

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 333**

51 Int. Cl.:

B32B 7/02	(2009.01) H05B 3/36	(2006.01)
B32B 27/08	(2006.01) H05B 3/84	(2006.01)
B64D 33/02	(2006.01) H05B 7/06	(2006.01)
B32B 27/28	(2006.01) B32B 7/025	(2009.01)
B32B 7/12	(2006.01) B29L 31/30	(2006.01)
B64D 15/22	(2006.01) B29K 307/04	(2006.01)
B64D 15/12	(2006.01)	
H05B 3/26	(2006.01)	
B29C 70/88	(2006.01)	
E04C 3/29	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2019** **PCT/US2019/028978**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2019** **WO19209989**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2019** **E 19793914 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024** **EP 3784488**

54 Título: **Aeroestructura de material compuesto con elemento de calentamiento integrado**

30 Prioridad:

24.04.2018 US 201862661917 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HARDMAN, KYLE, B.;
CALDER, MARK, A. y
DERX, IAN, C.

74 Agente/Representante:

EBRI SAMBEAT, Ana

ES 2 992 333 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 de material compuesto con elemento de calentamiento integrado

- 5 La presente solicitud reivindica la prioridad para la solicitud de patente provisional de Estados Unidos n.º 62/661.917 presentada el 24 de abril de 2018.

Campo de la invención

- 10 La presente invención se refiere al campo de los materiales compuestos. En particular, la presente solicitud se refiere a materiales compuestos que incorporan un conjunto de calentamiento integrado. La presente invención encuentra una aplicación particular en el campo de los sistemas de protección contra el hielo para aeroestructuras de material compuesto.

15 Antecedentes

- La acumulación de hielo sobre las superficies de las aeronaves puede causar situaciones peligrosas en vuelo y ha provocado numerosas víctimas a lo largo de los años. En estructuras tales como el fuselaje, superficies de sustentación, alas, etc., la formación de hielo conduce a un aumento de peso, mayor resistencia y menor sustentación.
- 20 En estructuras tales como las tomas del motor, la formación de hielo en el borde de ataque puede crear problemas de flujo y conducir a la ingestión de hielo, lo que puede degradar el funcionamiento del motor o dañar los componentes del motor.

- Para evitar los peligros asociados con la formación de hielo, a lo largo de los años se han desarrollado numerosos sistemas de protección contra el hielo para proteger la aeronave de la formación de hielo y/o para desprender el hielo de las superficies en caso de que se acumule hielo. Hoy en día, el sistema primario de protección contra el hielo durante el uso son sistemas de aire de purga que redirigen una parte del aire comprimido del motor antes de que el aire entre en la cámara de combustión. El aire comprimido es aire caliente comprimido que se usa para calentar las superficies de la aeronave y evitar así la acumulación de hielo. Aunque los sistemas de purga de aire son efectivos,
- 30 reducen la eficiencia de los motores y aumentan el peso de la aeronave. En consecuencia, durante mucho tiempo se ha sentido la necesidad de un sistema de protección contra el hielo que no adolezca de los inconvenientes de los sistemas conocidos.

- Se pueden encontrar ejemplos de la técnica anterior en: documento GB2513652A, que divulga una estructura de material compuesto para vehículos; documento WO2011087412A1, que divulga un sistema de deshielo/antihielo multifuncional; y documento US2015344138A1, que divulga estructuras de material compuesto multifuncionales.
- 35

Sumario de la invención

- 40 A la luz de lo anterior, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una aeroestructura calentada y un método relacionado como se define en las reivindicaciones que siguen.

- Si bien los métodos y el aparato se describen en el presente documento a modo de ejemplo para diversas realizaciones y dibujos ilustrativos, los expertos en la materia reconocerán que la aeroestructura de la invención con elemento de calentamiento integrado y el método para fabricar una aeroestructura de este tipo no se limitan a las realizaciones o dibujos descritos.
- 45

- Debería entenderse que los dibujos y la descripción detallada de los mismos no pretenden limitar las realizaciones a la forma particular divulgada. Más bien, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del alcance de los métodos y aparatos para clasificar artículos usando uno o más conjuntos de clasificación dinámicamente reconfigurables definidos por las reivindicaciones adjuntas. 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,
- 50 las palabras "incluye", "incluyendo" e "incluyen" significan que incluye, pero sin limitación.
- 55

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:
- 60

la figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de una estructura de material compuesto con un conjunto de calentamiento integrado;

- 65 la figura 2 es una vista en planta del conjunto de calentamiento de la estructura de material compuesto ilustrada en la figura 1;

la figura 3 es una vista esquemática de un sistema que incorpora la estructura de material compuesto ilustrada en la figura 1;

la figura 4 es una vista en perspectiva parcialmente seccionada de una aeroestructura de material compuesto que incorpora un conjunto de calentamiento integrado;

la figura 5 es una vista en perspectiva despiezada de la aeroestructura de material compuesto ilustrada en la figura 4;

la figura 6 es una vista en perspectiva despiezada de una aeroestructura de material compuesto alternativa que incorpora un conjunto de calentamiento integrado;

la figura 7 es una vista en planta de una capa de calentamiento de la aeroestructura ilustrada en la figura 6;

la figura 8 es una vista en planta de la zona de calentamiento de la capa de calentamiento ilustrada en la figura 7; y

la figura 9 es una vista en perspectiva de una parte de la capa de calentamiento de la figura 7.

Descripción detallada de la invención

Haciendo referencia ahora a las figuras en general, y a las figuras 1-3 en particular, un sistema que incorpora una estructura de material compuesto con un conjunto de calentamiento integrado se designa en general 10. El sistema incluye un laminado 20, una fuente de energía 60 y un controlador 70 que controla la energía proporcionada al laminado. El laminado incluye capas estructurales 25, 26 y un conjunto de calentamiento 30. La capa de calentamiento 30 puede configurarse para proporcionar suficiente calor a la estructura para calentar la superficie superior y/o inferior del laminado 20.

Haciendo referencia ahora a la figura 1, los detalles del laminado 20 se describirán con mayor detalle. El laminado 20 incluye un elemento de calentamiento 30 incrustado dentro de las capas estructurales. En particular, el elemento de calentamiento 30 está intercalado entre una capa estructural superior 25 y una capa estructural inferior 26. Cada una de las capas estructurales superior e inferior 25, 26 está formada por una o más hojas de una lámina de material compuesto. En el presente caso, cada capa estructural comprende una pluralidad de láminas de material compuesto. Cada lámina de material compuesto comprende elementos de refuerzo incrustados dentro de un material de matriz. Dependiendo de la aplicación, los elementos de refuerzo pueden ser cualquiera de una diversidad 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 3 000 a 12 000. En particular, en el presente caso, los elementos de refuerzo son fibras de carbono producidas por Hexcel Corporation de Stamford, CT y comercializadas con el nombre HEXTOW, tal como HEXTOW AS4D. 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 usar 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 diversidad 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), incluyendo, pero sin limitación, polieteretercetona (PEEK) y polietercetona (PEKK).

Como se ha indicado anteriormente, las capas estructurales 25, 26, están formadas de una o más láminas de material compuesto, que pueden ser materiales 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 refuerzos de fibra 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 nuevamente a la figura 1, el laminado comprende una capa de calentamiento 30 dispuesta entre las capas estructurales superior e inferior 25, 26. Las capas estructurales están formadas por láminas de material compuesto y están configuradas para soportar la carga estructural. Aunque la capa de calentamiento puede configurarse para soportar una carga estructural, en el presente caso, la capa de calentamiento 30 está configurada para calentar el laminado 20 sin soportar una carga estructural significativa, si es que la hay. En particular, la capa de calentamiento 30 está configurada para proporcionar suficiente calor para elevar la temperatura de la superficie superior 22 y/o la superficie inferior 23 del laminado.

La capa de calentamiento 30 está configurada para proporcionar calentamiento resistivo haciendo pasar corriente a través de uno o más elementos resistivos 40, que funcionan como elemento de calentamiento. Los elementos resistivos 40 son eléctricamente conductores, pero proporcionan suficiente resistencia eléctrica para proporcionar calentamiento resistivo cuando se aplica corriente. Se puede incorporar una diversidad de elementos resistivos en la capa de calentamiento 30, sin embargo, en el presente caso, los elementos resistivos están formados por un elemento no metálico. Además, el elemento de calentamiento puede ser el mismo o sustancialmente similar a los elementos de refuerzo en una o ambas de las capas estructurales 25, 26. Por ejemplo, en el presente caso, los elementos resistivos 40 son fibras de carbono. Específicamente, los elementos resistivos 40 son fibras de carbono, tales como las fibras continuas, de alta resistencia, alta tensión, basadas en PAN descritas anteriormente en relación con las capas estructurales 25, 26.

Haciendo referencia a las figuras 1-2, los elementos resistivos 40 están conectados con un electrodo de entrada 50 y un electrodo de salida 52. Los elementos resistivos 40 proporcionan un camino continuo entre el primer y segundo electrodos 50, 52. Los elementos resistivos 40 están orientados en el laminado 20 para calentar al menos una parte del laminado a lo largo de la longitud del laminado. En el presente caso, los elementos resistivos 40 son fibras de carbono y las fibras están orientadas para formar un patrón serpenteante a través de la longitud del laminado.

Aunque cada elemento resistivo se puede extender por la longitud y/o la anchura del laminado, en el presente caso, los elementos resistivos se extienden por una parte de la longitud del laminado. Por ejemplo, un primer elemento resistivo 40a tiene un primer extremo 42a conectado con el primer electrodo 50 y un segundo extremo 44a conectado con el segundo electrodo 52. De manera similar, los elementos resistivos adicionales 40b, 40c se extienden entre los electrodos 50, 52.

En la descripción anterior, cada elemento resistivo 40a, 40b, 40c se describe como un elemento individual, sin embargo, debería entenderse que cada elemento resistivo puede comprender una pluralidad de elementos resistivos separados. En particular, cuando los elementos resistivos son fibras de carbono, cada elemento resistivo puede comprender cientos o miles de hebras o fibras individuales que se extienden a lo largo de la longitud del elemento resistivo.

Los elementos resistivos de fibra de carbono 40 están incrustados 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 calentamiento, la capa de calentamiento se forma integralmente con el laminado. En particular, en el presente caso, el conjunto de calentamiento está formado por un material compuesto que tiene una matriz que es sustancialmente similar al material de matriz que forma las capas estructurales 25, 26. 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). Adicionalmente, en el presente caso, los elementos resistivos están formados a partir de una lámina de material de fibra de carbono unidireccional. Las fibras unidireccionales se forman en una pluralidad de segmentos que están interconectados para formar elementos resistivos continuos desde el primer extremo 42 hasta el segundo extremo 44. En el presente caso, los segmentos individuales de cada elemento resistivo están interconectados por elementos conductores, tales como cobre. Adicionalmente, aunque la presente realización incorpora fibras unidireccionales, debe entenderse que el elemento resistivo puede estar formado por una pluralidad de hebras o fibras continuas de material conductor. Por ejemplo, el elemento resistivo puede comprender una pluralidad de fibras de carbono continuas en la que las fibras de carbono no son rectas, sino que forman elementos curvos, similares al patrón serpenteante mostrado en la figura 2. Por ejemplo, las fibras de carbono pueden formarse en un material compuesto ondulado en el que las fibras se disponen en un patrón de onda periódica, similar a una onda sinusoidal.

Si los elementos resistivos 40 son fibras de carbono, las fibras de carbono pueden recubrirse con un material de encolado para mejorar la unión entre las fibras de carbono y el material de matriz. Sin embargo, el material de encolado puede tender a aislar eléctricamente las fibras de carbono para que no hagan una conexión eléctrica con los electrodos 50, 52. Por consiguiente, puede ser deseable utilizar un elemento conductor que aumente el número potencial de puntos de conexión eléctrica entre las fibras de carbono y los electrodos. Además, puede ser deseable utilizar un elemento conductor que sea más probable que entre en contacto con los extremos de las fibras de carbono que no están cubiertos en encolado. Por ejemplo, en el presente caso, los electrodos 50, 52 comprenden una malla metálica conductora, tal como una malla de cobre. La malla metálica proporciona múltiples puntos de contacto a lo largo de la longitud del extremo de cada elemento resistivo 40. La configuración de la malla de cobre puede variar, sin embargo, preferiblemente, la malla está configurada de modo que la parte abierta de la malla (el área de poros por pulgada

cuadrada de malla) sea mayor que la parte cerrada de la malla (es decir, el área de la cobre por pulgada cuadrada de malla). Adicionalmente, la parte abierta de la malla puede ser mayor de aproximadamente el 60 %. En algunas configuraciones, la parte abierta de la malla puede ser mayor de aproximadamente el 70 %.

- 5 Como se ha descrito anteriormente, la capa de calentamiento 30 comprende una pluralidad de fibras de carbono conectadas eléctricamente con elementos conductores, tales como el electrodo de entrada 50 y el electrodo de salida 52. Las fibras de carbono están incrustadas dentro de un material de matriz, tal como un termoplástico. De manera similar, las capas estructurales 25, 26 también pueden estar formadas de material termoplástico reforzado con fibra de carbono. Por lo tanto, las fibras de carbono en los elementos estructurales también son conductoras de electricidad.
- 10 Para garantizar que los elementos de la capa de calentamiento 30 no se conecten eléctricamente con las fibras de carbono en las capas estructurales 25, 26, el laminado puede incluir una capa aislante. La capa aislante 28 está dispuesta entre la capa de calentamiento 30 y las capas estructurales. En particular, el laminado puede incluir una primera capa aislante 28 entre la cara superior de la capa de calentamiento 30 y la capa estructural superior 25 y una segunda capa aislante 28 entre la cara inferior de la capa de calentamiento y la capa estructural inferior 26. La capa aislante 28 proporciona aislamiento eléctrico entre las capas estructurales y los elementos eléctricamente conductores (por ejemplo, elementos resistivos 40, electrodo de entrada 50, electrodo de salida 52) de la capa de calentamiento 30.

- 20 La capa aislante 28 puede comprender cualquiera de una diversidad de materiales eléctricamente aislantes. Preferiblemente, la capa aislante 28 comprende un material termoplástico. En el presente caso, la capa aislante comprende una o más láminas de termoplástico reforzado con vidrio.

- 25 Como se ha analizado anteriormente, cada una de las capas estructurales 25, 26, la capa de calentamiento 30 y las capas aislantes 28 pueden comprender capas de materiales compuestos termoplásticos reforzados. En consecuencia, la capa estructural superior 25, las capas estructurales inferiores, la capa de calentamiento y cualquier capa aislante 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, la capa de calentamiento 30 está incrustada dentro del laminado entre las capas estructurales superior e inferior 25, 26.

- 30 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 1, la capa de calentamiento 30 se representa con un espesor mayor que las capas aislantes 28. Sin embargo, la capa de calentamiento 30 puede ser solo una única lámina de material compuesto. De manera similar, la capa aislante puede ser una única lámina de material compuesto. Además, como se ha indicado anteriormente, cada capa aislante 28 puede comprender una o más láminas. Adicionalmente, el espesor de las capas estructurales puede ser significativamente más grueso que el espesor del grosor de la capa de calentamiento. Por ejemplo, la capa superior 25 puede formarse a partir de tres o más láminas de material compuesto reforzado de modo que las capas estructurales sean sustancialmente más gruesas que el espesor de la capa de calentamiento. Adicionalmente, como se muestra en la figura 2, la capa de calentamiento 30 no es necesariamente una capa continua que se extiende por toda la longitud y anchura del laminado como se muestra en la figura 1. En su lugar, la capa de calentamiento 30 puede estar incrustada dentro de las capas aislantes 28.

- 45 Haciendo referencia ahora a la figura 3, el laminado calentado 20 descrito anteriormente puede incorporarse en un sistema para proporcionar un calentamiento controlado. El sistema incorpora una fuente de alimentación 60 que está conectada al laminado calentado 20 a través de un controlador 70. El controlador puede ser cualquiera de una diversidad de controladores electrónicos, incluyendo, pero sin limitación, un controlador P, PD, PI, PID o un microprocesador. Los electrodos 50, 52 del laminado calentado están conectados con el controlador 70 de modo que el controlador controle el flujo de electricidad al laminado. En respuesta a las señales, el controlador 70 cierra el circuito entre el conjunto de calentamiento 30 y la fuente de alimentación para encender la capa de calentamiento. De manera similar, en respuesta a las señales, el controlador puede desconectar las capas de calentamiento de la fuente de alimentación para apagar la capa de calentamiento. De manera similar, el controlador puede configurarse para aumentar o disminuir una característica de la electricidad, tal como aumentar o disminuir la corriente proporcionada a la capa de calentamiento.

- 55 El controlador puede controlar el flujo de electricidad al conjunto de calentamiento basándose en una diversidad de controles. Por ejemplo, el sistema puede incluir un interruptor operable manualmente de modo que el controlador controle el sistema en respuesta al accionamiento del interruptor (es decir, la capa de calentamiento 30 está conectada con la fuente de alimentación cuando el interruptor está ENCENDIDO y desconectada cuando el interruptor está APAGADO). Adicionalmente, el sistema 10 puede incluir un bucle de realimentación de modo que el controlador controle el sistema en respuesta a la realimentación. Por ejemplo, el sistema puede incluir un sensor que se usa para detectar una característica del conjunto y el controlador puede controlar la operación de la capa de calentamiento en respuesta a la característica detectada. Un sensor ilustrativo es un sensor para detectar una característica indicativa de la formación de hielo en el laminado 20. Por ejemplo, el sistema puede incluir un detector de hielo tal como una sonda transductora óptica configurada para detectar la presencia de hielo en el laminado, tal como la superficie superior 22. El detector de hielo está conectado al controlador para proporcionar señales al controlador indicativas de la presencia de hielo. Si la señal indica la presencia de hielo, el controlador puede conectar la capa de calentamiento

30 con la fuente de alimentación para ENCENDER la capa de calentamiento. De manera similar, si el controlador recibe una señal del sensor 75 que indica una falta de hielo, el controlador puede desconectar la capa de calentamiento de la fuente de alimentación para APAGAR la capa de calentamiento.

- 5 Configurado como se ha descrito anteriormente, el sistema puede configurarse para elevar la temperatura de una o más superficies de la aerestructura para impedir la formación de hielo en la aerestructura o para derretir el hielo formado en la aerestructura. Específicamente, el primer electrodo y las fibras de carbono conductoras de electricidad están conectados de tal manera que la energía eléctrica aplicada al primer electrodo se conduce a las fibras de carbono conductoras de electricidad para proporcionar un calentamiento resistivo suficiente para que la capa de calentamiento logre un aumento de temperatura de al menos 50 grados Fahrenheit (10 grados Celsius) o aproximadamente 30 grados Celsius.

- 15 Opcionalmente, las fibras de carbono de la capa de calentamiento se conectan con el primer electrodo de modo que la energía eléctrica aplicada al primer electrodo se conduzca a las fibras de carbono eléctricamente conductoras para proporcionar un calentamiento resistivo suficiente para que la capa de calentamiento logre un aumento de temperatura de 100 grados Fahrenheit (37,78 grados Celsius) o aproximadamente 55 grados Celsius. Además, las fibras de carbono de la capa de calentamiento pueden conectarse con el primer electrodo de manera que la energía eléctrica aplicada al primer electrodo se conduzca a las fibras de carbono eléctricamente conductoras para proporcionar un calentamiento resistivo suficiente para que la capa de calentamiento logre un aumento de temperatura de 200 grados Fahrenheit (93,33 grados Celsius) o aproximadamente 110 grados Celsius.

- El laminado calentado 20 puede formarse usando una diversidad de procesos. A continuación se describirán los detalles de un proceso de formación del laminado calentado a partir de una pluralidad de capas termoplásticas reforzadas.

- 25 Una pluralidad de capas de cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono se disponen una encima de otra para formar una pluralidad de hojas que forman la capa estructural inferior 26. La orientación de las fibras en las hojas varía. Por ejemplo, la capa inferior puede estar formada por cuatro hojas orientadas a 0, +45°, 90°, -45°. A continuación, se disponen una o más capas de termoplástico reforzado con fibra de vidrio sobre las cuatro capas inferiores. Dos electrodos en forma de tiras metálicas eléctricamente conductoras alargadas, tales como de malla metálica, están separados entre sí y dispuestos sobre las capas de fibra de vidrio que se extienden desde un primer extremo hacia un segundo extremo. La cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono que forma los elementos resistivos 30 se superpone a continuación sobre las capas de fibra de vidrio de modo que un extremo de la cinta de fibra de carbono se superpone a la primera longitud de malla de cobre y el segundo extremo de la cinta de fibra de carbono se superpone a la segunda longitud de malla de cobre. Adicionalmente, la cinta de fibra de carbono puede empalmarse para formar un patrón serpenteante, con malla metálica superpuesta a las juntas entre piezas adyacentes de la cinta de fibra de carbono para formar un camino eléctrico continuo. Después de que los elementos de calentamiento se dispongan sobre las capas inferiores de fibra de vidrio y la malla de cobre, se colocan dos capas de termoplástico reforzado con fibra de vidrio sobre los elementos de calentamiento. A continuación, se disponen cuatro capas de cinta de fibra de carbono similares a las cuatro capas inferiores sobre las capas de fibra de vidrio. Las capas superiores de cinta termoplástica de fibra de carbono forman la capa estructural superior. Al igual que la capa estructural inferior, se varía la orientación de las fibras en las hojas de la capa estructural superior. Por ejemplo, las hojas de la capa estructural superior pueden estar formadas por cuatro hojas orientadas a 0, +45°, 90°, -45°. En este laminado ilustrativo, las capas de fibra de carbono de la capa estructural superior, la capa de calentamiento y la capa estructural inferior están formadas por cinta unidireccional reforzada con fibra de carbono PEEK/AS4 y las capas aislantes están formadas por cinta unidireccional termoplástica reforzada con fibra de vidrio PEEK/S2.

- A continuación, el laminado se consolida calentando las hojas ensambladas bajo presión. Por ejemplo, el conjunto puede calentarse hasta una temperatura por encima de la temperatura de fusión. A continuación, se elimina la presión y el laminado consolidado se enfría a temperatura ambiente.

- Un laminado formado de acuerdo con dicho proceso se conectó a continuación con una fuente de alimentación. En particular, se conectó una fuente de alimentación de 28 V de CC y 8 amperios con el laminado. Después de la aplicación de energía al laminado, el elemento de calentamiento proporcionó suficiente resistencia para proporcionar una caída de tensión de 25 V entre el electrodo de entrada y el electrodo de salida. El calentamiento por resistencia resultante proporcionó un aumento de temperatura de 230° Fahrenheit (110 grados Celsius). Este aumento de temperatura estaba por debajo de la temperatura de transición vítrea del material de matriz en el laminado y sustancialmente por debajo de la temperatura de fusión.

- 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 calentado puede usarse en una diversidad de estructuras en una diversidad de campos y puede tener una aplicación particular en el campo aeroespacial para proporcionar sistemas de protección contra el hielo para una diversidad de componentes, que incluyen, pero sin limitación, fuselajes, góndolas y superficies de sustentación, tales como alas, elevadores, etc. El laminado 20 descrito anteriormente puede formarse en una estructura curva e incorporarse en un sistema similar al sistema 10 descrito anteriormente para proporcionar una estructura laminada calentada.

Por ejemplo, en las figuras 4-5 se ilustra un laminado 120 ilustrativo que forma una aeroestructura. Excepto como se describe más adelante, las características del laminado 120 son similares a las características del laminado 20 descrito anteriormente. El laminado 120 ilustrado forma una sección de la góndola que forma un borde de ataque alrededor de la admisión del motor a reacción. El laminado 120 está formado de modo que la capa de calentamiento 130 envuelve el borde de ataque de la estructura. En particular, el laminado comprende una curva convexa que tiene un vértice 121, una superficie superior 122 y una superficie inferior 123.

El laminado 120 se forma de manera similar al laminado 20 descrito anteriormente. En particular, el laminado incluye una capa estructural superior 125 formada por una pluralidad de láminas de material compuesto reforzadas y una capa estructural inferior 126 formada por una pluralidad de láminas de material compuesto reforzadas. Una capa de calentamiento 130 está incrustada entre las capas estructurales superior e inferior 125, 126. Adicionalmente, se puede disponer una capa eléctricamente aislante superior 128 entre la capa de calentamiento y las capas estructurales superiores y se puede disponer una capa aislante inferior entre la capa de calentamiento y las capas estructurales inferiores. La capa de calentamiento comprende una pluralidad de elementos resistivos que forman un camino eléctrico entre un electrodo de entrada 150 y un electrodo de salida 152. La capa de calentamiento puede ser cualquiera de una diversidad de elementos y, en el presente caso, el elemento de calentamiento está formado por un elemento conductor no metálico, tal como fibra de carbono.

La capa de calentamiento puede configurarse para superponerse a las superficies superior o inferior del laminado, sin embargo, en el presente caso, la capa de calentamiento está configurada para superponerse tanto a la superficie superior como a la inferior. Más específicamente, la capa de calentamiento 130 está dispuesta dentro de la lámina de modo que una parte del elemento resistivo 140 se superpone a la superficie superior. Adicionalmente, el elemento resistivo está dispuesto de modo que una parte del elemento resistivo se extiende sobre el vértice 121 de la curva y luego sobre la superficie inferior 123. De esta manera, el elemento de calentamiento envuelve el borde de ataque de la góndola.

Las capas de la góndola se consolidan para formar un laminado integral con la capa de calentamiento incrustada dentro del laminado. Por ejemplo, el laminado 120 puede estar formado por materiales compuestos termoplásticos reforzados como se ha descrito anteriormente, de modo que el laminado se consolide calentando las capas ensambladas a una temperatura elevada bajo presión.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema ilustrado en la figura 3 puede incorporar el elemento de material compuesto 120 ilustrado en las figuras 4-5 en lugar del elemento de material compuesto 20 ilustrado en la figura 3. De manera similar, las figuras 6-9 ilustran un elemento de material compuesto alternativo 220 que puede incorporarse en el sistema ilustrado en la figura 3 en lugar del elemento de material compuesto 20.

Por consiguiente, los detalles del elemento de material compuesto 220 se describirán ahora en detalle.

El elemento de material compuesto 220 puede incluir una capa estructural superior 225, un elemento estructural inferior 226 y una capa de calentamiento 230 dispuesta entre la capa estructural superior 225 y la capa estructural inferior. La estructura de las capas estructurales superior e inferior 225, 226 puede variar. En particular, las capas estructurales 225, 226 pueden estar formadas por una o más capas de material compuesto reforzado, tal como material reforzado con fibra de carbono o fibra de vidrio. En el presente caso, las capas estructurales 225, 226 están formadas del mismo material. Por ejemplo, en el presente caso, una pluralidad de capas de cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono se disponen una encima de otra para formar una pluralidad de hojas que forman la capa estructural inferior 226. La orientación de las fibras en las hojas varía. Por ejemplo, la capa inferior puede estar formada por cuatro hojas de termoplástico reforzado con fibra de carbono orientadas a 0°, +45°, 90°, -45°. La capa estructural superior 225 puede formarse de manera similar a la capa inferior 226. La capa de calentamiento 240 comprende uno o más elementos resistivos 240 formados de termoplástico reforzado con fibra de carbono. Preferiblemente, el elemento o elementos resistivos están formados de material termoplástico reforzado con fibra de carbono que es sustancialmente similar al material a partir del cual se forman las capas estructurales 225, 226.

La capa de calentamiento 230 está comprendida por una pluralidad de elementos resistivos. Como se ha descrito anteriormente, la capa de calentamiento puede estar formada por un único elemento resistivo 40, 140. Como alternativa, la capa de calentamiento 230 puede incluir una pluralidad de zonas de calentamiento que pueden controlarse independientemente. Por ejemplo, en la realización ilustrada en las figuras 6-9, la capa de calentamiento 230 incluye tres zonas de calentamiento 250, 270 y 290. Como se describe adicionalmente a continuación, la capa de calentamiento 240 comprende una pluralidad de capas y las tres zonas de calentamiento se reparten en dos capas diferentes en la capa de calentamiento. Sin embargo, debe apreciarse que la capa de calentamiento puede ser una sola capa o pueden ser más de dos capas.

Haciendo referencia ahora a las figuras 7-8, los detalles de la capa de calentamiento se describirán ahora con mayor detalle. La figura 8 ilustra con mayor claridad los detalles de la primera zona 250 del elemento de calentamiento. La primera zona incluye uno o más elementos resistivos 255 que se extienden entre una pluralidad de elementos conductores 265, 266. El número de elementos resistivos 255 puede variar, sin embargo, en el presente caso, la

primera zona 250 incluye cinco elementos resistivos designados 255A-255E. Los elementos resistivos pueden tener diferentes configuraciones, sin embargo, en el presente caso, cada elemento resistivo 255A-255E es sustancialmente similar y tiene un valor resistivo sustancialmente similar. Por consiguiente, la siguiente descripción del elemento resistivo 255 se aplica a cada uno de los elementos resistivos 255A-255E.

5 El elemento resistivo 255 comprende tres secciones: una punta 257 en un primer extremo, una cola 258 en un segundo extremo y una sección de cuerpo 260 que se extiende entre la punta y la cola.

10 La punta 257 forma una conexión eléctrica con el elemento conductor 265 y la cola forma una conexión eléctrica con el elemento conductor 266. El cuerpo proporciona un camino eléctrico entre la punta y la cola. En particular, el cuerpo 260 proporciona un camino eléctrico que tiene suficiente resistencia para proporcionar un calentamiento por efecto Joule suficiente para elevar la temperatura de la capa de calentamiento 230 cuando la corriente pasa a través del cuerpo.

15 Los elementos resistivos 255 pueden configurarse en cualquiera de una diversidad de configuraciones. Por ejemplo, el cuerpo 260 puede ser un cuerpo generalmente recto o lineal que se extiende entre el primer conductor 265 y el segundo conductor 266. De esta manera, la zona uno puede comprender una pluralidad de elementos resistivos rectos que se extienden entre el primer conductor 265 y el segundo conductor 266.

20 Sin embargo, en el presente caso, el cuerpo 260 del elemento resistivo 255 comprende un camino enrevesado para aumentar el área de calentamiento efectiva de cada elemento de calentamiento. Específicamente, el cuerpo 260 puede comprender una configuración serpenteante que tiene una pluralidad de tramos. En particular, el camino serpenteante puede incluir una pluralidad de tramos general o sustancialmente paralelos. El camino serpenteante está restringido preferiblemente dentro de una única capa o lámina de modo que el camino serpenteante del cuerpo no se cruce ni se
25 superponga en ningún punto entre la punta 257 y la cola 258. En otras palabras, el cuerpo 260 puede tener un espesor nominal que es sustancialmente constante a lo largo de la longitud del cuerpo. Adicionalmente, el cuerpo puede formar un camino recíproco enrevesado, pero el cuerpo no se cruza sobre sí mismo formando un punto o área en la que el elemento resistivo tenga un espesor que sea el doble del espesor nominal del cuerpo.

30 Preferiblemente, los elementos resistivos 255 están conectados en paralelo entre el primer y segundo elementos conductores 265, 266. De esta manera, la primera zona 250 del elemento de calentamiento 230 comprende un primer circuito en el que el conductor 265 forma una primera punta o electrodo y el segundo conductor 266 forma una segunda punta o electrodo con los elementos resistivos conectando eléctricamente los dos electrodos. Cuando los dos electrodos 265, 266 están conectados a una fuente de alimentación, la corriente pasa a través de los elementos
35 resistivos 255 para crear un efecto de calentamiento por efecto Joule. En la realización ilustrada en la figura 8, el elemento resistivo es un camino eléctrico continuo entre los dos elementos conductores 265, 266. En particular, los elementos resistivos comprenden una pluralidad de fibras de carbono unidireccionales continuas que forman un camino eléctrico enrevesado, tal como un camino serpenteante, entre el primer electrodo 265 y el segundo electrodo 266. En el presente caso, las fibras de carbono están incrustadas dentro de una matriz de material termoplástico. Más
40 específicamente, preferiblemente las fibras de carbono están incrustadas dentro de una resina termoplástica que es sustancialmente la misma que el material termoplástico que forma el material de matriz de las capas estructurales. Por ejemplo, el elemento resistivo puede estar formado por una cinta unidireccional estrecha, tal como una cinta preimpregnada unidireccional AS4D/PAEK de 0,12" (0,30 cm) de ancho. Una cinta de fibra de carbono unidireccional ilustrativa es la TC1225 comercializada por Tencate como se ha mencionado anteriormente.

45 En particular, preferiblemente el elemento resistivo 255 comprende un material unidireccional tal que sustancialmente todas las fibras de carbono en el material son paralelas. Más específicamente, preferiblemente, sustancialmente todas las fibras de carbono tienen un primer extremo y un segundo extremo de modo que sustancialmente todas las fibras de carbono se extienden por toda la longitud del elemento resistivo 255 desde la punta 257 hasta la cola 258. En este
50 contexto, sustancialmente todas las fibras de carbono significan al menos el 90 % de las fibras de carbono en el elemento resistivo.

El elemento resistivo 255 puede conformarse en una forma enrevesada mediante conformación térmica de la cinta de fibra unidireccional. Específicamente, una longitud de cinta unidireccional puede calentarse a una temperatura
55 suficiente para hacer que el material termoplástico se ablande. Por ejemplo, la cinta puede calentarse a una temperatura por encima de la temperatura de transición vítrea T_g para el material de matriz termoplástico para la cinta. Además, puede ser deseable calentar la cinta a una temperatura significativamente más alta que la temperatura de transición vítrea, tal como a, o por encima de, la temperatura de fusión T_m para el material de matriz termoplástico (si el termoplástico tiene una temperatura de fusión). En el ejemplo de una resina termoplástica PAEK o PEEK, la cinta
60 puede calentarse por encima de aproximadamente 300 °C. Una vez que la cinta se calienta por encima de T_m , la cinta se envuelve alrededor de un molde que proporciona una forma enrevesada. Conformado de esta manera, el elemento resistivo forma un camino enrevesado en el que el elemento resistivo no se cruza sobre sí mismo, de modo que toda la longitud del elemento resistivo es sustancialmente la misma que un único espesor de la cinta. Después de que la cinta se conforme con la forma enrevesada, la cinta se enfría por debajo de la transición vítrea.

65 Como se ha descrito anteriormente, el elemento resistivo 255 proporciona un camino eléctrico.

Debido a que las fibras de carbono son unidireccionales, el camino eléctrico sigue la configuración del elemento resistivo desde el primer electrodo 265 hasta el segundo electrodo 266. Por ejemplo, como se muestra en la figura 8, cada elemento resistivo sigue un camino enrevesado, tal como un camino serpenteante. El elemento resistivo 255 tiene un eje central que se extiende desde la punta 257 hasta la cola, siguiendo el camino serpenteante. Las fibras de carbono en el elemento resistivo siguen el eje central. En otras palabras, todas o sustancialmente todas las fibras de carbono en el elemento resistivo son sustancialmente paralelas entre sí y sustancialmente paralelas al eje central.

El elemento resistivo 255 está conectado con los elementos conductores 265, 266 de modo que las fibras de carbono del elemento resistivo están conectadas eléctricamente con los elementos conductores. Más específicamente, los elementos conductores contactan directamente con el carbono de las fibras de carbono. En particular, debería observarse que las fibras de carbono pueden tener un recubrimiento, denominado encolado. Preferiblemente, los elementos conductores 265, 266 contactan directamente con la fibra de carbono de modo que la fibra de carbono proporciona el camino eléctrico entre los elementos conductores 265, 266. Más específicamente, si las fibras de carbono incluyen un encolado (tal como un recubrimiento para promover la unión entre las fibras de carbono y la resina termoplástica), el encolado puede ser significativamente menos conductor que la fibra de carbono para que la fibra de carbono conduzca al menos la mayoría, y preferiblemente sustancialmente toda, la electricidad que fluye a través del elemento resistivo entre el primer conductor y el segundo conductor.

Configurado como se ha descrito anteriormente, en una configuración ilustrativa de la primera zona 250, cada elemento resistivo 255A-255E proporciona aproximadamente 46 ohmios de resistencia. De esta manera, la potencia nominal de la primera zona a 100 voltios de CA es de aproximadamente 1100 vatios. En consecuencia, el elemento de calentamiento 230 proporciona suficiente calentamiento por efecto Joule para elevar la temperatura superficial de la superficie exterior del elemento estructural superior 225 sin elevar la temperatura del elemento 220 por encima de la temperatura de transición vítrea para el material de matriz termoplástico en el elemento.

Haciendo referencia ahora a la figura 7, ahora se describirán los detalles de la segunda y tercera zonas de calentamiento 270, 290. La segunda zona de calentamiento 270 está configurada sustancialmente de manera similar a la primera zona de calentamiento 250. Específicamente, la segunda zona de calentamiento 270 comprende una pluralidad de elementos resistivos 275A-275E. Cada uno de los elementos resistivos 275 incluye una punta 277 conectada eléctricamente con un tercer elemento conductor 285 y una cola conectada eléctricamente con un cuarto elemento conductor 286. Los elementos resistivos 275A-275E están conectados en paralelo con los dos elementos conductores 285, 286.

Los elementos resistivos 275A-275E pueden formarse sustancialmente de manera idéntica a los elementos resistivos 255A-255E de la primera zona de calentamiento 250. Sin embargo, puede ser deseable variar la configuración de los elementos resistivos en la segunda zona de calentamiento para variar las características de calentamiento de la segunda zona de calentamiento. Por ejemplo, en el presente caso, los elementos resistivos 275 son sustancialmente más largos que los elementos resistivos 255. En particular, el cuerpo 280 del elemento resistivo 275 puede ser aproximadamente el doble de largo que el cuerpo 260 del elemento resistivo 255. De esta manera, si el elemento resistivo 275 está formado del mismo material que el elemento resistivo 255, entonces el elemento resistivo 275 tendrá una resistencia sustancialmente mayor que el elemento resistivo 255. De esta manera, a la misma tensión, la potencia nominal de la segunda zona es significativamente menor que la potencia nominal de la primera zona 250. Por ejemplo, a 100 voltios de CA, la potencia de la segunda zona de calentamiento puede ser de aproximadamente 800 vatios frente a los 1100 vatios nominales para la primera zona de calentamiento.

La figura 7 ilustra adicionalmente la tercera zona de calentamiento 290, que incluye una pluralidad de elementos resistivos 295A-295E conectados en paralelo al cuarto elemento conductor 286 y a un quinto elemento conductor 287. Aunque los elementos resistivos 295A-295E pueden configurarse de manera diferente a los elementos resistivos 275A-275E, en el presente caso los elementos resistivos 295A-295E son sustancialmente idénticos a los elementos resistivos 275A-275E.

Como se muestra en la figura 7, la primera zona de calentamiento 250 está en una capa separada de la segunda y tercera zonas de calentamiento 270, 290. En particular, las tres zonas de calentamiento están configuradas de modo que el cuerpo 260 de cada elemento resistivo 255A-255E se coloca por debajo de la segunda y tercera zonas de calentamiento para que el cuerpo de cada elemento resistivo 275, 295 no se superponga al cuerpo 260 de cada elemento resistivo en la primera zona de calentamiento. De esta manera, el área de calentamiento proporcionada por la segunda y tercera zonas de calentamiento no se superpone sustancialmente al área de calentamiento creada por la primera zona de calentamiento.

Como se muestra en la figura 7, las diferentes capas del elemento de calentamiento están separadas por capas aislantes. Por ejemplo, se pueden colocar una o más capas aislantes entre la capa que tiene la primera zona de calentamiento 250 y las capas que tienen la segunda y tercera zonas de calentamiento. En particular, una capa aislante formada de material termoplástico reforzado con fibra de vidrio puede superponerse a la primera zona de calentamiento para aislar eléctricamente los primeros elementos resistivos 255 de los segundos y terceros elementos resistivos 275, 295. Las capas aislantes pueden estar formadas por capas de PEEK S2 como se ha descrito

anteriormente.

El laminado 220 se consolida calentando las hojas ensambladas 225, 226, 230 bajo presión. Por ejemplo, el conjunto puede calentarse hasta una temperatura por encima de la temperatura de fusión. A continuación, se elimina la presión y el laminado consolidado se enfría a temperatura ambiente.

Un laminado formado de acuerdo con dicho proceso puede conectarse entonces con una fuente de alimentación para crear un circuito similar al circuito mostrado en la figura 3. Sin embargo, dado que el laminado 220 de las figuras 6-9 incluye tres zonas de calentamiento, el circuito puede incluir uno o más interruptores para controlar la energía suministrada a cada una de las tres zonas de calentamiento. Los interruptores permiten que se suministre energía independientemente a una o más de las tres zonas de calentamiento 250, 270, 290. Por ejemplo, cuando el laminado ilustrado en las figuras 6-9 se forma en una aeroestructura, las diferentes zonas de calentamiento pueden colocarse y configurarse para aplicar calor a diferentes partes de la aeroestructura. En el caso de una superficie de sustentación, la superficie de sustentación puede tener un borde de ataque, una superficie superior y una superficie inferior. Las tres zonas de calentamiento pueden colocarse de modo que la primera zona de calentamiento 250 se superponga al borde de ataque de la superficie de sustentación, la segunda zona de calentamiento pueda superponerse a la superficie superior y la tercera zona de calentamiento se superponga a la superficie inferior de la superficie de sustentación. En una configuración de este tipo, los elementos resistivos de las tres zonas de calentamiento 250, 270, 290 están configurados para proporcionar suficiente calentamiento para elevar la temperatura de una o más superficies del laminado en al menos 50 grados Fahrenheit (10 grados Celsius) o aproximadamente 30 grados Celsius. Por ejemplo, la primera zona de calentamiento puede configurarse y orientarse para elevar la temperatura de la superficie exterior del borde de ataque en al menos aproximadamente 50 grados Fahrenheit (10 grados Celsius) o aproximadamente 30 grados Celsius. De manera similar, la segunda zona 270 puede calentar la superficie superior y la tercera zona puede calentar la superficie inferior.

El sistema también puede incluir una pluralidad de sensores. Por ejemplo, el sistema puede incluir un primer sensor que detecta una característica de una primera área, un segundo sensor que detecta una característica de una segunda área y un tercer sensor que detecta una característica de una tercera área. Basándose en las señales recibidas de los tres sensores, el sistema puede controlar independientemente la energía suministrada a cada una de las tres zonas de calentamiento. En un ejemplo, el primer sensor detecta la presencia de hielo en el borde de ataque y el sistema controla la energía suministrada a la primera zona de calentamiento en respuesta a la señal del primer sensor. En particular, si el primer sensor detecta una característica indicativa de la presencia de hielo, el sistema puede aumentar la energía suministrada a la primera zona de calentamiento 250 para aumentar la temperatura del borde de ataque. Adicionalmente, el sistema puede controlar la energía suministrada a la primera zona de calentamiento reduciendo o interrumpiendo la energía suministrada a la primera zona de calentamiento si el primer sensor detecta una característica indicativa de una ausencia de hielo en el borde de ataque. De esta manera, el sistema puede controlar el calentamiento de la primera zona para aumentar o disminuir la temperatura del borde de ataque para impedir la formación de hielo o para derretir el hielo ya formado en el borde de ataque. De manera similar, en respuesta a las señales recibidas desde el segundo sensor, el sistema puede controlar la energía suministrada a la segunda zona de calentamiento para impedir la formación de hielo o para derretir el hielo ya formado en la superficie superior. Además, en respuesta a las señales recibidas desde el tercer sensor, el sistema puede controlar la energía suministrada a la tercera zona de calentamiento para impedir la formación de hielo o para derretir el hielo ya formado en la superficie inferior.

REIVINDICACIONES

1. Una aeroestructura calentada, que comprende:

5 una estructura de material compuesto, que comprende:

una capa superior termoplástica reforzada;

una capa inferior termoplástica reforzada;

una capa de calentamiento termoplástica reforzada, que comprende:

10

una pluralidad de fibras no metálicas eléctricamente conductoras;

un primer electrodo conectado eléctricamente con las fibras no metálicas conductoras; y

un segundo electrodo conectado eléctricamente con las fibras no metálicas conductoras, de modo que las fibras no metálicas conductoras proporcionen un camino eléctrico entre el primer electrodo y el segundo

15

electrodo;

un controlador conectado con un sensor y una fuente de alimentación eléctrica para controlar la energía proporcionada al primer electrodo;

20

en donde el primer electrodo y las fibras no metálicas conductoras están conectados de tal manera que la energía eléctrica aplicada al primer electrodo se conduce a las fibras no metálicas eléctricamente conductoras para proporcionar un calentamiento resistivo suficiente para calentar la estructura de material compuesto para impedir la formación de hielo en la estructura de material compuesto, comprendiendo opcionalmente la estructura de material compuesto una góndola o una superficie de sustentación.

25

2. La aeroestructura calentada de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de fibras eléctricamente conductoras de la capa de calentamiento comprenden fibras de carbono unidireccionales dispuestas en un termoplástico reforzado.

3. La aeroestructura calentada de la reivindicación 2, en donde las fibras eléctricamente conductoras tienen un primer extremo conectado eléctricamente con el primer electrodo y un segundo extremo conectado eléctricamente con el segundo electrodo y todas las fibras de carbono se extienden continuamente desde el primer extremo hasta el segundo extremo.

30

4. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el controlador es operable para controlar la energía eléctrica proporcionada al primer electrodo en respuesta a las señales recibidas desde el sensor, y en donde el controlador comprende opcionalmente uno de un controlador P, PD, PI, PID o un microprocesador.

35

5. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde una o más de la capa superior y la capa inferior comprenden un termoplástico semicristalino de la familia de las poliariletercetonas.

40

6. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la capa de calentamiento y al menos una de la capa superior y la capa inferior comprenden termoplásticos similares, y en donde el termoplástico de la capa de calentamiento, el termoplástico de la capa superior y el termoplástico de la capa inferior tienen opcionalmente una temperatura de fusión superior a 500 grados Fahrenheit (260 grados Celsius).

45

7. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde al menos una de la capa de calentamiento, la capa superior y la capa inferior comprenden un termoplástico semicristalino de la familia de las poliariletercetonas.

50

8. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-7 que comprende una o más de una primera capa eléctricamente aislante que aísla la capa superior de la capa de calentamiento y una segunda capa eléctricamente aislante que aísla la capa inferior de la capa de calentamiento.

9. La aeroestructura calentada de la reivindicación 8, en donde al menos una de la primera y segunda capas eléctricamente aislantes comprende termoplástico, y en donde la primera capa eléctricamente aislante comprende opcionalmente un material compuesto que comprende fibras de refuerzo incrustadas dentro del termoplástico.

55

10. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde el primer electrodo comprende una malla metálica incrustada dentro del termoplástico de la capa de calentamiento.

60

11. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en donde una o más de la capa superior y la capa inferior comprenden una pluralidad de láminas termoplásticas reforzadas con fibra de carbono.

12. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde el termoplástico de cada una de la capa de calentamiento, la capa superior y la capa inferior se fusionan con el termoplástico de capas adyacentes.

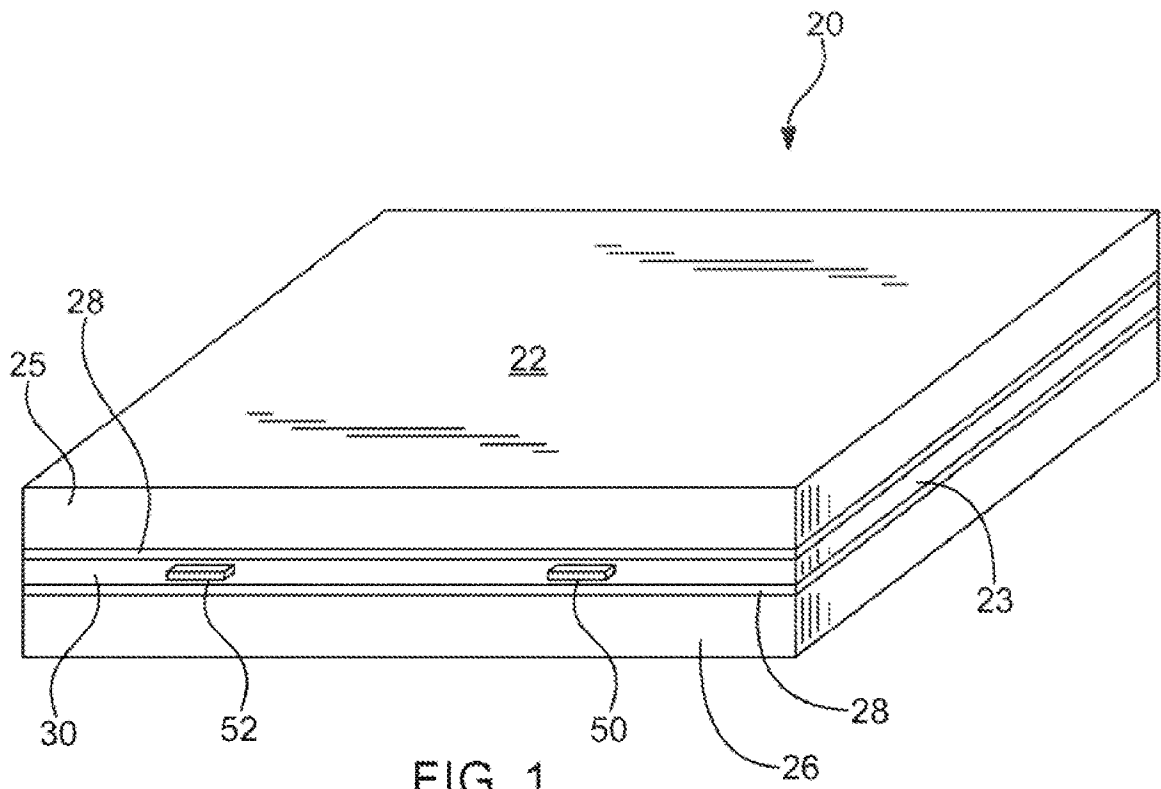
65

13. La aeroestructura calentada de cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en donde las fibras no metálicas de la capa

de calentamiento comprenden un encolado configurado para mejorar la adhesión entre las fibras no metálicas y el termoplástico.

14. Un método para formar una aeroestructura calentada, que comprende las etapas de:

- 5 formar una estructura de material compuesto calentada proporcionando una pluralidad de fibras no metálicas conductoras de electricidad incrustadas dentro de una matriz termoplástica, en donde el termoplástico tiene una temperatura de fusión y, opcionalmente, proporcionar la pluralidad de fibras no metálicas conductoras de electricidad en forma de una pluralidad de fibras de carbono unidireccionales de manera que sustancialmente todas las fibras de carbono sean sustancialmente paralelas entre sí;
 - 10 conectar eléctricamente las fibras con el primer y segundo electrodos para formar una capa de calentamiento; calentar la capa de calentamiento por encima de una temperatura de fusión de la matriz termoplástica y calentar una pluralidad de capas de láminas termoplásticas reforzadas;
 - 15 en donde el termoplástico de las láminas tiene una temperatura de fusión y la etapa de calentar la pluralidad de capas comprende calentar las capas por encima de la temperatura de fusión del termoplástico de las láminas; aplicar la pluralidad de capas calentadas a la capa de calentamiento calentada de modo que la de calentamiento se fusione con la pluralidad de capas después de que la capa de calentamiento y la pluralidad de capas se enfríen, formando una de la pluralidad de capas una capa superior termoplástica reforzada de la estructura de material compuesto, y formando otra de la pluralidad de capas una estructura de material compuesto de capa inferior termoplástica reforzada; y
 - 20 estando la estructura de material compuesto calentada adaptada para acoplarse con un controlador conectado con un sensor y una fuente de alimentación eléctrica para controlar la energía proporcionada al primer electrodo.
15. El método de la reivindicación 14, en donde cada una de las fibras tiene un primer extremo y un segundo extremo y la etapa de conexión eléctrica comprende conectar eléctricamente el primer extremo de cada fibra con el primer electrodo y conectar eléctricamente el segundo extremo de cada fibra con el segundo electrodo.
- 25



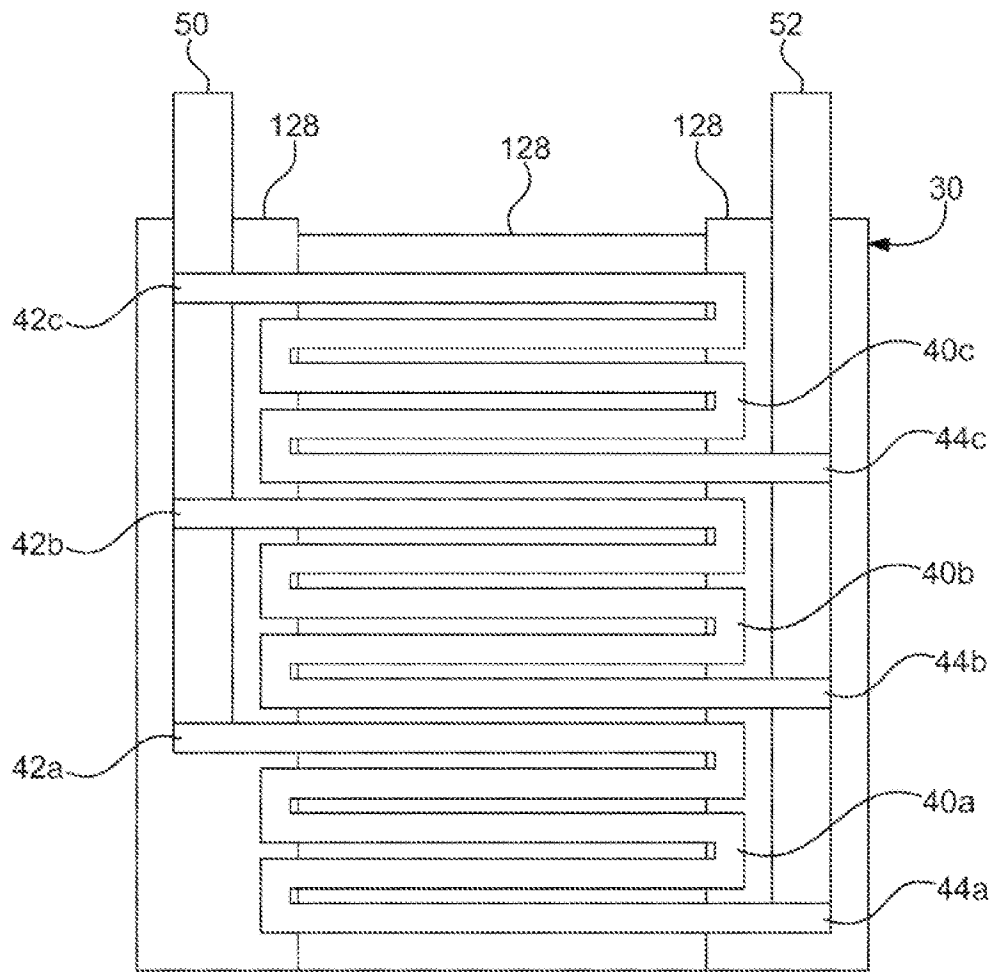


FIG. 2

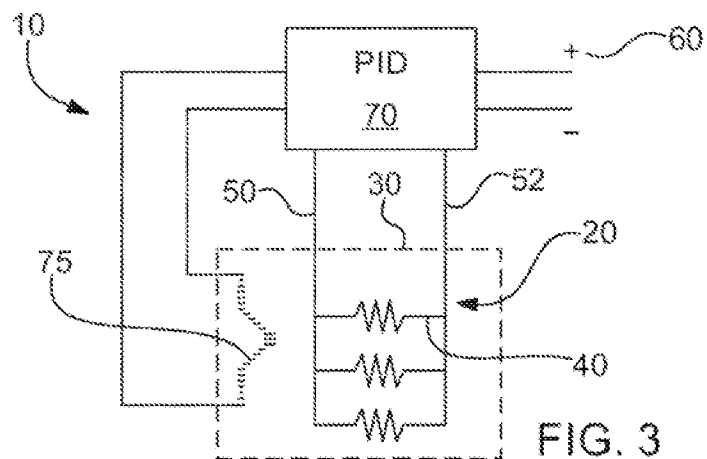


FIG. 3

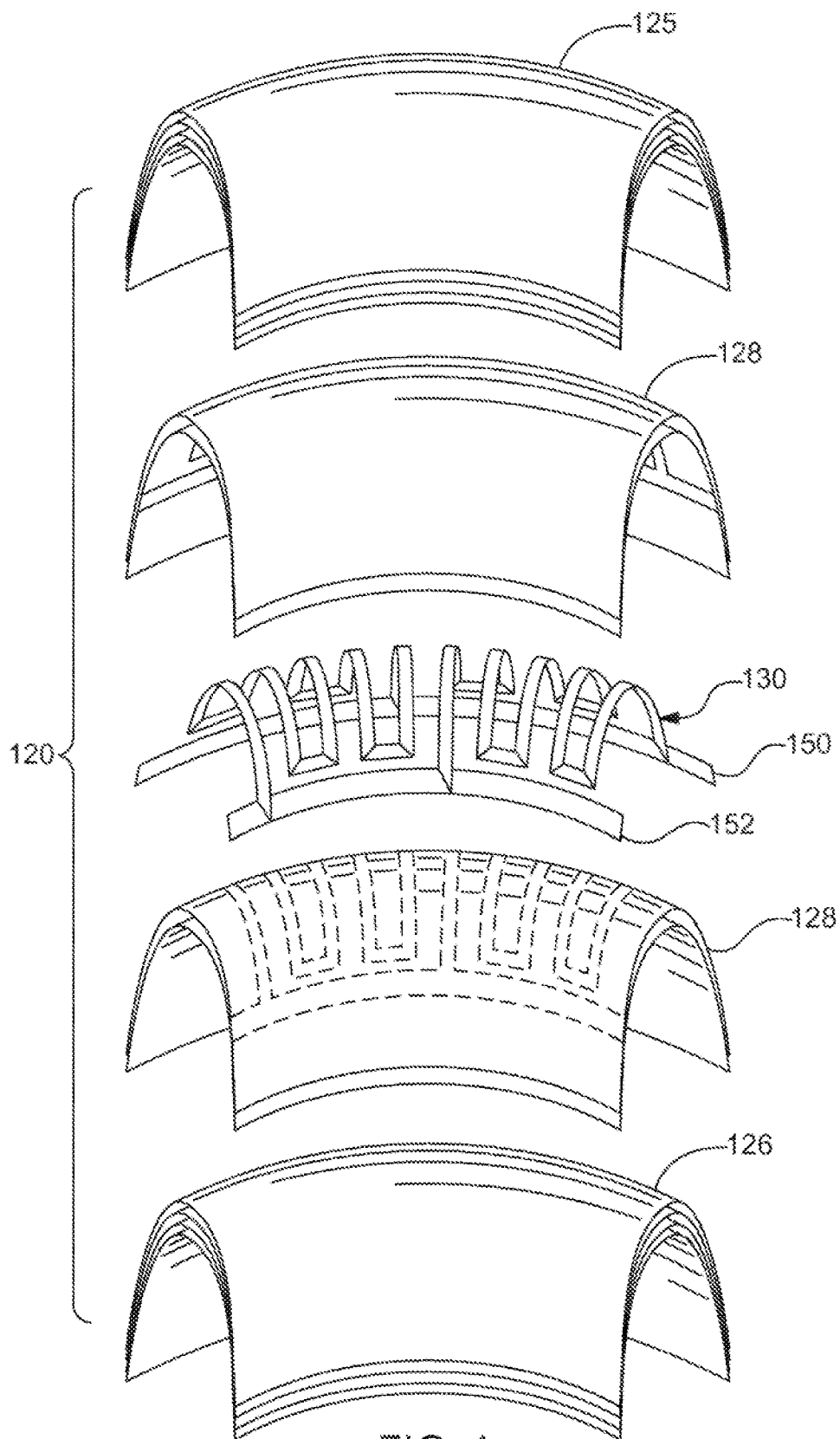
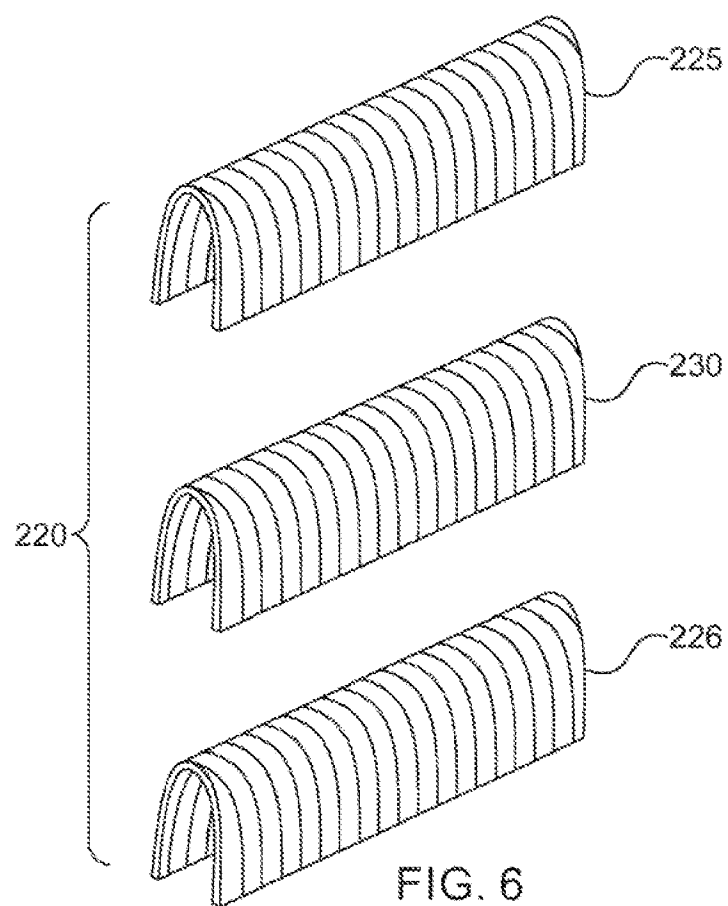
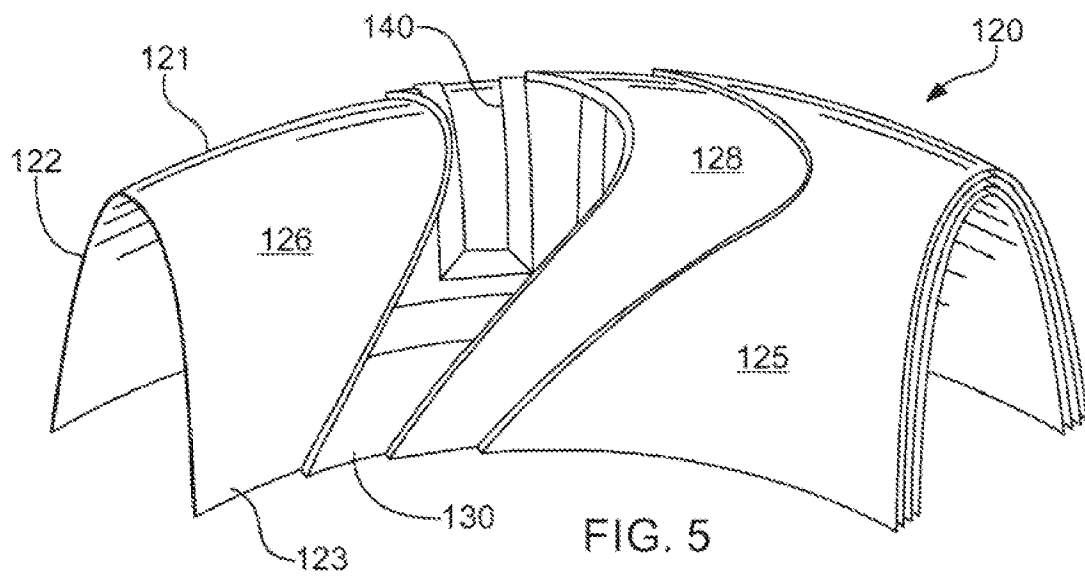


FIG. 4



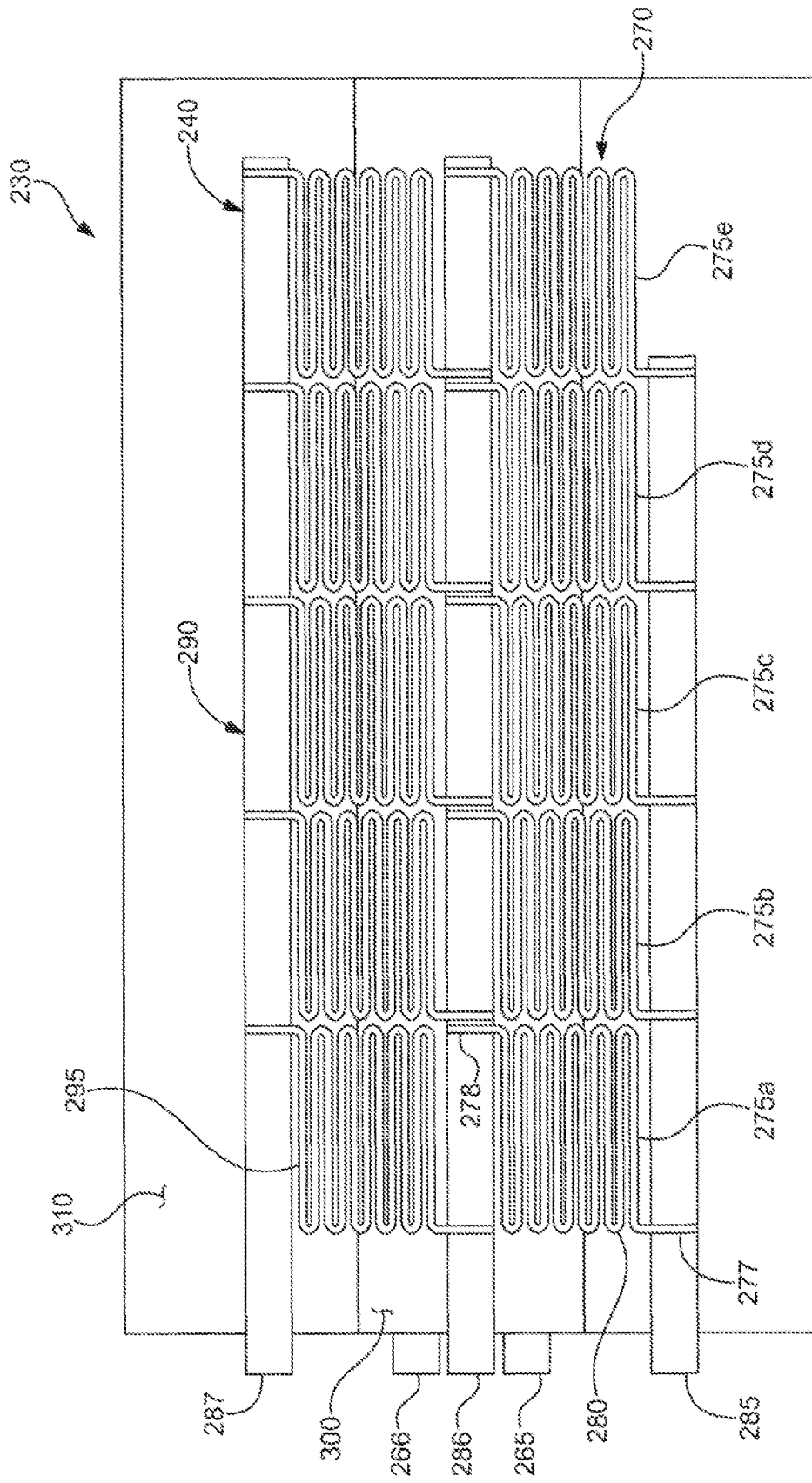


FIG. 7

