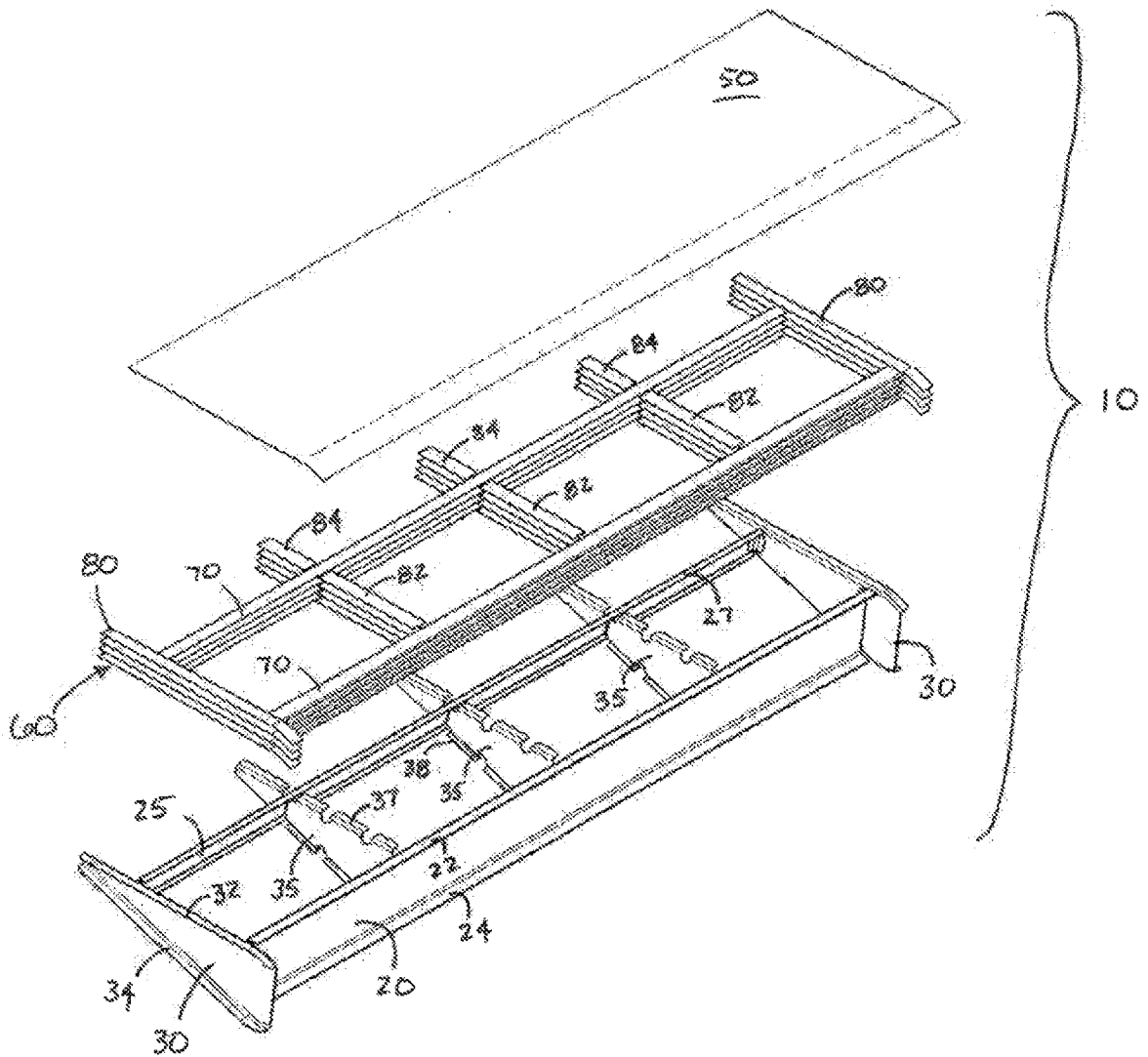
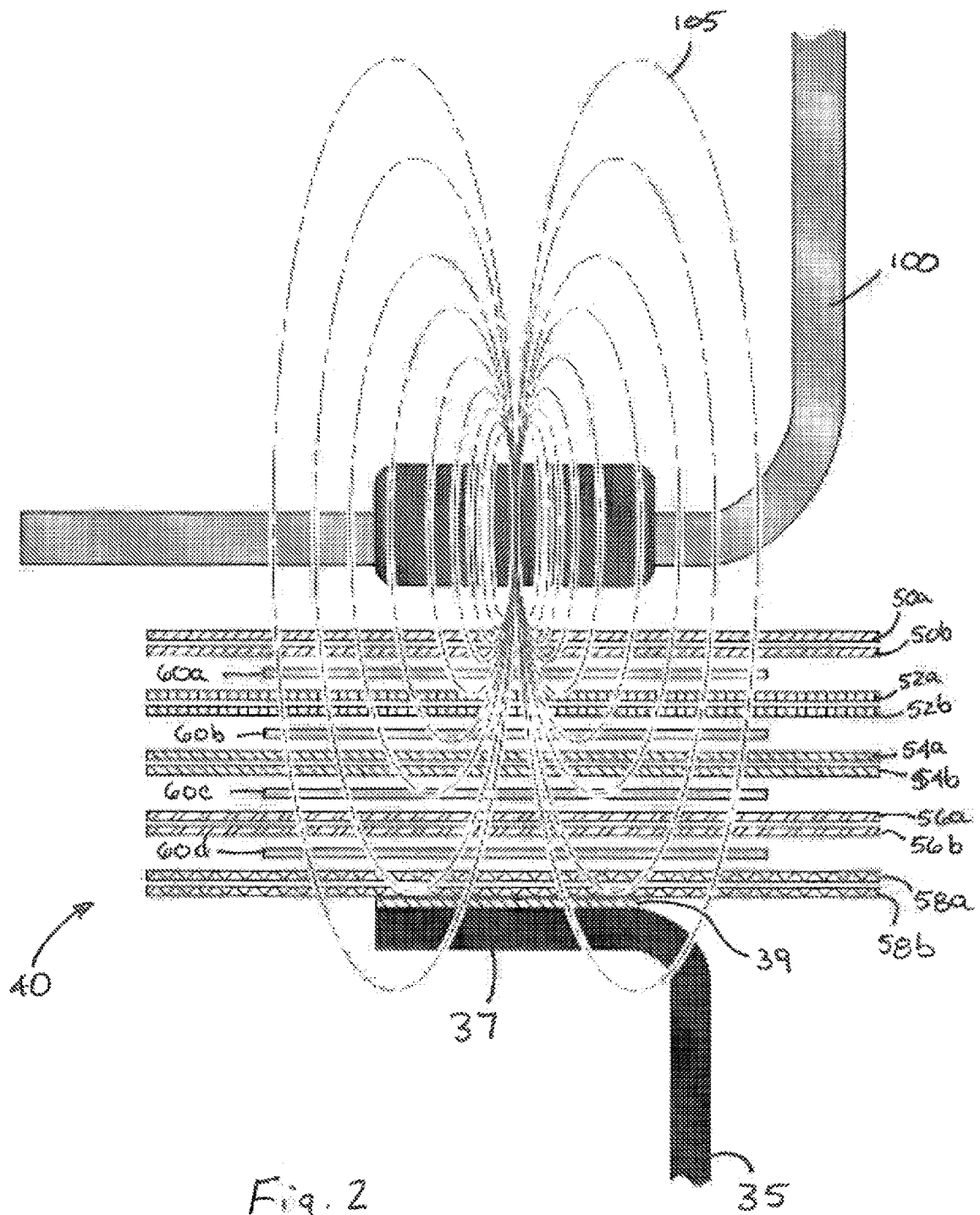


Fig. 1



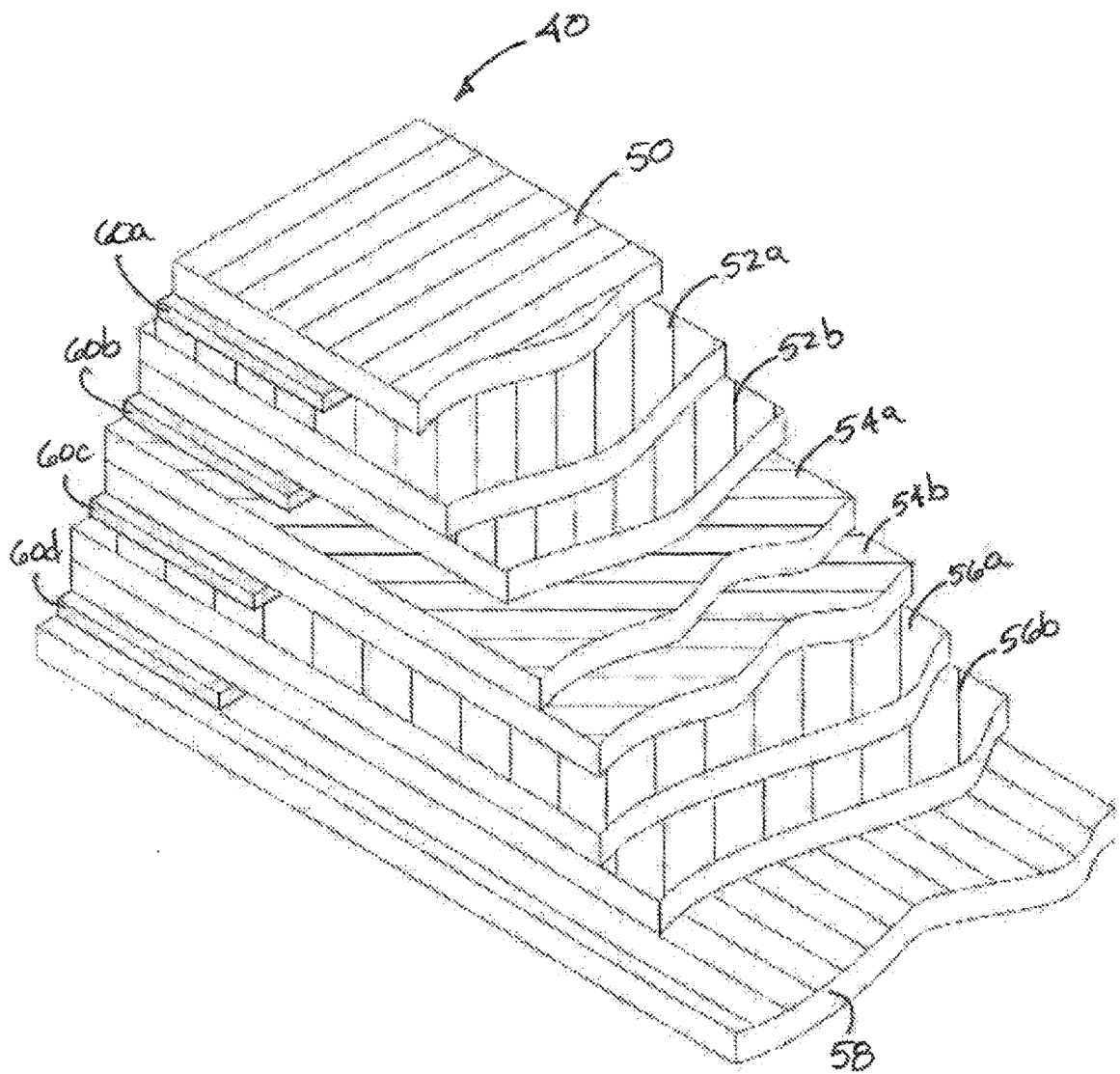


Fig. 3

