



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 564**

51 Int. Cl.:
B29C 70/44 (2006.01)
B29C 33/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06850531 .2**
96 Fecha de presentación : **24.10.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1943087**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.07.2008**

54 Título: **Herramienta de compactación expansible y procedimiento de fabricación de estructuras compuestas.**

30 Prioridad: **31.10.2005 US 261519**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.04.2011

73 Titular/es: **THE BOEING COMPANY**
100 North Riverside Plaza
Chicago, Illinois 60606-2016, US

72 Inventor/es: **Hanson, Steven, F. y**
Vyas, Amitabh

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 356 564 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

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere en general a la fabricación de piezas compuestas. Más en concreto, la presente invención se refiere a aparatos, sistemas y métodos para laminar materiales de resina reforzados con fibra en moldes huecos facetados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los materiales compuestos, incluyendo, por ejemplo, materiales de resina reforzados con fibra, ofrecen varias ventajas sobre los materiales metálicos convencionales incluyendo altas relaciones de resistencia a peso y buena resistencia a la corrosión. Los materiales compuestos convencionales incluyen típicamente fibras de vidrio, carbono o poliaramida en configuraciones tejidas o no tejidas. En la etapa de materia prima, las fibras pueden ser preimpregnadas con resina o dejarse secas. Si se dejan secas, se puede infundir resina a las fibras después de la colocación en una superficie de molde. Se puede aplicar calor o presión a las fibras impregnadas de resina en la superficie de molde para curar la resina y endurecer el laminado en la forma del molde. El calor o la presión se pueden aplicar con un horno, un autoclave, una herramienta de formación contorneada o plana calentada, o una combinación de métodos incluyendo el uso de una bolsa de vacío.

Se pueden formar piezas compuestas de la forma anterior en herramientas tanto macho como hembra. Con herramientas macho, se aplican los pliegues compuestos a una superficie exterior de molde que forma una línea de molde interior de la pieza. Añadir pliegues a la bandeja en una herramienta macho incrementa el grosor de la pieza y cambia la línea de molde exterior, pero la línea de molde interior permanece sin cambiar. A la inversa, con herramientas hembra, los pliegues compuestos se aplican a una superficie interior de molde que forma una línea de molde exterior de la parte. Añadir pliegues a la bandeja en una herramienta hembra incrementa el grosor de la pieza y cambia la línea de molde interior, pero la línea de molde exterior permanece sin cambiar.

Las herramientas hembra son deseables cuando la superficie de acoplamiento está situada en el exterior de una pieza porque las herramientas hembra permiten controlar herméticamente la línea de molde exterior (es decir, la superficie exterior). El utillaje hembra (también conocido como "utillaje de línea de molde exterior") también es deseable al hacer múltiples piezas que tengan las mismas dimensiones externas, pero diferentes grosores. Los fuselajes de avión, por ejemplo, tienen a menudo múltiples bastidores con las mismas dimensiones externas, pero diferentes grosores. En esta situación, todos los bastidores se pueden hacer con una sola herramienta hembra porque la herramienta permite variar el grosor sin cambiar las dimensiones externas. Si el futuro crecimiento del avión exige el engrosamiento adicional de los bastidores, esto se puede lograr sin cambiar de utillaje. A la inversa, si se usase utillaje macho, entonces se requeriría una herramienta separada para cada grosor de bastidor diferente.

Un molde hueco o tubular es un caso especial de utillaje hembra incluyendo al menos una sección transversal cerrada. Algunos moldes huecos o tubulares pueden estar facetados, es decir, pueden incluir una combinación de segmentos de pared relativamente planos y radios internos conjuntos, o regiones de esquina, que definen una sección transversal cerrada o una cavidad. En este caso se puede colocar un mandril inflable, o vejiga, dentro del molde hueco o tubular y se puede inflar para comprimir el material compuesto contra la superficie interior del molde. Sin embargo, al fabricar piezas compuestas con utillaje hueco o tubular, los pliegues compuestos a veces "puentean" o se arrugan a través de regiones de esquina de la superficie de molde, dando lugar a pobre consolidación o riqueza de resina del material compuesto en las regiones de esquina, con peores propiedades del material, incluyendo, por ejemplo, excesivo grosor de material y porosidad.

EP0447349 describe un método y aparato para moldear artículos compuestos huecos que tienen una pluralidad de hojas internas. Un aparato de montaje de mandril según el preámbulo de la reivindicación 1 incluye elementos de pared lateral deslizantes, una membrana de presión inflable rodeando la longitud de los elementos de pared lateral deslizantes, unos medios de accionamiento montados en el interior de los elementos de pared lateral para su desplazamiento lateral conjuntamente con la membrana inflable. Un mandril adyacente coloca exactamente las hojas internas del material compuesto mecánicamente, mientras que las membranas inflables sirven para compactar los laminados de lámina.

JP60139443 describe un material de troquel de metal que tiene un ángulo igual a la sección de esquina de un troquel exterior, estando interpuesto el material de troquel de metal entre un troquel interior y un material de moldeo. El troquel interior es expansible por una presión interna.

EP0171325 describe la fabricación, por devanado de un material filamentosos, de una envuelta hueca de forma alargada, cuyo perfil se desarrolla a lo largo de su dirección longitudinal. Se describe un aparato que incluye un mandril deformable sobre el que se enrolla el material filamentosos, un molde en el que se encierra el mandril que soporta el devanado, y un dispositivo para aplanar la envuelta así producida contra las paredes de una cavidad de molde interior. La pared de cavidad tiene la forma de la superficie externa de la envuelta requerida. El mandril deformable incluye un núcleo rígido en una pared flexible que es móvil con respecto al núcleo para presionar el devanado contra la pared de la cavidad de molde.

5 Se han usado mandriles sólidos hechos de un material con un coeficiente de expansión térmica más alto que el del molde o el material compuesto, por ejemplo, aluminio o Teflon, con moldes huecos o tubulares para evitar la formación de puentes de esquinas y el rizado. Sin embargo, el uso de estos mandriles está generalmente limitado a moldes para piezas compuestas que tienen superficies interiores rectas lisas, porque las curvas, flexiones o ángulos en las superficies interiores del molde pueden evitar la extracción del mandril sólido después del curado del material compuesto.

10 Para resolver este problema, también se han hecho mandriles de materiales con un coeficiente de expansión térmica relativamente alto que se puede lavar o sacar del molde después de curar el material compuesto. Tales materiales incluyen sales eutécticas y yesos solubles. Sin embargo, estos mandriles requieren considerable inversión en herramientas de vaciado, hornos de secado, racks de almacenamiento, y análogos. Además, estos materiales tienen baja resistencia a la tracción, que tiende a hacer frágiles los mandriles y requiere un manejo esmerado. Además, algunos de estos materiales generan residuos peligrosos para el medioambiente.

15 Consiguientemente, es deseable proporcionar un método y aparato que puede comprimir más uniformemente un material compuesto contra las superficies de pared relativamente planas y a las regiones de esquina internas de un molde hueco o tubular, que se puede sacar de moldes para piezas compuestas que tienen superficies internas curvadas o inclinadas, que se pueden reutilizar, y que en algunos casos se puede fabricar de forma relativamente fácil y barata sin generar residuos sustanciales peligrosos para el medioambiente.

RESUMEN DE LA INVENCION

20 Según la presente invención se facilita una herramienta de compactación expansible para consolidar un elemento compuesto que tiene al menos una sección transversal cerrada y un método asociado, ambos como se reivindica en las reivindicaciones anexas.

25 En un aspecto se facilita el aparato que en algunas realizaciones puede comprimir un material compuesto contra las superficies de pared relativamente planas y a las regiones de esquina internas de un molde hueco o tubular de manera más uniforme que algunos dispositivos existentes, se puede sacar de moldes para piezas compuestas que tienen superficies internas curvadas o inclinadas, puede ser reutilizado, y se puede fabricar de forma relativamente fácil y barata sin generar residuos sustanciales peligrosos para el medioambiente.

30 Según un aspecto de la presente invención, una herramienta de compactación expansible para consolidar un elemento compuesto que tiene al menos una sección transversal cerrada incluye un segmento de esquina configurado para comprimir un material compuesto a una región de esquina interna de un molde cuando la herramienta se expande, y un segmento de pared configurado para comprimir el material compuesto contra una pared interior del molde cuando la herramienta se expande. Además la herramienta está configurada de tal manera que cuando la herramienta se expanda, el segmento de esquina comience a comprimir el material compuesto antes de que la al menos única porción del segmento de pared comience a comprimir el material compuesto.

35 La herramienta de compactación expansible para consolidar un elemento compuesto que tiene al menos una sección transversal cerrada puede incluir medios de esquina para comprimir un material compuesto a una región de esquina interna de un molde cuando la herramienta se expanda, y medios de pared para comprimir el material compuesto contra una pared interior del molde cuando la herramienta se expanda. Además, la herramienta puede estar configurada de tal manera que cuando la herramienta se expanda, los medios de esquina comiencen a comprimir el material compuesto antes de que los medios de pared comiencen a comprimir el material compuesto.

40 El método de consolidar un elemento compuesto que tiene al menos una sección transversal cerrada puede incluir expandir una herramienta de compactación, comprimir un material compuesto a una región de esquina interna de un molde, y comprimir después el material compuesto contra una pared interior del molde de tal manera que el material compuesto se consolide de forma sustancialmente uniforme alrededor de la sección transversal cerrada.

45 Se ha esbozado así, más bien ampliamente, algunas realizaciones de la invención para que su descripción detallada se pueda entender mejor, y para que la presente contribución a la técnica se pueda apreciar mejor. Naturalmente, hay realizaciones adicionales de la invención que se describirán a continuación y que formarán la materia de las reivindicaciones anexas.

50 A este respecto, antes de explicar en detalle al menos una realización de la invención, se ha de entender que la invención no se limita en su aplicación a los detalles de construcción y a las disposiciones de los componentes expuestos en la descripción siguiente o ilustrados en los dibujos. La invención es capaz de realizaciones adicionales a las descritas y de llevarse a la práctica y realizarse en varias formas. Además, se ha de entender que la fraseología y la terminología aquí empleadas, así como el resumen, tienen fines descriptivos y no se deberán considerar como limitación.

55 Como tal, los expertos en la técnica apreciarán que el concepto en el que se basa esta descripción, se puede utilizar fácilmente como una base para el diseño de otras estructuras, métodos y sistemas para llevar a cabo los varios fines de la presente invención. Es importante, por lo tanto, que se considere que las reivindicaciones incluyen tales construcciones equivalentes en la medida en que no se aparten del alcance de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una vista en sección transversal de extremo que ilustra la formación de puentes de un material compuesto cerca de las regiones de esquina de una herramienta de fabricación de compuestos de la técnica anterior.

La figura 2 es una vista en perspectiva de una herramienta de compactación inflable según una realización preferida de la invención para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal rectangular.

La figura 3 es una vista en perspectiva cortada de una herramienta de compactación inflable para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal trapezoidal.

La figura 4 es una vista en sección transversal de extremo de una herramienta de compactación inflable para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal triangular.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Una realización según la presente invención proporciona una herramienta de compactación inflable que se puede inflar dentro de un molde facetado hueco o tubular para comprimir un material compuesto contra las paredes interiores y regiones de esquina del molde. La herramienta de compactación inflable descrita combina los aspectos conformables y reutilizables de un mandril inflable y los aspectos de consolidación de un mandril sólido que tiene un coeficiente de expansión térmica relativamente alto. La herramienta de compactación inflable puede ser usada con moldes huecos cerrados o con moldes tubulares de extremos abiertos, que tienen una combinación de regiones de pared relativamente planas unidas por regiones de esquina con radios internos. Por ejemplo, la herramienta de compactación inflable puede ser usada para fabricar largueros compuestos de fuselaje de aviones que tienen una sección transversal trapezoidal o "en forma de sombrero".

Antes del inflado, la herramienta de compactación puede tener paredes externas que generalmente se conforman a la forma de las superficies internas del molde correspondiente. Sin embargo, la herramienta de compactación puede tener dimensiones externas tales que se forme un vacío entre la superficie exterior de la herramienta de compactación y la superficie de molde interior. La dimensión del vacío puede ser igual o mayor que el grosor de un material compuesto no curado que se puede aplicar a la superficie interior de molde para formar una pieza compuesta.

Además, las superficies de pared exteriores de la herramienta de compactación inflable pueden tener un contorno o curvatura tal que, antes de inflar las superficies de pared exteriores de la herramienta de compactación se curvan alejándose de las superficies de pared interiores del molde. Es decir, el vacío, o intervalo, entre la superficie exterior de la herramienta de compactación y la superficie de molde interior puede aumentar con una mayor distancia de las regiones de esquina, de tal manera que el intervalo entre la superficie exterior de la herramienta de compactación y la superficie de molde interior sea mayor aproximadamente a mitad de camino entre cada par de regiones de esquina conectadas por una región de pared relativamente plana.

Así, cuando la herramienta de compactación se infla inicialmente, la presión interna de fluido puede aplicar una fuerza hacia fuera a la superficie interior de las paredes de la herramienta de compactación que se puede transmitir a través de los segmentos de pared curvada de la herramienta de compactación para empujar los segmentos de esquina de la herramienta de compactación hacia las regiones de esquina del molde antes de que los segmentos de pared de la herramienta de compactación contacten el material compuesto. Así, las fuerzas de rozamiento entre la herramienta de compactación y el material compuesto que resiste la expansión de la herramienta de compactación a las regiones de esquina del molde, se puede reducir o minimizar sustancialmente durante el inflado inicial de la herramienta de compactación. Esto puede permitir que los segmentos de esquina de la herramienta de compactación compriman firmemente el material compuesto a las regiones correspondientes de esquina del molde antes de que los segmentos de pared centrales relativamente planos de la herramienta de compactación contacten el material compuesto, o antes de que los segmentos de pared de la herramienta de compactación presionen contra el material compuesto con fuerza suficiente para crear fuerzas de rozamiento suficientes para inhibir efectivamente la expansión de los segmentos de esquina de la herramienta de compactación a las regiones de esquina del molde.

Como resultado, la formación de puentes o rizado del material compuesto a través de las regiones de esquina del molde se puede evitar sustancialmente. Así, se puede realizar una mejor consolidación de esquina del material compuesto. Es decir, la reducción de la densidad de fibras en las regiones de esquina de la pieza compuesta acabada, que se puede desarrollar con el uso de algunos mandriles existentes, se puede evitar utilizando una realización de la herramienta de compactación descrita.

La invención se describirá ahora con referencia a las figuras del dibujo, en las que números de referencia análogos se refieren a partes análogas en todas ellas. La figura 1 ilustra una vista en sección transversal de extremo de un molde hueco o tubular 10 con un material compuesto 12 dispuesto en la superficie interior 14 del molde 10. El molde 10 tiene múltiples regiones laterales relativamente planas, o regiones de pared interior 16, unidas por radios internos, o regiones de esquina 18. Se puede colocar un mandril inflable representativo existente 20, o vejiga, dentro del molde hueco o tubular 10 e inflar para comprimir el material compuesto 12 y fijar el material compuesto 12 contra la superficie de molde interior 14 o contra una superficie de capa previa 22 durante un ciclo o proceso de curado.

En esta configuración, cuando el mandril inflable 20 se infla, la presión empuja firmemente el material compuesto 12 contra las regiones de pared interiores 16, y el rozamiento resultante entre el material compuesto 12 y las regiones de pared 16 hace que el material compuesto 12 resista el movimiento a las regiones de radio internas y puentee a través de las regiones de esquina 18, reduciendo por ello la densidad de fibras en las regiones de esquina 18. Por ejemplo, varias capas, o pliegues 24, del material compuesto 12 se representan puenteeando en diverso grado a través de las regiones de esquina 18 del molde 10 en la figura 1. La reducción resultante de la densidad de fibras en las regiones de esquina puede poner en peligro la integridad estructural del producto acabado.

Una realización del presente aparato y método novedosos se representa en la figura 2, que ilustra una herramienta de compactación inflable facetada hueca o tubular 26 para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal rectangular. La herramienta de compactación inflable 26 puede ser usada, por ejemplo, en combinación con un molde de pieza compuesta facetado hueco o tubular 10. Como se representa en la figura 2, el molde 10 puede tener un componente superior 28 y un componente inferior 30. Sin embargo, en otras realizaciones, el molde 10 puede tener cualquier número adecuado de componentes, tal como un molde de una pieza, un molde de tres piezas, etc. Además, aunque el molde 10 y la herramienta de compactación inflable 26 representados en la figura 2 están configurados para formar una pieza compuesta de sección transversal rectangular, en otras realizaciones el molde 10 y la herramienta de compactación inflable 26 pueden estar configurados para formar una pieza compuesta de cualquier tamaño y forma que incluya al menos una sección transversal cerrada, es decir, al menos una sección transversal que tenga un perímetro continuo, cerrado o no interrumpido, tal como una sección transversal cuadrada, triangular, trapezoidal, romboide, circular o elíptica.

La figura 3 ilustra una vista en perspectiva cortada de un molde 10 y una herramienta de compactación inflable 26 para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal 32 de forma trapezoidal, por ejemplo, un larguero de avión que tiene una sección transversal "en forma de sombrero". Como se representa en la figura 3, el molde de piezas compuestas 10 puede tener una combinación de regiones de pared interiores relativamente planas 16 y radios internos, o regiones interiores de esquina 18, que definen la sección transversal cerrada 32, o que definen una cavidad 34 (como se representa en la figura 2) en el caso de que todas las secciones transversales del molde 10 estén cerradas. La herramienta de compactación inflable 26 se puede insertar en la sección transversal cerrada 32 o cavidad 34 para comprimir el material compuesto 12 contra la superficie de molde interior 14 o una superficie de capa previa 22 durante un ciclo de curado.

La herramienta de compactación inflable 26 puede formar además una cámara sellada o estanca a los fluidos 36. Por ejemplo, la herramienta de compactación 26 puede tener una forma hueca cerrada, tal como una esfera o una pirámide; o una forma generalmente tubular con extremos cerrados 38, como se ilustra en la figura 2. Además, la herramienta de compactación 26 puede incluir una entrada de fluido 40, u orificio, representado en la figura 2, que opcionalmente puede incluir una válvula unidireccional (no representada) para facilitar la introducción de un fluido presurizado a la herramienta de compactación 26. Por ejemplo, se puede introducir aire u otro gas en la herramienta de compactación 26 a una presión superior a la de la atmósfera o ambiente.

Como se representa en la figura 3, un material compuesto 12, tal como una matriz de resina sintética reforzada con fibra, se puede disponer en la superficie interior 14 del molde 10 para curado. El material compuesto 12 puede incluir una pluralidad de capas de fibra, por ejemplo, un tejido compuesto seco o un tejido "preimpregnado" impregnado con una resina. Si las capas de fibra están inicialmente secas cuando se colocan en el molde 10, se puede usar un sistema de infusión de resina para infundir resina al material compuesto 12 después de disponer las capas en la superficie de molde interior 14. Por ejemplo, la resina puede ser infundida al material compuesto 12 usando el sistema de infusión de resina descrito en la Patente de Estados Unidos 7.306.450 titulada "Aparatos, sistemas y métodos para fabricar piezas compuestas", presentada el 29 de septiembre de 2004.

Además, la herramienta de compactación 26 se puede hacer de un material elástico, tal como un elastómero, de modo que la herramienta de compactación 26 pueda ser flexible y elástica a los cambios de forma. Así, la herramienta de compactación inflable 26 se puede expandir a un mayor tamaño cuando se introduce un fluido presurizado en la herramienta de compactación 26 y volver a un tamaño y forma sustancialmente originales cuando se agote el fluido presurizado, es decir, cuando la presión del fluido en la herramienta de compactación 26 vuelva a la presión atmosférica.

En varias realizaciones, la herramienta de compactación 26 se puede formar de cualquier material adecuado que se pueda expandir y flexionar a presión, y comportarse elásticamente a través de un rango de deflexiones, incluyendo una hoja de metal, tal como acero inoxidable o aluminio; un material termoplástico, que se puede fabricar fácilmente y de forma relativamente barata de modo que la herramienta de compactación 26 se pueda desechar después de un solo uso sin incurrir en costos significativos.

En una realización alternativa, una pared interior 42 de la herramienta de compactación inflable 26 se puede formar de un material rígido, tal como un metal, y una pared exterior 44 de la herramienta de compactación inflable 26 se puede formar de un material flexible o elástico. En esta realización alternativa, el fluido presurizado se puede introducir entre la pared interior 42 y la pared exterior 44, y la pared interior 42 puede mantener una forma uniforme cuando la pared exterior 44 se distiende durante el inflado de la herramienta de compactación 26.

La forma original, o no inflada, de la herramienta de compactación 26 se puede conformar generalmente a la forma de la superficie interior 14 del molde de piezas compuestas 10. Sin embargo, la herramienta de compactación 26 puede estar dimensionada de tal manera que haya un vacío o intervalo 46 entre la superficie exterior 48 de la herramienta de compactación no inflada 26 y la superficie interior 14 del molde de piezas compuestas 10. El intervalo 46 puede tener una dimensión o anchura aproximadamente equivalente al grosor no curado del material compuesto 12 que se haya de colocar en el molde 10.

Por ejemplo, como se ilustra en la figura 4, que ilustra una herramienta de compactación inflable 26 para fabricar una pieza compuesta que tiene una sección transversal triangular, la herramienta de compactación 26 puede tener un tamaño externo no inflado que corresponda estrechamente a la superficie interior 50 del volumen de compuesto aditivo no curado 52 cuando se coloque en el molde 10 antes de curar (el material compuesto en masa o no curado que llena el grosor combinado del material compuesto curado, o consolidado, 54 y el volumen de compuesto aditivo no curado 52, dado que el material compuesto 12 se encoge durante el proceso de curado). En una realización preferida, el tamaño externo no inflado de la herramienta de compactación inflable 26 puede ser marginalmente menor que la superficie interior 50 del volumen de compuesto aditivo no curado 52, de tal manera que la superficie exterior no inflada 48 de la herramienta de compactación inflable 26 tenga un ajuste holgado con la superficie interior 50 del volumen de compuesto aditivo no curado 52.

Igualmente, la herramienta de compactación 26 puede tener un tamaño externo inflado que corresponda estrechamente a la superficie interior 56 del material compuesto consolidado 54 después del curado o de la pieza compuesta acabada. Así, durante el proceso de curado o consolidación, la herramienta de compactación inflable 26 se debe expandir desde la dimensión no consolidada, D_{bulk} , a la dimensión consolidada, D_{con} , del material compuesto 12, como se ilustra en la figura 4.

Volviendo a la figura 3, una realización preferida de la herramienta de compactación inflable 26 puede incluir, por ejemplo, dos o más segmentos de pared 58 y dos o más segmentos de esquina 60 que correspondan a las regiones de pared de molde 16 y las regiones de esquina 18. Además, los segmentos de pared 58 de la herramienta de compactación 26 pueden estar contorneados o curvados de tal manera que las superficies exteriores 50 de los segmentos de pared 58 de la herramienta puedan ser generalmente cóncavas con relación a las regiones de pared de molde 16, como se representa en la figura 3. Es decir, el intervalo 46 entre los segmentos de pared 58 de la herramienta y las regiones de pared 16 del molde pueden aumentar con la mayor distancia desde una región de esquina 18 del molde 10, como se ilustra en la figura 3.

Así, un intervalo mínimo 62 entre la superficie exterior 48 de la herramienta de compactación no inflada 26 y la superficie interior 14 del molde 10 puede estar situado aproximadamente en un punto central de un segmento de esquina 60 de la herramienta o una región de esquina 18 del molde, y un intervalo máximo 64 puede estar situado aproximadamente en un punto medio a lo largo de un segmento de pared 58 de la herramienta y una región de pared 16 del molde. El punto medio puede estar, por ejemplo, aproximadamente a mitad de camino entre dos segmentos de esquina de la herramienta de compactación 60 o entre dos regiones de esquina 16 del molde.

En la operación, como resultado del contorno o curvatura de los segmentos de pared 58 de la herramienta, cuando la herramienta de compactación 26 se infla inicialmente, una componente de la fuerza normal ejercida en una superficie interior 66 de los segmentos de pared 58 de la herramienta por el fluido presurizado 68 (ilustrado en la figura 4) puede ser transmitida lateralmente a través de los segmentos de pared 58 de la herramienta hacia los segmentos de esquina 60 de la herramienta. Así, los segmentos de esquina 60 de la herramienta pueden ser empujados hacia las regiones de esquina 18 del molde durante el inflado inicial de la herramienta de compactación 26 antes de que los segmentos de pared 58 de la herramienta contacten el material compuesto 12 colocado en las regiones de pared 16 del molde. Como resultado, el rozamiento entre la superficie exterior de la herramienta 48 y el material compuesto 12 colocado en la superficie interior 14 del molde se puede reducir sustancialmente o minimizar durante el inflado inicial, permitiendo que el material compuesto 12 dispuesto en las regiones de esquina del molde 18 sea comprimido firmemente entre los segmentos de esquina 60 de la herramienta y las regiones de esquina del molde 18.

Cuando continúa el inflado, los segmentos de pared 58 de la herramienta son eventualmente aplanados relativamente y comprimen el material compuesto 12 dispuesto en las regiones de pared 16 del molde, como se representa en la figura 4. Este proceso o método, que implementa la herramienta de compactación inflable 26, puede reducir de forma significativa la formación de puentes o rizado del material compuesto 12 en las regiones de esquina del molde 18, dando lugar a una densidad de fibras relativamente uniforme en todo el material compuesto 12 durante el ciclo de curado y mejores propiedades del material compuesto curado 12 en la pieza compuesta acabada.

Después de que el material compuesto 12 ha sido curado, dando lugar a la dimensión consolidada, D_{con} , o perfil, del material compuesto consolidado 54, la herramienta de compactación 26 se puede desinflar liberando el fluido presurizado 68 a la atmósfera o evacuando parcialmente fluido de la herramienta de compactación 26. Así, la herramienta de compactación 26 se puede sacar fácilmente del molde 10.

Aunque la herramienta de compactación inflable 26 se ilustra en la figura 2, la figura 3 y la figura 4 con una sección transversal que es respectivamente rectangular, trapezoidal, o triangular, se pueden implementar otras muchas formas, por ejemplo, formas que tienen al menos una sección transversal cuadrada, romboide, circular o elíptica.

Además, la herramienta de compactación inflable 26 puede implementar formas más complejas, donde una o más superficies no sean planas, lisas o rectas, incluyendo, por ejemplo, superficies biseladas o parcialmente biseladas, superficies curvadas, tal como superficies redondas o elípticas, superficies inclinadas, u otras superficies contorneadas.

5 Las muchas características y ventajas de la invención son evidentes por la memoria descriptiva detallada, y así las reivindicaciones anexas pretenden cubrir todas las características y ventajas de la invención que caigan dentro del alcance de la invención. Además, dado que los expertos en la técnica pensarán fácilmente en numerosas modificaciones y variaciones, no se desea limitar la invención a la construcción y operación exactas ilustradas y descritas, y consiguientemente, se puede recurrir a todas las modificaciones y equivalentes adecuados que caigan dentro del alcance de la invención.

10

REIVINDICACIONES

1. Una herramienta de compactación expansible (26) para consolidar un elemento compuesto (12) que tiene al menos una sección transversal cerrada, incluyendo:

5 un segmento de esquina (60) configurado para comprimir un material compuesto a una región de esquina interna (18) de un molde cuando la herramienta se expanda; y

10 un segmento de pared (58) configurado para comprimir el material compuesto contra una pared interior (16) del molde cuando la herramienta se expanda, caracterizándose dicha herramienta de compactación porque, cuando la herramienta no está expandida, el segmento de esquina (60) es convexo y el segmento de pared (58) es cóncavo de modo que, cuando la herramienta se expanda, el segmento de pared transmita una fuerza hacia el segmento de esquina que tiende a empujar el segmento de esquina a la región de esquina interna del molde antes de que el segmento de pared comprima el material compuesto (12) contra la pared interior del molde.

2. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde el elemento compuesto incluye además una forma hueca facetada generalmente tubular.

15 3. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde la herramienta (26) está configurada de tal manera que una forma en sección transversal exterior no expandida (48) de la herramienta tenga un ajuste holgado con una forma en sección transversal interior no curada (50) del elemento compuesto, y una forma en sección transversal exterior expandida de la herramienta se conforme a una forma en sección transversal interior curada (56) del elemento compuesto.

20 4. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde la herramienta está configurada de tal manera que cuando la herramienta se expanda, el segmento de esquina (60) contacte el material compuesto antes de que el segmento de pared (58) contacte el material compuesto.

25 5. La herramienta de compactación de la reivindicación 1, donde la herramienta está configurada de tal manera que cuando la herramienta se expanda, el segmento de esquina (60) comprima primero el material compuesto a la región de esquina interna (18) del molde y el segmento de pared (58) comprima entonces el material compuesto contra la pared interior (16) del molde haciendo que el material compuesto se consolide de forma sustancialmente uniforme alrededor de la sección transversal cerrada.

6. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde la herramienta se forma a partir de un material elástico;

30 donde el material elástico define una cámara cerrada que está sustancialmente sellada de modo que un fluido a una presión de fluido mayor que una presión ambiente pueda ser introducido en la cámara para inflar la herramienta (26); e

incluyendo además una entrada de fluido (40) en comunicación de fluido con la cámara para facilitar la introducción del fluido presurizado a la cámara.

35 7. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde el material compuesto (12) incluye una pluralidad de capas laminadas y la herramienta (26) está configurada para comprimir las capas juntamente para consolidar el material compuesto durante un proceso de curado.

8. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde el material compuesto incluye una matriz de resina y un refuerzo de fibra.

40 9. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde la herramienta está configurada para comprimir el material compuesto mientras está en un estado no curado y fijar el material compuesto durante un proceso de curado.

10. La herramienta de compactación (26) de la reivindicación 1, donde el elemento compuesto incluye además un travesaño de fuselaje de aviones que tiene una sección transversal trapezoidal (32).

45 11. Un método de consolidar un elemento compuesto que tiene al menos una sección transversal cerrada, incluyendo:

expandir la herramienta de compactación de la reivindicación 1;

comprimir primero un material compuesto a la región de esquina interna (18) de un molde; y

50 comprimir después el material compuesto contra la pared interior (16) del molde de tal manera que el material compuesto se consolide de forma sustancialmente uniforme alrededor de la sección transversal cerrada.

5 12. El método de la reivindicación 11, donde la herramienta de compactación (26) está configurada de tal manera que una forma en sección transversal exterior no expandida (48) de la herramienta tenga un ajuste holgado con una forma en sección transversal interior no curada (50) del elemento compuesto, y una forma en sección transversal exterior expandida de la herramienta se conforme a una forma en sección transversal interior curada (56) del elemento compuesto.

13. El método de la reivindicación 11, incluyendo además introducir un fluido a una presión de fluido mayor que una presión ambiente en la herramienta de compactación (26) para inflar la herramienta de compactación, donde la herramienta se forma a partir de un material elástico que define una cámara cerrada que está sustancialmente sellada.

10 14. El método de la reivindicación 11, incluyendo además fijar el material compuesto durante un proceso de curado, donde los pasos de comprimir incluyen además comprimir el material compuesto mientras está en un estado no curado.

FIG. 1

(TÉCNICA ANTERIOR)

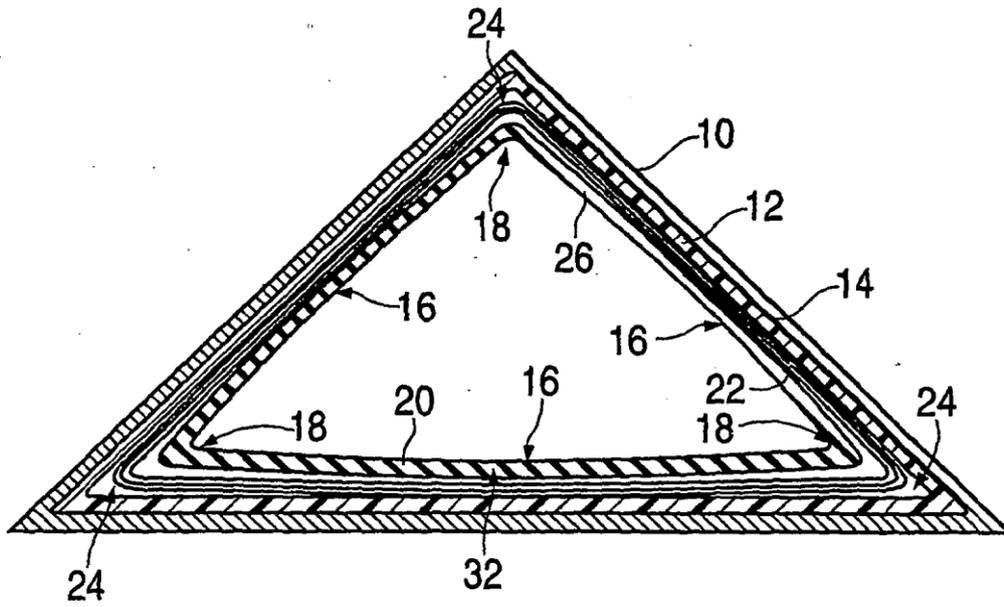


FIG. 2

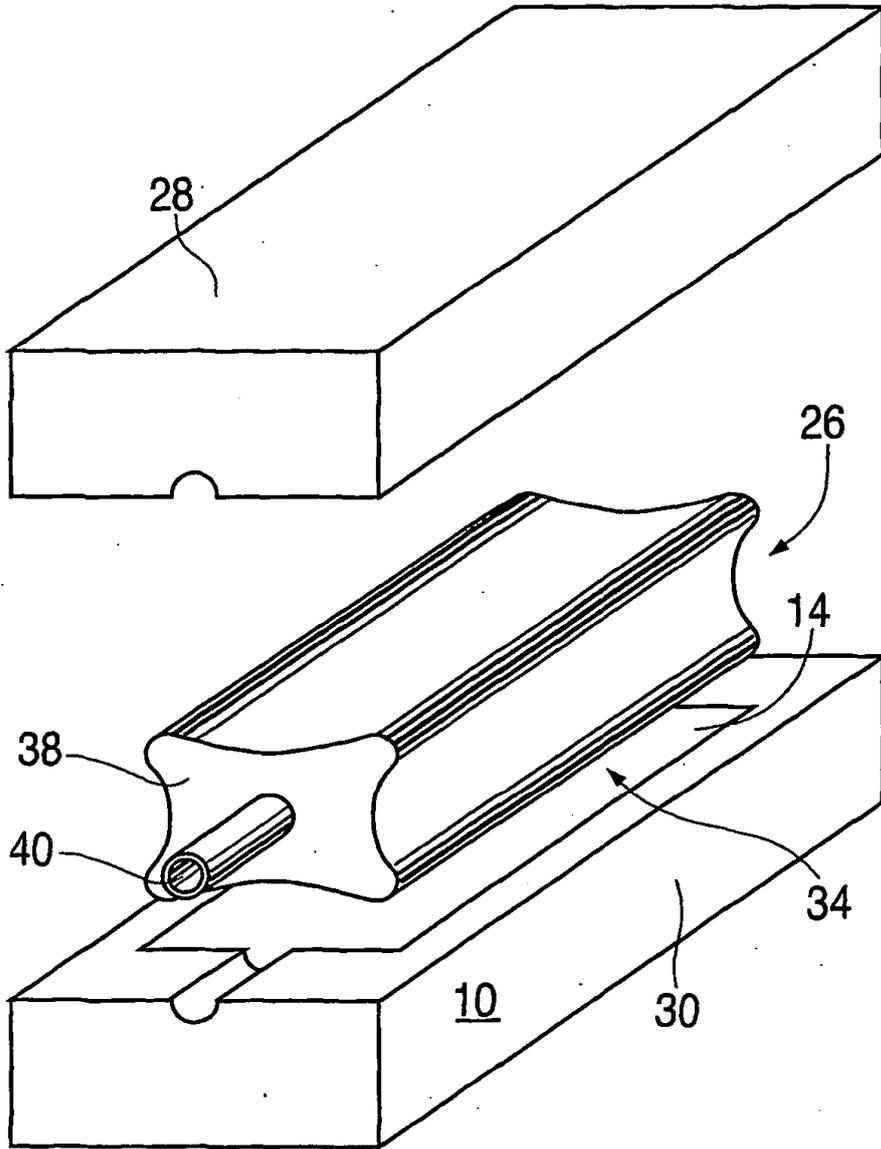


FIG. 3

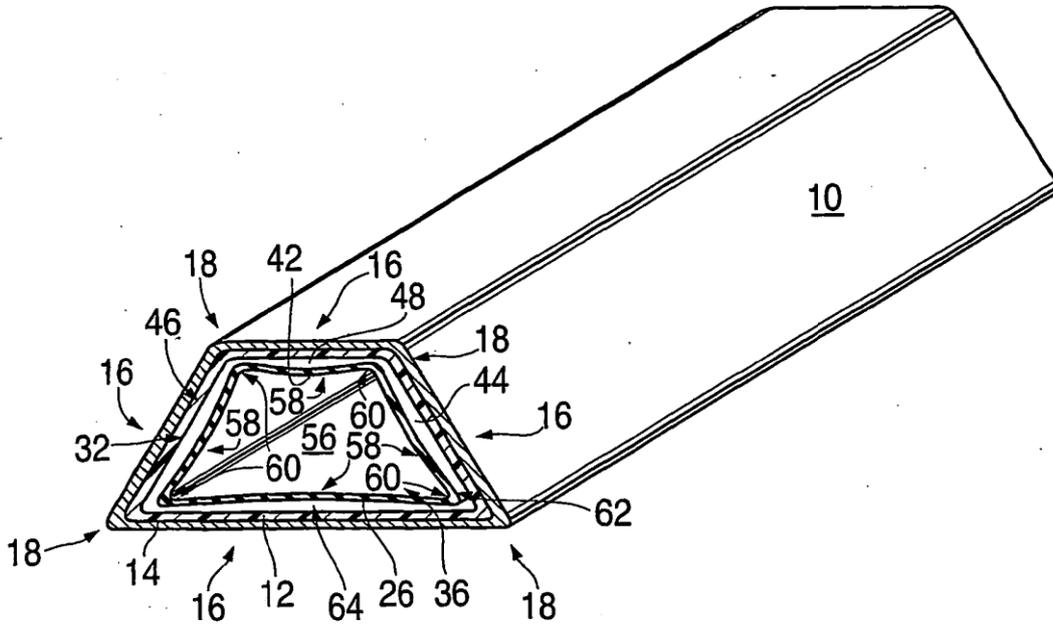


FIG. 4

