

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 988**

51 Int. Cl.:
B29C 70/34 (2006.01)
B29C 70/38 (2006.01)
B29C 70/54 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06769909 .0**
96 Fecha de presentación: **27.04.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1899146**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.03.2008**

54 Título: **Método de fabricación de elementos estructurales compuestos curvos**

30 Prioridad:
03.05.2005 US 119756

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.06.2012

73 Titular/es:
**THE BOEING COMPANY
100 NORTH RIVERSIDE PLAZA
CHICAGO, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:
**BROWN, Todd A.;
FRIDDELL, Stephen Douglas;
HARRIS, Christopher G. y
MODIN, Andrew E.**

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 381 988 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

Método de fabricación de elementos estructurales compuestos curvos

5 Campo de la invención

La presente divulgación se refiere, en general, a estructuras compuestas. Más particularmente, la presente divulgación se refiere a la fabricación de elementos estructurales para soportar carga a partir de materiales compuestos.

10

Antecedentes de la invención

Los materiales compuestos se usan cada vez más en una diversidad de industrias, incluyendo la industria de automoción, marina y aeroespacial. Los materiales compuestos se han usado para producir estructuras que no soportan carga, tales como cascos de barcos o paneles para carrocería de automóvil. Los materiales compuestos se han aplicado también en la fabricación de estructuras que soportan carga, tales como recipientes a presión y fuselajes de avión.

15

El documento US2003/0173019 desvela un método para producir una preforma textil para usarla en la fabricación de un producto compuesto de plástico reforzado con fibra e implica las siguientes etapas. Un material o artículo textil semi-acabado bi- o tri-dimensional se produce esencialmente por cualquier proceso de producción textil, tal como tejido a punto, tricotado o trenzado. Puede aplicarse un aglutinante al material textil, que se somete después a un proceso de reformado y/o drapeado aplicándolo sobre un soporte y una herramienta de reformado que tiene un contorno o geometría adaptada a la de la preforma deseada que se va a producir. De esta manera, las fibras no fijadas previamente del material textil se llevan a la orientación acabada deseada y después se fijan, cambiando la forma de la sección transversal del material. La preforma puede someterse después a etapas de procesamiento adicionales para formar el producto compuesto acabado.

20

25

Los materiales compuestos tienen aplicación especialmente en el diseño de miembros estructurales que llevan cargas de tracción. Los materiales compuestos usados en estos diseños incluyen materiales fibrosos fuertes, tales como carbono, aramida, vidrio o cuarzo, unidos juntos con un material de resina, tal como un epoxi. Dichos materiales pueden tener la ventaja de una alta resistencia a tracción a proporción en peso, que permite el diseño de estructuras ligeras que tienen una resistencia sustancial a tensión. Puesto que la carga en estos materiales la llevan principalmente las fibras, una diversidad de materiales compuestos se han desarrollado con fibras unidireccionales, es decir, las fibras están sustancialmente alineadas en una dirección uniforme. De esta manera, estos materiales se usan frecuentemente en diseños que sitúan las fibras a lo largo de la dirección de la carga de tracción en un miembro estructural.

30

35

Sin embargo, los diseños de material compuesto pueden tener la desventaja de que las fibras unidireccionales no siguen el contorno del miembro estructural. Por ejemplo, en un elemento estructural que incluye una superficie que está curva dentro de un plano, el material compuesto puede recortarse a la forma de un arco plano, pero las fibras no siguen la curva del arco. En dicho diseño, la orientación de las fibras unidireccionales no está en la dirección de carga en el miembro estructural. Adicionalmente, las fibras unidireccionales están cortadas a lo largo del borde recortado de la curva.

40

45

Por consiguiente, es deseable proporcionar un método de fabricación de elementos estructurales compuestos curvos con fibras que llevan carga alineadas a lo largo de la curvatura del elemento estructural.

Sumario de la invención

50

Las anteriores necesidades son satisfechas, en gran medida, por la presente invención, en la que en un aspecto se proporciona un método que en algunas realizaciones permite la fabricación semi-automática de elementos estructurales compuestos curvos con fibras que llevan carga alineadas a lo largo de la curvatura del elemento estructural usando una combinación de colocación de fibra y procesos de tendido automatizados.

55

De acuerdo con la presente invención se proporciona un método de fabricación de un elemento estructural curvo compuesto de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

60

El método de fabricación puede incluir la colocación de una pluralidad de tiras unidas de forma contigua de un material compuesto con forma de un arco plano para formar una capa. Las tiras pueden colocarse sobre un material de sustrato retirable. El material compuesto puede incluir una pluralidad de fibras que tienen una orientación de fibra general, pudiendo estar la orientación de fibra de cada una de las tiras sustancialmente alineada a lo largo de toda la longitud del arco plano. Además, el método puede incluir recortar un borde de la capa.

65

El método de la fabricación de un elemento estructural curvo compuesto incluye la etapa de tender una capa de banda compuesta curva incluyendo un material compuesto sobre una herramienta de fabricación que incluye una

superficie curva con forma de arco plano. El material compuesto comprende una pluralidad de fibras que incluyen una orientación de fibra general, y la orientación de fibra de la banda está sustancialmente alineada con una línea central longitudinal de la superficie curva. El método incluye adicionalmente la etapa de curar la capa de banda. El método de fabricación de un elemento estructural curvo compuesto puede incluir la etapa de tender una capa diagonal que incluye un material compuesto sobre la herramienta de fabricación sobre la superficie curva.

El método de fabricación de un elemento estructural curvo compuesto puede incluir las etapas de cortar un segmento de una cinta compuesta que tiene una pluralidad de fibras de cinta con una orientación de fibra de cinta general y tender una capa transversal que incluye el segmento de cinta sobre la superficie curva.

La orientación de la fibra de cinta puede formar sustancialmente un ángulo recto con una tangente de una línea central longitudinal de la superficie curva en todos los puntos a lo largo de la línea central longitudinal.

De esta manera se han perfilado, bastante ampliamente, ciertas realizaciones de la invención para que la descripción detallada de la misma en este documento pueda entenderse mejor, y para que la presente contribución a la técnica pueda apreciarse mejor. Por supuesto, hay realizaciones adicionales de la invención que se describirán a continuación y que formarán la materia objeto de las reivindicaciones adjuntas a la misma.

En este sentido, antes de explicar al menos una realización de la invención en detalle, debe entenderse que la invención no está limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a las disposiciones de los componentes expuestas en la siguiente descripción o ilustradas en los dibujos. La invención es capaz de realizaciones además de las descritas y de realizarse de forma práctica y llevarse a cabo de diversas maneras. También, debe entenderse que la fraseología y terminología empleadas en este documento, así como en el resumen, son con el fin de descripción y no deberían considerarse limitantes.

Como tal, los expertos en la materia apreciarán que la concepción en la que se basa esta descripción puede utilizarse fácilmente como una base para el diseño de otras estructuras, métodos y sistemas para realizar los diversos fines de la presente invención. Por lo tanto, es importante que se considere que las reivindicaciones incluyen de dichas construcciones equivalentes en tanto que no se alejan del alcance de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1A es una vista en perspectiva que ilustra un elemento curvo con una sección transversal con forma de "C".

La Figura 1B es una vista en perspectiva que ilustra un elemento estructural curvo con una sección transversal con forma de "L".

La Figura 2 es una vista en perspectiva que ilustra una herramienta de fabricación o mandril, de acuerdo con una realización del método o proceso.

La Figura 3 es una vista en perspectiva que ilustra una fabricación y proceso de tendido de una capa de banda a 0 grados de un material compuesto.

La Figura 4 es una vista en perspectiva que ilustra el tendido de una capa superior a 0 grados de un material compuesto.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de un tendido de una capa diagonal a 45 grados de un material compuesto sobre una herramienta de fabricación.

La Figura 6 es una vista en perspectiva que ilustra el tendido de la capa transversal a 90 grados de un material compuesto.

La Figura 7 es una vista en perspectiva que ilustra el tendido de un elemento estructural que se ha transferido sobre una herramienta de fabricación cóncava.

La Figura 8 es una vista en perspectiva que ilustra el cierre del tendido de elemento estructural en una bolsa de vacío sellada para su curado.

La Figura 9 es diagrama de flujo que ilustra las etapas que pueden seguirse para fabricar un elemento estructural compuesto curvo.

Descripción detallada

Una realización de acuerdo con la presente divulgación proporciona un método para fabricar elementos estructurales compuestos curvos. El método puede incluir fabricar una capa de banda curva compuesta usando una máquina de colocación de fibra avanzada (AFP), de manera que la orientación de la fibra del material compuesto está sustancialmente alineada con la curvatura del elemento estructural. La capa de banda puede recortarse y tenderse sobre la herramienta de fabricación que tiene una superficie curva para coincidir con la forma de la capa de banda.

En una disposición alternativa el método puede incluir tender una capa diagonal de tejido compuesto con las fibras de tejido orientadas a 45 grados respecto a una tangente de la línea central de la superficie curva. En otra disposición alternativa el método puede incluir tender una capa transversal compuesta de segmentos de cinta compuesta con las fibras de la cinta orientadas en ángulo recto respecto a la tangente de la línea central de la superficie curva. Además, uno o ambos bordes de la capa diagonal y la capa transversal pueden estar plegados

sobre un lado de la herramienta de fabricación para formar una superficie superior.

Adicionalmente, el método puede incluir tender una capa superior compuesta de cinta compuesta con la orientación de la fibra alineada con la línea central de una superficie superior de la herramienta de fabricación. El tendido del elemento estructural puede sellarse entonces en una bolsa de vacío para permitir que el material compuesto se cure, después de lo cual el elemento estructural puede inspeccionarse y el material en exceso puede recortarse. Este método de fabricación de un elemento estructural compuesto tiene la ventaja de que las fibras de la capa de banda están orientadas alineadas con la curvatura del elemento estructural a lo largo de toda su longitud.

Una realización de la descripción se describirá ahora con referencia a las figuras de los dibujos, en las que los números de referencia similares se refieren a partes similares en todo el documento. En la Figura 1A se muestra un ejemplo de un elemento estructural compuesto 102 con una superficie plana curva, o superficie de banda 104, y dos superficies 106, 108 laterales, o superiores, que forman una sección transversal con forma de "C" que puede producirse por un método de una realización de la divulgación. Análogamente, la Figura 1B muestra un ejemplo de un elemento estructural compuesto 110 con una superficie plana curva o superficie de banda, 104 y un reborde, la superficie lateral o superior 106, que incluye varios cortes u "orificios de ratón" 112, que pueden producirse usando un método de una realización de la presente divulgación. Estos dos elementos estructurales ejemplares 102, 110 corresponden a una realización de una primera sección estructural, o unión deslizante (110) y una realización de una segunda sección estructural, o marco flotante (102) usados como elementos de soporte estructurales en un fuselaje de avión. Los ejemplos de estos componentes se encuentran en las Patentes de Estados Unidos en trámite junto con la presente 7.527.222, Biornstad et al., "Composite Barrel Sections for Aircraft Fuselages and other Structures and Methods and Systems for Manufacturing such Barrel Sections", y 7.134.629, Johnson et al., "Structural Panels for Use in Aircraft Fuselages and other Structures" presentadas el 25 de mayo de 2004. Sin embargo, las realizaciones alternativas de esta divulgación pueden usarse para producir cualquier elemento de soporte de carga compatible, incluyendo contrafuertes, vigas y marcos, tales como los usados en recipientes a presión, otros recipientes compuestos, barcos, trenes, sumergibles, arcos, edificios, puentes, mejoras sísmicas, marcos de ventanas o marcos de puertas.

En una realización de la presente divulgación, los elementos estructurales se fabrican a partir de un material compuesto, por ejemplo, una matriz polimérica, epoxi, BMI o un plástico termoestable de poliéster, tal como PEEK, PEKK o PPS reforzado con fibras, tales como carbono, aramida, vidrio, Kevlar, boro, Hybor o cuarzo, posiblemente entremezcladas con metal, láminas metálicas, tales como TiGr o laminado metálico de fibras. Estos materiales compuestos generalmente se "curan" en una forma más fuerte por reacción química endotérmica que requiere la adición de energía, por ejemplo, mediante calentamiento o irradiación. Los ejemplos de materiales compuestos usados en las diversas realizaciones de esta divulgación incluyen epoxi reforzado con fibra de grafito, plástico reforzado con fibra (FRP), plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP), plástico reforzado con fibra de carbono (CRP), compuestos de matriz metálica (MMC), y carbono-carbono reforzado (fibra de carbono en una matriz de grafito).

Una realización de la presente divulgación puede incluir un proceso de tendido a mano, o manual, o un proceso de tendido automatizado, en el que un material compuesto, tal como un tejido compuesto o una cinta compuesta, se coloca sobre una herramienta de fabricación. Una realización ejemplar de una herramienta de fabricación o un mandril 200, se ilustra en la Figura 2. Un mandril ejemplar 200 puede incluir una superficie de banda 202, que corresponde a la superficie plana curva 104 del elemento estructural 102, 110 mostrado en la Figura 1A y la Figura 1B. El mandril ejemplar 200 también puede incluir una superficie lateral interna, o superior, 204; una superficie lateral externa, o superior, 206; o ambas superficies laterales interna y externa, o superiores, 204, 206. En otras realizaciones, el mandril ejemplar 200 puede incluir una combinación casi sin fin de otras superficies.

Una realización de la presente divulgación puede incluir un proceso de colocación de fibra, en el que puede usarse una máquina de colocación de fibra avanzada (AFP) para fabricar una capa de banda curva plana de un elemento estructural. Como se sabe en la técnica, el proceso de colocación de fibra típicamente implica la colocación automática de múltiples "estopas" (es decir, haces no enrollados de filamentos continuos, tales como fibras de carbono o grafito, pre-impregnados con un material de resina termoestable, tal como una epoxi, conocido habitualmente como "estopa pre-impregnada") o una cinta compuesta con ranuras ("cinta ranurada") sobre una herramienta de fabricación o un mandril. Las máquinas de colocación de fibra convencionales dispensan múltiples estopas a un cabezal de desenrollado móvil que colima las estopas (es decir, hace a las estopas paralelas) y aplica las estopas a una superficie de mandril usando uno o más rodillos de compactación que comprimen las estopas contra la superficie. Una estopa típica tiene entre aproximadamente 3,048 mm y 6,35 mm (0,12 pulgadas y 0,25 pulgadas) de anchura cuando se aplanan. Además, dichas máquinas típicamente incluyen medios para dispensar, sujetar, cortar y reanudar estopas individuales durante la colocación.

La cinta ranurada es una cinta compuesta que se ha ranurado después de producirla con anchuras convencionales por el fabricante. El ranurado de la cinta da como resultado anchuras más estrechas que permiten una maniobrabilidad y adaptación mejoradas durante la aplicación para conseguir la productividad de objetivos de diseño. Por ejemplo, en una realización particular, una cinta de 304,8 mm (12 pulgadas) de anchura se corta en noventa y seis ranuras uniformes de 3,175 mm (1/8 pulgadas). Generalmente, la cinta ranurada puede tener

anchuras variables de aproximadamente 3,048 mm (0,12 pulgadas) hasta aproximadamente 152,4 mm (seis pulgadas) y puede incluir o no un papel de refuerzo.

5 Una realización ejemplar de un proceso de colocación de fibra 300 de acuerdo con la presente divulgación se ilustra en la Figura 3. En esta realización ejemplar, una máquina de colocación de fibra avanzada (AFP) 302 puede tender contiguamente tiras contiguas 304 de un material compuesto, ya sea una cinta ranurada o estopa preimpregnada, en un arco plano 306, que tiene la forma de una curva sobre una superficie plana. Como resultado, las fibras de la cinta ranurada o estopa están orientadas en la alineación con la línea central longitudinal del arco a lo largo de toda la longitud de la curva, sin distorsión de las fibras, tal como arrugas. En una realización particular, el elemento
10 estructural curvo incluye la forma de un arco plano con radio uniforme. No obstante, otras realizaciones incluyen elementos estructurales con una curvatura de radio no uniforme, o un contorno complejo que no está situado en un plano. En una realización particular de esta divulgación, en lugar de estar situadas directamente sobre un mandril, las tiras 304 del material compuesto se colocan sobre un sustrato retirable, tal como mylar, que puede estar fijado, por ejemplo, a una placa de prensado metálica. En una realización alternativa, la máquina AFP 302 puede colocar
15 múltiples capas, unas sobre otras, creando una capa más gruesa.

Diversos procesos de la presente divulgación incluyen también un proceso de recortado de la capa de banda, en el que una capa de banda puede recortarse para retirar el exceso de material compuesto y material de sustrato de los bordes de la capa de banda. Por ejemplo, en una realización ejemplar de un proceso de recortado de capa de
20 banda, una máquina de recortado de capas controlada numéricamente puede cortar una capa de banda para conformarse a la forma de un perímetro de una superficie de banda posiblemente curva de un mandril, u otra herramienta de fabricación similar, tal como la mostrada en la Figura 2.

Una realización de la presente divulgación puede también incluir un proceso de tendido de capas de banda, en el que una capa de banda se coloca manual o automáticamente sobre un mandril u otra herramienta de fabricación, tal como se muestra en la Figura 2. Una realización ejemplar de un proceso de tendido de capa de banda 308 de acuerdo con la presente divulgación se ilustra también en la Figura 3. En esta realización ejemplar, una capa de banda 310, tal como la fabricada en el proceso de colocación de fibra 300, puede situarse sobre un mandril 200 usando un proceso de tendido manual o automático. La capa de banda 310 puede estar orientada sobre la superficie
30 de banda curva 202 del mandril, de manera que las fibras compuestas estén alineadas con la línea central de la superficie curva a lo largo de toda la longitud del arco. La capa de banda 310 generalmente se denomina capa de 0 grados, un convenio de nomenclatura que hace referencia al ángulo de las fibras con respecto a la línea central de la superficie. El material de sustrato puede retirarse entonces de la superficie de la capa de banda 310. En una realización alternativa, la capa de banda 310 puede tenderse sobre una capa previa, que puede ser una capa de
35 banda u otro tipo de capa, sobre el mandril 200.

En una realización alternativa de la presente divulgación, puede usarse un proceso de tendido de la capa superior 400, es decir, un proceso donde una capa superior se coloca manual o automáticamente sobre un mandril (u otra herramienta de fabricación) tal como la mostrada en la Figura 2. La Figura 4 representa un ejemplo de un proceso de tendido de capa superior 400 de acuerdo con la presente divulgación. En este ejemplo, una capa superior 402 puede tenderse sobre el mandril ejemplar, u otra herramienta de fabricación, tal como se muestra en la Figura 4. La capa superior 402 puede consistir en una cinta compuesta, por ejemplo, de aproximadamente dos pulgadas de anchura y puede ponerse sobre un mandril 200 de manera que la orientación de las fibras de la cinta discurren en una dirección longitudinalmente o una dirección sustancialmente a 0 grados a lo largo de la superficie superior 106.
45 Como se muestra adicionalmente la Figura 4, una sola capa superior 402 o 404 puede estar tendida en un lado del mandril 200 para formar una sección transversal con forma de "L" con un solo reborde, tal como la del elemento estructural ejemplar en la Figura 1B, y una segunda capa superior 404 o 402 puede aplicarse al lado opuesto del mandril 200 para formar una sección transversal con forma de "C" con dos rebordes, tal como la del elemento estructural ejemplar en la Figura 1A.
50

En el caso de que cualquiera o ambas capas superiores 402 y 404 pueden formarse empalmes 406 y 408 a lo largo de la esquina del mandril 200 donde la capa superior 402 y 404 se encuentra con la capa de banda 310. De esta manera, la capa o capas superiores 402 y 404 y la capa de banda forman una capa continua, sustancialmente a 0 grados a través de la superficie de la banda 202 y una o ambas superficies superiores 106 y 108. Puesto que los empalmes 406 y 408 no interrumpen las fibras a 0 grados a lo largo de la longitud de la banda y superficies superiores, que están diseñadas para llevar cargas de tracción en la dirección longitudinal de la banda y superficies superiores, los empalmes 406, 408 no afectan a la capacidad de soporte de carga de los elementos estructurales 102 y 110. Una realización alternativa de la divulgación puede incluir capas superiores a 0 grados 402 y 404, sin una
55 capa de banda a 0 grados 310.

En una disposición alternativa, un proceso de tendido de capa diagonal 500, en el que una capa diagonal puede colocarse manual o automáticamente sobre un mandril, está representado en la Figura 5. En este ejemplo, una capa diagonal 502 puede colocarse sobre el mandril 200 de manera que las fibras se orienten a aproximadamente 45 grados positivos (+) y negativos (-) de la línea central de la superficie de la banda del mandril 200. El tejido compuesto 504 es un tejido compuesto preimpregnado con una resina. Sin embargo, en otras realizaciones, el tejido compuesto 504 puede incluir un tipo adecuado de tejido compuesto, incluyendo un tejido compuesto en forma seca.
60
65

Aunque la capa diagonal mostrada en la Figura 5 incluye una lámina de tejido compuesto 504, una disposición alternativa puede incluir una capa diagonal formada a partir de tiras de cinta compuesta tendidas sobre el mandril 200, de manera que las fibras de cinta están orientadas a aproximadamente +45 grados o -45 grados de la línea central de la superficie de la banda del mandril. Adicionalmente, las disposiciones alternativas pueden incluir una

5 capa diagonal con las fibras orientadas sobre una desviación a cualquier ángulo entre 0 y 90 grados de la línea central la superficie de la banda, por ejemplo, a 60 grados positivos y negativos.

Para formar el reborde, superficies laterales o superiores, del elemento estructural, el material de la capa diagonal 502 se corta más ancho que la superficie de banda 202 del mandril 200, de manera que al menos un borde de la

10 capa diagonal 502 puede plegarse sobre el lado del mandril 200. Un solo borde de la capa diagonal 502 puede plegarse sobre la superficie superior externo 206 del mandril 200 para formar una sección transversal con forma de "L", tal como la del elemento estructural del ejemplo mostrado en la Figura 1B. Como alternativa, para evitar o minimizar el arrugado, la capa diagonal 502 puede colocarse en primer lugar sobre la superficie superior interna 204 del mandril 200 y después plegarse sobre la superficie de banda curva 202 por tensado y dispersión uniforme de las

15 fibras a través de la superficie de banda curva 202 para formar una sección transversal con forma de "L". Además, la capa diagonal 502 opcionalmente puede plegarse sobre la superficie superior externa 206 del mandril 200, para formar una sección transversal con forma de "C", como la del elemento estructural del ejemplo mostrado en la Figura 1A. Análogamente, la capa diagonal 502 puede colocarse en primer lugar sobre la superficie de banda curva 202 tensando y dispersando uniformemente las fibras a través de la superficie de banda curva 202 y después plegando

20 sobre la superficie superior externa para formar una sección transversal con forma de "L", como la del elemento estructural del ejemplo mostrado en la Figura 1B.

Otras disposiciones pueden incluir un proceso de tendido de capa transversal 600, es decir, un proceso donde una capa se coloca de una manera similar a la mostrada en la Figura 6. En primer lugar, una cinta compuesta unidireccional 602 se corta en segmentos. Por ejemplo, la cinta puede cortarse en segmentos trapezoidales 604,

25 como se muestra en la Figura 6. Para los fines de esta divulgación, el término "trapezoidal" se usa en el sentido de su significado común en inglés americano, con referencia a un cuadrilátero que tiene solo dos lados paralelos, en oposición al significado común en inglés británico, con referencia a un cuadrilátero que no tiene dos lados paralelos. El término usado habitualmente en inglés británico para un cuadrilátero tiene solo dos lados paralelos es "trapecio".

Volviendo a la Figura 6, los dos lados no paralelos de los segmentos de cinta trapezoidal 604 pueden cortarse a un ángulo tal que cuando se tienden sobre el mandril 200 los dos bordes no paralelos del segmento de cinta serán sustancialmente perpendiculares a la tangente de la línea central longitudinal de la superficie curva o banda 202 del mandril 200. Los segmentos de cinta 604 pueden tenderse sobre el mandril ejemplar 200 para formar una capa

35 transversal 606 con fibras orientadas aproximadamente a un ángulo recto con la línea central de la superficie de banda 202 del mandril 200, sin formar arrugas en los segmentos de cinta 604.

Como en el ejemplo de la capa diagonal descrito anteriormente, la capa transversal 606 puede cortarse más ancha que la superficie de banda del mandril 200, de manera que uno o dos bordes de la capa transversal 606 pueden plegarse sobre el lado o lados del mandril 200 para formar una superficie de reborde, lateral o superior. En una

40 disposición, la cinta puede cortarse en segmentos 608 con forma de "embudo" modificada, de manera que el borde o bordes del segmento de cinta 608 que se pliega sobre las superficies superiores 204, 206 del mandril 200 tiene lados paralelos y la porción sobre la superficie de banda 202 del mandril 200 tiene lados no paralelos. En una disposición alternativa, la cinta puede cortarse en segmentos rectangulares y permitirse que solape o que forme huecos entre los segmentos de cinta cuando se tiende sobre el mandril 200. Una vez más, de esta manera, puede formarse una sección transversal con forma de "C" o sección transversal con forma de "L".

Como alternativa, para evitar o minimizar el arrugado, la capa transversal 606 puede ponerse en primer lugar sobre la superficie superior interna 204 del mandril 200 y después plegarse sobre la superficie de banda curva 202 por

50 tensado y dispersión uniforme de las fibras a través de la superficie de banda curva 210 para formar la sección transversal con forma de "L". Además, la capa transversal 606 puede plegarse opcionalmente sobre la superficie superior externa 206 del mandril 200 para formar una sección transversal con forma de "C", como la del elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1A. Análogamente, la capa transversal 606 puede colocarse en primer lugar sobre la superficie de banda curva 202 por tensado y dispersión uniforme de las fibras a través de la superficie

55 de banda curva 202 y después plegarse sobre la superficie de capa externa para formar una sección transversal con forma de "L", tal como el elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1B.

La Figura 7 ilustra un proceso de transferencia 700, en el que un elemento estructural almacenado se transfiere desde un mandril convexo (u otra herramienta de fabricación) a una herramienta de fabricación cóncava 702. En el presente ejemplo de la Figura 7 se ilustra una herramienta de fabricación cóncava 702 o mandril hembra. En este ejemplo, las capas del elemento estructural que previamente se ha permitido que se curen a medida que se tienden sobre una herramienta de fabricación convexa, tal como el mandril ejemplar 200 de la Figura 2, pueden transferirse

60 opcionalmente a una herramienta de fabricación cóncava 702 para su curado. En la presente realización, la herramienta de fabricación cóncava 702 se adapta a la superficie externa del tendido del elemento estructural.

65

En una realización alternativa, las capas pueden tenderse directamente sobre una herramienta de fabricación cóncava, tal como la mostrada en la Figura 7, en lugar de tenderse sobre una herramienta de fabricación convexa. En este caso, puede permitirse que las capas se curen a medida que se tienden sobre la herramienta de fabricación cóncava, u opcionalmente transferirse a y curarse sobre una herramienta convexa.

5 Otro proceso ejemplar de la presente divulgación puede incluir un proceso de sellado, en el que un tendido de elemento estructural se sella dentro de una bolsa de vacío para retirar el aire atrapado del interior y por debajo de un material compuesto, entre las capas compuestas y entre un material compuesto y un mandril respectivo. Una realización ejemplar de una bolsa de vacío 802 que encierra un elemento estructural sobre una acumulación de mandril ejemplar 200 se ilustra en la Figura 8. Análogamente, una realización ejemplar de una bolsa de vacío 704 que encierra una acumulación de elemento estructural sobre una herramienta de fabricación cóncava 702 se ilustra en la Figura 7.

15 La Figura 9 es un diagrama de flujo que esboza un método ejemplar de acuerdo con la presente divulgación para fabricar un elemento estructural compuesto curvo. El proceso empieza en la etapa 902, donde una máquina de colocación de fibra avanzada (AFP) tiende contiguamente las tiras colindantes de un material compuesto. Como se ha analizado anteriormente, en diversas realizaciones el material compuesto puede estar en forma de una cinta ranurada o estopa preimpregnada. Adicionalmente, como se ha analizado anteriormente, la máquina de AFP puede colocar las tiras en un número de formas viables o utilizables, tal como el arco plano ejemplar mostrado en la Figura 3, con las fibras de la cinta ranurada o estopa orientadas alineadas con la línea central longitudinal del arco a lo largo de toda la longitud de la curva, sin distorsión de las fibras, tal como arrugas. Como se ha analizado adicionalmente anteriormente, las tiras de material compuesto pueden colocarse sobre un sustrato retirable, tal como mylar. Adicionalmente, en una realización alternativa, la máquina de AFP puede colocar múltiples capas, una sobre otra, creando una capa más gruesa. El proceso continúa a la etapa 904.

25 En la etapa 904, una capa de banda puede recortarse para retirar el exceso de material compuesto y material de sustrato de los bordes de la capa de banda. En esta etapa, una máquina de corte de capas controlada numéricamente puede cortar la capa de banda a la forma del perímetro de la banda o superficie curva de un mandril, u otra herramienta de fabricación similar, tal como se muestra en la Figura 2. A continuación, en la etapa 906, la capa de banda puede tenderse sobre un mandril, u otra herramienta de fabricación similar, tal como la mostrada en la Figura 2. La capa de banda puede tenderse usando un proceso de tendido manual o automático, orientando las fibras compuestas en una dirección a 0 grados alineada con la línea central de la superficie de banda curva, del mandril u otra herramienta a lo largo de toda la longitud del arco, tal como la capa de banda mostrada en la Figura 3. Además, el material de sustrato puede retirarse de la superficie de la capa de banda durante esta etapa. En diversas realizaciones, una capa de banda puede tenderse directamente sobre el mandril u otra herramienta o, como alternativa, sobre una capa previa o combinación de capas sobre el mandril u otra herramienta. Además, diversas realizaciones pueden incluir más de una capa de banda en combinación con otras capas. El proceso continúa a la etapa 908.

40 En la etapa 908, una capa superior puede tenderse manual o automáticamente sobre una herramienta de fabricación, tal como el mandril mostrado en la Figura 2. Como se ha analizado anteriormente, la capa superior puede consistir en una cinta compuesta, y puede colocarse sobre el mandril u otra herramienta, de manera que la orientación de las fibras de cinta discurre en una dirección longitudinal, o dirección a 0 grados a lo largo de la superficie superior, tal como el tendido de capa superior ejemplar mostrado en la Figura 4. Una sola capa superior puede tenderse sobre un lado del mandril o herramienta para formar una sección transversal con forma de "L" con un solo reborde, como el del elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1B, más una segunda capa superior que puede aplicarse al lado opuesto del mandril para formar una sección transversal con forma de "C" con dos rebordes, tal como el elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1A, formando una capa a 0 grados continua a través de la superficie de banda y una o ambas superficies superiores. En diversas realizaciones, una capa superior puede tenderse directamente sobre el mandril u otra herramienta o, como alternativa, sobre una capa previa o combinación de capas sobre el mandril u otra herramienta. Además, las diversas realizaciones pueden incluir más de una capa superior en combinación con otras capas. El proceso continúa a la etapa 910.

55 En la etapa 910, a +/- 45 grados la capa diagonal de material compuesto puede tenderse manual o automáticamente sobre un mandril, u otra herramienta de fabricación similar, tal como la mostrada en la Figura 2. La capa diagonal puede colocarse sobre el mandril u otra herramienta de manera que las fibras de tejido se orientan aproximadamente a +/- 45 grados de la línea central de la superficie de banda del mandril u otra herramienta, tal como la capa diagonal mostrada en la Figura 5. Como se ha analizado anteriormente, en diversas realizaciones el tejido compuesto puede tomar la forma de cualquier tejido compuesto adecuado, incluyendo un tejido compuesto preimpregnado, preimpregnado con una resina. En diversas realizaciones, la capa diagonal puede tenderse directamente sobre el mandril u otra herramienta o, como alternativa, sobre una capa previa o combinación de capas sobre el mandril u otra herramienta. Además, las diversas realizaciones pueden incluir más de una capa diagonal en combinación con otras capas. El proceso continúa a la etapa 912.

65 En la etapa 912, para formar las superficies laterales o superiores del elemento estructural, la capa diagonal del tejido compuesto puede cortarse más ancho que la superficie de banda del mandril u otra herramienta, de manera

que al menos un borde de cada capa diagonal puede plegarse sobre el lado del mandril u otra herramienta. Un solo borde de la capa diagonal puede plegarse sobre un lado del mandril u otra herramienta para formar una sección transversal con forma de "L", tal como la del elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1B, o dos bordes de la capa diagonal pueden plegarse sobre dos lados del mandril, u otra herramienta, para formar una sección transversal con forma de "C", tal como el elemento estructural de ejemplo mostrado en la Figura 1A. Como alternativa, para evitar o minimizar el arrugado del tejido compuesto sobre la superficie superior interna del mandril, la capa diagonal puede adherirse en primer lugar a la superficie superior interna y después plegarse sobre la superficie de banda, estirando el tejido compuesto según sea necesario para prevenir o minimizar el arrugado sobre la superficie superior o las superficies de banda. Además, la capa diagonal puede plegarse después sobre la superficie superior externa, estirando el tejido compuesto según se requiera para prevenir o minimizar el arrugado de la superficie de banda o sobre la superficie superior externa. El proceso continúa a la etapa 914.

En la etapa 914, una cinta compuesta unidireccional puede cortarse en segmentos, tal como los segmentos de cinta ejemplares mostrados en la Figura 6. A continuación, en la etapa 916, los segmentos de cinta pueden tenderse manual o automáticamente sobre un mandril u otra herramienta de fabricación similar. Como se ha analizado anteriormente, las fibras de los segmentos de cinta pueden alinearse sustancialmente a 90 grados con la línea central de la superficie de banda del mandril u otra herramienta para formar una capa transversal de 90 grados. En el caso de segmentos de cinta con forma trapezoidal o con forma de "embudo" modificada, las fibras pueden orientarse aproximadamente a un ángulo recto con la línea central de la superficie de banda del mandril u otra herramienta, sin solapar o crear huecos entre los segmentos de cinta y sin formar arrugas en la cinta.

Como en el caso de la capa diagonal anterior, la capa transversal puede cortarse más ancha que la superficie de la banda del mandril u otra herramienta, y uno o dos bordes de la capa transversal pueden plegarse sobre el lado o lados del mandril u otra herramienta para formar superficies laterales o superiores. Una vez más, de esta manera, puede formarse un elemento estructural con sección transversal con forma de "C" o sección transversal con forma de "L". En diversas realizaciones, una capa transversal puede tenderse directamente sobre el mandril u otra herramienta o, como alternativa, sobre una capa previa o combinación de capas sobre el mandril u otra herramienta. Además, diversas realizaciones pueden incluir más de una capa transversal en combinación con otras capas. El proceso continúa entonces hasta la etapa 918.

En la etapa 918, el tendido del elemento estructural puede transferirse opcionalmente a una herramienta de fabricación cóncava, por ejemplo, un mandril hembra. Como se ha analizado anteriormente, la herramienta cóncava o mandril puede adaptarse a la superficie externa del tendido de elemento estructural, como se muestra en la Figura 7. A continuación, en la etapa 920, puede permitirse que el tendido de elemento estructural se cure mientras se sella dentro de una bolsa de vacío sobre un mandril u otra herramienta, como se muestra en la Figura 8, o sobre una herramienta cóncava o mandril, como se muestra en la Figura 7. Como se ha analizado anteriormente, el vacío puede retirar el aire atrapado del interior del material compuesto y por debajo del material compuesto, entre las hojas de las capas compuestas y entre el material compuesto y el mandril. El proceso continúa a la etapa 922.

En la etapa 922, después de que el tendido de elemento estructural se haya curado, puede inspeccionarse para verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño. A continuación, en la etapa 924, el tendido del elemento estructural puede recortarse, si fuera necesario, para retirar cualquier exceso de material. Además, los recortes o "agujeros de ratón", tales como los mostrados en la Figura 1B, pueden recortarse en el elemento estructural. El control continúa hasta la etapa 926, donde el proceso se detiene.

La realización de ejemplo del diagrama de flujo en la Figura 9 descrita anteriormente incluye solamente una capa de banda, una capa superior, una capa diagonal, y una capa transversal. Sin embargo, otras realizaciones pueden incluir cualquier número de capas en cualquier combinación, tendidas en cualquier orden. Por ejemplo, un marco flotante con una sección transversal con forma de "C", tal como el elemento estructural ejemplar mostrado en la Figura 1A, puede incluir dieciocho capas sobre la superficie de banda y veintiocho capas sobre cada una de las dos superficies superiores. En esta realización, el método podría incluir tender la mitad de las capas en el siguiente orden:

- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y ambas superficies superiores
- una capa superior sobre cada una de las dos superficies superiores
- una capa superior adicional sobre cada una de las dos superficies superiores
- una capa de banda sobre la superficie de banda y capa superior sobre las dos superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y superficies superiores
- una capa superior sobre cada una de las dos superficies superiores

ES 2 381 988 T3

- una capa superior adicional sobre cada una de las dos superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y superficies superiores
- 5 • una capa transversal sobre la banda y superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- 10 • una capa superior sobre cada una de las dos superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- una capa transversal sobre la superficie de banda y sobre las dos superficies superiores
- 15 • una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores

La segunda mitad de las capas sobre la superficie de banda y cada una de las superficies superiores en este ejemplo podría tenderse después sobre el mandril en el orden opuesto al de la primera mitad para formar una imagen especular o simétrica, del orden de tendido para un total de dieciocho capas sobre la superficie de banda y veintiocho capas sobre cada una de las dos superficies superiores.

Otro elemento estructural de ejemplo con una sección transversal con forma de "C", tal como el elemento estructural ejemplar mostrado en la Figura 1A, puede incluir la misma combinación de capas que el ejemplo previo, excepto que los dos extremos longitudinales de la superficie de banda puede incluir cada uno diez capas adicionales que cubren los últimos 304,8 mm (doce pulgadas) de la superficie de la banda en cada extremo del elemento estructural. En esta realización, pueden tenderse dos capas diagonales adicionales sobre la superficie de la banda en cada extremo del elemento estructural simultáneamente con las dos capas superiores después de la primera capa diagonal a 45 grados, y antes de la primera capa de banda a 0 grados, del ejemplo previo.

Además, dos capas transversales adicionales pueden tenderse sobre la superficie de banda en cada extremo del elemento estructural simultáneamente con las dos capas superiores después de la segunda capa diagonal y antes de la tercera capa diagonal del ejemplo previo. Adicionalmente, una capa de banda a 0 grados puede tenderse simultáneamente con la capa superior antes de las tres capas finales del ejemplo previo. Análogamente, un orden de capa simétrico puede obtenerse tendiendo una capa de banda a 0 grados adicional, dos capas transversales adicionales y dos capas diagonales adicionales en el orden opuesto entre las capas de la segunda mitad del ejemplo previo.

En este último ejemplo, cada una de las capas adicionales (de la primera mitad de capas simétricas) puede extenderse, por ejemplo, 12,7 mm (la mitad de una pulgada) alejada hacia el centro del elemento estructural que la previa. Es decir, por ejemplo, la primera capa diagonal a 45 grados adicional puede extenderse 317,5 mm (doce pulgadas y media) entre cada extremo del tendido del elemento estructural; la segunda capa diagonal a 45 grados adicional puede extenderse 330 mm (trece pulgadas) desde cada extremo del tendido; la primera capa transversal adicional puede extenderse 342,9 mm (trece pulgadas y media) desde cada extremo del tendido; la segunda capa adicional puede extenderse 355,6 mm (catorce pulgadas) desde cada extremo del tendido; y la capa de banda adicional puede extenderse 368,3 mm (catorce pulgadas y media) desde cada extremo del tendido. Para formar una imagen especular o simétrica del orden de tendido, las cinco capas adicionales de la segunda mitad de las capas simétricas puede extenderse 12,7 mm (media pulgada) menos que la previa.

Como un ejemplo adicional, una unión deslizante con una sección transversal con forma de "L", tal como el elemento estructural mostrado en la Figura 1B, puede incluir veinticuatro capas. En esta realización, el método puede incluir el tendido de la mitad de las capas en el siguiente orden:

- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y ambas superficies superiores
- 55 • una capa transversal sobre la banda y las superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- una capa de banda sobre la superficie de banda y la capa superior sobre las dos superficies superiores
- 60 • una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- una transversal sobre la superficie de banda y sobre las dos superficies superiores
- 65 • una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores

- una capa de banda sobre la superficie de banda y una capa superior sobre las dos superficies superiores
- 5 • una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- una capa transversal sobre la superficie de banda y sobre las dos superficies superiores
- una capa diagonal a 45 grados sobre la banda y las superficies superiores
- 10 • una capa de banda sobre la superficie de banda y la capa superior sobre las dos superficies superiores

La segunda mitad de capas en este ejemplo puede tenderse después sobre el mandril en el orden opuesto al de la primera mitad para formar una imagen especular o simétrica del orden de tendido para un total de veinticuatro capas sobre la superficie de banda y sobre cada una de las dos capas superiores.

15 Las muchas características y ventajas de la invención son evidentes a partir de la memoria descriptiva detallada y, de esta manera, se pretende que las reivindicaciones adjuntas cubran todas estas características y ventajas de la invención que están dentro del alcance de la invención.

20

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de un elemento estructural curvo compuesto (102) que comprende las etapas de:
- 5 tender (906) una capa de banda compuesta curva (310) que incluye un material compuesto sobre una herramienta de fabricación (200), incluyendo la herramienta de fabricación una superficie curva (202) con forma de arco plano, teniendo el material compuesto tiene una pluralidad de fibras; y curar la capa de banda, estando **caracterizado** el método **por que**:
- 10 las fibras se proporcionan en forma de tiras contiguamente adyacentes preimpregnadas (304) de un material compuesto, que se coliman y colocan sobre la superficie curva en un arco plano, en el que todas las fibras del material compuesto tienen una orientación de fibra unidireccional general, estando la orientación de fibra de la capa de banda sustancialmente alineada con una línea central longitudinal de la superficie curva.
- 15
2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de retirar un material de sustrato de la capa de banda después de que la capa de banda se tienda sobre la herramienta.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de tender (908) una capa superior (402, 20 404) que incluye una cinta compuesta sobre una superficie superior (204, 206) de la herramienta de fabricación (200) que corta con la superficie curva (202) formando una esquina entre la superficie superior (204, 206) y la superficie curva (202), comprendiendo la cinta compuesta una pluralidad de fibras de cinta, teniendo todas estas dichas fibras de cinta una orientación de fibra de cinta unidireccional general, y la orientación de fibra de cinta está sustancialmente alineada con una línea central longitudinal de la superficie superior, y se forma un empalme (406, 25 408) a lo largo de la esquina donde la capa superior (402, 404) se encuentra con la capa de banda (310).
4. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de sellar un tendido del elemento estructural curvo compuesto que incluye la capa de banda (310) sobre la herramienta de fabricación (200) dentro de una bolsa de vacío (704, 802) para retirar el aire atrapado por debajo y en el interior del material compuesto.
- 30
5. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de transferir un tendido del elemento estructural curvo compuesto que incluye la capa de banda (310) sobre una segunda herramienta de fabricación curva que tiene una forma de una superficie opuesta del tendido.
- 35
6. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa (922) de inspeccionar un tendido del elemento estructural curvo compuesto que incluye la capa de banda (310) para defectos.
7. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de recortar (924) un tendido del elemento estructural curvo compuesto que incluye la capa de banda para retirar el exceso de material.
- 40
8. El método de la reivindicación 1, en el que el método se usa en la fabricación de un avión.
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las tiras de material compuesto comprenden una estopa preimpregnada o una cinta ranurada.
- 45

FIG. 1A

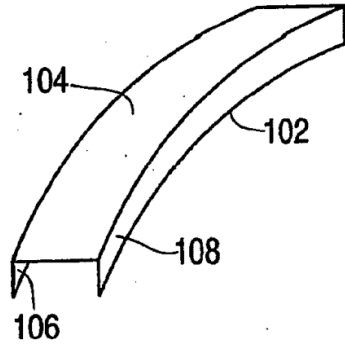


FIG. 1B

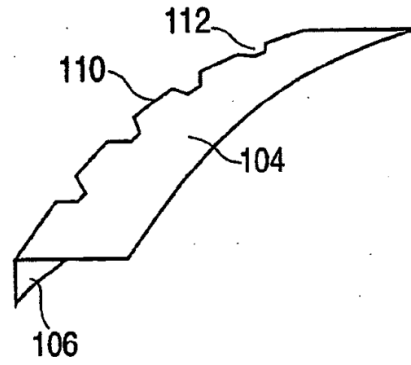


FIG. 2

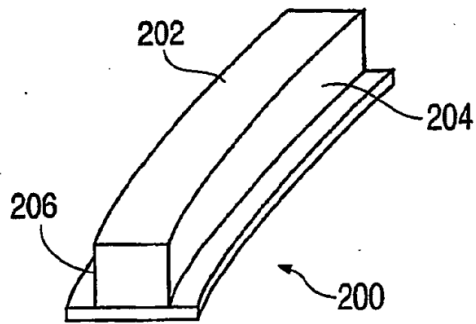


FIG. 3

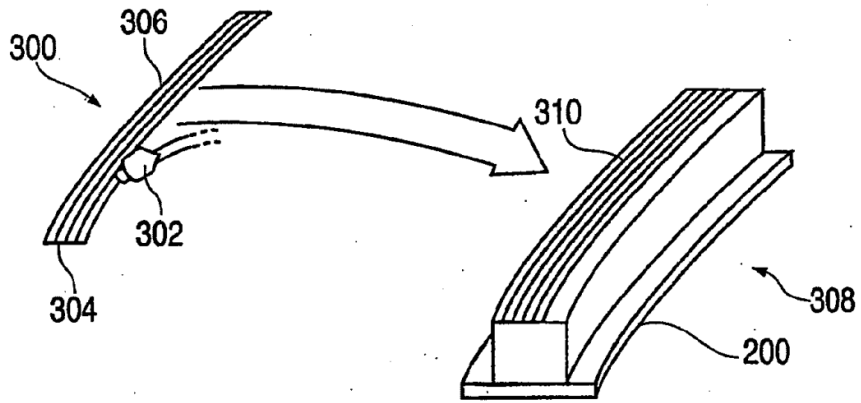


FIG. 4

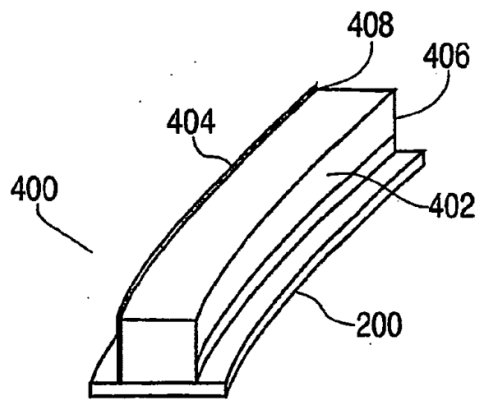


FIG. 5

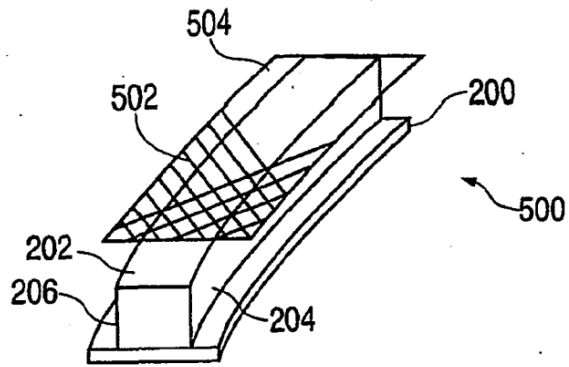


FIG. 6

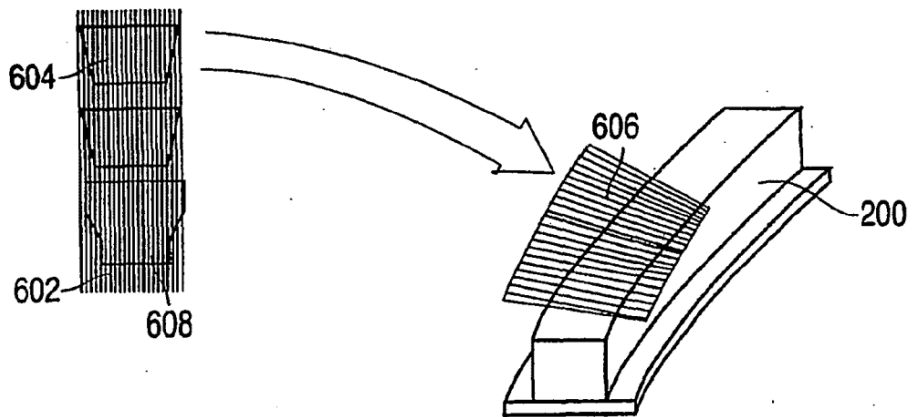


FIG. 7

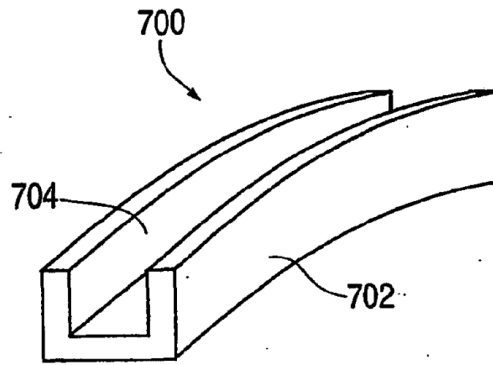


FIG. 8

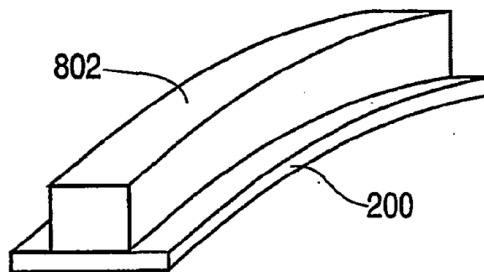


FIG. 9

