

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 470 680**

51 Int. Cl.:

**B32B 5/02** (2006.01)

**B32B 17/04** (2006.01)

**B64D 15/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2007 E 07827653 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014 EP 2114666**

54 Título: **Artículo de material compuesto con temperatura y humedad controladas, y métodos para usar tal artículo**

30 Prioridad:

**08.03.2007 IT TO20070176**

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

**24.06.2014**

73 Titular/es:

**ALENIA AERMACCHI S.P.A. (100.0%)  
Via Ing. Paolo Foresio 1  
21040 Venegono Superiore (Varese), IT**

72 Inventor/es:

**APICELLA, ALFONSO;  
IANNONE, MICHELE;  
IANNUZZO, GENEROSO y  
SAGNELLA, GIOVANNI**

74 Agente/Representante:

**PÉREZ BARQUÍN, Eliana**

**ES 2 470 680 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

Artículo de material compuesto con temperatura y humedad controladas, y métodos para usar tal artículo

5 Esta invención se refiere a artículos de material compuesto.

10 Como es sabido, los materiales poliméricos tienen una estructura macromolecular, es decir, hecha de cadenas poliméricas largas, que tienen una movilidad relativa que varía dependiendo de la estructura, pero que en todos los casos permite el acceso de las moléculas de sustancias con peso molecular más bajo, que penetran entre las macromoléculas formando de esta manera una verdadera solución.

Por supuesto, la cantidad de estas sustancias depende de la naturaleza molecular tanto del polímero como de la sustancia de bajo peso molecular. La interacción también puede ser química y/o física.

15 La interacción química, en el caso de algunas sustancias más químicamente agresivas, como los ácidos y/o algunos disolventes orgánicos, puede inducir una modificación del polímero, y en ocasiones también la disolución del polímero. Por el contrario, la interacción física está relacionada con una mezcla generalmente reversible; se crea una solución entre el polímero y la sustancia de bajo peso molecular, con características físicas diferentes de las del polímero puro. Como sustancias de bajo peso molecular, generalmente mejoran la movilidad relativa entre las macromoléculas, generalmente induciendo una disminución de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ); desde un punto de vista mecánico, generalmente se reducen los límites elásticos  $\sigma_y$  (límite elástico a la tracción) y  $\tau_y$  (límite elástico a la cizalladura), y generalmente también se reducen el módulo elástico E (módulo elástico a la tracción, o módulo de Young) y el módulo elástico a la cizalladura (G). Todos estos efectos vistos en su conjunto se definen generalmente como un «efecto de plastificación».

25 La plastificación depende de la naturaleza del polímero, así como de la naturaleza y cantidad de la sustancia de bajo peso molecular.

30 Entre las sustancias que inducen la plastificación se encuentran los disolventes orgánicos (por ejemplo: MEC, alcohol metílico, alcohol etílico, hexano, acetona), y también el agua. Cuando el polímero se sumerge en el líquido de plastificación, tiende a absorber dicho líquido y absorbe cierta cantidad del mismo, en una tasa que depende del coeficiente de difusión del plastificante en el polímero. Cuando se alcanza un estado de equilibrio, con el fin de que no se produzca ninguna absorción adicional de plastificante en el polímero (en realidad, a nivel molecular el número de moléculas que entran es equivalente a las moléculas que salen), se dice que se ha alcanzado el contenido de «saturación» de plastificante, que depende de la naturaleza química tanto del polímero como del plastificante, y puede variar con la temperatura.

40 Cuando el polímero se sumerge en un ambiente en el que el plastificante está parcialmente presente, la cantidad de saturación depende del porcentaje de plastificante presente en las inmediaciones; más específicamente, en términos termodinámicos hablamos de actividad plastificante. En el caso de las mezclas de gases, la actividad depende de la presión parcial; si  $x$  es la fracción en volumen del plastificante, la presión parcial es  $x \cdot \pi$ , en donde  $\pi$  es la presión total de la mezcla. Cuando se dispersa agua en aire en estado gaseoso, y se establece un equilibrio entre el agua en estado gaseoso y el agua líquida, la actividad del agua en estado gaseoso es equivalente a la del agua líquida. En este caso, se define el ambiente como saturado de agua, la humedad relativa es del 100 % y la presión parcial del agua en estado gaseoso es equivalente a la presión de vapor de agua del agua líquida a la misma temperatura.

50 En el caso de los polímeros expuestos a un ambiente que contiene cierta cantidad de agua, una ley aproximadamente lineal correlaciona la humedad relativa y el porcentaje de agua absorbida por el polímero cuando se alcanza la saturación.

55 Por el contrario, por cuanto respecta a la variabilidad del agua absorbida en función de la temperatura, en general, la dependencia de la temperatura no es muy alta; en el caso de las resinas epoxi utilizadas como matriz de material compuesto para las aplicaciones estructurales aeronáuticas, el contenido de agua de saturación absorbido por la resina en agua líquida (o, equivalentemente, en aire ambiente con un 100 % de humedad) cambia con la formulación de resina entre aproximado el 1 % y el 3 %, y es prácticamente constante con resinas iguales en el intervalo de temperatura comprendido entre 25 °C y 80 °C.

60 El tiempo necesario para alcanzar la saturación en los diferentes ambientes está controlado en este caso por la difusión del agua en el interior del polímero y, por consiguiente, depende del coeficiente de difusión, que depende de la temperatura según una ley exponencial. La integración de la ley de difusión permite encontrar una correlación cuadrática entre el tiempo de saturación y el grosor de la pieza.

65 Sobre la base de las consideraciones anteriores se puede afirmar que los materiales poliméricos, entre los que se incluyen, por ejemplo, las matrices de los materiales compuestos de matriz polimérica, están expuestos a absorber el agua en el tiempo desde el ambiente atmosférico, de una manera que depende de las condiciones ambientales de servicio. Debido a la extrema variabilidad de las condiciones ambientales, como medida de precaución se deberán

considerar las más desfavorables a la hora de realizar el diseño, las cuales en las aplicaciones aeronáuticas se han acordado como 28 °C y humedad relativa del 85 % durante toda la vida útil de la aeronave (normalmente 30 años). En consecuencia, para la mayor parte de las estructuras de material compuesto se ha de considerar una saturación del 85 % para la certificación.

5 Desde el punto de vista de las temperaturas, en general la mínima (a la altura de crucero máxima) es de -55 °C y la máxima (en el suelo, máxima exposición a la luz solar) es de 80 °C.

10 Debido a lo mencionado acerca de la plastificación, el efecto de la alta temperatura actúa en la misma dirección que la absorción de agua; en consecuencia, la certificación de los materiales y la estructura se realiza evaluando el material a alta temperatura y después de la absorción de agua (condiciones «calientes y húmedas») y a la baja temperatura generalmente sin absorción de agua (condiciones «frías y secas»).

15 El requisito de considerar también estas condiciones en los programas de certificación aeronáutica, que ya de por sí son muy exigentes en cuanto a las pruebas mecánicas a temperatura ambiente (en cualquier caso, están relacionadas con probetas, detalles, elementos, subcomponentes y componentes a escala completa), resultan muy costosos en términos de actividades adicionales (también debido a la exposición de las muestras de prueba) y de tiempo. De hecho, debido a lo anterior, la absorción es muy lenta, y la simulación de una absorción durante un período de 30 años a temperatura ambiente requiere varios meses incluso cuando se trabaja en condiciones de envejecimiento acelerado (a alta temperatura).

20 Los documentos EP-A-0362662, WO 91/11891 A y WO 2007/135383 A describen sistemas de control de la temperatura para prevenir la acumulación de hielo en las superficies de las aeronaves.

25 Por consiguiente, el objetivo de la presente invención es superar los problemas anteriores inducidos por los efectos de la humedad sobre los materiales poliméricos.

30 Así pues, el objeto de la invención es un método para controlar la humedad en un artículo hecho de material compuesto que tiene las características descritas en la reivindicación 1.

Debido al hecho de que el artículo de material compuesto cuenta con medios de calentamiento y detección de temperatura integrados, existe la posibilidad de controlar las condiciones de servicio del artículo de una manera permanente y finalizada. Los beneficios resultantes dependen del dimensionamiento de las estructuras, sin tener en cuenta el deterioro de las propiedades del material inducido por el alto nivel de agua absorbida y la baja temperatura. Esto implica en concreto:

40 - el permiso para utilizar mayores márgenes permisibles de diseño, que no tienen en cuenta el deterioro inducido por la humedad y, opcionalmente, por la baja temperatura, lo que permite en consecuencia realizar estructuras más ligeras;

- el permiso para certificar las estructuras sin necesidad de realizar pruebas en condiciones de humedad a nivel de probetas, elementos, subcomponentes y componentes.

45 Las realizaciones preferentes de la presente invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

A continuación, se describen algunas de las realizaciones preferentes no limitativas de la invención, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

50 - la figura 1 es una representación esquemática de la vista desde arriba de un panel de material compuesto de acuerdo con la invención, que muestra algunas características del panel;

- la figura 2 es una representación esquemática de una sección del panel de la figura 1, en correspondencia con II-II;

55 - la figura 3 es una representación esquemática adicional de la vista desde arriba del panel de la figura 1, que muestra otras características;

- la figura 4 es una representación esquemática de una sección del panel de la figura 3, en correspondencia con IV-IV;

60 - la figura 5 es una representación esquemática de la vista desde arriba de una herramienta de colocación que se utiliza en un proceso disposición del panel de la figura 1;

- la figura 6 es una representación de una vista ampliada de una parte de la herramienta de la figura 5 señalada por la flecha VI de tal figura;

65 - la figura 7 es una representación esquemática de una sección de la parte de la figura 6, en correspondencia con

VII-VII; y

- las figuras 8 a 10 son gráficos que representan curvas de absorción de humedad en paneles de material compuesto, de acuerdo con la invención.

5 En las figuras se representa un artículo 1, hecho de material compuesto, en particular un panel, que está destinado a instalarse en una aeronave. Ese panel 1 incluye, de una manera conocida de por sí, una pluralidad de capas de material 10 consolidadas por medio de presión y calor, en donde cada capa de material 10 está formada por una matriz de resina reforzada con material de fibra. La matriz polimérica puede ser termoplástica o termoendurecible, y está reforzada con fibras, en particular fibras largas, por ejemplo, de carbono o de vidrio o de Kevlar. Las zonas de interfase 11, 12, 13 están definidas entre las capas de material 10.

10 El panel 1 incluye medios de calentamiento 20 y medios de detección de temperatura 30 incrustado en el material compuesto, que están respectivamente dispuestos en al menos una zona de interfase 11, 13 entre las capas 10 y que son adecuados para permitir durante el servicio un control de la temperatura dentro del panel 1.

15 Los medios de calentamiento 20 resultan adecuados para ser conectados en servicio con los medios de control 40, para activar los medios de calentamiento con el fin de aumentar la temperatura de la pieza por encima del nivel ambiente, induciendo de esta manera un efecto de pérdida de humedad o controlando asimismo la temperatura de servicio mínima del material. Preferentemente, los medios de calentamiento 20 son resistencias locales hechas de hilos de cobre incrustados en el material compuesto, colocados en la interfase 11 en el medio del artículo de material compuesto 1. En este caso, los medios de control 40 incluyen un generador de corriente o tensión.

20 En la vista desde arriba de la figura 1 se muestra un ejemplo de la colocación de una resistencia de 10 metros de longitud 20 en un panel de material compuesto de 1 m x 1 m. En este ejemplo, la resistencia se extiende serpenteando a lo largo de la zona de interfase 11 entre las capas centrales 10.

La potencia requerida por la resistencia eléctrica se puede calcular sobre la base de las siguientes consideraciones.

30 El calentamiento controlado del artículo a una temperatura por encima de la temperatura ambiente puede facilitar un efecto de secado. De hecho, en una condición de equilibrio entre el flujo del plastificante (agua) que sale y entra en el artículo a una temperatura por encima de la ambiente, la presión de vapor del agua a la temperatura del polímero  $T_p$  (es decir, la temperatura de la matriz de material compuesto) es equivalente a la presión parcial del agua  $p_w$ , que es el producto entre la presión de vapor de agua a temperatura ambiente  $T_a$  y la humedad relativa del ambiente H.R.

35 En la siguiente tabla 1 se presenta una tabla de resumen, que muestra cómo un ligero calentamiento induce una disminución significativa del contenido en agua del polímero en condiciones de equilibrio.

Tabla 1

$T, ^\circ\text{C}$	Presión de vapor de agua, mmHg	Presión de vapor de agua, atm	Temp. aire, $^\circ\text{C}$	Temp. polímero, $^\circ\text{C}$	Relación saturación relativa	Temp. polímero, $^\circ\text{C}$	Relación saturación relativa	Temp. polímero, $^\circ\text{C}$	Relación saturación relativa	Temp. polímero, $^\circ\text{C}$	Relación saturación relativa
10	9,209	0,0121	10	10	1	20	0,525178	30	0,289373	40	0,166456
15	12,788	0,0168	15	15	1	25	0,538306	35	0,303213	45	0,177908
20	17,535	0,0231	20	20	1	30	0,550999	40	0,316951	50	0,189547
25	23,756	0,0313	25	25	1	35	0,563272	45	0,330495	55	0,201254
30	31,824	0,0419	30	30	1	40	0,57523	50	0,344006	60	0,213041
35	42,175	0,0555	35	35	1	45	0,586742	55	0,357294	65	0,224885
40	55,324	0,0728	40	40	1	50	0,598033	60	0,370357	70	0,236731
45	71,88	0,0946	45	45	1	55	0,608946	65	0,383278	75	0,248634
50	92,51	0,1217	50	50	1	60	0,619293	70	0,395849	80	0,260518
55	118,04	0,1553	55	55	1	65	0,629412	75		85	
60	149,38	0,1966	60	60	1	70	0,639196	80		90	
65	187,54	0,2468	65	65	1	75		85		95	
70	233,7	0,3075	70	70	1	80		90		100	
75	289,1	0,3804	75	75	1	85		95		105	

## ES 2 470 680 T3

80	355,1	0,4672	80	80	1	90		100			
90	525,76	0,6918	90	90	1	100					
100	760	1,0000	100	100	1						

La relación de saturación relativa, definida como: (contenido de agua/referido a la saturación/H.R. ambiente), es igual a la relación: (presión de vapor del agua a temperatura ambiente)/(presión de vapor del agua a la temperatura del polímero).

5 Por ejemplo, para una temperatura del aire de 20 °C, la relación de saturación relativa cuando el calentamiento del polímero es de 20 °C (polímero a 40 °C, ambiente a 20 °C) es 0,32, y para un calentamiento del polímero de 30 °C (polímero a 50 °C, ambiente a 20 °C) es 0,19.

10 Esto significa que si, por ejemplo, la humedad relativa del ambiente es H.R. = 85%, en el equilibrio, con un calentamiento del polímero de 20 °C, el porcentaje de saturación del polímero xp es  $0,32 \cdot 0,85 \cdot 100 = 27\%$  del valor de saturación, mientras que en el equilibrio, cuando el calentamiento polímero es 30 °C, el porcentaje xp es  $0,19 \cdot 0,85 \cdot 100 = 16\%$  del valor de saturación. Por ejemplo, si el aumento de peso de un material compuesto seco debido a la absorción de agua en un ambiente de humedad relativa del 100 % es por ejemplo del 2 %, el aumento de peso en equilibrio al 85 % de H.R. será normalmente del 1,7 %, pero sería de tan solo el 0,32 % si el calentamiento del material compuesto fuese de 30 °C.

20 Siempre en condiciones estacionarias, la potencia térmica necesaria para mantener una diferencia de temperatura entre el polímero y el ambiente depende del intercambio de calor con el ambiente por convección. Por lo tanto, si h es el coeficiente de intercambio por convección y S es la superficie de intercambio entre la pieza en consideración y el ambiente, la energía térmica necesaria para obtener una diferencia de temperatura  $\Delta T$  es  $W = h \cdot S \cdot \Delta T$ .

25 En el caso de un panel vertical en el aire que intercambia calor únicamente por convección natural, en la bibliografía (Perry - Manual del Ingeniero Químico - Mc Graw-Hill) se incluye una ecuación adimensional simplificada, que permite calcular el coeficiente h para diferentes valores de los números adimensionales de Grashof (GR) y Prandtl (PR):

$$h = b (\Delta T)^m L^{3m-1}$$

30 en donde los valores de b y m se presentan para diferentes condiciones en la siguiente tabla 2.

Tabla 2

Y = Gr Pr	m	b (aire)
$10^4 < Y < 10^9$	1/4	0,28
$Y > 10^9$	1/3	0,18

y las dimensiones son las siguientes:

35 
$$h = (\text{BTU}) / (\text{hr}) (\text{sqft}) (^\circ\text{F})$$

$$L = \text{ft}$$

$$\Delta T = ^\circ\text{F}$$

40 Sobre la base de estos datos, considerando un panel plano de material compuesto de 1x1 m (es decir, con 2 m<sup>2</sup> de superficie expuesta), en una posición vertical, en el aire, que intercambia calor por convección natural, la potencia necesaria para mantener una diferencia de temperatura  $\Delta T$  entre el panel y el ambiente exterior, que varía con los diferentes valores de los números adimensionales, para  $\Delta T = 20$  °C es 115-135 W; para  $\Delta T = 30$  °C es 192-231 W; para  $\Delta T = 40$  °C es 275-340 W.

45 Si el calentamiento se obtiene a través de una resistencia eléctrica, está controlado por la Ley de Ohm, y se han de tener en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$\Delta V = R * I \tag{1}$$

$$W = \Delta V * I = R * I^2 = (\Delta V)^2 / R \quad (2)$$

$$R = L \rho / S \quad (3)$$

5

Así pues:

$$W = (\Delta V)^2 * S / L * \rho \quad (4)$$

10 y de la ecuación (4) se muestra que la potencia W, para una tensión fija  $\Delta V$ , depende linealmente de la sección de la resistencia S y es una función lineal inversa de su longitud L.

Usando una resistencia de cobre (la resistividad eléctrica del cobre es  $\rho = 0,000000168$  ohmios•m), se muestra el cálculo para dos casos (la potencia mínima y máxima requerida, 115 y 340 W) indicados anteriormente.

15

Considerando una resistencia de cobre con sección  $S = 0,025 \text{ mm}^2$ , longitud  $L = 1,0 \text{ m}$ , la energía generada por una tensión  $\Delta V = 8,8 \text{ V}$  es 115 W, para una tensión de 15,1 V es 340 W.

20 Como se comentó anteriormente, existen medios de detección 30 posicionados en el material compuesto para la medición de la temperatura, colocado a diferentes profundidades en el grosor (preferentemente en las zonas de interfase 13 cerca de las dos superficies exteriores del panel 1 y en la zona de interfase 11 de la zona central) en posiciones adecuadamente separadas de la superficie. Preferentemente, también se insertan medios de detección 50 para la detección de la humedad, posicionadas de una manera similar a los sensores de temperatura 30. Los sensores térmicos 30 son preferentemente termopares, mientras que los sensores de humedad 50 se basan en la variación de las propiedades del material del sensor cuando se producen cambios de humedad (típicamente el material es un material polimérico higroscópico que cambia su índice de refracción).

25

En las figuras 3 y 4 se muestra un ejemplo de esquema de posicionamiento de los sensores, básicamente adecuado tanto para los sensores de humedad 50 como para los sensores térmicos 30.

30

Cuando el panel 1 está instalado a bordo de una aeronave (no mostrada), los sensores 30, 50 están conectados operativamente a una unidad de control 60, que recibe los datos de medición que aquellos proporcionan y los procesa de acuerdo con un algoritmo específico. La unidad de control 60 está a su vez conectada operativamente al generador de tensión 40 para controlar el calentamiento del panel 1 sobre la base de los datos de medición proporcionados por los sensores 30 y 50.

35

40 El proceso de fabricación del artículo mencionado anteriormente es sustancialmente el típico para una pieza producida mediante materiales preimpregnados, basado en el apilamiento de materiales preimpregnados con la geometría y la orientación prescritas por el plano de fabricación. Con fines ilustrativos, más adelante se incluye un ejemplo del proceso de fabricación de un panel realizado mediante capas de material preimpregnado con resina termoestable reforzada con fibras largas. De esta forma, la primera capa se dispone directamente sobre la herramienta y se trata adecuadamente con un agente de liberación para prevenir la unión del material compuesto sobre la herramienta. A continuación, se van disponiendo las demás capas hacia arriba, aprovechando su pegajosidad. Una vez finalizado el método, la disposición apilada se cierra con una bolsa (utilizando también materiales auxiliares adecuados) y se procesa siguiendo un ciclo de temperatura y presión definido.

45

La única diferencia entre el panel mencionado anteriormente y un panel obtenido mediante un método estándar es que, en el primero, la colocación de resistencias y/o sensores, que se colocan entre la n-ésima y la (n +1)-ésima capa adyacente a la misma se realiza después de la colocación de la n-ésima capa y antes de la colocación de la (n +1)-ésima capa. Para una correcta colocación de las resistencias y/o los sensores se puede usar una herramienta de colocación 100 adecuada, mostrada en la figura 5 a 7, en las que existen cuerpos envolventes 120 formados para las resistencias y/o los sensores de manera correspondiente a las posiciones respectivas en las que se desea colocar las resistencias y/o los sensores en la pieza de material compuesto. Dicha herramienta 100 se posiciona dándole la vuelta y colocándola sobre la capa en la que se desean poner las resistencias y/o los sensores, y seguidamente se retira, dejando sobre la capa las resistencias y/o los sensores necesarios. Por ejemplo, en el caso de la resistencia mostrada en la figura 1, la herramienta de colocación tiene una ranura 120 con geometría con forma serpenteante equivalente a la geometría de la resistencia, y una sección transversal un poco más ancha que la sección transversal de la resistencia. Con el fin de evitar cualquier problema de desmoldeo, se pueden incluir algunos pasadores de extracción 121, que se deslizan sobre guías 121a que cruzan la ranura 120.

50

55

60

A continuación se describe alguna realización de un método para usar un artículo de material compuesto de acuerdo con la invención.

Una primera realización del método contempla el montaje del artículo 1 de material compuesto a bordo de una aeronave de una manera tal que tenga los medios de calentamiento 20 y al menos los medios de detección de temperatura 30 conectado a medios de control 40, 50 dispuestos a bordo de la aeronave. Alternativamente, es posible concebir que los medios de control estén instalados en el suelo y que los medios de calentamiento y los medios de detección de temperatura puedan conectarse a los medios de control durante una parada de la aeronave.

Los sencillos diseño y fabricación de un material compuesto con capacidad de autocalentamiento ya es suficiente para permitir un buen control de la humedad, cuando se aportan ciclos de calentamiento periódicos mediante la activación de los medios de calentamiento 20. En este caso, calculando estos ciclos sobre la base del conocimiento de la ley de difusión del agua y las condiciones ambientales de servicio, es posible explotar las ventajas de la invención incluso sin el uso de los sensores de humedad. Los sensores térmicos son necesarios en cualquier caso para controlar adecuadamente el aumento de la temperatura con el fin de obtener el efecto deseado de reducción de la humedad.

A título de ejemplo, el cálculo realizado con un software desarrollado internamente por el solicitante, mediante un algoritmo basado en la ley la difusión de Fick (caso unidimensional), se expresa de la siguiente forma:

$$\Phi = - D * \delta c / \delta x$$

Normalmente, los cambios de los coeficientes de difusión D con la temperatura siguen la ley de Arrhenius:

$$D = D_0 * \exp (-Ea/RT)$$

en la que T es la temperatura en °K, Ea es la energía de activación y R es la constante universal de los gases ideales.

Los siguientes ejemplos muestran el cálculo del contenido porcentual de agua como función del tiempo de un panel sometido a ciclos periódicos de absorción durante el servicio, alternados con periodos de calentamiento que inducen desorción, con el resultado de que la humedad absorbida se mantiene por debajo de un umbral fijo, incluso en las peores condiciones.

### Ejemplos

Se considera un panel de material compuesto de grosor th, hecho de un material compuesto cuyo valor del coeficiente de difusión del agua es tal que: a 28 °C alcanza un contenido de humedad igual al 90 % del contenido de humedad de saturación después de 10 años, o equivalentemente alcanza el mismo contenido de humedad a 80 °C después de un mes, a partir de una condición seca en ambos casos.

Sobre la base de estos datos, se puede calcular el coeficiente de difusión del agua en el material para cada caso específico. Sin embargo, en el caso de un compuesto genérico, es posible obtener el nivel del coeficiente de difusión como función de la temperatura a través de pruebas de absorción a diferentes temperaturas.

Para el material y el grosor considerados, las condiciones de servicio analizadas son una temperatura ambiente constante T=28 °C y una humedad relativa del 85 % (este caso es considerado convencionalmente como el peor a efectos de certificación), al tiempo que se proporcionan periodos de calentamiento periódicos del panel, con ΔT=30 °C, es decir, a 58 °C. El calentamiento induce un efecto de desorción; de hecho, sobre la base de los valores recogidos en la tabla 1, desde el punto de vista de la humedad relativa ambiente, aparece una humedad relativa del 85 % en el panel calentado para un valor de  $85 \% * 0,19 = 16 \%$ .

En las figuras 8 a 10 se presentan de curvas de absorción de humedad que han sido calculadas para un panel en las condiciones antes mencionadas.

En la figura 8 se muestra una progresión típica de la humedad en un panel para periodos alternos de absorción/desorción, con periodos largos de desorción.

La figura 9 muestra una curva relativa a periodos de servicio de 1 mes alternados con 12 horas de periodos de desorción.

La figura 10 muestra una curva relativa a periodos de servicio de 1 mes alternados con 36 horas de periodos de desorción.

Es posible observar que la duración del período de desorción también afecta al valor asintótico de la humedad absorbida máxima, que se mantiene por debajo de un valor fijo únicamente sobre la base de una previsión numérica teórica y utilizando periodos de desorción adecuadas sin el uso de sensores de humedad.

Como se apreciará, las ventajas de la invención consisten en que permite dimensionar las estructuras sin tener en cuenta el deterioro de las propiedades del material debido a la baja temperatura y la alta absorción de humedad, y ello implica:

- 5 - la oportunidad de utilizar mayores márgenes permisibles de diseño, que no se ven afectados por el deterioro inducido por la humedad absorbida, obteniendo de esta manera estructuras más ligeras;
  - la posibilidad de certificar las estructuras sin necesidad de realizar pruebas en condiciones de humedad, ni a nivel de probeta, ni a nivel de subcomponente y componente.
- 10 Una segunda realización del método incluye la utilización de los sensores de humedad 50 para activar la deshumidificación cuando el contenido de agua supere un nivel fijo.



**REIVINDICACIONES**

1. Un método para controlar la humedad en un artículo de material compuesto (1) instalado en una aeronave, haciéndose dicho artículo de un material compuesto que incluye una pluralidad de capas de material (10) consolidadas mediante la aplicación de presión y calentamiento, en el que cada capa de material se hace mediante una matriz de resina reforzada con material de fibra, caracterizado porque el método comprende las siguientes etapas:
- disponer medios de calentamiento (20) y medios de detección de temperatura (30) incrustados en el material compuesto, los cuales se colocan respectivamente en al menos una zona de interfase (11, 13) entre tales capas de material;
  - disponer opcionalmente medios de detección de humedad (50) incrustados en tal material compuesto, los cuales se colocan en al menos una zona de interfase entre las capas de material;
  - disponer medios de control (40, 60) que están conectados a dichos medios de calentamiento, medios de detección de humedad y medios de detección de temperatura; y
  - activar dichos medios de calentamiento para calentar dicho artículo con el fin de inducir una pérdida de humedad, en el que dicho artículo se calienta
    - a) de acuerdo con ciclos de calentamiento periódico, en donde dichos ciclos de calentamiento están programados para mantener la humedad absorbida por debajo de un umbral fijo, en donde la humedad absorbida se calcula sobre la base de una ley de difusión que se refiere a la difusión de la humedad dentro del material compuesto y sobre la base de los datos de las condiciones de servicio ambientales de la aeronave; o
    - b) cuando una humedad relativa en el artículo, detectada a través de los medios de detección de humedad, alcanza valores por encima de un umbral máximo establecido.
2. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el artículo se presenta en forma de panel y los medios de calentamiento se colocan en una zona de interfase central (11) de tal panel.
3. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el artículo se presenta en forma de panel y los medios de detección de temperatura se colocan en una zona de interfase central (11) de tal panel y en zonas de interfase (13) próximas a la superficies exteriores de tal panel.
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el artículo se presenta en forma de panel y los medios de detección de humedad se colocan en una zona de interfase central (11) de tal panel y en zonas de interfase (13) próximas a la superficies exteriores de tal panel.
5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de calentamiento se hacen mediante al menos una resistencia eléctrica.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la resistencia eléctrica incluye un alambre metálico que se extiende serpenteando a lo largo de una zona de interfase (11) entre las capas de material.
7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de detección de temperatura se hacen mediante al menos un sensor de tipo termopar.
8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de detección de humedad se hacen mediante al menos un sensor basado en un polímero higroscópico.

FIG.1

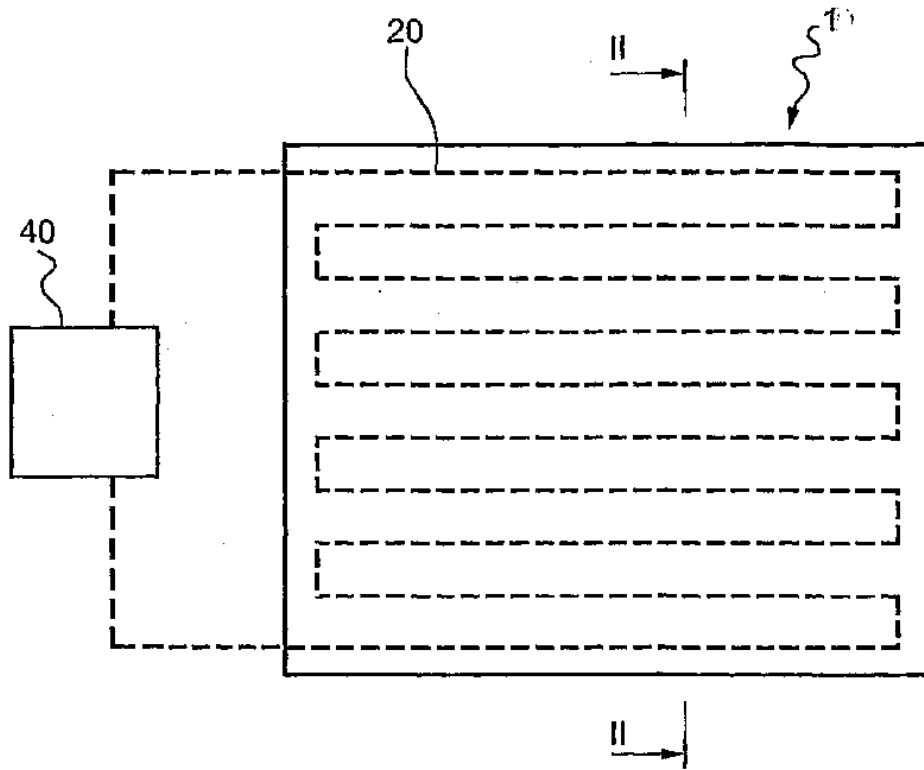


FIG.2

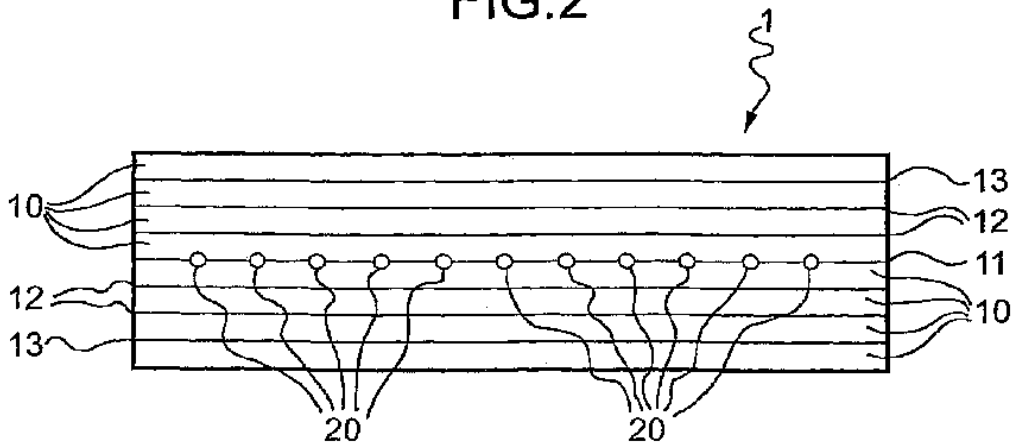


FIG.3

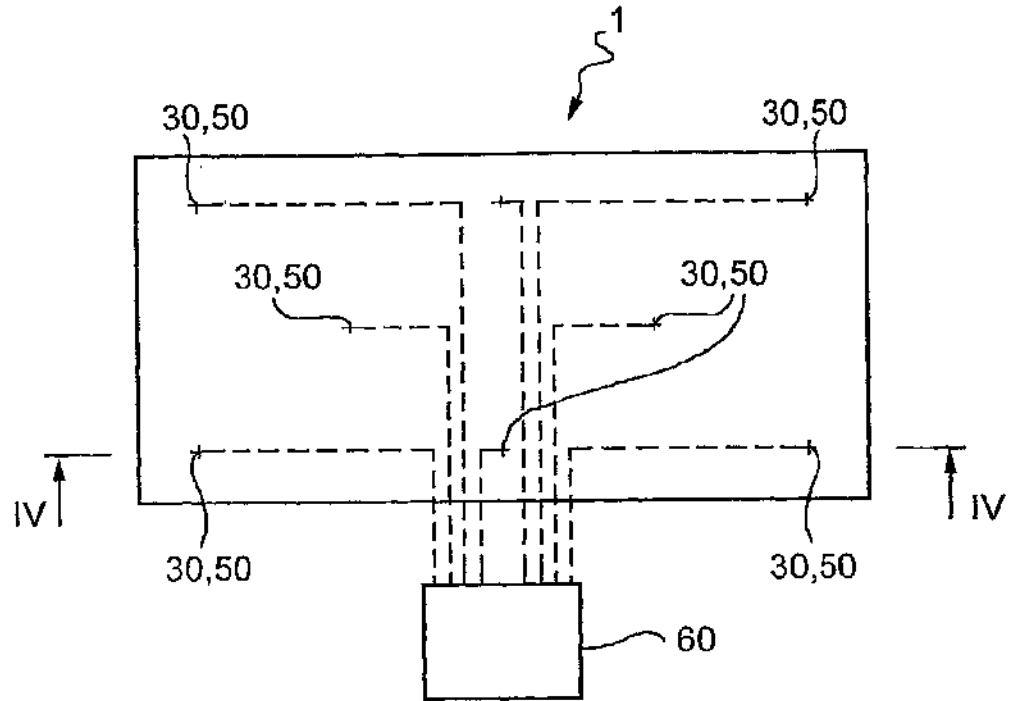


FIG.4

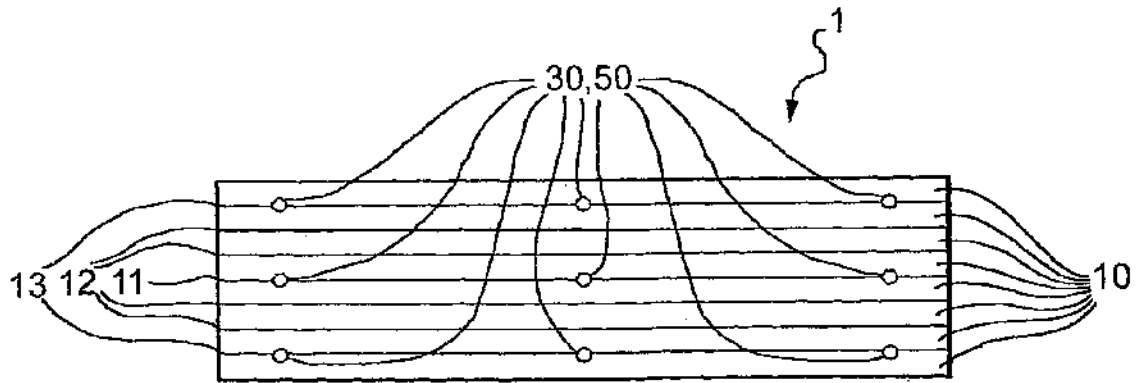


FIG.5

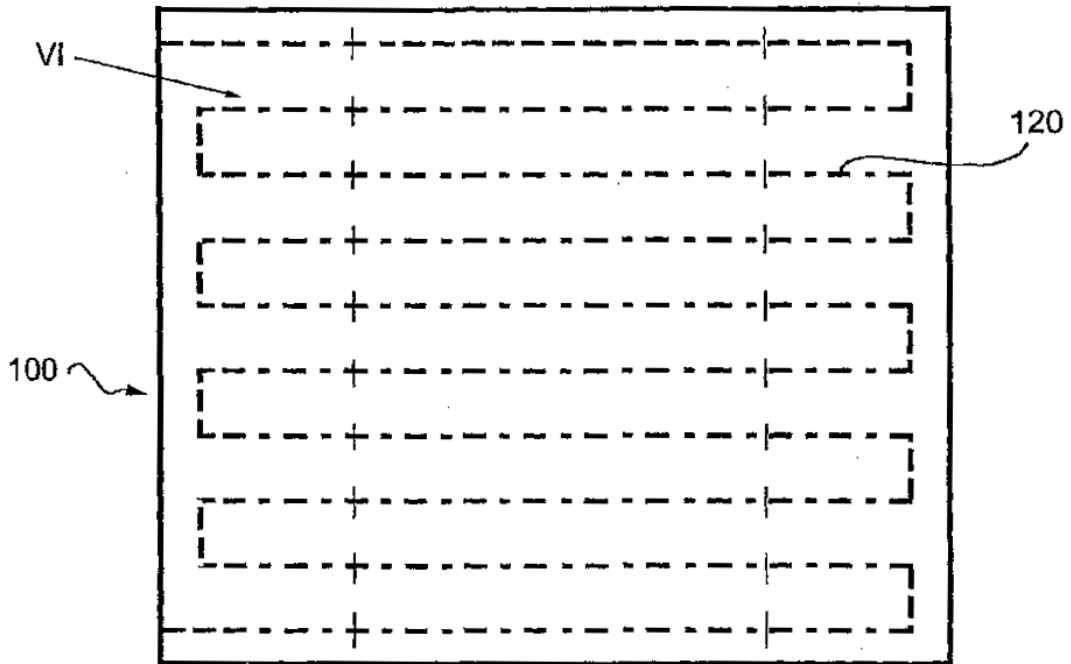


FIG.6

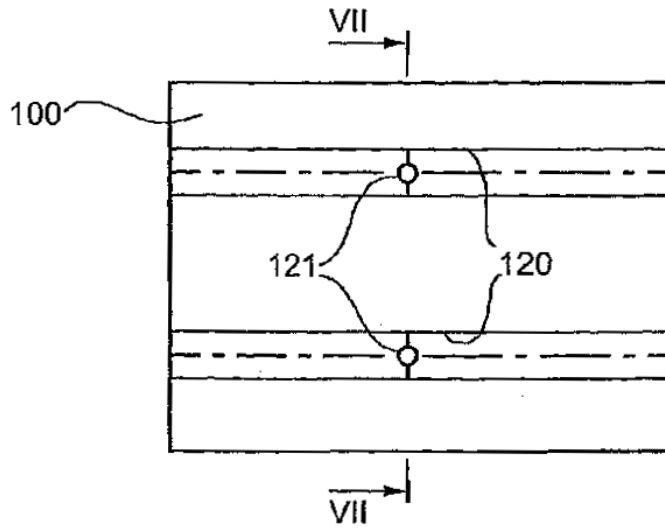
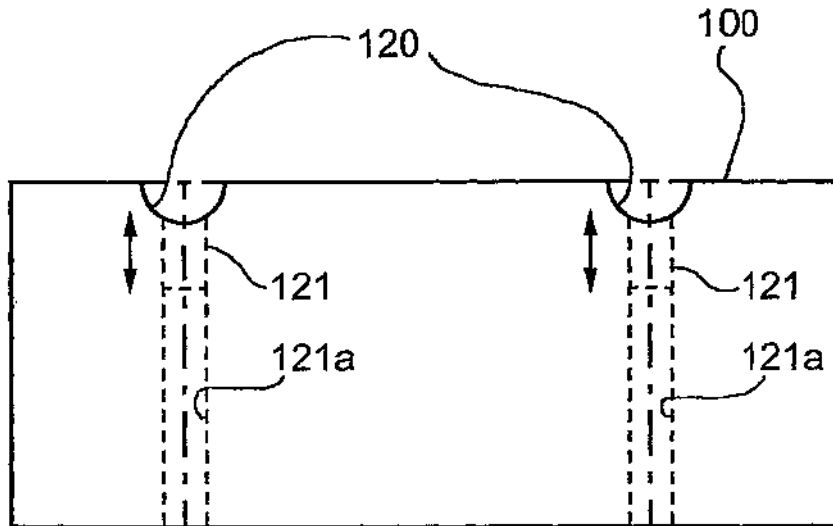


FIG.7



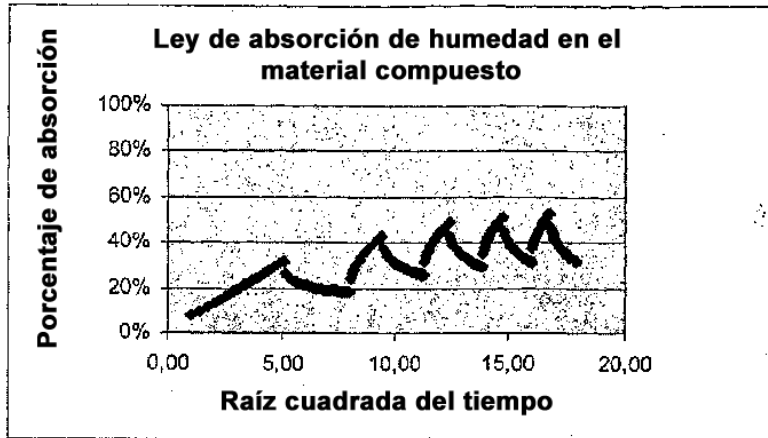


FIG. 8

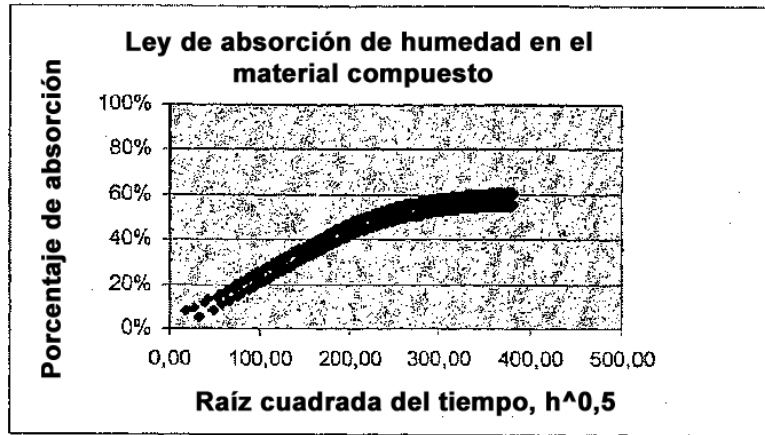


FIG. 9

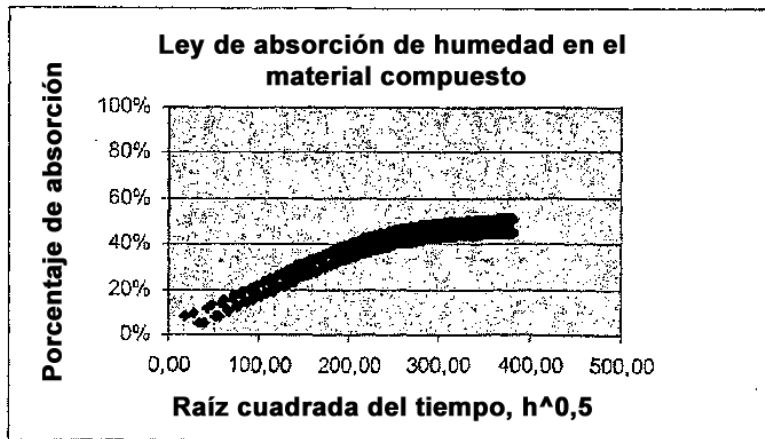


FIG. 10