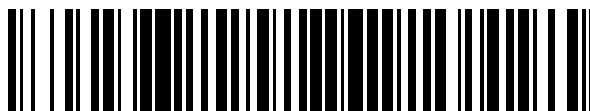


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 538**

51 Int. Cl.:

B29C 61/06 (2006.01)

B29C 70/88 (2006.01)

B64C 3/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.03.2013** **PCT/GB2013/050826**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013** **WO13144639**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2013** **E 13713485 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019** **EP 2830857**

54 Título: **Material compuesto adecuado para una piel mutante**

30 Prioridad:

30.03.2012 GB 201205710

30.03.2012 EP 12275031

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.09.2019

73 Titular/es:

MBDA UK LIMITED (50.0%)

Six Hills Way

Stevenage, Hertfordshire SG1 2DA, GB y

IMPERIAL COLLEGE OF SCIENCE,

TECHNOLOGY AND MEDICINE (50.0%)

72 Inventor/es:

MACHELL, ANTHONY;

HUSSAIN, MOHAMMED AZAD;

ROBINSON, PAUL;

MAPLES, HENRY ALEXANDER;

BISMARCK, ALEXANDER y

TRIDECH, CHARNWIT

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 724 538 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

Material compuesto adecuado para una piel mutante

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a materiales compuestos y en especial, pero no necesariamente en exclusiva, materiales compuestos para uso en una piel mutante de un vehículo aéreo, y a un vehículo que incorpora tal piel mutante.

Técnica anterior

10 El control de vehículos aéreos se consigue frecuentemente utilizando elementos de control discretos tales como flaps, aletas, alerones, etc. Se han sugerido también diversas disposiciones para cambiar el perfil aerodinámico de componentes tales como un ala sin emplear un elemento discreto. Estas disposiciones, en las que se altera el perfil global del componente, se denominan frecuentemente diseños de 'piel mutante'. Las pieles mutantes pueden proporcionar muchas ventajas tales como un reducción de la complejidad de los sistemas de alta sustentación, disminución de gastos de mantenimiento y el suministro de un sistema más ligero para vehículos aéreos que conduce a reducciones en los costes operativos, por ejemplo en el combustible. Además, se podrían conseguir también vehículos aéreos más ecológicos debido a menores emisiones de gases contaminantes tales como CO₂ y NO_x a causa de un menor consumo de combustible.

20 Se han sugerido varios conceptos y tecnologías de piel mutante: En un primer ejemplo se ha sugerido el uso de elastómeros para una piel mutante debido a que sus estructuras estirables permiten un cambio de área superficial, una propiedad importante requerida para pieles mutantes. Sin embargo, los elastómeros no son adecuados para transportar y transferir cargas aerodinámicas a la estructura subyacente debido a que su resistencia a la tracción es solamente de alrededor 50 MPa. En otro ejemplo se han considerado materiales desplegables tales como estructuras enrollables, colapsables, plegables e inflables debido a que proporcionan un cambio de área superficial cuando son actuadas. Sin embargo, al igual que los elastómeros, estos materiales son también incapaces de acomodarse a ambientes de alta carga, tales como alas de aeronaves. Además, es difícil conseguir una superficie lisa durante el despliegue.

25 Se han sugerido algunos materiales compuestos multiestables para uso en pieles mutantes debido a que son capaces de cambiar su forma a consecuencia de un control de la rigidez. Sin embargo, las cargas aerodinámicas tienden a ser mayores que las fuerzas requeridas para cambiar estos materiales compuestos multiestables de una disposición estable a la otra, y, por tanto, se ha visto que los materiales compuestos multiestables son inadecuados para pieles mutantes.

30 Se han sugerido también materiales con memoria de forma, tales como aleaciones con memoria de forma (SMA), polímeros con memoria de forma (SMP) y materiales compuestos con memoria elástica (EMC), para uso en pieles mutantes debido a que puede cambiarse su rigidez, lo que se traduce en un cambio de forma. Se ha visto que las aleaciones con memoria de forma (SMAs) proporcionan una baja tasa de actuación. Se ha visto que los polímeros con memoria de forma (SMPs) proporcionan una baja rigidez, durabilidad y tenacidad, lo que significa que es difícil utilizarlos como materiales estructurales. Los materiales compuestos con memoria elástica (EMCs) adolecen también de los mismos problemas que los SMPs. Se ha sugerido reforzar los SMPs para mejorar su rigidez, pero esto se ha traducido en una reducción de la tensión de deformación máxima.

40 La patente US número 7,892,630 divulga un material laminado que incluye materiales compuestos fibrosos con memoria elástica. Los materiales compuestos divulgados en el documento US 2010/282906 son resinas termosensibles reforzadas con fibra que pueden unirse con una estructura de piel de metal o de CF-epoxi (es decir, una estructura de matriz), y este material compuesto es adecuado para utilizarse como piel mutante en una estructura de vehículo aéreo.

45 El documento titulado "Carbon Fiber Reinforced Smart Laminates with Embedded SMA Actuators - Part 1. Embedding Techniques and Interface Analysis" de P. Bettini et al, publicado en el Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 18 No. 5-6, el 1 de agosto de 2009, páginas 664-671, XP055004523, ISSN: 1059-9495, DOI: 10.1007/s11665-009-9384-z, divulga estructuras inteligentes que incorporan actuadores con memoria de forma.

Divulgación de la invención

La presente invención busca reducir o eliminar al menos algunas de las desventajas anteriormente mencionadas.

50 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un material compuesto para uso como piel mutante en una estructura de vehículo aéreo, comprendiendo el material compuesto: una multiplicidad de fibras, un material de matriz que incorpora las fibras y un material termosensible, comprendiendo el material de matriz un material que no

es termosensible, siendo revestidas las multiplicidad de fibras con el material termosensible antes de su incorporación en el material de matriz, y pudiendo transicionar reversiblemente el material termosensible en respuesta a un cambio de temperatura entre (i) un modo de temperatura ambiente en el que el material termosensible es capaz de transferir cargas en el material compuesto, y (ii) un modo calentado en el que se reduce la capacidad del material termosensible para transferir las cargas, reduciendo así la rigidez del material compuesto. Al reducir la capacidad de transferencia de esfuerzos en la interfaz entre el material termosensible y las partes circundantes del material compuesto, se ha visto que es posible reducir temporalmente la rigidez del material compuesto. Tal disposición puede permitir que una estructura de vehículo aéreo tenga una estructura de piel de rigidez relativamente alta en condiciones de funcionamiento normales, al tiempo que permite también que la piel se reblandezca temporalmente de tal manera que pueda ser mutada a una forma diferente (tras calentar el material termosensible). Dado que el material termosensible puede transicionar reversiblemente entre los modos calentado y de temperatura ambiente, este material puede volver también al modo de temperatura ambiente en la forma mutada, proporcionando así una piel (mutada) de alta rigidez.

En el modo de temperatura ambiente el material termosensible transfiere típicamente cargas en el material compuesto con una distorsión por cizalladura relativamente baja o despreciable del material termosensible. En contraste, en el modo calentado el material termosensible transfiere típicamente cargas en el material compuesto con una distorsión por cizalladura relativamente mayor del material termosensible. Así, la capacidad de transferencia de carga del material termosensible en el modo calentado puede reducirse en comparación con la capacidad de transferencia de carga en el modo de temperatura ambiente. En el modo de temperatura ambiente el material termosensible transfiere preferiblemente las cargas en el material compuesto en una medida suficiente para que la piel actúe como una superficie de rigidez relativamente alta (por ejemplo como una superficie aerodinámica). En el modo calentado se reduce preferiblemente la capacidad del material termosensible para transferir cargas de tal manera que la piel pueda ser mutada de manera no destructiva y reversible a una forma diferente utilizando una fuerza de actuación.

Se ha visto también que es ventajoso el uso de calor para reblandecer la piel debido a que proporciona una manera relativamente sencilla para permitir una mutación de la piel en comparación con métodos conocidos, por ejemplo métodos que impliquen la programación de materiales con memoria de forma.

El material termosensible puede transicionar reversiblemente entre el modo de temperatura ambiente y el modo calentado. Se apreciará que en algunas realizaciones el material compuesto puede tener propiedades ligeramente diferentes cuando se le revierte a la temperatura ambiente después de haber estado en el modo calentado. Sin embargo, el material termosensible transferirá todavía cargas en el material compuesto mejor que en el modo calentado y, por tanto, puede transicionar reversiblemente de acuerdo con la invención. Después de retornar al modo de temperatura ambiente desde un modo calentado, el material compuesto recupera preferiblemente más de un 90% y más preferiblemente sobre un 95% y aún más preferiblemente sobre un 99% de la rigidez en comparación con su modo de temperatura ambiente precedente. Preferiblemente, el material termosensible puede transicionar repetidamente de manera reversible entre el modo de temperatura ambiente y el modo calentado.

El material termosensible es preferiblemente un polímero y más preferiblemente un termoplástico. Por ejemplo, el material polímero puede ser poli(metilmetacrilato-co-acrilamida) o poliestireno. El polímero puede ser un polímero de cristal líquido (LCP).

El material termosensible puede transicionar preferiblemente entre dos estados diferentes (denominados también 'fases' para LCPs) a través de una temperatura de transición. En el modo calentado el material termosensible está preferiblemente a una temperatura por encima de una temperatura de transición de tal manera que tenga un estado cambiado (en comparación con su estado en el modo de temperatura ambiente). Por ejemplo, el material termosensible puede transicionar de un estado de alto módulo elástico (en el modo de temperatura ambiente) a un estado de bajo módulo elástico (en el modo calentado) a través de una temperatura de transición, por ejemplo una temperatura de transición vítrea (T_g). En el modo ambiente el material termosensible puede estar en un estado de vidrio, mientras que en el modo calentado el material termosensible puede estar en un estado de caucho. La referencia a la transición entre estados diferentes de un material, especialmente un polímero, se entenderá fácilmente por el experto y viene tipificada por cambios en las propiedades físicas del material a lo largo de un rango de temperatura relativamente pequeño. La temperatura de transición es preferiblemente más alta que la máxima temperatura de funcionamiento de la piel de un vehículo aéreo para evitar una transición no intencionada de la piel al modo calentado. La temperatura de transición puede ser de más de 80°C y preferiblemente más de 100°C. La temperatura de transición puede estar en el rango de 100°C a 150°C para aplicaciones aeroespaciales.

El material termosensible puede transicionar entre una multiplicidad de estados diferentes a través de una multiplicidad de temperaturas de transición (y así hasta una respectiva multiplicidad de modos calentados).

La matriz tiene preferiblemente una temperatura de transición vítrea (T_g) por encima, y preferiblemente muy por encima, de la temperatura de transición del material termosensible. Esto mitiga o evita un daño irreversible en el

material compuesto cuando el material termosensible está en el modo calentado. La matriz puede ser una resina de epoxi.

En realizaciones en las que el material termosensible es un LCP, el material puede transicionar entre una pluralidad de estados diferentes (por ejemplo estados cristalino, cristalino líquido y líquido isotrópico) a una pluralidad de temperaturas de transición diferentes. Por tanto, en realizaciones en las que el material es un LCP, la rigidez de la piel puede estar capacitada para ser reducida en una pluralidad de etapas discretas correspondientes a los diferentes estados.

Se ha visto que la capacidad del material termosensible para responder a cargas dentro del material compuesto está ligada a la capacidad de transferencia de esfuerzos del material termosensible en la interfaz con partes circundantes del material compuesto. Se piensa que esto está ligado a las prestaciones mecánicas (por ejemplo, el módulo elástico y/o la resistencia) del material termosensible y/o la fuerza de adherencia en la interfaz entre los materiales. El módulo elástico del material termosensible en el modo de temperatura ambiente está preferiblemente entre 0,001 GPa y 12 GPa y más preferiblemente entre 0,01 GPa y 3 GPa. El módulo elástico del material termosensible en el modo calentado es preferiblemente un 50% o menos del módulo elástico del material termosensible en el modo de temperatura ambiente. El módulo elástico del material termosensible en el modo calentado puede ser despreciable.

El módulo flexural del material compuesto cuando el material termosensible está en el modo calentado puede ser un 50% o menos del módulo flexural del material compuesto cuando el material termosensible está en el modo de temperatura ambiente. El módulo elástico del material compuesto cuando el material termosensible está en el modo calentado puede ser un 50% o menos del módulo elástico del material compuesto cuando el material termosensible está en el modo de temperatura ambiente. Para estos fines, las propiedades cuando el material termosensible está a temperatura ambiente pueden evaluarse a temperatura y presión ambiente estándar (25°C y 100 kPa) y las propiedades en el modo calentado pueden evaluarse justamente por encima de la temperatura de transición del material.

En principio, el material termosensible puede disponerse en el material compuesto de cualquier manera que consiga la función reivindicada.

En algunas realizaciones de la invención el material compuesto incluye una primera capa que comprende al menos algunas de la multiplicidad de fibras y una segunda capa, adyacente a la primera capa, que comprende el material termosensible. Las capas primera y segunda son preferiblemente paralelas. Las capas son de preferencia sustancialmente planas. El material compuesto puede incluir una pluralidad de capas, cada una de las cuales comprenda algunas de las fibras, estando intercalada la pluralidad de las capas entre capas del material termosensible. La capa o capas que comprenden las fibras comprenden también preferiblemente la matriz (que preferiblemente sigue siendo rígida cuando se calienta el material termosensible). Por ejemplo, las fibras revestidas se incorporan preferiblemente en la matriz y luego se intercala esa capa preincorporada de matriz y fibras junto a una capa de material termosensible. Se ha visto que las realizaciones en las que el material termosensible se dispone en una capa como la descrita anteriormente son capaces de una deformación por flexión especialmente alta en el modo calentado. Se piensa que esto se debe a que el material termosensible, cuando se calienta, permite que las capas adyacentes de fibras o de fibra/matriz sufran cizalladura una con relación a otra. Se ha visto también que la distribución en capas anteriormente mencionada del material termosensible es compatible con ambas disposiciones en las que las fibras son fibras tejidas y en las que las fibras son unidireccionales.

En realizaciones de la invención la multiplicidad están revestidas con el material termosensible. Se ha visto que tal disposición proporciona una recuperación especialmente alta de propiedades mecánicas desde el modo calentado hasta el modo de temperatura ambiente. Las fibras pueden revestirse por diversos métodos tales como electrorrevestimiento, polimerización con plasma y revestimiento por inversión. En estas realizaciones el material compuesto puede también incluir o no una capa del material termosensible.

En principio, es posible cualquier dirección de las fibras, pero en realizaciones preferidas de la invención las fibras son unidireccionales. Se ha visto que las realizaciones de la invención en las que las fibras están revestidas con el material termosensible son especialmente efectivas en combinación con fibras unidireccionales.

En realizaciones de la invención el reblandecimiento del material termosensible tiene un efecto local en vez de un efecto homogéneo en toda la masa del material compuesto, si bien permite que la totalidad de la masa del material compuesto cambie de forma. El material termosensible se posiciona como una interfaz entre porciones de material que no son ellas mismas termosensibles. Cuando se reblandece, el material termosensible permite entre esas porciones un movimiento tal como un movimiento de cizalladura o un movimiento deslizante en esa interfaz. Es este movimiento en la interfaz el que permite que la masa del material compuesto como un todo cambie de estado. Así, cuando el material compuesto está distribuido en capas, incorporando al menos una capa de material termosensible, la capa reblandecida del material termosensible permite que las capas adyacentes del material de matriz o de fibra/material de matriz se muevan, por ejemplo se deslicen o sufran cizalladura, una con relación a otra a medida

que se dobla la estructura de la masa del material compuesto. Cuando se revisten fibras de refuerzo con el material termosensible y se empotran éstas en la matriz, el material termosensible reblandecido permite que las fibras se muevan con relación al material de matriz de modo que el material compuesto pueda ser actuado hacia una forma diferente. En este caso, el material termosensible reblandecido reduce la efectividad de las fibras de refuerzo.

- 5 La piel comprende preferiblemente un aparato de calentamiento, o puede conectarse al mismo, para calentar el material termosensible desde el modo de temperatura ambiente hasta el modo calentado. En principio, hay una diversidad de maneras de calentamiento del material termosensible (por ejemplo aplicando una almohadilla calentada a una superficie de la piel o colocando tubos de escape calientes en la proximidad de la superficie de la piel). En una realización preferida las fibras son eléctricamente conductoras y el aparato de calentamiento está concebido para dejar pasar una corriente a través de las fibras a fin de calentar así el material termosensible. Por ejemplo, el aparato de calentamiento puede comprender una fuente de potencia conmutable conectada a través de las fibras.

- 15 Las fibras son preferiblemente fibras de refuerzo, particularmente fibras de carbono. Las fibras de carbono son especialmente beneficiosas debido a que tienden a proporcionar las propiedades físicas que son adecuadas para su uso en vehículos aéreos (por ejemplo relación resistencia : peso) y son también eléctricamente conductoras y, por tanto, pueden calentarse dejando que pase una corriente eléctrica a través de ellas si se requiere (véase más arriba). Sin embargo, las fibras pueden incorporar fibras de más de un material, incluyendo tanto fibras de refuerzo como fibras eléctricamente conductoras.

- 20 La piel mutante puede ser adecuada para una superficie aerodinámica de la estructura de vehículo aéreo o puede colocarse sobre esta superficie (es decir, cualquier superficie que influya en la aerodinámica de la estructura o de otra estructura cuando se realiza su ensamble). Por ejemplo, puede ser parte de un ala u otra estructura sustentadora, una admisión de aire de motor o parte de un fuselaje. La piel o la estructura de vehículo aéreo asociada puede comprender un actuador, o puede conectarse al mismo, para mutar la piel cuando el material termosensible está en el modo calentado.

- 25 Según otro aspecto de la invención, se proporciona un vehículo aéreo que comprende la piel mutante descrita anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención.

Un material compuesto según una realización de la invención puede ser útil en aplicaciones en las que el material necesite ser relativamente rígido durante el funcionamiento normal, pero en las que sea deseable que pueda cambiarse significativamente la forma del material utilizando una fuerza de actuación relativamente baja.

- 30 El material compuesto no tiene que utilizarse necesariamente tan solo en vehículos aéreos. Por ejemplo, el material compuesto puede utilizarse durante una fabricación de conjuntos complejos, en la que se puede deformar un componente dándole una forma compleja cuando el material termosensible está en el modo calentado, y este componente es entonces capaz de ser enfriado para obtener una estructura rígida de esa forma compleja.

- 35 Según otro aspecto más de la invención, se proporciona un método de mutación de una piel en un vehículo aéreo, comprendiendo la piel una piel mutante como la descrita anteriormente, comprendiendo el método los pasos de (i) calentar la piel, estando concebida la piel para reducir reversiblemente su rigidez como reacción al aumento de temperatura, (ii) deformar la piel y (iii) enfriar la piel en el estado deformado, estando concebida la piel para volver a una mayor rigidez como reacción a la disminución de temperatura. El paso de calentar la piel puede comprender el paso de dejar pasar una corriente eléctrica por las fibras.

- 40 Un método de fabricación de un artículo utilizando un material compuesto según una realización de la invención comprende los pasos de (i) calentar el material compuesto, estando concebido el material para reducir su rigidez como reacción al aumento de temperatura, (ii) deformar el material para obtener el componente de material compuesto y (iii) enfriar el material en el estado deformado, estando concebido el material para volver a una mayor rigidez como reacción a la disminución de temperatura.

- 45 Se proporciona también un artículo que comprende un material compuesto como el descrito anteriormente.

Cualquier característica descrita con referencia a un aspecto de la invención es igualmente aplicable a cualquier otro aspecto de la invención, y viceversa. Por ejemplo, las características descritas con referencia a la piel mutante en el vehículo aéreo son igualmente aplicables al vehículo aéreo, al material compuesto en sí o al método de mutación de una piel.

- 50 Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora ejemplos de realización de la invención a modo de ejemplo solamente y con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de una piel mutante según una primera realización de la invención;

La figura 2 es una vista en perspectiva esquemática despiezada de una piel mutante según una tercera realización de la invención;

- 5 Las figuras 3a y 3b son imágenes seccionales de la piel mutante de la tercera realización de la invención en estados no mutado y mutado;

La figura 4 muestra en principio un simple mecanismo de actuación para uso con una piel mutante de una realización de la invención; y

- 10 La figura 5 muestra un corte transversal de un ala que tiene bordes trasero y delantero activos que incorporan una piel mutante según una realización de la invención.

Descripción detallada

La figura 1 es una vista esquemática de un material compuesto 1 según una primera realización de la invención. El material compuesto 1 es para uso en una piel mutante que constituye la superficie exterior de un ala de un vehículo aéreo (no mostrado).

- 15 El material compuesto 1 comprende una pluralidad de fibras de carbono unidireccionales 3 incorporadas en una matriz de epoxi 5 y un material termosensible 7. Como se muestra en la figura 1, la superficie de las fibras 3 está revestida con el material termosensible 7 de tal manera que el material termosensible 7 forme una interfaz entre las fibras de carbono 3 y la matriz 5.

- 20 En la primera realización de la invención el material termosensible 7 es un copolímero de poli(metilmecrilato-co-acrilamida) (p(MMA-co-AAm)). MMA es el monómero para PMMA, un polímero amorfo con una temperatura de transición vítrea (T_g) de alrededor de 105-120°C. AAm se escogió como comonómero debido a que se encontró que proporcionaba una adherencia efectiva entre fibras de carbono y una matriz de epoxi.

El material compuesto 1 se fabricó como sigue:

- 25 (i) Se aplicó in situ un revestimiento del copolímero p(MMA-co-AAm) sobre fibras de carbono. Se disolvieron MMA y AAm en dimetilformamida (DMF) y luego se añadió perclorato de litio (sal de electrólito) a la solución.

- 30 (ii) Fibras de carbono (AS4 sin encolar 12k, Hexcel) se hicieron pasar continuamente por un tubo de acero inoxidable que estaba sumergido en el baño de electrólito a una velocidad de procesamiento constante (1,9 mm/s), una tensión constante de las fibras (150 g) y una temperatura constante (65°C). Se aplicó una corriente eléctrica constante (1,2 A) a la instalación durante el proceso de electrorrevestimiento. Se utilizaron fibras de carbono como ánodo, mientras que el tubo de acero inoxidable era el cátodo.

(iii) Se lavaron a fondo las fibras de carbono revestidas con acetona y agua destilada para retirar cualquier monómero atrapado y no reaccionado y extraer cualquier residuo de sal, y luego se secaron dichas fibras durante la noche en un horno de secado (55°C).

- 35 (iv) Se usó un devanado de filamentos con tensión y velocidad constantes para devanar las fibras de carbono electrorrevestidas con p(MMA-co-AAm) sobre una placa de acero inoxidable que estaba cubierta con una película de fácil liberación. Se aplicaron por cepillado resina epoxi (resina epoxi (LY556, Huntsman) y endurecedor (XB3473, Huntsman) mezclados entre cada capa de laminados de fibra revestida.

- 40 (v) Seguidamente, se puso el laminado en una infusión de resina bajo una instalación de utillaje flexible (RIFT) para infundir más resina epoxi a través de los laminados bajo vacío y retirar también todas las burbujas de aire de los laminados. Se curaron los laminados de fibra revestida a 120°C durante 2 horas y a 180°C durante 4 horas bajo vacío (-105 Pa).

- 45 El material termosensible 7 en el material compuesto 1 de la primera realización puede transicionar reversiblemente entre una fase de vidrio en un modo de temperatura ambiente cuando está por debajo de 114°C (la temperatura de transición vítrea) y una fase de caucho en un modo calentado (cuando está por encima de la temperatura de transición vítrea). En el modo de temperatura ambiente el material termosensible 7 es capaz de transferir cargas en el material compuesto, mientras que en el modo calentado se reduce la capacidad del material 7 para transferir las cargas.

Este comportamiento puede demostrarse en un ensayo flexural (flexión en tres puntos) utilizando una pieza (10 mm de anchura x 40 mm de longitud x 1,1 mm de espesor): A temperatura ambiente el material termosensible 7 (p(MMA-

co-AAm)) está en el modo de temperatura ambiente y puede transferir cargas al material compuesto 1. Por consiguiente, el módulo flexural del material compuesto de epoxi-fibra de carbono electrorrevestida con p(MMA-co-AAm) es de 85 ± 7 GPa. Cuando se calienta el material compuesto 1 a 130°C , que está por encima de la temperatura de transición vítrea (114°C) de p(MMA-Co-AAm), el material termosensible 7 transiciona hacia un modo calentado en el que se redujo su capacidad para transferir cargas al material compuesto circundante 1 y en particular a las fibras de carbono 3. Por consiguiente, el módulo flexural del material compuesto 1 a 130°C se reduce a 39 ± 8 GP. Esto corresponde a una reducción de rigidez del 54%.

Además, el p(MMA-co-AAm) puede transicionar reversiblemente entre estos modos calentado y de temperatura ambiente. Por consiguiente, cuando se enfría volviendo a la temperatura ambiente, el material termosensible 7 es una vez más capaz de transferir cargas en el material compuesto (se ha visto que el material compuesto 1 tenía un módulo flexural de 82 ± 2 GPa (es decir, una recuperación del 96%)).

El material compuesto 1 anteriormente descrito es especialmente beneficioso para uso en una piel mutante (por ejemplo en un ala de aeronave) debido a que puede alterarse repetidamente entre un estado rígido, en el que actúa como una superficie aerodinámica adecuada, y un estado calentado en el que se reduce la rigidez de la piel para hacer posible una mutación de la piel del ala a una forma diferente, y luego se enfría para rigidizar la piel en esa forma mutada.

Una aeronave (no mostrada) que utilice el material compuesto de la primera realización comprende una piel de ala formada a partir del material compuesto 1, un calentador para calentar el material compuesto 1 y un actuador para mutar el ala. El calentador comprende una fuente de potencia eléctrica acoplada eléctricamente a las fibras de carbono 3 de tal manera que, cuando se conecta la fuente de potencia, circule una corriente por las fibras de carbono 3 y las caliente. Este calor se transmite después hasta el material termosensible circundante 7, el cual se reblandece una vez que esté más caliente que su temperatura de transición, reduciendo así su capacidad para transferir cargas en el material compuesto 1 y reduciendo con ello la rigidez de dicho material compuesto. El actuador está concebido para ejercer una fuerza de deformación de la piel del ala (por ejemplo por vía hidráulica y/o usando levas) una vez que se ha reducido la rigidez. Una vez que la piel del ala tiene entonces la forma requerida, se desconecta la fuente de potencia y el material termosensible 7 se enfría de un modo natural hasta por debajo de la temperatura de transición, volviendo a rigidizar así el ala en su forma mutada.

En una segunda realización de la invención (no mostrada) el material termosensible es un polímero cristalino líquido (LCP). Los LCPs combinan las propiedades útiles de los polímeros con las de los cristales líquidos, formando mesofases tras la fusión antes de convertirse en una masa fundida isotrópica. Los LCPs proporcionan más transiciones de fase que los materiales termosensibles de la primera realización debido a que pueden cambiarse entre estados cristalino, cristalino líquido y masa fundida isotrópica. Por tanto, las propiedades del material termosensible pueden "conmutarse" reversiblemente entre más etapas que las de los materiales de las realizaciones primera y tercera.

Hay diversos métodos posibles para revestir las fibras de carbono con LCP (por ejemplo revestimiento sumergido, revestimiento por polimerización y revestimiento con plasma). Las fibras de carbono revestidas con LCP pueden transformarse después en el material compuesto siguiendo los procedimientos descritos en la presente realización.

La figura 2 es una vista despiezada esquemática de una piel mutante según una tercera realización de la invención. La piel se coloca sobre la admisión de aire de un motor de un vehículo aéreo (no mostrado). La piel comprende un material compuesto 101 que tiene capas intercaladas de $125\text{ }\mu\text{m}$ de plástico termoestable reforzado con fibra de carbono (CFRP) 104 y $130\text{ }\mu\text{m}$ de poliestireno 107. El CFRP 104 está constituido por fibras de carbono unidireccionales 103 y una matriz de epoxi 105 (no visibles por separado en la figura 2).

El material compuesto 101 está constituido por diecisiete capas alternas de CFRP 104 y poliestireno 107 (solamente algunas de éstas se muestran en la figura 2). Para formar el material compuesto se colocaron las capas en una prensa caliente y se curaron a 175°C y 100 Psi durante 1 hora.

Las figuras 3a y 3b son imágenes seccionales del material compuesto en un estado plano (figura 3a) y en un estado cambiado (curvado) (figura 3b). El estado mutado se consigue calentando las capas de poliestireno 107 a 120°C de modo que se reduzca el módulo elástico del poliestireno 107, reduciendo así la capacidad la capacidad del poliestireno para transferir cargas en el material compuesto y reduciendo con ello la rigidez de la piel del ala. Se actúa después sobre la piel para llevarla al estado deformado y se permite que se enfríe la piel (retirando la fuente de calor) de tal manera que se rigidice en la forma mutada.

En las figuras 3a y 3b se muestra solamente una porción extrema del material compuesto que proporciona la piel mutante 1, mostrando las posiciones relativas de los extremos de las capas de CFRP 103, 105 en los estados plano y mutado de las capas de poliestireno 107. En croquis a la derecha de las figuras 3a y 3b se muestra una longitud mayor de las capas de poliestireno 107, mostrando estos croquis la curva del cuerpo de la capa de poliestireno 107

en el estado mutado y un cambio en la forma de la cara extrema 300 de la misma.

Como se muestra en la figura 3b, cuando el material termosensible 107 está en el estado calentado, las capas de CFRP 104 son capaces de moverse una con relación a otra, reduciendo así la rigidez de la piel del ala. En esta tercera realización de la invención se midió el módulo flexural de una pieza de ensayo como 65 GPa a temperatura ambiente (cuando el material termosensible estaba en el modo de temperatura ambiente) y 1 GPa a 120°C (cuando el material termosensible estaba en el modo calentado). Esto equivale a una pérdida de rigidez del 98%. Al retornar al modo de temperatura ambiente se midió el módulo flexural del material compuesto como 65 GPa (indicando una recuperación de rigidez de sustancialmente el 100%).

Se conocen actuadores para producir cambios en la forma de una estructura tal como un ala de aeronave. La figura 4 muestra un actuador mecánico muy sencillo para flexionar una piel mutante 1 que tiene un corte transversal generalmente curvado. El actuador se basa en una estructura de tres ranuras en la que dos ranuras 425 están alineadas y una tercera ranura 430 está en ángulo recto y se dirige hacia el intersticio entre las ranuras alineadas 425. Unos vástagos 420 se fijan a puntos hacia los bordes de la piel 1, estando sus extremos libres fijados de manera articulada a una montura dentro de la tercera ranura 430. Si la montura se mueve en la tercera ranura 430, como se indica por la flecha vertical 400, esto hace que los puntos de fijación de los vástagos 420 a la piel 1 se muevan acercándose uno a otro o alejándose uno de otro, como se indica por las flechas horizontales 410, flexionando así la piel 1 a un lado y a otro, cambiándola y revirtiéndola entre formas diferentes, en este caso de curvatura mayor y menor. El movimiento de la montura de los vástagos 420 en la tercera ranura 400 podría producirse, por ejemplo, hidráulicamente.

La figura 5 muestra una disposición ligeramente diferente de vástagos actuadores 420 controlados desde una estructura de cajón rígido 510 en un ala y que se extienden a través de regiones activas delantera y trasera 500, 510 del ala confinada en una piel mutante 1. Esta disposición de actuación mecánica cambia y revierte también el perfil de ala aerodinámico mientras la piel mutante 1 está en el modo calentado.

Aunque la presente invención se ha descrito e ilustrado con referencia a realizaciones particulares, se apreciará por los expertos ordinarios en la materia que la invención se presta a muchas variaciones diferentes no ilustradas específicamente en este documento. Por ejemplo, el aparato de calentamiento puede comprender un tubo de escape situado en proximidad al material termosensible de tal manera que algo del calor emitido desde el escape se transfiera al material termosensible. A modo de otro ejemplo, el material compuesto no tiene que utilizarse necesariamente en un vehículo aéreo y, por ejemplo, podría utilizarse cuando se fabriquen partes componentes complejas para mover componentes no aeroespaciales tales como una válvula en un conducto. En otro ejemplo se puede configurar la piel entre dos modos calentados; en un primer modo calentado solamente se calientan lugares seleccionados de la piel del ala para reducir parcialmente la rigidez de la piel, mientras que en un segundo modo calentado se calientan también lugares adicionales de la piel para reducir aún más la rigidez y configurar la piel.

Cuando en la descripción anterior se mencionan números enteros o elementos que tienen equivalentes conocidos, obvios o previsibles, tales equivalentes se incorporan entonces en este documento como si se hubieran enunciado individualmente. Deberá hacerse referencia a las reivindicaciones para determinar el alcance verdadero de la presente invención, que deberá interpretarse en el sentido de abarcar cualquiera de tales equivalentes. Se apreciará también por el lector que los números enteros o las características de la invención que se describen como preferibles, ventajosos, convenientes o similares son opcionales y no limitan el alcance de las reivindicaciones independientes.

REIVINDICACIONES

1. Un material compuesto (1, 101) para uso como piel mutante en una estructura de vehículo aéreo, comprendiendo el material compuesto: una multiplicidad de fibras (3, 103), un material de matriz (5, 105) que incorpora las fibras y un material termosensible (7, 107),
 - 5 comprendiendo el material de matriz (5, 105) un material que no es termosensible, revistiéndose la multiplicidad de fibras (3, 103) con el material termosensible (7, 107) antes de su incorporación en el material de matriz (5, 105) y pudiendo transicionar reversiblemente el material termosensible (7, 107), en respuesta a un cambio de temperatura, entre (i) un modo de temperatura ambiente en el que el material termosensible (7, 107) es capaz de transferir cargas en el material compuesto (1, 101) y (ii) un modo calentado en el que se reduce la capacidad del material
 - 10 termosensible (7, 107) para transferir cargas, reduciendo así la rigidez del material compuesto (1, 101).
2. Un material compuesto según la reivindicación 1, en el que el material termosensible (7, 107) es un termoplástico.
3. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que, cuando está en el modo calentado, el material termosensible está a una temperatura superior a una temperatura de transición de tal manera que el material termosensible tenga un estado cambiado.
- 15 4. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que el material termosensible (7, 107) proporciona una interfaz entre porciones de la piel que no son termosensibles, permitiendo la interfaz que esas porciones se muevan, por ejemplo se deslicen o sufran cizalladura, una con relación a otra en el modo calentado para cambiar la forma de la piel, e impidiendo que esas porciones se muevan una con relación a otra en el modo ambiente para mantener una forma cambiada de la piel.
- 20 5. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que el material compuesto (1, 101) incluye al menos una primera capa (104) que comprende al menos algunas de la multiplicidad de fibras (3, 103), y al menos una segunda capa (107), adyacente a la primera capa, que comprende el material termosensible (7, 107).
6. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que las fibras (3, 103) son unidireccionales.
- 25 7. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que la piel comprende un aparato de calentamiento, o puede conectarse a este aparato, para calentar el material termosensible (7, 107) desde el modo de temperatura ambiente hasta el modo calentado.
8. Un material compuesto según la reivindicación 7, en el que las fibras (3, 103) son eléctricamente conductoras y el aparato de calentamiento está concebido para dejar pasar una corriente por las fibras (3, 103) a fin de calentar así el material termosensible (7, 107).
- 30 9. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que las fibras (3, 103) son fibras de carbono.
10. Un material compuesto según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que la multiplicidad de fibras (3, 103) son fibras de refuerzo.
11. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que la matriz tiene una temperatura de transición vítrea (Tg) superior a la temperatura de transición del material termosensible.
- 35 12. Un material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en el que la matriz comprende una matriz de epoxi.
13. Un artículo que comprende un material compuesto (1, 101) según cualquier reivindicación anterior.
14. Una piel mutante para una estructura de vehículo aéreo, comprendiendo la piel un material compuesto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

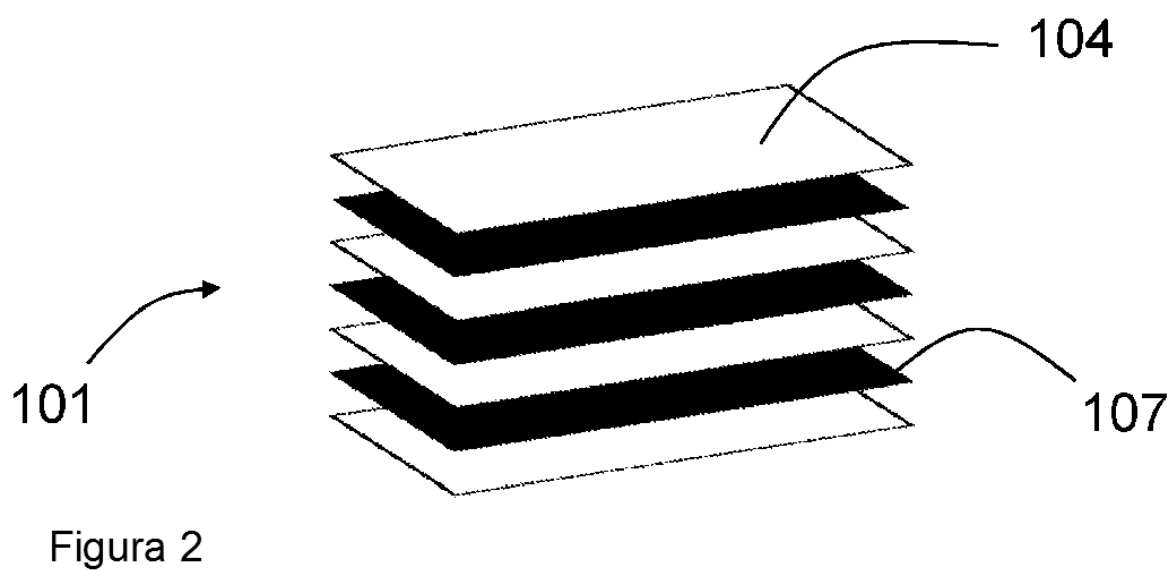
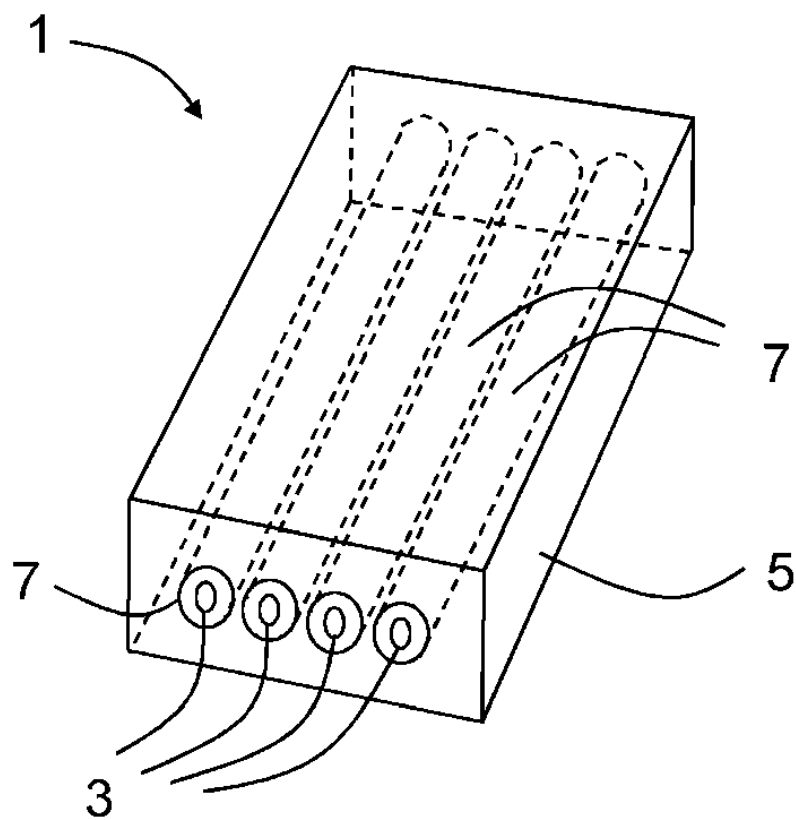


Figura 3a

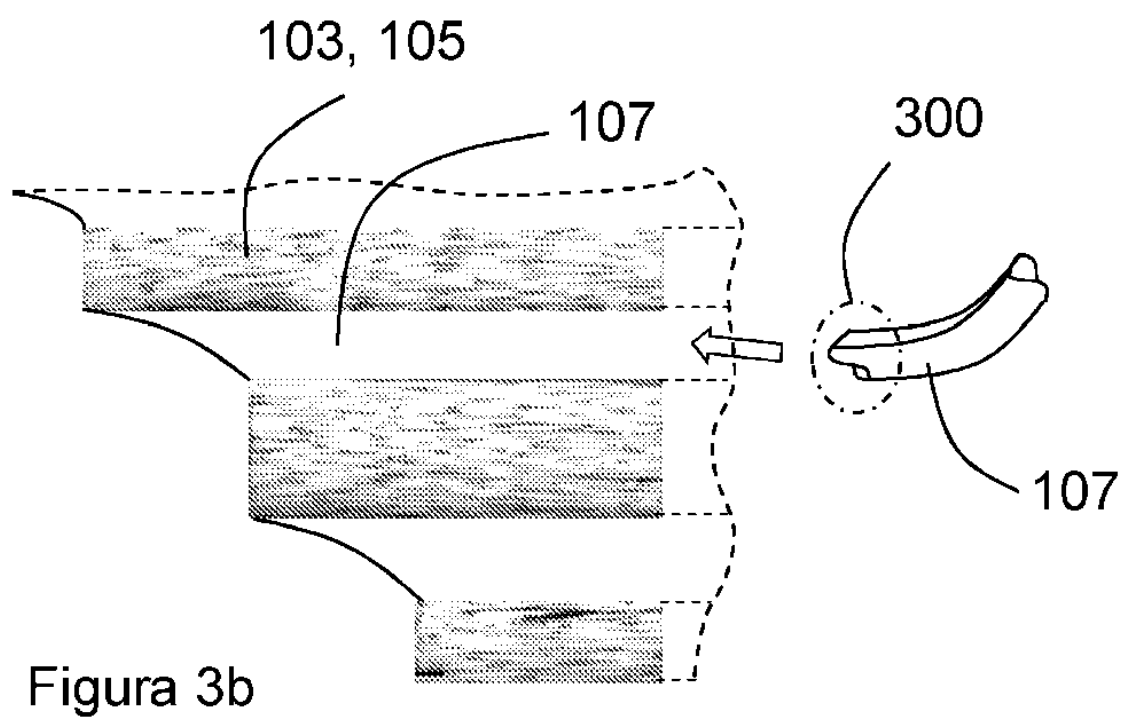
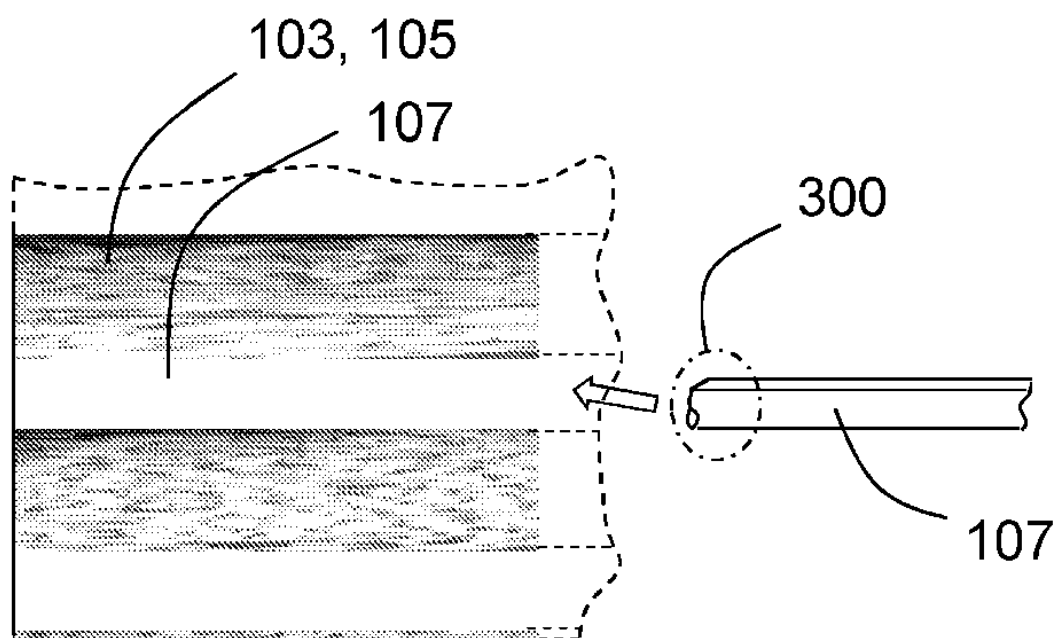


Figura 3b

