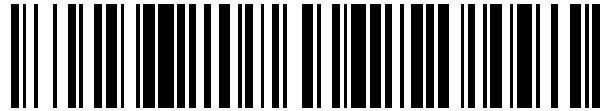


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 571 554**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/44** (2006.01)

**B29C 33/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2011 E 11839479 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2637832**

54 Título: **Métodos y sistemas para unir entre sí o curar conjuntamente piezas compuestas usando un aparato de SMP rígido/maleable**

30 Prioridad:

**21.09.2011 US 201113238841**  
**21.12.2010 US 201061425435 P**  
**11.11.2010 US 412635 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.05.2016**

73 Titular/es:

**SPIRIT AEROSYSTEMS, INC. (100.0%)**  
**3801 South Oliver Street**  
**Wichita, KS 67278, US**

72 Inventor/es:

**KYSAR, RANDY;**  
**FIGENBAUM, CARL RAY y**  
**PICKELL, KRISTIN**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 571 554 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**

Métodos y sistemas para unir entre sí o curar conjuntamente piezas compuestas usando un aparato de SMP rígido/maleable

Antecedentes

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a sistemas y métodos para el uso de un aparato reutilizable elaborado a partir de un polímero con memoria de forma (SMP) para la fabricación de piezas de material compuesto.

Estado de la técnica relacionado

10 Las piezas de material compuesto, tales como los utilizados en la fabricación de aeronaves, pueden construirse usando diversos métodos de producción, tales como el devanado de filamentos, la colocación de cinta, trenzas de protección, la tajada de mecha de fibras, revestimiento, moldeo manual de materiales compuestos, u otras técnicas de procesamiento de materiales compuestos y procesos de curado. La mayoría de estos procesos utilizan una herramienta/mandril rígido de curado sobre el que se aplica el material compuesto y luego es curado en una pieza rígida de material compuesto. 15 La extracción de la herramienta o mandril rígida de curado de la pieza curada de material compuesto es generalmente difícil, costosa y/o requiere de mucho tiempo, especialmente si la pieza de material compuesto resultante tiene una geometría de captura que impide una extracción fácil. Un método conocido de extracción del mandril requiere sacrificar o destruir el mandril mediante corte, disolución, a chorro, o bien rompiendo el mandril en piezas más pequeñas que pueden ser extraídas desde dentro de la pieza de material compuesto. La destrucción del mandril obviamente impide que se pueda utilizar de nuevo para piezas posteriores y puede ser perjudicial para una superficie interior de la pieza de 20 material compuesto.

Otro método utiliza un mandril segmentado que puede ser desmontado y retirado después de que la pieza de material compuesto ha sido curada. Sin embargo, estos mandriles son costosos y requieren de una gran cantidad de tiempo para instalarlos y quitarlos. Además, estos mandriles segmentados son típicamente diseñados cada uno para fabricar una pieza de material compuesto específica y no se reconfiguran con facilidad para ser utilizados en la fabricación de otras piezas de material compuesto. 25

Incluso otro método utiliza mandriles inflables que pueden ser removidos desinflándolos después de que la pieza de material compuesto ha sido curada. Sin embargo, este método implica típicamente mandriles en forma de globo que sólo pueden ser utilizados como una ayuda de ensacado, debido a su relativa falta de resistencia y rigidez durante el moldeo del material compuesto.

30 Otro método alternativo implica un conjunto de herramientas o mandril recubierto de espuma de silicio. Este conjunto de herramientas de espuma puede ser cubierto con una bolsa de silicio y luego se envuelve con material compuesto sin curar. Durante el curado, la bolsa de silicio se infla y el conjunto de herramientas de espuma se funde. Después del curado, la bolsa de silicio puede ser retirada y reutilizada. Sin embargo, el conjunto de herramientas de espuma no es reutilizable, por lo que se debe mecanizar un nuevo conjunto de herramientas de espuma con nueva espuma en cada ciclo de curado. 35

El documento US-B-7727458 da a conocer un método de fabricación de una pieza de material compuesto, comprendiendo el método:

40 A. la fabricación de una pieza de material compuesto con potenciadores de la rigidez integrados donde se moldea una parte final que comprende estructuras tipo costillas, que activan un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) hasta un estado maleable, dando forma a un aparato de SMP en estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la pieza de material compuesto que va a ser fabricada, que incluye una o más cavidades configuradas para la colocación de potenciadores de la rigidez en la misma; y la activación del aparato de SMP hasta un estado rígido.

Por consiguiente, existe la necesidad de métodos mejorados para la fabricación de piezas de material compuesto.

45 Resumen

Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos de fabricación de piezas de material compuesto utilizando aparatos de polímero con memoria de forma (SMP). Un método a modo de ejemplo puede comprender la aplicación de material compuesto a al menos una parte de un aparato de SMP, activando un cambio en el módulo del aparato de SMP de un estado rígido a un estado maleable, calentando el material compuesto a una temperatura de

5 curado del material compuesto, e induciendo una presión diferencial que acciona el aparato de SMP, en su estado maleable, hacia el material compuesto antes y/o durante el curado para comprimir el material compuesto contra un molde rígido. El cambio en el módulo puede ser activado mediante la aplicación de al menos uno entre cambios de temperatura, una corriente eléctrica, agua, y luz al aparato de SMP. Una vez que se completa el curado, la presión puede ser liberada y el aparato de SMP puede ser retirado de dentro de la pieza de material compuesto curada resultante.

10 Otro ejemplo de un método de fabricación de una pieza de material compuesto puede comprender las etapas de aplicar material compuesto sobre al menos una parte de un aparato de SMP, la colocación del material compuesto y el aparato de SMP en una cavidad dentro de una herramienta de moldeo rígida, de tal forma que al menos una porción del material compuesto descansa contra la herramienta de moldeo rígido, la colocación de una lámina impermeable de material sobre el material compuesto y el aparato de SMP, y el sellado de la lámina impermeable de material en la herramienta de moldeo rígido y/o el aparato de SMP. A continuación, este método puede comprender el calentamiento del material compuesto a una temperatura de curado del material compuesto, lo que provoca que el aparato de SMP cambie en el módulo a partir de un estado rígido a un estado maleable, y la inducción de un diferencial de presión suficiente para conducir la lámina impermeable de material y el aparato de SMP, en el estado maleable, hacia el material compuesto, comprimiendo de este modo al menos una porción del material compuesto contra el molde rígido antes y durante el curado del material compuesto en la pieza de material compuesto.

20 En aún otra realización de la presente invención, un método de fabricación de una pieza de material compuesto con potenciadores de la rigidez integrados puede comprender las etapas de la activación de un aparato de SMP hasta un estado maleable, dando forma a un aparato de SMP en el estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la pieza de material compuesto que va a ser fabricada, incluyendo la conformación del aparato de SMP para que tenga una o más cavidades configuradas para la colocación de potenciadores de la rigidez en el mismo, lo que provoca que el aparato de SMP pase a un estado rígido, la colocación de los potenciadores de la rigidez en las cavidades, la aplicación del material compuesto sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez que descansan dentro de las cavidades, y el curado conjunto o la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez con el material compuesto en el aparato de SMP a través de presión y calor para fabricar la pieza de material compuesto.

30 En otra realización de la presente invención, un método para retirar un aparato de SMP desde dentro de una pieza de material compuesto curado puede comprender las etapas de la activación del aparato de SMP de un estado rígido a un estado maleable, la inducción de un diferencial de presión lo que conduce al aparato de SMP, en el estado maleable, lejos de la pieza de material compuesto curado y hacia una herramienta interior de mandril, y la remoción de la herramienta interior de mandril con el aparato de SMP descansando sobre el mismo fuera de la pieza de material compuesto curado. La herramienta interior de mandril puede comprender una superficie exterior que tiene diversos contornos de tal manera que un área superficial de la superficie exterior es lo suficientemente grande para evitar que el aparato de SMP se pliegue sobre sí mismo o se arrugue cuando es conducido hacia la herramienta interior de mandril. A distancia máxima en línea recta entre los puntos en la superficie exterior puede ser lo suficientemente pequeña para permitir que se cree el espacio suficiente para que la herramienta interior de mandril sea retirada de la pieza de material compuesto curado.

40 En aún otra realización de la presente invención, un método de fabricación de una pieza de material compuesto con potenciadores de la rigidez integrados puede comprender las etapas de conformación o moldeo de un aparato de SMP para corresponder con una configuración deseada de una primera superficie de la pieza de material compuesto que se va a formar, la conformación o moldeo del aparato de SMP para incluir una o más cavidades configuradas para la colocación de los potenciadores de la rigidez en el mismo, la colocación de los potenciadores de la rigidez en las cavidades, la aplicación del material compuesto sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez que descansan dentro de las cavidades y curar conjuntamente o unir entre sí los potenciadores de la rigidez con el material compuesto en el aparato de SMP a través de presión y calor para fabricar la pieza de material compuesto. En esta realización de la invención, el aparato de SMP puede permanecer en un estado rígido durante el curado conjunto o la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez con el material compuesto.

50 Se proporciona este resumen para introducir una selección de conceptos en una forma simplificada que se describen más adelante en la descripción detallada. Este resumen no pretende identificar las características clave o las características esenciales de la materia reivindicada, ni pretende ser utilizado para limitar el alcance de la materia reivindicada. Otros aspectos y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas y las figuras de los dibujos acompañantes.

Breve descripción de las figuras de los dibujos

55 Las realizaciones de la presente invención se describen en detalle a continuación con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en los que:

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de un aparato de SMP construido de acuerdo con una realización de la presente invención y que se muestra usado como un mandril con material compuesto colocado sobre el mismo;

5 La FIG. 2 es una vista en alzado en sección transversal vertical del aparato de SMP de la Fig. 1, con el aparato de SMP inflado hacia el exterior para actuar como una cámara de aire, presionando a continuación el material compuesto hacia un molde exterior;

La FIG. 3 es una vista en perspectiva de otra realización de un aparato de SMP en un estado inflado, rígido;

La FIG. 4 es una vista en perspectiva de una herramienta interior de mandril construida de acuerdo con una realización de la presente invención;

10 La FIG. 5 es una vista en perspectiva en despiece ordenado del aparato de la Fig. 3 después de que se desliza sobre la herramienta interior de mandril que se ilustra en la Fig. 4 y se calienta para contraerse contra la herramienta interior de mandril, y también ilustra sellos terminales configurados para sellar el aparato de SMP contra la herramienta interna de mandril en cada extremo de la misma;

15 La FIG. 6a es una vista en perspectiva de potenciadores de la rigidez internos contruidos de acuerdo con realizaciones de la presente invención y configurados para unirse entre sí o curarse conjuntamente con una pieza de material compuesto;

La FIG. 6b es una vista fragmentaria en perspectiva de una carcasa falsa y potenciadores de la rigidez falsos contruidos de acuerdo con una realización de la presente invención para ayudar en la formación del aparato de la Fig. 5 en una configuración de herramienta rígida deseada;

20 La FIG. 7 es una vista fragmentaria en perspectiva de la carcasa falsa y de los potenciadores de la rigidez falsos de la Fig. 6, que ilustra además los insertos de refuerzo colocados encima y sobre los potenciadores de la rigidez falsos;

La FIG. 8 es una vista en perspectiva en despiece ordenado de la herramienta interior de mandril de la Fig. 5 colocada en una herramienta externa rígida construida de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 9 es una vista en perspectiva del aparato de SMP de la Fig. 5 en la configuración de herramienta rígida deseada con los potenciadores de la rigidez internos falsos descansando en cavidades formadas en el mismo;

25 La FIG. 10a es una vista en perspectiva del aparato de SMP de la Fig. 9 en la configuración de herramienta rígida deseada con los potenciadores de la rigidez internos retirados de las cavidades formadas en el mismo;

La FIG. 10b es una vista en perspectiva del aparato de SMP de la Fig. 5 en la configuración de herramienta rígida deseada con los potenciadores de la rigidez internos de la Fig. 6a descansando en las cavidades formadas en el mismo;

30 La FIG. 11 es una vista en perspectiva del aparato de SMP de la Fig. 9 con material compuesto aplicado sobre el mismo y alrededor de los potenciadores de la rigidez internos;

La FIG. 12 es una vista fragmentaria en perspectiva del aparato de SMP y el material compuesto de la Fig. 11 después del curado del material compuesto, que ilustra el espacio entre el aparato de SMP y el material compuesto curado una vez que se calienta el aparato de SMP y se contrae de nuevo hacia la herramienta interior de mandril;

35 La FIG. 13 es una vista en perspectiva del material compuesto de la Fig. 12 y los potenciadores de la rigidez internos de la Fig. 6 curados conjuntamente o unidos entre sí en un fuselaje rígido, con la herramienta interior de mandril, la herramienta externa rígida, y el aparato de SMP removido del mismo;

La FIG. 14 es un diagrama de flujo de un método para formar el aparato de SMP en una configuración de herramienta rígida deseada de acuerdo con una realización de la presente invención;

40 La FIG. 15 es un diagrama de flujo de un método para la fabricación de un fuselaje utilizando el aparato de SMP de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 16 es una vista fragmentaria en sección transversal de un larguero en forma de J que está formado entre dos aparatos de SMP y una herramienta rígida de moldeo, cada uno construido de acuerdo con una realización de la presente invención; y

45 La FIG. 17 es un diagrama de flujo de un método para la fabricación de un refuerzo de material compuesto usando el aparato de SMP de acuerdo con una realización de la presente invención.

Las figuras de los dibujos no limitan la presente invención a las realizaciones específicas descritas y divulgadas en este documento. Los dibujos no están necesariamente a escala, estando colocado el énfasis en ilustrar claramente los principios de la invención.

Descripción detallada:

5 La siguiente descripción detallada de la invención hace referencia a los dibujos adjuntos que ilustran realizaciones específicas en las que la invención puede ser practicada. Las formas de realización pretenden describir los aspectos de la invención con detalle suficiente para que los expertos en la técnica pongan en práctica la invención. Se pueden utilizar otras formas de realización y se pueden realizar cambios sin apartarse del alcance de la presente invención. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no debe tomarse en un sentido limitativo. El alcance de la presente  
10 invención se define sólo por las reivindicaciones adjuntas.

Elaboración de piezas de material compuesto con un aparato de SMP

15 Una realización de la presente invención es un método para la fabricación de piezas de material compuesto. Esta realización de la invención se puede implementar con un aparato 12 de polímero con memoria de forma (SMP), como se muestra mejor en las Figs. 1-2, y/o una herramienta 28 externa rígida, como se describe más adelante en el presente documento y se ilustra en la Fig. 2. El aparato 12 de SMP puede ser utilizado tanto como un mandril como un conjunto de herramientas rígido para la aplicación de material 14 compuesto sobre el mismo, como se ilustra en la Fig. 1, y una cámara de aire para proporcionar presión hacia el exterior al material 14 compuesto durante un curado del material 14 compuesto en una pieza de material compuesto endurecido, como se ilustra en la Fig. 2.

20 El aparato 12 de SMP puede estar formado de material de SMP fundido en cualquier forma de memoria. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP se puede moldear en una configuración alargada y/o hueca que tiene una o más extremos abiertos utilizando cualquier método conocido en la técnica, tal como los métodos de formación de un cilindro de SMP descrito en la patente de los Estados Unidos No. 7.422.714. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP puede ser un cilindro de SMP preformado o un barril abierto en dos extremos opuestos. Alternativamente, el aparato 12 de SMP puede tener cualquier forma de sección transversal, tal como un trapecio, rectángulo, cuadrado o triángulo, o se puede moldear en una configuración no hueca. La forma de moldeo del aparato de SMP se denomina aquí como su forma de memoria.

25 El material de SMP utilizado para formar el aparato 12 de SMP puede ser reforzado o material de SMP no reforzado. Específicamente, el material de SMP utilizado para formar el aparato 12 de SMP puede ser un material epóxico, un SMP de base epóxica, un SMP con base en copolímero de estireno o cualquier otro tipo o combinación de SMP, tales como éster de cianato, poliuretano, homopolímero de polietileno, estireno-butadieno, poliisopreno, copolímeros de acrilato de estearilo y ácido acrílico o acrilato de metilo, norbornano u homopolímeros o copolímeros de dimetano-  
30 octahidro-naftaleno, y maleimida. Por ejemplo, el material de SMP usado en el aparato 12 de SMP puede ser cualquiera de los SMP descritos en la patente de Estados Unidos N° 7.422.714, en la patente de Estados Unidos N° 6.986.855, en la patente de Estados Unidos N° 7.276.195, en la publicación de la solicitud de patente de Estados Unidos N° 2008/0021188, en la publicación de la solicitud de patente de Estados Unidos N° 2008/0021166, y/o en la publicación de la solicitud de patente de Estados Unidos N° 2008/0269420. Sin embargo, existen muchos otros tipos de SMP y se pueden adaptar para satisfacer las tolerancias específicas y requisitos de temperatura.

35 El módulo de diversos materiales de SMP se puede cambiar a través de varios métodos diferentes, tales como un cambio de temperatura, una corriente eléctrica, agua y/o luz. Sin embargo, los ejemplos de métodos descritos en este documento describen el uso de los cambios de temperatura para transformar el aparato 12 de SMP de un estado maleable a un estado rígido y viceversa. Sin embargo, cualquiera de los activadores mencionados anteriormente para cambiar el módulo del material de SMP del aparato 12 de SMP se pueden utilizar para los métodos de fabricación de piezas de materiales compuestos descritos en este documento sin apartarse del alcance de la invención.

40 Una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de un material de SMP se define aquí como una temperatura de umbral en y/o por encima de aquella a la cual el material de SMP comienza la transición a un estado de módulo más bajo, volviéndose blando y/o maleable con el fin de poder deformarse. Por lo tanto, el aparato 12 de SMP de la presente invención puede ser configurado para comenzar a volverse flexible y moldeable cuando se calienta por encima de su  $T_g$  y a volverse rígido cuando se enfría a una temperatura por debajo de su  $T_g$ . Si el aparato 12 de SMP se deforma a una temperatura por encima de  $T_g$  y después se mantiene en ese estado deformado a medida que su temperatura cae por debajo de  $T_g$ , entonces el aparato 12 de SMP se endurece en ese estado deformado. Cuando se calienta de nuevo, el aparato 12 de SMP puede generalmente volver a su forma de memoria originalmente moldeada menos que actúe sobre él otra fuerza. Aunque el cambio de módulo del aparato 12 de SMP puede comenzar en  $T_g$ , puede haber un intervalo de temperaturas de transición a través del cual el aparato 12 SMP puede volverse cada vez más maleable.

45 El aparato 12 de SMP puede estar hecho de un material de SMP que tiene cualquier  $T_g$  apropiada para los usos y métodos descritos en este documento. En algunas realizaciones de la invención,  $T_g$  puede ser igual o menor que la temperatura de curado para el material 14 compuesto, de manera que el aparato 12 de SMP se puede utilizar como una  
55

cámara de aire expansible durante el curado de la pieza de material compuesto. En otras formas de realización de la invención,  $T_g$  puede ser mayor que la temperatura de curado para el material 14 compuesto de tal manera que el aparato 12 de SMP permanece rígido durante el curado de la pieza de material compuesto.

5 Aunque el aparato 12 de SMP puede ser diseñado para tener cualquier  $T_g$ , en algunas realizaciones de ejemplo de la invención,  $T_g$  puede ser una temperatura entre 100 °F y 700 °F (38-371 °C). Específicamente,  $T_g$  puede ser una temperatura entre 100 °F y 200 °F, 200 °F y 300 °F, o entre 300 °F y 400 °F (entre 38 y 93, 93 y 149, o entre 149 y 204 °C). Más específicamente,  $T_g$  puede ser una temperatura entre 125 °F y 175 °F, 250 °F y 300 °F; o 350 °F y 400 °F entre 52 y 79, 121 y 149 o 177 y 204 °C. En una realización de la invención,  $T_g$  del aparato 12 de SMP puede ser aproximadamente igual a 143 °F, 275 °F, o 375 °F (62, 135 o 191 °C). El aparato 12 de SMP puede volverse cada vez más maleable cuando se calienta a través de un intervalo de transición de temperaturas a partir de o entorno a  $T_g$  y puede endurecerse gradualmente hasta su estado rígido cuando se enfría a través del intervalo de transición de temperaturas a una temperatura en o por debajo de  $T_g$ .

15 La herramienta 28 externa rígida puede tener cualquier forma o configuración deseada para la fabricación de la pieza de material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 28 externa rígida puede tener un espacio hueco en el que se pueden colocar el aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto. Por ejemplo, la herramienta 28 externa rígida puede ser una herramienta de barril o una herramienta de concha de almeja. La herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Fig. 2, puede formar una superficie exterior de la pieza de material compuesto. En realizaciones alternativas de la invención, la herramienta 28 externa rígida puede ser reemplazada por cualquier tipo de molde conformado y configurado para formar una superficie interior o exterior de una pieza de material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 28 externa rígida también se puede utilizar para ayudar a dar forma o formar el aparato 12 de SMP. Por ejemplo, la carcasa 22 falsa, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o los insertos 26 de refuerzo pueden ser colocados en o fijados a la herramienta 28 externa rígida, como se describe en detalle a continuación, para proporcionar una configuración deseada del molde para el aparato 12 de SMP.

25 El material 14 compuesto colocado en el aparato 12 de SMP para formar la pieza de material compuesto puede comprender o estar en la forma de una resina de baja temperatura, una resina de alta temperatura, una resina endurecida, un material preimpregnado, una fibra procesada en húmedo, una fibra seca, una fibra continua, una fibra discontinua, fibra cortada, vidrio, KEVLAR (RTM), carbono y/o núcleo. Núcleo se define aquí como cualquier componente de compensación que separa dos capas de material compuesto. Por ejemplo, el núcleo puede comprender espuma, material termoplástico, materiales de panel de abeja, aluminio, fibra de vidrio fenólica, carbono, Nomex, etc. El núcleo también puede ser denominado como paneles centrales, núcleo de panel de abeja, o núcleo de panel tipo sándwich. Además, la composición química del material 12 compuesto puede incluir material epóxico, BMI, benzoxazina, vinilo, acrílico, poliéster, poliamida, ftalonitrilo, y otras sustancias similares conocidas en la técnica. El material 14 compuesto puede ser colocado sobre el aparato 12 de SMP usando la colocación automatizada de la tela, colocación automatizada de la fibra, devanado automatizado del filamento, colocación de la tela, moldeo manual de materiales compuestos, o cualquier otro método conocido en la técnica. El material 14 compuesto puede estar configurado para ser endurecido o curado, tal como en un autoclave, fuera de un autoclave, a través de un proceso de curado a baja temperatura, y/o a través de un proceso de curado a alta temperatura.

40 En uso, el aparato 12 de SMP puede estar formado en una configuración de herramienta rígida y, a continuación, se puede aplicar el material 14 compuesto sobre la misma. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP puede estar conformado por uno o más moldes interiores colocados dentro del aparato 12 de SMP y/o uno o más moldes exteriores (tales como la herramienta 28 externa rígida) colocados en el exterior del aparato 12 de SMP. Los moldes interior o exterior pueden comprender cualquier número de componentes formados integralmente o ensamblados juntos para proporcionar una forma deseada al aparato 12 de SMP, tal como la carcasa 22 falsa, potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o insertos 26 de refuerzo colocados en o sobre la herramienta 28 externa rígida en cualquier configuración deseada. Sin embargo, se puede utilizar cualquier método de formación del aparato 12 de SMP sin apartarse del alcance de la invención.

50 En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede sellarse a los moldes interiores o exteriores, calentarse, y a continuación, presionarlo contra los moldes interiores o exteriores. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP puede ser presionado contra los moldes por medio de un diferencial de presión inducido por medio del inflado, vacío, y/o cualquier otro método conocido en la técnica para empujar el aparato 12 de SMP hacia el molde. Específicamente, el aparato 12 de SMP puede ser calentado y e inflado hacia el molde exterior en una configuración para la formación de una superficie interior de una pieza de material compuesto. Una vez que el aparato 12 de SMP se enfría en la configuración de herramienta rígida, como se ilustra en la Fig. 1, el aparato 12 de SMP puede ser retirado de los moldes interior o exterior y el material 14 compuesto puede ser colocado sobre el aparato 12 de SMP usando cualquier método conocido en la técnica, tales como la colocación de la fibra. El aparato 12 de SMP puede ser denominado en la presente como un aparato que está en la "configuración de herramienta rígida" después de que toma la forma deseada para el material 14 compuesto que se aplica a la misma.

55 En algunas realizaciones de la invención, las cavidades 40 se pueden formar en el aparato 12 de SMP de manera que los componentes (tales como potenciadores de la rigidez internos como estructuras, largueros, o núcleos del material

- compuesto) pueden ser colocados en las cavidades que se unen entre sí o se curan conjuntamente con el material 14 compuesto. A continuación, el material 14 compuesto se puede colocar sobre y/o encima tanto del aparato 12 de SMP como de los componentes a unirse entre sí o curarse conjuntamente al mismo. Estas cavidades 40 pueden soportar a los componentes que van a ser unidos entre sí o curados conjuntamente con el material 14 compuesto en su lugar durante la aplicación del material 14 compuesto sin la necesidad de ninguna unión mecánica. Adicional o alternativamente, se pueden usar diversos retenedores para mantener los potenciadores de la rigidez internos en su lugar durante la aplicación del material 14 compuesto. A continuación, la presión a través del aparato 12 de SMP puede comprimir estos componentes o potenciadores de la rigidez internos contra el material compuesto durante el curado, curando conjuntamente o uniendo entre sí por lo tanto a ambos entre sí.
- Adicional o alternativamente, el tamaño y la forma del aparato 12 de SMP pueden estar configurado para permitir que el material 14 compuesto más grueso o capas adicionales de material 14 compuesto sean aplicados luego en determinadas ubicaciones. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP puede tener una parte con un área de sección transversal más pequeña y una parte con un área de sección transversal más grande. La porción del aparato 12 de SMP con el área de sección transversal más pequeña puede permitir la aplicación luego de una mayor cantidad de material 14 compuesto. En general, el aparato 12 de SMP puede ser conformado y configurado para proporcionar suficiente espacio libre o de compensación entre el aparato 12 de SMP y la herramienta 28 externa rígida de modo que el espesor deseado de material 14 compuesto y/o los potenciadores de la rigidez internos puedan encajar dentro de dicha compensación.
- Una vez que se aplica el material compuesto, el aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto pueden recibir calor y presión aplicados al mismo con el fin de curar el material 14 compuesto y/o para curar conjuntamente o unir entre sí otros componentes o potenciadores de la rigidez internos con el material 14 compuesto. Adicionalmente, el calor también se puede utilizar para cambiar el módulo del aparato 12 de SMP. Por ejemplo, el aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto pueden ser colocados en el espacio hueco de la herramienta 28 externa rígida y calentado y presurizado según sea necesario para el curado del material 14 compuesto. En algunas formas de realización, el calor usado durante este proceso de curado puede ser mayor que  $T_g$  del aparato 12 de SMP, haciendo que el aparato 12 de SMP se convierta en su estado maleable, y un diferencial de presión aplicado desde dentro y/o sin el aparato 12 de SMP (por ejemplo, a través de autoclave) puede hacer que el aparato 12 de SMP sea empujado hacia la herramienta 28 externa rígida. Específicamente, el calor puede transformar el aparato 12 de SMP de la configuración de herramienta rígida en una configuración de cámara de aire en la cual el aparato 12 de SMP se vuelve flexible y puede ser inflado, actuando como una cámara de aire interna para comprimir el material 12 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Fig. 2. Adicionalmente, en algunas realizaciones de la invención, se puede aplicar un diferencial de presión pequeño o presurización al aparato 12 de SMP hasta que su temperatura exceda a  $T_g$ , momento en que la presión puede intensificarse hasta la cantidad total de presión deseada.
- El aparato 12 de SMP puede por lo tanto ser utilizado para presionar el material 14 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida o cualquier superficie alternativa de un molde rígido. El diferencial de presión, como se describe en el presente documento, se puede inducir usando una variedad de métodos, con el aparato 12 de SMP sellado de manera hermética con una de las herramientas rígidas o moldes descritos en el presente documento, de manera que el aparato 12 de SMP se infla hacia el material compuesto y/o se extrae contra el material 14 compuesto durante el curado. En algunas realizaciones de la invención, el diferencial de presión se introduce a través de autoclave.
- Alternativamente, en algunas realizaciones de la invención, una bolsa de vacío u otra lámina impermeable de material se puede aplicar de tal manera que empuje al aparato 12 de SMP, en su estado maleable, hacia una superficie rígida para comprimir el material 14 compuesto entre el aparato 12 de SMP y la superficie rígida. En esta realización de la invención, la bolsa de vacío u otra lámina impermeable de material pueden ser sellados a una de las herramientas o moldes rígidos descritos en este documento, tal como la herramienta 28 externa rígida. Esto puede ser particularmente útil si el aparato 12 de SMP no es impermeable, contiene algunos agujeros o rasgaduras en el mismo, y/o no puede ser sellado a otra superficie de tal manera que un diferencial de presión puede ser inducido entre el aparato 12 de SMP y la superficie a la que se sella. Por ejemplo, la bolsa de vacío se puede sellar a la herramienta 28 externa rígida y puede utilizarse para accionar el aparato 12 de SMP, en su estado maleable, en una dirección deseada por medio de un diferencial de presión aplicado a la bolsa de vacío.
- Como se describió anteriormente, el aparato 12 de SMP puede estar configurado para experimentar un cambio en el módulo en respuesta a activadores diferentes de calor, tal como una corriente eléctrica, agua, y/o luz. Por lo tanto, en algunas realizaciones de la invención, uno de los otros activadores también puede aplicarse al aparato 12 de SMP a medida que el material 14 compuesto está siendo curado, de modo que el aparato 12 de SMP es lo suficientemente maleable para inflar o bien comprimir el material 14 compuesto contra de la herramienta 28 externa rígida.
- Una vez que el material 14 compuesto es curado, el diferencial de presión puede ser ecualizado sustancialmente mientras la temperatura se mantiene por encima de  $T_g$ , y después el aparato 12 de SMP en la configuración de cámara de aire flexible puede ser retirado del interior de la pieza de material compuesto curado. Alternativamente, una vez que el material 14 compuesto es curado, un diferencial de presión suficiente para empujar el aparato 12 de SMP fuera del material compuesto curado puede ser inducido. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede

5  
 10  
 15  
 20  
 25  
 30

contraerse de nuevo a su forma original o de memoria, lo que permite la fácil remoción del aparato 12 de SMP desde el interior de la pieza de material compuesto resultante. En otras formas de realización de la invención, como más adelante se describe aquí, un mandril interno colocado dentro del aparato 12 de SMP puede ser configurado para retirar el aparato 12 de SMP (todavía en su estado maleable) de la pieza de material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede ser empujado lejos de la parte de material compuesto curado mientras está aún en estado maleable, luego se deja enfriar y/o tornarse al menos algo rígido o completamente rígido de nuevo antes de ser retirado del interior de la pieza de material compuesto curada.

10  
 15  
 20  
 25  
 30

El aparato 12 de SMP se puede utilizar para formar una variedad de piezas de material compuesto de diferentes geometrías, tales como piezas de material compuesto con geometrías atrapadas. Por ejemplo, las piezas de material compuesto pueden ser fuselajes de aeronaves, alas, góndolas, paneles, conductos y soportes estructurales de aeronaves o potenciadores de la rigidez. Los ejemplos de soportes estructurales de aeronaves pueden incluir largueros, estructuras, potenciadores de la rigidez trapezoidales en forma de sombrero, potenciadores de la rigidez en forma de campana, potenciadores de la rigidez con forma de sombrero invertidos, potenciadores de la rigidez tipo J, potenciadores de la rigidez tipo F, potenciadores de la rigidez de cuchilla, potenciadores de la rigidez tipo I, y potenciadores de la rigidez tipo C. Por otra parte, las piezas de material compuesto formadas con el aparato 12 de SMP pueden incluir aeronaves de rotor, pilones, inversores de empuje, pantallas térmicas, entradas, dispositivos de punta alar, extremo de las alas, estabilizadores verticales y horizontales, estructuras de fuselaje, estructuras de fuselaje tubulares, superficies de control, zonas de punta, carenados, alerones, alerón, listones, tubos de torsión, ejes de transmisión, capuchas, entradas de escape del motor, boquillas de escape, conos de escape, hélices, reductores, cajas de transmisión, cadenas, palas del rotor, tanques de combustible, tren de aterrizaje, compartimientos de tren de aterrizaje, puertas, subestructuras, largueros, bandejas de cables, puntales, soportes, estabilizadores de estructura, montajes para armas, pedestales de control, consolas de instrumentos, etc. Estas partes de material compuesto se pueden formar usando el aparato 12 de SMP colocando primero el material 14 compuesto contra al menos una parte del aparato 12 de SMP cuando el aparato 12 de SMP está en su configuración de herramienta rígida. A continuación, el material 14 compuesto puede ser comprimido contra y/o por el aparato 12 de SMP en un estado rígido o maleable durante el curado del material 14 compuesto en la pieza de material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, más de un aparato 12 de SMP puede ser utilizado para fabricar la pieza de material compuesto, como se describe más adelante en este documento. En algunas realizaciones de la invención en la que se utilizan una pluralidad de aparatos de SMP para formar la pieza de material compuesto, los aparatos de SMP se pueden configurar para tener diferentes temperaturas  $T_g$  o diferentes activadores para cambiar el módulo de los diferentes aparatos de SMP, como se describió anteriormente.

35  
 40  
 45  
 50

Además, los potenciadores de la rigidez internos pueden ser curados conjuntamente o unidos entre sí con cualquier pieza de material compuesto, tal como con las piezas de material compuesto enumeradas anteriormente, utilizando el aparato 12 de SMP, como se describe más adelante en el presente documento. El término curar conjuntamente se define en el presente documento como curar y unir simultáneamente dos piezas de material compuesto no curadas. El término unir entre sí se define aquí como curar simultáneamente una pieza de material compuesto no curada mientras se une la pieza de material compuesto no curada a una pieza endurecida o una pieza de material compuesto previamente curada. Los potenciadores de la rigidez internos pueden incluir, por ejemplo, estructuras, largueros, o núcleo, tal como se definió anteriormente. Las estructuras y largueros pueden ser potenciadores de la rigidez estructurales alargados que se extienden lateralmente y/o perpendicular respecto a una longitud de una pieza de material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, las estructuras pueden cruzar los largueros en una configuración en forma de rejilla. Ejemplos de algunos tipos específicos de estructuras y largueros pueden incluir potenciadores de la rigidez trapezoidales en forma de sombrero, potenciadores de la rigidez en forma de campana, potenciadores de la rigidez invertidos en forma de sombrero, potenciadores de la rigidez tipo J, potenciadores de la rigidez tipo F, potenciadores de la rigidez de cuchilla, potenciadores de la rigidez tipo I, y potenciadores de la rigidez tipo C. Además, el aparato 12 de SMP puede ser utilizado para formar una variedad de otras piezas de materiales compuestos, tales como remolques, conductos de automotores y colectores, mangueras, neumáticos, turbocompresores, tanques, automóviles, vehículos de carreras, barcos, yates, bicicletas, canoas, kayaks, paletas, artículos deportivos, depósitos de armas, empuñaduras, ballestas y accesorios, palos de golf y componentes relacionados, cañas de pescar, guitarras, tuberías, postes, materiales de construcción, palas de turbinas eólicas, componentes de motores, muebles, mástiles de vela, cajas electrónicas, armaduras, transmisiones, satélites, misiles y naves espaciales. Estas piezas de material compuesto se pueden formar usando métodos similares a cualquiera de los métodos descritos en este documento.

#### Fabricación de un fuselaje con el aparato de SMP

55

Otra realización de la presente invención es un método de fabricación de un fuselaje 15 de aeronave con potenciadores de la rigidez 24 internos integrados, como se ilustra en la Fig. 13. El método de esta realización puede ser implementado con el aparato 12 de SMP, como se describió anteriormente, junto con una herramienta 16 interior del mandril, sellos 18, 20 de los extremos, carcasa 22 falsa, potenciadores de la rigidez 24 internos, los insertos 26 de refuerzo y la herramienta 28 externa, como se ilustra mejor en las Figs. 2-12.



En esta forma de realización de la invención, el aparato 12 de SMP, como se ilustra en la Fig. 3, puede tener los rasgos y características que se describen anteriormente en referencia a la forma de realización de la invención ilustrada en las Figs. 1-2. Además, el aparato 12 de SMP puede tener una forma de barril, botella, embudo, cono, o de cilindro como su forma de memoria moldeada. Sin embargo, cualquier otra forma de memoria moldeada puede usarse sin apartarse del alcance de la invención. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede ser recibido en un estado inflado. Específicamente, el aparato 12 de SMP puede haber sido previamente calentado e inflado hasta un diámetro mayor que aquel de su forma de memoria y, luego enfriado y endurecido en ese estado inflado. El aparato 12 de SMP puede comprender uno o dos extremos abiertos. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede ser de aproximadamente 1 pulgada a 35 pies de diámetro y aproximadamente 1 pie a 75 pies de longitud. Sin embargo, el aparato 12 de SMP puede tener cualquier dimensión sin apartarse del alcance de la invención.

La herramienta 16 interior de mandril, como se ilustra en la Fig. 4, puede estar hecha de cualquier material rígido, duradero, que permanece rígido a lo largo de un ciclo de curado del material compuesto. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 16 interior de mandril puede ser sustancialmente cilíndrica. Además, la herramienta 16 interior de mandril puede ser hueca, que tiene una pared 30 cilíndrica y dos extremos 32, 34 opuestos que pueden comprender aberturas (no mostradas) para el espacio hueco dentro de la herramienta 16 interior de mandril.

En algunas realizaciones de la invención, una o más aberturas 36 de inflado se pueden proporcionar a través de la pared 30 cilíndrica de tal manera que un gas comprimido puede ser forzado dentro de la herramienta 16 interior de mandril hueca, tal como a modo de líneas de aire (no mostradas), proporcionando de este modo la fuerza de inflación hacia fuera de la herramienta 16 interior de mandril. Las aberturas 36 de inflado también pueden estar configuradas para aspirar el aparato 12 de SMP contra la herramienta 16 interior de mandril durante las diversas etapas de fabricación del fuselaje 15, como se describe a continuación.

En algunas realizaciones de la invención, una superficie exterior de la herramienta 16 interior de mandril también puede comprender diferentes contornos. Por ejemplo, los diferentes contornos pueden incluir una cantidad de salientes 38 y/o muescas para uso en la recuperación del aparato 12 de SMP después del curado de la pieza de material compuesto. Específicamente, como se ilustra en la Fig. 4, una superficie exterior de la pared 30 cilíndrica puede comprender las salientes 38 en forma de una pluralidad de crestas o costillas separadas circunferencial o axialmente y dispuestas sustancialmente en forma paralela entre sí. Cada una de las crestas o costillas pueden extenderse entre los extremos 32, 34 opuestos de la herramienta 16 interior de mandril y se les puede dar forma con un patrón ondulado o sinusoidal que se extiende entre los extremos 32, 34 opuestos de la herramienta 16 interior de mandril, como se ilustra en la Fig. 4. Adicional o alternativamente, las salientes 38 pueden ser uno o más anillos concéntricos formados alrededor de la herramienta 16 interior de mandril, o puede tener cualquier otra configuración. Las salientes 38 pueden estar formadas integralmente o bien unidas a la herramienta 16 interior de mandril.

El propósito de los diversos contornos o salientes 38 puede ser la introducción de una mayor cantidad de tensión en el aparato 12 de SMP en un área de sección transversal más pequeña. Específicamente, cuando el aparato 12 de SMP es empujado por un diferencial de presión inducido hacia la herramienta 16 interior de mandril para ser retirado del interior de una pieza de material compuesto curado, los diversos contornos o salientes 38 evitan que el aparato 12 de SMP se pliegue sobre sí mismo. Por ejemplo, después de su expansión hacia el exterior durante el curado, como se describe más adelante en el presente documento, el aparato 12 de SMP puede ser estirado hacia fuera. La tensión axial y/o circunferencial inducida por los diversos contornos o salientes 38 puede impedir que el aparato 12 de SMP se pliegue sobre sí mismo o se arrugue y dañe el material de SMP.

De modo que, esencialmente, los diversos contornos, salientes 38, y/o muescas proporcionan un área superficial más grande para que el aparato 12 de SMP se contraiga contra sin requerir un aumento en el tamaño y/o sección transversal de la herramienta 16 interior de mandril. En la forma de realización ilustrada en la Fig. 4, si el radio de la herramienta 16 interior de mandril es "r", y la longitud es "L", entonces la ecuación para el área superficial sería normalmente  $2\pi * r * L$ . Sin embargo, debido a las salientes 38 que se extienden desde la superficie de la herramienta 16 interior de mandril en la Fig. 4, el área superficial de la herramienta 16 interior de mandril en la Fig. 4 es mayor que  $2\pi * r * L$ .

Como se ilustra en la Fig. 5, los sellos 18, 20 de los extremos puede ser cualquier acople, sello, y/o sellante para los extremos configurado para proporcionar un sello hermético entre el aparato 12 de SMP y la herramienta 16 interior de mandril en o cerca de los extremos 32, 34 del aparato 12 de SMP. Por ejemplo, los sellos 18, 20 de los extremos pueden ser bloqueadores reductores de diámetro conformados y configurados para unirse con los extremos 32, 34 de la herramienta 16 interior de mandril sobre porciones del aparato 12 de SMP cerca de los extremos abiertos del aparato 12 de SMP, formando de esta manera un recipiente de presión dentro del aparato 12 de SMP. Debido a la naturaleza del material de SMP, se puede requerir calor para formar un sello adecuado entre los sellos 18, 20 de los extremos, el aparato 12 de SMP, y/o la herramienta 16 interior de mandril. En algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de los extremos pueden ser bloqueadores reductores de diámetro sustancialmente circulares. La presión de inflado puede ser introducida mediante el bombeo de gas comprimido en el aparato 12 de SMP por medio de una o más líneas de aire (no mostradas) alimentadas a través de los sellos 18, 20 de los extremos en algunas realizaciones de la invención. Sin embargo, la presión aplicada al aparato 12 de SMP puede ser proporcionada a través de cualquiera de las aberturas en los sellos 18, 20 de los extremos, la herramienta 16 interior de mandril, y/o la herramienta 28 externa

rígida sin apartarse del alcance de la invención. Obsérvese que en algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de los extremos pueden omitirse o más bien pueden estar configurados para sellar adicionalmente o alternativamente el aparato 12 de SMP a la herramienta 28 externa rígida.

5 La carcasa 22 falsa, como se ilustra en las Figs. 6b y 7, puede estar hecha de cualquier material y puede tener un espesor que corresponde a un espesor del material 14 compuesto no curado 4 para ser colocado sobre el aparato 12 de SMP. La carcasa 22 falsa puede estar hecha de formas de materiales compuestos, metales, plásticos no reforzados, o cualquier material que presente una buena estabilidad dimensional bajo calor y presión. Por ejemplo, la carcasa 22 falsa se puede formar de material compuesto, tal como una lámina de material compuesto epóxica reforzada con fibra de grafito. La carcasa 22 falsa está configurada para ser colocada dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se describe más adelante en el presente documento, durante la deformación del aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida. En algunas realizaciones de la invención, la carcasa 22 falsa también puede incluir o estar formada integralmente con los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos.

10 Los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, como se ilustra en las Figs. 6b y 7 pueden ser estructuras rígidas de tamaño y forma sustancialmente idéntica a los potenciadores de la rigidez 24 internos y dispuesto en la carcasa 22 falsa para representar los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o sin curar durante la deformación del aparato de SMP en la configuración de herramienta rígida. Los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos pueden alternativamente, ser de un tamaño y forma para representar tanto los potenciadores de la rigidez internos como los insertos 26 de refuerzo durante la deformación del aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida.

15 Los potenciadores de la rigidez 24 internos, como se ilustra en las Figs. 6a y 10b, pueden ser cualesquiera potenciadores de la rigidez sub-estructurales configurados para ser unidos entre sí y/o curados conjuntamente con el material 14 compuesto del fuselaje u otra pieza de material compuesto. Los potenciadores de la rigidez 24 internos pueden ser componentes estructurales alargados curvados para coincidir con un contorno de una superficie interna del fuselaje. Los potenciadores de la rigidez 24 internos pueden comprender material compuesto curado o material compuesto no curado en forma de piezas de estructura interna, tales como estructuras y largueros. Los potenciadores de la rigidez 24 internos se pueden mantener en una forma deseada durante el curado mediante los insertos 26 de refuerzo, como se describe aquí más adelante. Algunos ejemplos de potenciadores de la rigidez 24 internos incluyen, pero no se limitan a refuerzo trapezoidales en forma de sombrero, potenciadores de la rigidez en forma de campana, potenciadores de la rigidez invertidos con forma de sombrero, potenciadores de la rigidez tipo J, potenciadores de la rigidez tipo F, potenciadores de la rigidez de cuchilla, potenciadores de la rigidez tipo I, potenciadores de la rigidez tipo C, potenciadores de la rigidez centrales, un núcleo de panel en sándwich, núcleo de panel de abejas, y similares. En algunas realizaciones de la invención, los potenciadores de la rigidez 24 internos pueden incluir estructuras de aproximadamente 8 pulgadas de altura y largueros de aproximadamente 3 pulgadas de alto. Sin embargo, se puede utilizar cualquier dimensión utilizados sin apartarse del alcance de esta invención.

20 En algunas realizaciones de la invención, las estructuras pueden estar configuradas para intersectar con los largueros en una configuración en forma de rejilla dentro del fuselaje 15 terminado. Por ejemplo, los largueros pueden configurarse para superponerse a las estructuras y/o las estructuras pueden configurarse para superponerse a los largueros, como se ilustra en la Fig. 6a. La superposición de los potenciadores de la rigidez 24 internos se puede lograr mediante el dimensionamiento y la conformación de los potenciadores de la rigidez 24 internos para que encajen como piezas de un rompecabezas. Las mismas configuraciones también se pueden usar para los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, como se ilustra en las Figs. 6b, 7, 8, y 9.

25 Los insertos 26 de refuerzo, como se ilustra en la Fig. 7, pueden estar hechos de un material rígido, tal como una aleación de acero y níquel tal como INVAR, y puede ponerse en contacto con y/o acoplarse con las porciones de los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos que dan frente al aparato 12 de SMP. Los insertos 26 de refuerzo pueden estar configurados para aliviar las esquinas agudas y curvas de los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos para facilitar una mejor formación del aparato 12 de SMP. Específicamente, los insertos 26 de refuerzo puede estar configurado para acoplarse con o descansar dentro de uno o más ángulos presentados por uno o más de los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o potenciadores de la rigidez 23 internos falsos. Por ejemplo, si uno de los potenciadores de la rigidez 24 internos o potenciadores de la rigidez 23 internos falsos presenta un ángulo recto, uno de los insertos 26 de refuerzo puede tener dos superficies que se encuentran en un ángulo recto y configuran para acoplarse con el ángulo correcto de ese refuerzo 24 interno o refuerzo 23 interno falso. Los insertos 26 de refuerzo también pueden tener superficies enfrentadas lejos del refuerzo 24 interno o refuerzo 23 interno falso que son sustancialmente planos y/o presentan ángulos más graduales. Por ejemplo, uno o más de los insertos 24 de refuerzo pueden tener al menos una superficie biselada o en ángulo y/o bordes redondeados que pueden hacer contacto con el aparato 12 de SMP a medida que es empujado hacia afuera, hacia la herramienta 28 externa rígida, como se describe más adelante en este documento. El insertos 26 de refuerzo también puede estar curvado, en sentido longitudinal, para que coincida sustancialmente con una curva de los potenciadores de la rigidez 24 internos, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o la superficie interior de la herramienta 28 externa rígida.

Los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, junto con los insertos 26 de refuerzo pueden estar configurados para formar cavidades 40, tal como ranuras o canales, en el aparato 12 de SMP, como se ilustra en la Fig. 10 y se describe posteriormente en este documento. En algunas realizaciones de la invención, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos y/o los insertos 26 de refuerzo pueden estar configurados para formar las cavidades 40 en el aparato 12 de SMP, y pueden ser reemplazados después con los potenciadores de la rigidez 24 internos. Por ejemplo, una vez que el aparato 12 de SMP está en la configuración de herramienta rígida, la carcasa 22 falsa, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o los insertos 26 de refuerzo puede ser retirados de las cavidades 40 y se reemplazan con los potenciadores de la rigidez 24 internos no curados, configurados contra los insertos 26 de refuerzo, para ser curados conjuntamente dentro del fuselaje 15. Alternativamente, una vez que el aparato 12 de SMP está en la configuración de herramienta rígida, la carcasa 22 falsa, potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o insertos 26 de refuerzo pueden ser retirados de las cavidades 40 y reemplazados con potenciadores de la rigidez 24 internos previamente curados, configurados contra los insertos 26 de refuerzo para ser unidos entre sí con el fuselaje 15.

En un ejemplo de realización de la invención, como se ilustra en las Figs. 6a, 6b y 7, los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos puede comprender potenciadores de la rigidez 42 tipo J soportado en al menos dos lados por los insertos 26 de refuerzo correspondiente. Por otra parte, los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos en este ejemplo de realización pueden comprender estructuras 44 que tiene una sección transversal sustancialmente en forma de "T", con las estructuras 44 también soportadas cada una en al menos dos lados por los correspondiente insertos 26 de refuerzo. Como se ilustra en la Fig. 7, los insertos 26 de refuerzo y/o porciones de los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos puede ser mantenidos en su lugar y se mantienen juntos por medio de sujetadores 46 mecánicos, tales como correas de empalme y pernos. Sin embargo, los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos pueden tener cualquier configuración conocida y los insertos 26 de refuerzo puede ser de cualquier forma y configuración para acoplarse con los mismos.

La herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Fig. 8, puede ser una herramienta rígida que tiene una superficie interior configurada para tomar la forma de una superficie exterior del fuselaje 15. Por ejemplo, la herramienta 28 externa rígida puede ser una herramienta tipo concha de almeja, como se ilustra en la Fig. 2 o como se ilustra en la Fig. 8, y puede tener dos mitades, incluyendo una concha inferior y una concha superior. Juntas, las dos mitades pueden formar una forma cilíndrica hueca delimitada por la superficie interior de la herramienta 28 externa rígida. Sin embargo, la herramienta 28 externa rígida puede comprender cualquier pluralidad de porciones que, cuando se unen, pueden formar una superficie interior configurada para tomar la forma de la superficie exterior del fuselaje 15.

En general, un método de fabricación del fuselaje 15 puede incluir las etapas de formar el aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida con las cavidades 40 para los potenciadores de la rigidez 24 internos, la colocación de los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o sin curar e insertos 26 de refuerzo dentro de las cavidades 40 en el aparato 12 de SMP, colocando el material 14 compuesto no curado sobre el aparato 12 de SMP, colocando luego ese aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto no curado en la herramienta 28 externa rígida. El método puede incluir a continuación las etapas de curado del material 14 compuesto a través de presión y calor mientras que simultáneamente se infla o bien se expande el aparato 12 de SMP para comprimir el material 14 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida durante el proceso de curado, luego, una vez que el material 14 compuesto es curado, empujando el aparato 12 de SMP hasta una sección transversal reducida, y extraer el aparato 12 de SMP hacia fuera desde el interior del fuselaje resultante. Los potenciadores de la rigidez 24 internos son por lo tanto unidos entre sí y/o curados conjuntamente con el fuselaje de material compuesto, eliminando la necesidad de sujetadores mecánicos para unir los potenciadores de la rigidez 24 internos en el fuselaje. Los métodos aquí descritos para curar conjuntamente o unir entre sí los potenciadores de la rigidez 24 internos con el fuselaje se pueden usar también para curar conjuntamente o unir entre sí los potenciadores de la rigidez u otros componentes con cualquier pieza de material compuesto conocido en la técnica, tal como cualquiera de los diferentes materiales componentes para aeronaves enumerados en este documento.

El diagrama de flujo de la Fig. 14 representa las etapas de un método 1400 de ejemplo para formar el aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida utilizada para fabricar el fuselaje 15. En algunas implementaciones alternativas, las funciones anotadas en los diferentes bloques pueden presentarse fuera del orden representado en la Fig. 14. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión en la Fig. 14 pueden de hecho ser ejecutados sustancialmente al mismo tiempo, o los bloques pueden a veces ser ejecutados en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad en cuestión.

El método 1400 puede comprender las etapas de recibir el aparato 12 de SMP en estado inflado, como se ilustra en la Fig. 3, o recibir el aparato 12 de SMP en su forma de memoria y luego calentando e inflando el aparato 12 de SMP en su estado inflado, como se muestra en el bloque 1402. Esta expansión del aparato 12 de SMP también se puede realizar usando diversos otros activadores para cambiar el módulo del aparato 12 de SMP y/o varias otras fuerzas o técnicas para expandir el aparato 12 de SMP al tamaño deseado. El aparato 12 de SMP puede entonces ser lo suficientemente grande como para ser deslizado sobre la herramienta 16 interior de mandril. Alternativamente, el aparato 12 de SMP se puede moldear con una forma de memoria suficientemente grande como para encajar sobre la

herramienta 16 interior de mandril. La siguiente etapa del método 1400 puede ser deslizando la herramienta 16 interior de mandril en el aparato 12 de SMP o deslizando el aparato 12 de SMP sobre la herramienta 16 interior de mandril, como se representa en el bloque 1404. En aún otra realización alternativa de la invención, el aparato 12 de SMP puede ser recibido en un estado colapsado y puede ser ya conformado a la herramienta 16 interior de mandril de la Fig. 4.

5 Una vez que el aparato 12 de SMP se posiciona en la herramienta 16 interior de mandril, el método 1400 puede comprender calentar el aparato 12 de SMP por encima de  $T_g$  a la cual el material de SMP vuelve maleable y moldeable, tal como se representa en el bloque 1406. Por encima de la temperatura de umbral  $T_g$ , el aparato 12 de SMP puede naturalmente contraerse de nuevo hacia su forma de memoria original y el tamaño, haciendo que el aparato 12 de SMP se contraiga alrededor y forma de la herramienta 16 interior de mandril, como se ilustra en la Fig. 5. Adicional o  
10 alternativamente, se puede aplicar vacío desde dentro de la herramienta 16 interior de mandril, a través de las aberturas de inflación, y puede succionar el aparato de SMP calentada, maleable 12 en contra de la herramienta 16 interior de mandril. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 16 interior de mandril puede tener porciones 48 biseladas o en ángulo en cada uno de los extremos 32, 24 opuestos con los cuales el aparato 12 de SMP se puede conformar. Cualquier exceso de material que se extiende hacia fuera más allá de las porciones 48 biseladas o en  
15 ángulo puede requerir ser precipitado o cortado.

El método 1400 puede comprender además la etapa de la aplicación de los sellos de los extremos 18, 20 al aparato 12 de SMP y la herramienta 16 interior de mandril, como se representa en el bloque 1408, la creación de un recipiente a presión entre la herramienta 16 interior de mandril y el aparato 12 de SMP. Específicamente, a medida que el aparato 12 de SMP se contrae, se pueden comprimir porciones del extremo del aparato 12 de SMP hacia dentro, hacia la  
20 herramienta 16 interior de mandril y/o sus porciones 48 biseladas o en ángulo y se bloquea sobre la misma por los sellos 18, 20 de los extremos, tales como bloqueadores reductores de diámetro. En algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de los extremos pueden acoplarse con las porciones 48 biseladas o en ángulo de la herramienta 16 interior de mandril, intercalando partes del aparato 12 de SMP entre los sellos 18, 20 de los extremos y la herramienta 16 interior de mandril para formar un sello hermético. En algunas formas de realización alternativas de la invención, la etapa de aplicación de los sellos 18, 20 de los extremos se puede omitir o el aparato 12 de SMP se puede sellar de otras maneras o a otras superficies para permitir que un diferencial de presión actuar sobre el aparato 12 de  
25 SMP.

La siguiente etapa del método 1400 puede comprender la colocación de los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos y/o los insertos 26 de refuerzo sobre la carcasa 22 falsa en una configuración correspondiente con las ubicaciones deseadas de los potenciadores de la rigidez 24 internos, dentro del fuselaje, tal como se representa en el  
30 bloque 1410 y se ilustra en la Fig. 7. La carcasa 22 falsa, potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, y/o los insertos 26 de refuerzo puede estar cubiertos con una película de thiri o alguna otra sustancia para evitar que se peguen entre sí y/o al aparato 12 de SMP. El método 1400 puede entonces comprender la colocación de la carcasa 22 falsa en la herramienta 28 externa rígida, como se representa en el bloque 1412. Específicamente, la carcasa 22 falsa se puede aplicar a la superficie interior de la herramienta 28 externa rígida con el fin de imitar o servir como un marcador de posición para el espesor del material 14 compuesto que después se coloca en el aparato 12 de SMP. Esto asegura que el aparato 12 de SMP con el material 14 compuesto aplicado sobre el mismo en un espesor deseado aún se ajusta dentro de la herramienta 28 externa rígida.

Los insertos 26 de refuerzo se puede colocar sobre la carcasa 22 falsa que descansa sobre la herramienta 28 externa rígida junto con los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, que pueden conformarse y configurarse para emular el tamaño y la configuración de los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados. Los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos más tarde pueden ser removidos de las cavidades 40 y reemplazados con los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados. Los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados junto con los insertos 26 de refuerzo pueden entonces ser colocados en las ranuras o cavidades 40 para unirse entre sí o curar conjuntamente los potenciadores de la rigidez 24 internos con el material 14 compuesto para fabricación del fuselaje 15.  
40  
45

Como se señaló anteriormente, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos se pueden omitir y/o reemplazar con los potenciadores de la rigidez 24 internos en cualquiera de los pasos descritos en este documento en un estado no curado o curado. Por ejemplo, los potenciadores de la rigidez 24 internos y/o los insertos de refuerzo pueden ser utilizados para formar las cavidades 40. En una forma de realización de la invención, los potenciadores de la rigidez 24 internos pueden ser pre-curados y/o curarse durante la conformación del aparato 12 de SMP y más tarde pueden unirse entre sí con el material 14 compuesto durante su curado, fabricando así el fuselaje 15.  
50

El método 1400 puede comprender además las etapas de colocar el aparato 12 de SMP, junto con la herramienta 16 interior de mandril, dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se representa en el bloque 1414 y se ilustra en la Fig. 8 y, luego, calentar y presurizar el aparato 12 de SMP, como se representa en el bloque 1416. El calor y la presión pueden forzar al aparato 12 de SMP para inflar y presionar contra la carcasa 22 falsa, potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, potenciadores de la rigidez 24 internos, y/o insertos 26 de refuerzo. Como se mencionó anteriormente, el aparato 12 de SMP puede calentarse a o por encima de  $T_g$  con el fin de cambiar el módulo del aparato 12 de SMP para poder darle forma y poderlo expandir. Sin embargo, otros métodos también se pueden utilizar para cambiar el  
55

módulo del aparato 12 de SMP, como se describe en el presente documento. Por otra parte, en formas de realización alternativas de la invención, las etapas del método 1410 - 1414 se pueden reemplazar con una etapa de colocar el aparato 12 de SMP en el interior de cualquier molde exterior rígido conformado y configurado para imitar una superficie interior de la pieza de material compuesto que se está formando y que comprende salientes para formar las cavidades 40 deseadas en el aparato 12 de SMP.

La presión o diferencial de presión pueden ser inducidas en una cantidad de formas, tales como a través de un gas comprimido forzado aplicado a través de las aberturas 36 de inflado de la herramienta 16 interior de mandril, como se ilustra en la Fig. 4. Por ejemplo, la presión requerida para expandir el aparato 12 de SMP puede depender del espesor y/o el tamaño total del aparato 12 de SMP. Además, el tipo de material de SMP utilizado y/o el diseño del aparato 12 de SMP también puede afectar qué tan fácil o qué tan difícil es tensar el aparato 12 de SMP. En algunas realizaciones de la invención, puede aplicarse presión en un intervalo de 1-150 libra fuerza por pulgada cuadrada manométrica (psi) o la presión en un intervalo más estrecho de 30-90 psig para inflar el aparato 12 de SMP. Por ejemplo, pueden aplicarse aproximadamente 45 psig dentro del aparato 12 de SMP para inflar el aparato 12 de SMP. Además, en cualquiera de las etapas del método descrito en este documento, en donde el aparato 12 de SMP se calienta y presuriza, se puede inducir un diferencial de presión bajo a medida que el calor aumenta hasta o por encima de  $T_g$  para evitar que el aparato 12 de SMP colapse fuera del material 14 compuesto, ya que comienza a reblandecerse. Luego, en algún momento después de que el aparato 12 de SMP excede la  $T_g$ , se puede escalonar hasta la cantidad deseada total. Por ejemplo, se puede aplicar una baja presión de aproximadamente 5 a 10 psi (0,34-0,69 Bar) dentro del aparato 12 de SMP hasta que se ha aplicado suficiente calor para volver al aparato 12 de SMP suficientemente maleable, en cuyo punto la presión aplicada allí puede escalonarse hasta la presión del ciclo de curado, tal como 30-90 psi (2,07-6,20 bar).

A continuación, el método 1400 puede comprender el enfriamiento del aparato 12 de SMP para endurecerlo en la configuración de herramienta rígida, como se representa en el bloque 1418. La presión de inflado puede continuar aplicándose a medida que la temperatura del aparato 12 de SMP se enfría hasta un punto por debajo  $T_g$  de tal manera que el aparato de SMP se endurece en su configuración de herramienta rígida inflada. El aparato 12 de SMP se configura por lo tanto de acuerdo con la carcasa 22 falsa, los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, los potenciadores de la rigidez 24 internos, y/o los insertos 26 de refuerzo, que forman las cavidades 40, cavidades, o ranuras en el aparato 12 de SMP. Como se representa en el bloque 1420, el método 1400 puede comprender entonces remover el aparato 12 de SMP y la herramienta 16 interior de mandril desde la herramienta 28 externa rígida. La carcasa 22 falsa también puede ser removida del aparato 12 de SMP, como se ilustra en la Fig. 9. La Fig. 10a ilustra además el aparato 12 de SMP resultante en la configuración de herramienta rígida después de que se remueven los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos, revelando de esta forma las cavidades 40 formadas por el método de 1400. La Fig. 10b ilustra el aparato 12 de SMP resultante en la configuración de herramienta rígida con los potenciadores de la rigidez 24 internos colocados en donde los potenciadores de la rigidez 23 internos falsos se localizan en la Fig. 9.

El diagrama de flujo de la Fig. 15 representa las etapas de un ejemplo de un método 1500 para la fabricación del fuselaje 15 usando el aparato 12 de SMP con más detalle. En algunas realizaciones alternativas, las funciones observadas en los diversos bloques pueden producirse en el orden representado en la Fig. 15. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión en la Fig. 15 en realidad pueden ser ejecutados sustancialmente al mismo tiempo, o los bloques pueden algunas veces ser ejecutados en orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada.

Como se ilustra en la Fig. 15, el método 1500 puede incluir primero la etapa de formar el aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida, como se representa en el bloque 1502 y en las etapas del método de la Fig. 14. Como se señaló anteriormente, esta etapa puede requerir la formación de las cavidades 40 en el aparato 12 de SMP en una configuración correspondiente con las ubicaciones deseadas de los potenciadores de la rigidez 24 internos dentro del fuselaje 15 terminado. Se pueden utilizar una variedad de métodos para darle forma al aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida deseada con las cavidades 40, cavidades, o ranuras formadas allí.

Una vez que el aparato 12 de SMP se forma en la configuración de herramienta rígida, el método 1500 de fabricación del fuselaje 15 puede incluir la etapa de colocar los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados y los insertos 26 de refuerzo en las cavidades en el aparato 12 de SMP, como se representa en el bloque 1504 y se ilustra en la Fig. 10b. Sin embargo, en algunas realizaciones de la invención, si los potenciadores de la rigidez 24 internos ya estaban posicionados en o entre los insertos 26 de refuerzo durante el calentamiento y la formación del aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida, entonces, los potenciadores de la rigidez 24 internos y los insertos 26 de refuerzo puede permanecer dentro de las cavidades 40 resultantes, las cavidades, o las ranuras que ellos crearon en el aparato 12 de SMP, y la etapa 1504 puede ser omitida.

En algunas realizaciones de la invención, los potenciadores de la rigidez 24 internos puede ser material no curado aplicado a y/o envuelto alrededor de uno o más aparatos de refuerzo de SMP de, elaborados de material de SMP como se describió anteriormente para el aparato 12 de SMP. De esta forma, tanto los potenciadores de la rigidez 24 internos como la pieza de material compuesto o el fuselaje 15 pueden ser curados conjuntamente usando material de SMP. Sin embargo, el material de SMP usado para los aparatos de refuerzo de SMP puede tener un diferente activador y/o una  $T_g$  que el aparato 12 de SMP diferente utilizado para formar el fuselaje 15. De esta manera, ya sea los aparatos de

refuerzo de SMP o el aparato 12 de SMP para el fuselaje 15 puede permanecer rígidos durante el curado conjunto mientras que los otros aparatos de refuerzo de SMP y el aparato 12 de SMP se utiliza como una cámara de aire interna durante el curado conjunto.

5 El método 1500 puede comprender luego una etapa de aplicar una porción del material 14 compuesto no curado sobre el aparato 12 de SMP, como se representa en el bloque 1506 y se ilustra en la Fig. 11. Específicamente, el material 14 compuesto se puede aplicar tanto sobre el aparato 12 de SMP como sobre los potenciadores de la rigidez 24 internos que descansan en las cavidades 40, de manera que al menos una parte de los potenciadores de la rigidez 24 internos hacen contacto y pueden curar conjuntamente o unirse entre sí con el material 14 compuesto del fuselaje 15, como se describe más adelante en este documento. El material 14 compuesto no curado puede ser colocado sobre el aparato 12 de SMP usando cualquier método conocido en la técnica, tal como la colocación automatizada de la tela, la colocación automatizada de la fibra, el devanado automatizado del filamento, y/o el moldeo manual de materiales compuestos. Como se mencionó anteriormente, el material 14 compuesto puede comprender o estar en la forma de resina de baja temperatura, resina de alta temperatura, resina endurecida, material preimpregnado, fibra procesada en húmedo, fibra seca, fibra continua, fibra discontinua, fibras picada, vidrio, kevlar, carbono, y/o núcleo. En algunas realizaciones de la invención, una agente de barrera y/o de liberación puede ser colocado entre el aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto, de tal manera que pueden ser más fácilmente separados después del curado del material 14 compuesto. El agente de barrera o de liberación puede ser una película, un plástico, etc. El agente de barrera o de liberación también puede, por ejemplo, tener un lado que puede ser unido y un lado que puede ser liberado.

20 El método 1500 de fabricación del fuselaje 15 puede entonces comprender la colocación del aparato 12 de SMP y el material 14 compuesto no curado en la herramienta 28 externa rígida, como se representa en el bloque 1508. A continuación, el método puede incluir las etapas de curado del material 14 compuesto a través de presión y calor, como se representa en el bloque 1510, mientras que simultáneamente se infla el aparato 12 de SMP para comprimir el material 14 compuesto durante el proceso de curado, como se representa en 1512. En algunas realizaciones de la invención, la presión de inflado puede ser suministrada a través de la herramienta 16 interior de mandril y el calor pueden ser elevado hasta una temperatura de curado del material compuesto por encima de  $T_g$ . El inflado del aparato 12 de SMP puede comprimir al material 14 compuesto durante el ciclo de curado, y comprimir los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados entre el aparato 12 de SMP y la herramienta 28 externa rígida. Adicional o alternativamente, el inflado del aparato 12 de SMP puede aplicar presión directamente a uno o más de los insertos 26 de manera que los insertos 26 de refuerzo aplican una fuerza de compresión directamente a las porciones de los potenciadores de la rigidez 24 internos posicionados entre los insertos 26 de refuerzo. El inflado del aparato 12 de SMP también puede comprimir a los potenciadores de la rigidez 24 internos curados o no curados dentro del material 14 compuesto del fuselaje, uniendo entre sí o curando conjuntamente por lo tanto a los potenciadores de la rigidez 24 internos con el fuselaje.

35 En otra realización de la invención, se puede formar un sello entre la herramienta 28 externa rígida y el aparato 12 de SMP utilizando cierres mecánicos, adhesivos, o cualquier método conocido para sellar las partes periféricas del aparato 12 de SMP a la herramienta 28 externa rígida. La herramienta 28 externa rígida puede ser purgada para mejorar adicionalmente la presión diferencial creada por el autoclave durante el curado del material 14 compuesto. Esto puede eliminar la necesidad de un sello hermético con la herramienta 16 interior de mandril. Obsérvese que se pueden usar otros métodos de compresión del aparato 12 de SMP contra el material 14 compuesto sin apartarse del alcance de la invención. Además, el calor y el diferencial descritos aquí puede ser proporcionados por el autoclave (no mostrado) o cualquier otra combinación de técnicas de calentamiento y presión conocidas para la fabricación de piezas de material compuesto.

45 Una vez que el material 14 compuesto es curado, el método 1500 puede comprender la eliminación de la presión de inflado dentro del aparato 12 de SMP, como se representa en el bloque 1514, y se extraer el aparato 12 de SMP hacia fuera desde el interior del fuselaje resultante, como se representa en el bloque 1516. El aparato 12 de SMP puede contraerse alrededor de la herramienta 16 interior de mandril una vez que se elimina la presión, mientras que el calor permanece por encima de  $T_g$ . Por ejemplo, se puede aplicar vacío dentro de la herramienta 16 interior de mandril para succionar el aparato 12 de SMP hacia atrás contra la herramienta 16 interior de mandril. Como se ilustra en la Fig. 12, el aparato 12 de SMP es por lo tanto retirado fuera del material 14 compuesto curado. Por lo tanto, la extracción de la herramienta 16 interior de mandril desde el interior del fuselaje curado y los potenciadores de la rigidez 24 internos resulta en la extracción del aparato 12 de SMP que se contrae contra la herramienta 16 interior de mandril después de que se retira la presión de inflado.

55 Finalmente, el método 1500 puede comprender las etapas de remoción de los insertos 26 de refuerzo de los potenciadores de la rigidez 24 internos curados, como se representa en el bloque 1518, y la extracción del fuselaje de la herramienta 28 externa rígida, como se representa en el bloque 1520. Por ejemplo, porciones de la herramienta 28 externa rígida pueden ser mecánicamente desconectadas una de la otra, lo que permite que el fuselaje 15 y sus potenciadores de la rigidez 24 internos integrados sean levantados de la herramienta 28 externa rígida.

En una realización alternativa de la invención, el aparato 12 de SMP puede permanecer rígido durante el curado. Por ejemplo, una vez que el material 14 compuesto no curado es aplicado sobre el aparato 12 de SMP, pueden ser ambos

embolsados al vacío o sellados dentro de un material impermeable flexible (no mostrados) y curados. En esta realización alternativa, la temperatura de curado del material 14 compuesto puede ser menor que la temperatura  $T_g$  a la cual el aparato 12 de SMP comienza a ser maleable, de manera que el aparato 12 de SMP permanece rígido a través del ciclo de curado. De modo que, en vez del uso del aparato 12 de SMP como una cámara de aire durante el curado, el aparato 12 de SMP puede permanecer rígido durante el curado, con fuerza de compresión de la bolsa de vacío o material impermeable que se utiliza para curar conjuntamente o unirse entre sí el material 14 compuesto del fuselaje y los potenciadores de la rigidez 24 internos. Después, una vez que el material 14 compuesto es curado, la bolsa de vacío puede ser retirada de los alrededores del fuselaje resultante, y la temperatura del aparato 12 de SMP pueden elevarse por encima de  $T_g$  que el aparato 12 de SMP puede ser maleable y/o contraído hacia su forma de memoria para ser removido del interior del fuselaje.

Fabricación de potenciadores de la rigidez con el aparato de SMP

Otra realización de la invención, como se ilustra mejor en las Figs. 16-17, es un método de fabricación de un refuerzo 50, tal como los potenciadores de la rigidez 24 internos, descritos anteriormente, una estructura, y/o un larguero. En esta realización de la invención, el método puede ser implementado utilizando el aparato 12 de SMP, una herramienta 52 de moldeo rígido, y una lámina impermeable de material 54 tal como una bolsa de vacío para fabricar el refuerzo, como se ilustra en la Fig. 16.

El aparato 12 de SMP ilustrado en la Fig. 16 pueden tener los mismos rasgos y características que el aparato 12 de SMP descrito para la realización de la invención ilustrada en las Figs. 1-2. Además, el aparato 12 de SMP puede ser conformado en una configuración de herramienta rígida deseada usando cualquier método deseado, tal como las técnicas descritas anteriormente. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 de SMP puede ser moldeado con una forma de memoria sustancialmente correspondiente a una forma o contorno deseado de al menos una superficie del refuerzo 50 resultante. Por ejemplo, si el refuerzo 50 que va a ser fabricado es un larguero con una sección transversal trapezoidal, entonces el aparato 12 de SMP puede ser moldeado con una forma de memoria que tiene una sección transversal sustancialmente trapezoidal. Alternativamente, el aparato 12 de SMP puede ser moldeado en cualquier forma alargada y puede después ser insertado en un molde hueco, calentado, inflado allí, luego enfriado y endurecido en la forma proporcionada por el molde hueco.

La herramienta 52 de moldeo rígido puede ser similar o idéntica en funcionalidad y diseño a la herramienta 28 externa rígida descrito anteriormente y puede ser elaborada de cualquier material capaz de permanecer rígido durante el curado del material 14 compuesto, tal como el acero. Alternativamente, la herramienta 52 de moldeo rígido puede ser elaborada de un material de SMP configurado para permanecer rígido durante el curado del material 14 compuesto. Por ejemplo, la herramienta 52 de moldeo rígido podría ser el aparato 12 de SMP ilustrado en la Fig. 10a y la  $T_g$  del aparato 12 de SMP ilustrado en la Fig. 16 puede diferir de la  $T_g$  de la herramienta 52 de moldeo rígido en esta forma de realización alternativa de la invención. La herramienta 52 de moldeo rígido puede ser configurada para formar al menos una superficie exterior deseada del refuerzo. Por ejemplo, la herramienta 52 de moldeo rígido puede comprender una cavidad 56 formada allí en la cual se puede colocar el material 14 compuesto no curado, formando al menos una pared del refuerzo 50. Como se ilustra en la Fig. 16, la cavidad 56 puede ser un canal con un fondo y dos paredes laterales que se extienden en ángulos diferentes a  $90^\circ$  desde el fondo.

La lámina impermeable de material 54 puede ser una bolsa de vacío o cualquier otro material impermeable flexible, que puede ser sellado a la herramienta 52 de moldeo rígido y/o el aparato 12 de SMP. Por ejemplo, la lámina impermeable de material 54 puede ser colocada sobre el material 14 compuesto y sellada a la herramienta 52 de moldeo rígido, creando un sello sustancialmente hermético entre la lámina impermeable de material 54 y la herramienta 52 de moldeo rígido. La lámina impermeable de material 54 puede comprender también un puerto de vacío (no mostrado) que se extiende a través suyo para permitir la evacuación y purga del aire. Cuando se remueve el aire de la herramienta 52 de moldeo rígido y la lámina impermeable de material 54, la lámina impermeable de material 54 puede comprimir al material 14 compuesto entre ellos. Adicional o alternativamente, el aparato 12 de SMP puede ser presurizado por autoclave y/o gas comprimido, inflando así el aparato 12 de SMP hacia la herramienta 52 de moldeo rígido y la lámina impermeable de material 54. Además, se puede colocar una lámina de prensado (no mostrada) entre la lámina impermeable de material 54 y el material 14 compuesto para controlar mejor el terminado del contorno y la superficie del material 14 compuesto. Otras técnicas de embolsado del material compuesto conocidas en la técnica se pueden usar aquí también sin apartarse del alcance de la invención.

En una realización alternativa de la invención, la lámina impermeable de material 54 puede ser reemplazada con una lámina permeable de material que puede ser colocada sobre el material 14 compuesto y el aparato 12 de SMP. En esta realización de la invención, la lámina permeable de material puede ser físicamente presionada hacia el material 14 compuesto mientras la presión del aparato 12 de SMP durante el curado comprime al material 14 compuesto. En aún otra realización alternativa de la invención, la lámina impermeable de material 54 puede ser reemplazada con una herramienta de recubrimiento rígido que puede ser permeable o impermeable y puede ser sujeta, presionada hacia, o mecánicamente fijada a la herramienta 52 de moldeo rígido y sobre el material 14 compuesto.

El diagrama de flujo de la Fig. 17 representa las etapas de un ejemplo del método 1700 para la fabricación de un refuerzo de material compuesto usando el aparato 12 de SMP. En algunas implementaciones alternativas, las funciones anotadas en los diferentes bloques pueden ocurrir fuera del orden representado en la Fig. 17. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión en la Fig. 17 pueden en realidad ser ejecutados sustancialmente al mismo tiempo, o el bloque puede algunas veces ser ejecutado en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada.

El método 1700 de fabricación del refuerzo 50 usando el aparato 12 de SMP puede comprender las etapas de formación del aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida, como se representa en el bloque 1702, y luego aplicar al menos una porción del aparato 12 de SMP con el material 14 compuesto, como se representa en el bloque 1704. En algunas realizaciones de la invención, la configuración de la herramienta rígida del aparato 12 de SMP puede corresponder con una forma y/o ángulo interno del refuerzo 50 que se forma luego. En otras realizaciones de esta invención, el material 14 puede ser colocado sobre o envuelto sobre el aparato 12 de SMP primero, y luego el aparato 12 de SMP puede ser formado en la configuración de herramienta rígida, utilizando cualesquiera técnicas de moldeo descrita aquí o conocida en la técnica.

Entonces, el método 1700 puede comprender la colocación del aparato 12 de SMP aplicado con el material 14 compuesto en la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se representa en el bloque 1706. Alternativamente, el material 14 compuesto puede ser colocado en la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido y luego el aparato 12 de SMP en la configuración de herramienta rígida puede ser colocado en la parte superior del material 14 compuesto dentro de la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido.

Sin embargo, se pueden emplear una cantidad de técnicas para colocar el material 14 compuesto en contacto con el aparato 12 de SMP, y colocarlos ambos en la cavidad de la herramienta 52 de moldeo rígido, sin apartarse del alcance de esta invención. Además, en algunas realizaciones de la invención, más de un aparato de SMP puede ser utilizado para fabricar el refuerzo 50. Por ejemplo, como se ilustra en la Fig. 16, dos aparatos 58, 60 de SMP, que tiene las propiedades del aparato 12 de SMP, como se describió anteriormente, se forman o moldean para soportar las superficies opuestas del material 14 compuesto para fabricar el refuerzo 50 en una configuración de refuerzo tipo J. Específicamente, el refuerzo 50 puede ser un refuerzo alargado que tiene una sección transversal con forma sustancialmente de J. El material 14 compuesto puede estar colocado entre los dos aparatos 58, 60 de SMP y la herramienta 52 de moldeo rígido como se ilustra en la Fig. 16 usando moldeo manual de materiales compuestos o cualesquiera otros métodos conocidos en la técnica. Luego, se puede colocar un laminado 62 de la carcasa sobre los dos aparatos 58, 60 de SMP, poniendo en contacto un extremo superior del material 14 compuesto fabricando de la sección transversal con forma de J del refuerzo 50. En esta forma de realización de la invención, el laminado 62 de la carcasa y el material 14 compuesto pueden ser unidos entre sí, como se describe más adelante en este documento.

Por lo tanto, en general, el método 1700 puede comprender la etapa de colocar otra capa de material compuesto o el laminado 62 de la carcasa sobre el aparato 12 de SMP, poniendo en contacto al menos una porción del material 14 compuesto que descansa dentro de la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se representa en el bloque 1708. A continuación, el método puede comprender la colocación de la lámina impermeable de material 54 sobre el material 14 compuesto y/o la lámina 62 de la carcasa, como se representa en el bloque 1710, y sellar la lámina impermeable de material 54 a la herramienta 52 de moldeo rígido, como se representa en el bloque 1712, formando de ese modo un límite hermético alrededor del material 14 compuesto. El límite hermético también puede ser formado sobre y/o contra el aparato 12 de SMP, mientras deja al menos una abertura de purga (no mostrada) para el aparato 12 de SMP, de tal manera que el espacio entre el aparato 12 de SMP permanece expuesto a la atmósfera exterior del límite hermético.

A continuación, el método 1700 puede comprender una etapa de inducir un diferencial de presión para empujar la lámina impermeable de material 54 hacia la herramienta 52 de moldeo rígido, como se representa en el bloque 1714. Por ejemplo, esta etapa puede involucrar la remoción de aire entre la lámina impermeable del material 54 y la herramienta 52 de moldeo rígido, tal como por medio de vacío, lo cual puede presionar la lámina impermeable de material 54 hacia o contra el material 14 compuesto y/o la lámina 62 de la carcasa. Después o simultáneamente con la etapa representada en el bloque 1714, el método 1700 puede comprender la etapa de calentamiento del material 14 compuesto y el aparato 12 de SMP a una temperatura para curado del material 14 compuesto, como se representa en el bloque 1716. Las temperaturas de curado del material compuesto pueden ser mayor que la  $T_g$ , de manera que el aparato 12 de SMP pueda volverse maleable y pueda empujar o inflar hacia el exterior, presionando contra el material 14 compuesto. El aparato 12 de SMP, puede por lo tanto comportarse en forma similar a una bolsa de vacío interno. Adicional o alternativamente, se puede introducir una presión de gas o aire en el aparato de SMP para provocar o ayudar a inflarlo hacia afuera para comprimir el material 14 compuesto.

En algunas realizaciones alternativas de la invención, al menos uno de los aparatos de 58, 60 de SMP pueden ser reemplazados con una herramienta rígida de la misma forma. En otras realizaciones alternativas de la invención, ambos aparatos 58, 60 de SMP puede ser reemplazado con herramientas rígidas de la misma forma y la herramienta 52 de moldeo rígido puede ser reemplazada por el aparato 12 de SMP de la Fig. 10a. En general, cualquier combinación de aparatos de SMP y de herramientas de moldeo rígido puede ser utilizada para formar las piezas de material compuesto descritas y representadas en este documento.



Una vez el material 14 compuesto es curado, el método puede comprender las etapas de remover la lámina impermeable de material 54 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se representa en el bloque 1718. En algunas realizaciones de la invención, el método 1700 puede comprender también continuar calentando o aplicando nuevamente calor al aparato 12 de SMP, como se representa en el bloque 1720, de tal manera que el aparato 12 de SMP puede contraerse o empujado fuera del refuerzo 50 curado. Si se introduce una presión de gas o de aire para ayudar a inflar el aparato 12 de SMP, esta presión puede también ser eliminada. El aparato 12 de SMP puede contraerse naturalmente nuevamente hacia su forma de memoria original, permaneciendo blando y maleable hasta que es enfriado. Por lo tanto, el método 1700 puede incluir una etapa de remoción del aparato 12 de SMP del material 14 compuesto curado o refuerzo 50 mientras está en su estado blando, maleable, como se representa en el bloque 1722. Alternativamente, el aparato 12 de SMP puede ser contraído o empujado fuera del refuerzo 50 curado, mientras está en su estado maleable, pero luego enfriado y endurecido antes de ser removido del interior del refuerzo 50 curado.

Téngase en cuenta que, una vez removido del refuerzo 50 curado, el aparato 12 de SMP puede ser luego reconfigurado en cualquier configuración de herramienta rígida deseada dentro de las limitaciones de tensión del aparato 12 de SMP y reutilizado para elaborar otro refuerzo. En general, el aparato 12 de SMP puede ser reconfigurado y reutilizado. Por el contrario, las bolsas interiores de mandril conocidos en la técnica no pueden ser reutilizados o no ofrecen la durabilidad deseada y son más propensas a fallar. Las bolsas interiores de mandril tampoco tienen la rigidez necesaria para ser utilizadas como herramienta de moldeo de materiales compuestos para la aplicación del material 14 compuesto a las mismas. Específicamente, otros tipos de mandriles utilizados en aplicaciones tradicionales de para la formación de refuerzo a menudo requieren ser cortados o lavados fuera del refuerzo curado y por tanto tampoco son reutilizables. Ventajosamente, el aparato 12 de SMP puede ser utilizado tanto como herramienta rígida de moldeo de materiales compuestos para moldear el material compuesto y como una bolsa interna o cámara de aire durante el curado del material 14 compuesto, y pueden ser luego removidos y reutilizados para ciclos múltiples.

Aunque la invención ha sido descrita con referencia a la realización preferida ilustrada en las figuras de los dibujos anexos, se observa que se pueden emplear equivalentes y sustituciones elaboradas aquí sin apartarse del alcance de la invención como se expone en las reivindicaciones. Por ejemplo, cualquier ejemplo de una fuerza de vacío o de inflado que se aplica hacia afuera o hacia adentro del aparato 12 de SMP, como se describe en el presente documento, es simplemente un ejemplo y puede ser reemplazado por cualquiera de las técnicas conocidas en la técnica para la creación de un diferencial de presión capaz de empujar al aparato 12 de SMP hacia un molde deseado y/o material 12 compuesto. Adicionalmente, aunque se han descrito diversas formas, configuraciones, y conjunto de herramientas conforma un aparato 12 de SMP en una configuración de herramienta rígida deseada, obsérvese que cualquier molde o combinación de moldes y de conjuntos de herramientas puede ser utilizado para definir una forma del aparato 12 de SMP usando una o más de las etapas del método descrito en este documento.

Además, aunque las figuras y ejemplos de realizaciones proporcionados en este documento describen la fabricación de piezas de material compuesto para aeronaves, las herramientas de conformación y métodos descritos aquí pueden ser utilizados para fabricar piezas de material compuesto para automóviles, barcos, artículos deportivos, y similares sin apartarse del alcance de la invención.

Los siguientes párrafos numerados definen formas de realización particulares de la presente invención:

1. Un método de fabricación de una pieza de material compuesto con potenciadores de la rigidez integrados, comprendiendo el método:

la activación de un aparato de polímero de memoria de forma (SMP) hasta un estado maleable;

dar forma a un aparato de SMP en el estado maleable que corresponde con una configuración deseada de una primera superficie de la pieza de material compuesto a ser fabricado, incluyendo una o más cavidades configuradas para la colocación de potenciadores de la rigidez de la misma;

la activación del aparato de SMP hasta un estado rígido;

la colocación de los potenciadores de la rigidez en las cavidades;

la aplicación del material compuesto sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez que descansan dentro de las cavidades; y

curar conjuntamente o unir entre sí los potenciadores de la rigidez con el material compuesto sobre el aparato de SMP a través de presión y calor para fabricar la pieza de material compuesto.

2. El método del párrafo 1, en donde los potenciadores de la rigidez son potenciadores de la rigidez internos.

3. El método del párrafo 1, en donde los potenciadores de la rigidez incluyen al menos uno entre estructuras, largueros, núcleo y capas adicionales de material compuesto.
- 5 4. El método del párrafo 1, en donde la pieza de material compuesto es un fuselaje de monolítico para una aeronave, un ala, una góndola, un panel de aeronave, un conducto de aeronave, soportes estructurales de aeronaves, un componente de aeronave elaborados a partir de laminados sólidos, laminados reforzados integralmente, o una estructura central tipo sándwich reforzada, o potenciadores de la rigidez internos para un elemento de aeronave.
5. El método del párrafo 1, en donde el curado conjunto o la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez con el material compuesto comprende:
- calentar el material compuesto a una temperatura de curado del material compuesto;
- 10 activar un cambio en el módulo del aparato de SMP del estado rígido al estado maleable; y
- inducir un diferencial de presión suficiente para conducir el aparato de SMP, en el estado maleable, hacia una superficie de moldeo correspondiente a una configuración deseada de una segunda superficie de la pieza de material compuesto, que comprime por lo tanto al material compuesto contra la superficie de moldeo durante el curado y comprime los potenciadores de la rigidez en el material compuesto durante el curado, curando conjuntamente o uniendo entre sí los
- 15 potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto.
6. El método del párrafo 1, en donde el curado conjunto o la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez con el material compuesto comprende:
- el sellado de una lámina impermeable de material alrededor del material compuesto;
- 20 comprimir la lámina impermeable de material contra el material compuesto mediante la inducción de un diferencial de presión hacia fuera y/o hacia dentro de la lámina impermeable de material; y
- el calentamiento del material compuesto hasta una temperatura de curado del material compuesto.
7. El método del párrafo 6, que comprende además colocar una lámina de prensado sobre el material compuesto antes de la etapa de sellado de la lámina impermeable de material alrededor del material compuesto.
- 25 8. El método del párrafo 1, en donde los potenciadores de la rigidez son curados previamente antes de la colocación en las cavidades.
9. El método del párrafo 1, en donde los potenciadores de la rigidez no son curados antes de la colocación en las cavidades.
10. El método del párrafo 9, en donde los potenciadores de la rigidez son material compuesto no curado colocado en o envuelto alrededor de los insertos de refuerzo compuestos de polímero de memoria de forma (SMP).
- 30 11. El método del párrafo 10, en donde el aparato de SMP se activa al estado maleable, mientras que los insertos de refuerzo permanecen rígidos durante el curado conjunto o la unión entre sí.
12. El método del párrafo 10, en donde los insertos de refuerzo se configuran para volverse maleable durante el curado conjunto o la unión entre sí mientras el aparato de SMP permanece en el estado rígido.
13. El método del párrafo 5, que comprende además:
- 35 igualar el diferencial de presión inducido después de que el material compuesto es curado o inducir un diferencial de presión suficiente para empujar al aparato de SMP fuera del material compuesto curado; y
- retirar el aparato de SMP del interior de la pieza de material compuesto.
- 40 14. El método del párrafo 5, en donde el aparato de SMP está configurado para comenzar a cambiar hasta el estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura  $T_g$ , en donde la temperatura de curado del material compuesto es igual a o superior a  $T_g$ , de tal manera que el calentamiento del material compuesto a la temperatura de curado del material compuesto calienta y activa simultáneamente un cambio en el módulo del aparato de SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable.

15. El método del párrafo 14, en donde la formación del aparato de SMP para que corresponda con la primera superficie de la pieza de material compuesto que se va a formar sobre el mismo comprende:

colocar el aparato de SMP sobre una herramienta interior de mandril;

sellar los extremos del aparato de SMP a la herramienta interior de mandril;

5 colocar el aparato de SMP y la herramienta interior de mandril en un molde exterior;

calentar el aparato de SMP por encima de  $T_g$  e inflar el aparato de SMP hacia el molde exterior;

enfriar el aparato de SMP por debajo de  $T_g$ ; y

remover el aparato de SMP en su estado rígido de la herramienta exterior de mandril.

10 16. El método del párrafo 1, que comprende además colocar insertos de refuerzo rígido en las cavidades entre el aparato de SMP y los potenciadores de la rigidez, en donde a las cavidades se les da el tamaño y la forma para permitir que tanto los insertos de refuerzo rígido como los potenciadores de la rigidez internos descansen allí.

17. Un método de fabricación de una pieza de material compuesto, comprendiendo el método:

15 formar un aparato de polímero de memoria de forma (SMP) para que corresponda con una primera superficie de la pieza de material compuesto que se va a forma luego, que incluye uno o más canales o cavidades configurados para la colocación allí de los potenciadores de la rigidez internos;

colocar los potenciadores de la rigidez internos dentro de los canales o cavidades del aparato de SMP;

aplicar el material compuesto sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez internos mientras que el aparato de SMP está en un estado rígido;

el calentamiento del material compuesto a una temperatura de curado del material compuesto;

20 activar un cambio en el módulo del aparato de SMP del estado rígido a un estado maleable; y

25 inducir un diferencial de presión suficiente para conducir el aparato de SMP, en el estado maleable, hacia una superficie del molde correspondiente a una forma deseada de una segunda superficie de la pieza de material compuesto, comprimiendo por lo tanto al material compuesto contra la superficie del molde durante el curado compresión de los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto durante el curado, curando conjuntamente así o uniendo entre sí los potenciadores de la rigidez internos en el material compuesto.

18. El método del párrafo 17, donde los potenciadores de la rigidez internos son al menos uno de estructuras, largueros, núcleo y capas adicionales del material compuesto.

19. El método del párrafo 17, en donde los potenciadores de la rigidez internos son curados previamente antes de la colocación en los canales o cavidades.

30 20. El método del párrafo 17, en donde los potenciadores de la rigidez internos no son curados antes de la colocación en los canales o cavidades.

21. El método del párrafo 17, que comprende además:

igualar el diferencial de presión inducido después de que el material compuesto es curado o inducir un diferencial de presión suficiente para empujar el aparato de SMP fuera del material compuesto curado; y

35 remover el aparato de SMP del interior de la pieza de material compuesto.

40 22. El método del párrafo 17, en donde el aparato de SMP se configura para comenzar a cambiar al estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura  $T_g$ , en donde la temperatura de curado del material compuesto es igual o superior a  $T_g$ , de manera que el calentamiento del material compuesto a la temperatura de curado del material compuesto calienta y activa simultáneamente un cambio en el módulo del aparato de SMP del estado rígido hasta el estado maleable.

23. El método del párrafo 22, en donde la formación del aparato de SMP para que corresponda con la primera superficie de la pieza de material compuesto que se va a formar luego comprende:

colocar el aparato de SMP sobre una herramienta interior de mandril;

sellar los extremos del aparato de SMP con la herramienta interior de mandril;

5 colocar el aparato de SMP y la herramienta interior de mandril en un molde exterior;

calentar el aparato de SMP por encima de  $T_g$  e inflar el aparato de SMP hacia el molde exterior;

enfriar el aparato de SMP por debajo de  $T_g$ ; y

remover el aparato de SMP en su estado rígido desde la herramienta exterior de mandril.

10 24. El método del párrafo 17, que comprende además colocar insertos de potenciadores de la rigidez rígidos en los canales o cavidades entre el aparato de SMP y los potenciadores de la rigidez internos, en donde los canales o cavidades son de tamaño y forma para permitir que tanto los insertos de refuerzo rígido como los potenciadores de la rigidez internos descansan allí.

15 25. El método del párrafo 22, en donde  $T_g$  es una temperatura entre 100°F y 400°F, en donde la inducción de un diferencial de presión comprende inflar el aparato de SMP mediante la aplicación de una presión en un intervalo de 1 psig a 150 psig a una superficie interior del aparato de SMP.

26. Un método de fabricación de una pieza de material compuesto monolítico, comprendiendo el método:

colocar los potenciadores de la rigidez internos previamente curados en una configuración deseada en una carcasa falsa están que descansa dentro de una herramienta exterior de mandril;

insertar de un aparato de polímero de memoria de forma (SMP) dentro de la herramienta exterior de mandril;

20 calentar el aparato de SMP a una temperatura  $T_g$  a la cual el aparato de SMP comienza a volverse maleable;

inflar el aparato de SMP hacia fuera, hacia los potenciadores de la rigidez internos y la carcasa falsa, formando así cavidades en el aparato de SMP correspondiente a los potenciadores de la rigidez internos;

enfriar el aparato de SMP a una temperatura por debajo de  $T_g$ ;

remover el aparato de SMP de la herramienta exterior de mandril y la carcasa falsa;

25 aplicar material compuesto no curado sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez internos previamente curados anidados dentro de las cavidades formadas en los aparatos de SMP; y

unir entre sí los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto utilizando calor y presión para fabricar la pieza de material compuesto monolítico.

30 27. El método del párrafo 26, en donde la etapa de unir entre sí los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto comprende:

insertar el material compuesto, los potenciadores de la rigidez internos, y el aparato de SMP nuevamente en la herramienta exterior de mandril, sin la carcasa falsa;

calentar el material compuesto y aparato de SMP a una temperatura de curado del material compuesto mayor a la  $T_g$  de SMP;

35 aplicar presión para inflar el aparato de SMP, comprimiendo así al material compuesto y los potenciadores de la rigidez internos juntos entre la herramienta exterior de mandril y el aparato de SMP;

colapsar o desinflar el aparato de SMP una vez el material compuesto sea curado en la pieza de material compuesto monolítico; y

remover el aparato de SMP de la pieza de material compuesto monolítica.

28. El método del párrafo 26, en donde los potenciadores de la rigidez internos son al menos uno de estructuras, largueros, núcleo, y cualquier pieza de material compuesto previamente curada.
- 5 29. El método del párrafo 27, en donde el aparato de SMP se sella a una herramienta interior de mandril en porciones periféricas del aparato de SMP, en donde la etapa de aplicación de presión para inflar el aparato de SMP comprende además forzar gas a presión a través de los orificios de inflado en la herramienta interior de mandril hacia el aparato de SMP.
30. El método del párrafo 29, donde la etapa de colapsar o desinflar el aparato de SMP comprende la aplicación de vacío a través de los orificios de inflado de la herramienta interior de mandril para halar el aparato de SMP contra una superficie exterior de la herramienta interior de mandril.
- 10 31. El método del párrafo 26, en donde la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto comprende:
- sellar el aparato de SMP a la herramienta de mandril exterior;
- calentar el material compuesto y el aparato de SMP a una temperatura de curado del material compuesto mayor a  $T_g$ ; y
- 15 inducir un diferencial de presión de tal que el aparato de SMP se expanda y comprima el material compuesto y los potenciadores de la rigidez internos contra la herramienta exterior de mandril durante el curado.
32. El método del párrafo 26, que comprende además asegurar los insertos de refuerzo rígidos a porciones de los potenciadores de la rigidez internos antes de inflar el aparato de SMP hacia fuera, hacia los potenciadores de la rigidez internos.
33. Un método de fabricación de una pieza de material compuesto monolítica, comprendiendo el método:
- 20 colocar los potenciadores de la rigidez internos falsos rígidos en una configuración deseada sobre una carcasa falsa que descansa dentro de una herramienta exterior de mandril;
- insertar un aparato de polímeros de memoria de forma (SMP) dentro de la herramienta exterior de mandril;
- calentar el aparato de SMP a una temperatura  $T_g$  a la cual el aparato de SMP comienza a cambiar desde un estado rígido hasta un estado maleable;
- 25 inflar el aparato de SMP hacia fuera, hacia los potenciadores de la rigidez internos falsos y la carcasa falsa, formando así canales en el aparato de SMP correspondientes a los potenciadores de la rigidez internos falsos;
- enfriar el aparato de SMP a una temperatura por debajo de  $T_g$ ;
- remover la herramienta externa de mandril, los potenciadores de la rigidez internos falsos, y la carcasa falsa del aparato de SMP en su estado rígido;
- 30 colocar los insertos de refuerzo en contacto con al menos una superficie de uno o más refuerzos internos no curados;
- colocar los insertos de refuerzo y los potenciadores de la rigidez internos no curados en los canales del aparato de SMP;
- aplicar material compuesto no curado sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez internos no curados posicionados dentro de los canales del aparato de SMP; y
- 35 curar conjuntamente los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto utilizando calor y presión para fabricar la pieza de material compuesto monolítica.
34. El método del párrafo 33, en donde la etapa de curar conjuntamente los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto comprende:
- 40 insertar el material compuesto, los potenciadores de la rigidez internos, los insertos de refuerzo, y el aparato de SMP nuevamente en la herramienta exterior de mandril;
- calentar el material compuesto y el aparato de SMP a una temperatura de curado del material mayor a la  $T_g$  de SMP;

aplicar presión para inflar el aparato de SMP, que comprime así al material compuesto y a los potenciadores de la rigidez internos juntos entre la herramienta exterior de mandril y el aparato de SMP;

colapsar o desinflar el aparato de SMP una vez que el material compuesto es curado en la pieza de material compuesto monolítica; y

5 remover el aparato de SMP de la pieza de material compuesto monolítica.

35. El método del párrafo 33, en donde los potenciadores de la rigidez internos son al menos uno de estructuras, largueros, núcleo y capas adicionales de material compuesto.

10 36. El método del párrafo 34, en donde el aparato de SMP se sella a una herramienta interior de mandril en porciones periféricas del aparato de SMP, en donde la etapa de aplicación de presión para inflar el aparato de SMP comprende además forzar gas a presión a través de orificios de inflado en la herramienta interior de mandril hacia el aparato de SMP.

37. El método del párrafo 36, en donde la etapa de colapsar o desinflar el aparato de SMP comprende la aplicación de vacío a través de los orificios de inflado de la herramienta interior de mandril para halar el aparato de SMP contra una superficie exterior de la herramienta interior de mandril.

15 38. El método del párrafo 33, en donde la etapa de curar conjuntamente los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto comprende:

sellar el aparato de SMP a la herramienta exterior de mandril;

calentar el material compuesto y el aparato de SMP a una temperatura de curado del material compuesto mayor a  $T_g$ ; y

20 inducir un diferencial de presión tal que el aparato de SMP se expanda y comprima el material compuesto, los potenciadores de la rigidez internos, y los insertos de refuerzo contra la herramienta exterior de mandril durante el curado.

25 39. El método del párrafo 33, en donde los potenciadores de la rigidez internos falsos son sustancialmente del mismo tamaño y forma que los potenciadores de la rigidez internos no curados, en donde la carcasa falsa es sustancialmente del mismo tamaño y forma que el material compuesto aplicado sobre el aparato de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez internos no curados.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de fabricación de una pieza de material compuesto, comprendiendo el método:

A. para la fabricación de una pieza de material compuesto con potenciadores de la rigidez integrados:

activar un aparato (12) de polímero de memoria de forma (SMP) hasta un estado maleable;

5 conformar de un aparato (12) de SMP en el estado maleable que se corresponda con una configuración de una primera superficie de la pieza de material compuesto que va a ser fabricada, que incluye una o más cavidades (40) configuradas para la colocación de los potenciadores de la rigidez (23) allí;

activar el aparato (12) de SMP hasta un estado rígido;

colocar de los potenciadores de la rigidez (23) en las cavidades (40);

10 aplicar material compuesto sobre el aparato (12) de SMP y las superficies expuestas de la potenciadores de la rigidez (23) que descansan dentro de las cavidades (40); y

curar conjuntamente o unir entre sí los potenciadores de la rigidez con el material compuesto en el aparato (12) de SMP a través de presión y calor para fabricar la pieza de material compuesto;

o

15 B. formar un aparato (12) de polímero con memoria de forma (SMP) para que corresponda con una primera superficie de la pieza de material compuesto que va a ser formada luego, que incluye uno o más canales o cavidades (40) configurados para la colocación de los potenciadores de la rigidez (23) internos allí; colocar los potenciadores de la rigidez (23) internos dentro de los canales o cavidades (40) del aparato (12) de SMP;

20 aplicar material compuesto sobre el aparato (12) de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez (23) internos, mientras que el aparato (12) de SMP está en un estado rígido;

calentar el material compuesto a una temperatura de curado de material compuesto;

activar un cambio en el módulo del aparato (12) de SMP desde el estado rígido hasta un estado maleable; y

25 inducir un diferencial de presión suficiente para conducir el aparato (12) de SMP, en el estado maleable, hacia una superficie del molde correspondiente a una forma deseada de una segunda superficie de la pieza de material compuesto, comprimiendo así al material compuesto contra la superficie del molde durante el curado y comprimir los potenciadores de la rigidez (23) internos en el material compuesto durante el curado, curando conjuntamente así o uniendo entre sí los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto;

o

C. para la fabricación de una pieza de material compuesto monolítica:

30 colocar los potenciadores de la rigidez (23) internos previamente curados en una configuración deseada sobre una carcasa (22) falsa que descansa dentro de un molde (28) exterior;

insertar un aparato (12) de polímero de memoria de forma (SMP) dentro del molde (28) exterior;

calentar el aparato (12) de SMP a una temperatura  $T_g$  a la cual el aparato de SMP comienza a volverse maleable;

35 inflar el aparato (12) de SMP hacia afuera hacia los potenciadores de la rigidez (23) internos y la carcasa (22) falsa, formando de este modo cavidades (40) en el aparato (12) de SMP que corresponden con los potenciadores de la rigidez internos;

enfriar el aparato (12) de SMP a una temperatura por debajo de  $T_g$ ;

remover el aparato (12) de SMP del molde (28) exterior y la carcasa (22) falsa;

aplicar material compuesto no curado sobre el aparato (12) de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez (23) internos previamente curados anidados dentro de las cavidades (40) formadas en el aparato (12) de SMP; y

5 unir entre sí los potenciadores de la rigidez (23) internos con el material compuesto utilizando calor y presión para fabricar la pieza de material compuesto monolítica;

o

D. para la fabricación de una pieza de material compuesto monolítica:

colocar potenciadores de la rigidez (23) internos falsos rígidos y una configuración deseada en una carcasa (22) falsa que descansa dentro de un molde (28) exterior;

10 insertar un aparato (12) de polímero de memoria de forma (SMP) dentro del molde (28) exterior;

calentar el aparato (12) de SMP a una temperatura  $T_g$  a la cual el aparato de SMP comienza a cambiar de un estado rígido hasta un maleable estado;

15 inflar el aparato (12) de SMP hacia fuera, de los potenciadores de la rigidez (23) internos falsos y la carcasa (22) falsa, formando de este modo canales en el aparato (12) de SMP que corresponden a los potenciadores de la rigidez (23) internos falsos;

enfriar el aparato (12) de SMP a una temperatura por debajo de  $T_g$ ;

remover la herramienta (28) exterior de mandril, los potenciadores de la rigidez (23) internos falsos, y la carcasa (22) falsa del aparato (12) de SMP en su estado rígido;

20 colocar los insertos de refuerzo en contacto con al menos una superficie de uno o más potenciadores de la rigidez (23) internos no curados;

colocar los insertos de refuerzo y los potenciadores de la rigidez internos no curados en los canales del aparato (12) de SMP;

aplicar material compuesto no curado sobre el aparato (12) de SMP y las superficies expuestas de los potenciadores de la rigidez (23) internos no curados posicionados dentro de los canales del aparato (12) de SMP; y

25 curar conjuntamente los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto utilizando calor y presión para fabricar la pieza de material compuesto monolítica.

2. El método de una alternativa A en la reivindicación 1, en donde los potenciadores de la rigidez son potenciadores de la rigidez internos.

3. El método de la reivindicación 1, en donde:

30 (a) en una alternativa A en la reivindicación 1, los potenciadores de la rigidez incluyen al menos uno de estructuras, largueros, núcleo, y capas adicionales del material compuesto; o

(b) en una alternativa B o D en la reivindicación 1, los potenciadores de la rigidez internos son al menos uno de estructuras, largueros, núcleo y capas adicionales de material compuesto; o

35 (c) en una alternativa C en la reivindicación 1, los potenciadores de la rigidez internos son al menos uno de estructuras, largueros, núcleo, y cualquier pieza de material compuesto previamente curada.

40 4. El método de la alternativa A en la reivindicación 1, en donde la pieza de material compuesto es un fuselaje monolítico de una aeronave, un ala, una góndola, un panel de aeronave, un conducto de una aeronave, soportes estructurales de aeronaves, un componente de una aeronave elaborado a partir de laminados sólidos, laminados integralmente rígidos, o una estructura en sándwich rígida central, o potenciadores de la rigidez internos para un componente de una aeronave.

5. El método de alternativa A en la reivindicación 1, en donde el curado conjunto o la unión entre sí de los potenciadores de la rigidez con el material compuesto comprende:



(a) calentar el material compuesto a una temperatura de curado de material compuesto;

activar un cambio en el módulo del aparato (12) de SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable; y

5 inducir un diferencial de presión suficiente para conducir el aparato (12) de SMP, en el estado maleable, hacia una superficie de molde que corresponde a una configuración deseada de una segunda superficie de la pieza de material compuesto, comprimiendo de este modo el material compuesto contra la superficie de molde durante el curado y comprimiendo los potenciadores de la rigidez en el material compuesto durante el curado, curando conjuntamente así o uniéndolo entre sí los potenciadores de la rigidez internos con el material compuesto;

o

(b) sellar una lámina impermeable de material (54) alrededor del material compuesto;

10 comprimir la lámina impermeable de material (54) contra el material compuesto mediante la inducción un diferencial de presión hacia fuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material; y

calentar el material compuesto a una temperatura de curado del material compuesto.

15 6. El método de la alternativa (b) en la reivindicación 5, que comprende además colocar una lámina de prensado sobre el material compuesto antes de la etapa de sellado de la lámina impermeable de material (54) alrededor del material compuesto.

7. El método de la alternativa A o B en la reivindicación 1, en donde:

A. en la alternativa A en la reivindicación 1, los potenciadores de la rigidez son (a) curados previamente o (b) no curados, antes de colocarlos en las cavidades; o

20 B. en la alternativa B en la reivindicación 1, los potenciadores de la rigidez internos son (a) curados previamente o (b) no curado, antes de colocarlos en los canales o cavidades.

8. El método de la alternativa A (b) en la reivindicación 7, en donde los potenciadores de la rigidez son material compuesto no curado colocado en o envuelto alrededor de los insertos de refuerzo compuestos de polímero de memoria de forma (SMP).

25 9. El método de la reivindicación 8, en donde (a) el aparato (12) de SMP se activa hasta el estado maleable mientras que los insertos (2b) de refuerzo permanecen rígidos durante el curado conjunto o la unión entre sí; o (b) los insertos (2b) de refuerzo se configuran para volverse maleables durante curado conjunto o la unión entre sí mientras que el aparato de SMP permanece en el estado rígido.

10. El método de la alternativa B en la reivindicación 1 o la alternativa (a) en la reivindicación 5, que comprende además:

30 igualar el diferencial de presión inducido después de que el material compuesto se cura o inducir un diferencial de presión suficiente para empujar el aparato (12) de SMP desde el material compuesto curado; y

remover el aparato (12) de SMP desde el interior de la pieza de material compuesto.

35 11. El método de la alternativa B en la reivindicación 1 o la alternativa (a) en la reivindicación 5, en donde el aparato (12) de SMP se configura para comenzar a cambiar al estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura  $T_g$ , en donde la temperatura de curado del material compuesto es igual a o mayor a  $T_g$ , de tal manera que calentando el material compuesto a la temperatura de curado del material compuesto caliente y activa simultáneamente un cambio en el módulo del aparato de SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable.

12. El método de la reivindicación 11, en donde la formación del aparato (12) de SMP para que corresponda con la primera superficie de la pieza de material compuesto que se forma luego comprende:

40 colocar el aparato (12) de SMP sobre una herramienta (16) interior de mandril;

sellar los extremos del aparato (12) de SMP a la herramienta (16) interior de mandril;

colocar el aparato (12) de SMP y la herramienta (16) de interior de mandril en un molde (28) exterior;

calentar el aparato de SMP por encima de  $T_g$  e inflar el aparato de SMP hacia el molde (28) exterior;

enfriar el aparato de SMP por debajo de  $T_g$ ; y

remover el aparato de SMP en su estado rígido desde el molde (28) exterior.

5 13. El método de la alternativa A o B en la reivindicación 1, que comprende además colocar los insertos de refuerzo rígido en los canales o las cavidades (40) entre el aparato (12) de SMP y los potenciadores de la rigidez o los potenciadores de la rigidez (23) internos, en donde los canales o cavidades (40) se dimensionan y conforman para permitir que tanto los insertos de refuerzo rígido y los potenciadores de la rigidez (23) internos descansen allí.

14. El método de la alternativa C en la reivindicación 1, en donde la etapa de unir entre sí los potenciadores de la rigidez (23) internos con el material compuesto comprende:

10 (a) insertar el material compuesto, los potenciadores de la rigidez (23) internos, y el aparato (12) de SMP nuevamente en el molde (28) exterior, sin la carcasa (22) falsa;

calentar el material compuesto y el aparato (12) de SMP a una temperatura de curado del material compuesto mayor a la  $T_g$  de SMP;

15 aplicar presión para inflar el aparato (12) de SMP, comprimiendo de este modo al material compuesto y los potenciadores de la rigidez (23) internos juntos entre el molde (28) exterior y el aparato (12) de SMP;

colapsar o desinflar el aparato (12) de SMP una vez que el material compuesto es curado en la pieza de material compuesto monolítica; y

remover el aparato (12) de SMP de la pieza de material compuesto monolítica;

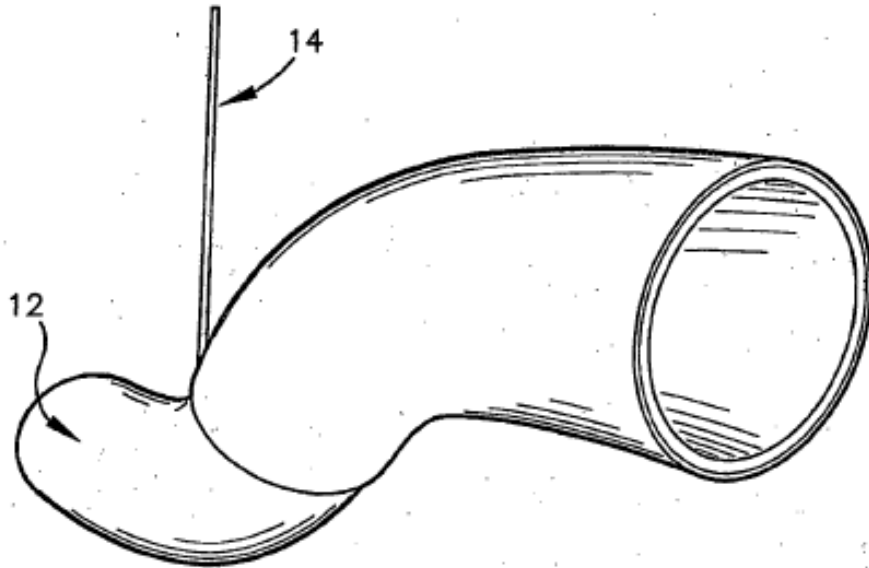
o

20 (b) sellar el aparato (12) de SMP al molde (28) exterior;

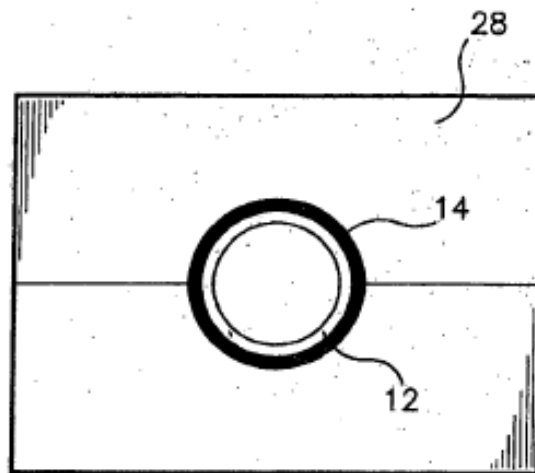
calentar el material compuesto y el aparato (12) de SMP a una temperatura de curado del material compuesto mayor a  $T_g$ ; e

inducir un diferencial de presión de tal manera que el aparato (12) de SMP se expande y comprime el material compuesto y los potenciadores de la rigidez (23) internos contra el molde (28) exterior durante el curado.

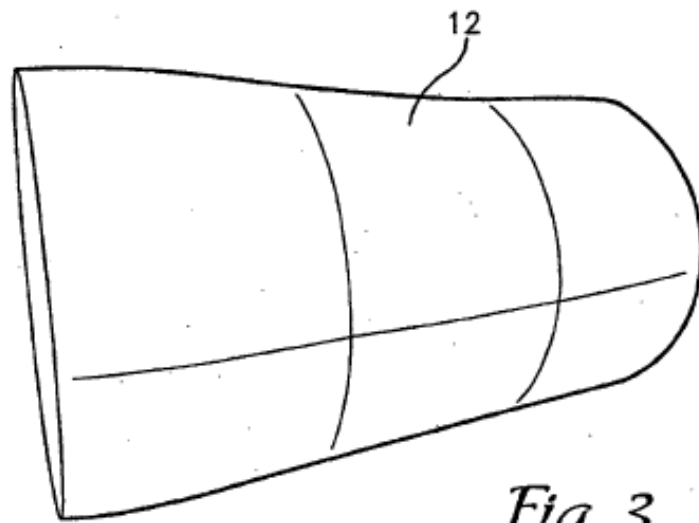
25 15. El método de la alternativa (a) en la reivindicación 14, en donde el aparato (12) de SMP, se sella a una herramienta (16) interior de mandril en porciones periféricas del aparato (12) de SMP, en donde la etapa de aplicar presión para inflar el aparato (12) de SMP comprende además forzar gas a presión a través de los orificios de inflado en la herramienta interior de mandril hacia el aparato (12) de SMP.



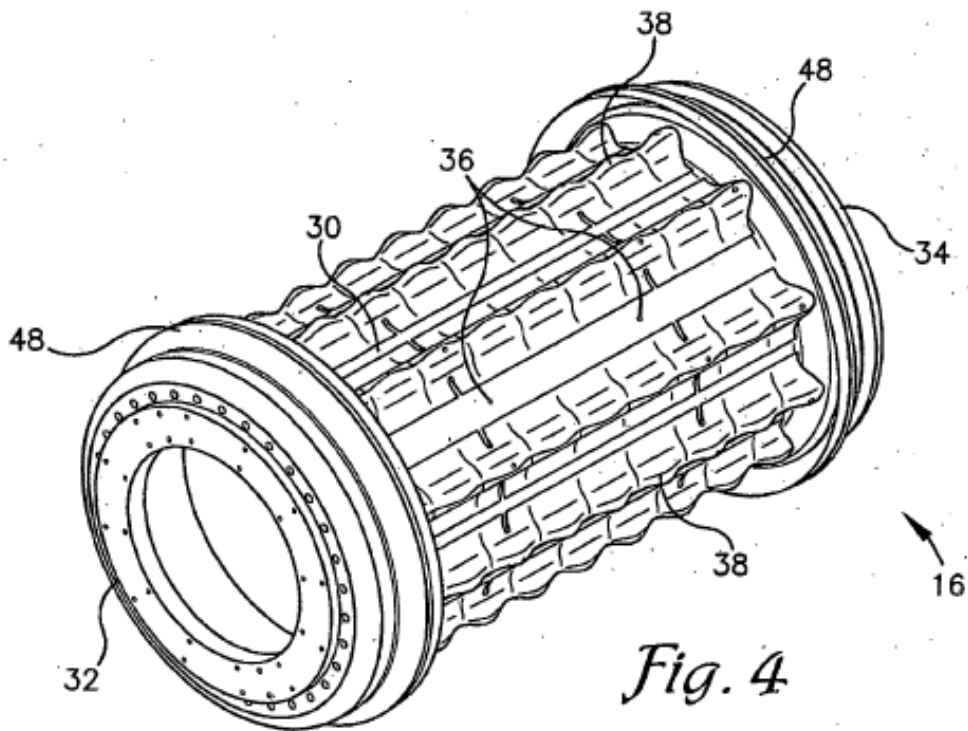
*Fig. 1*



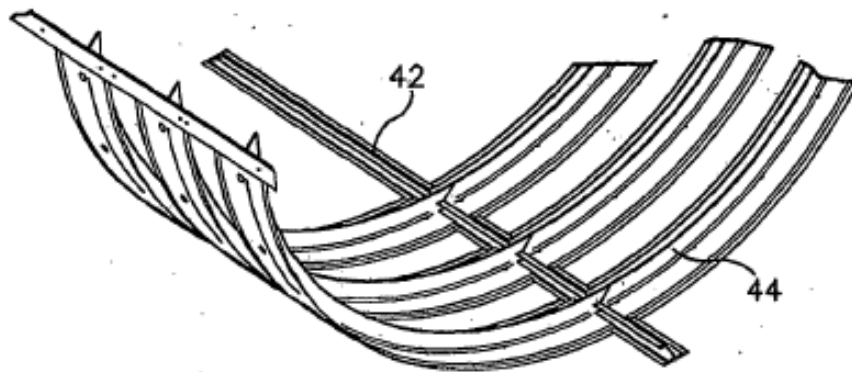
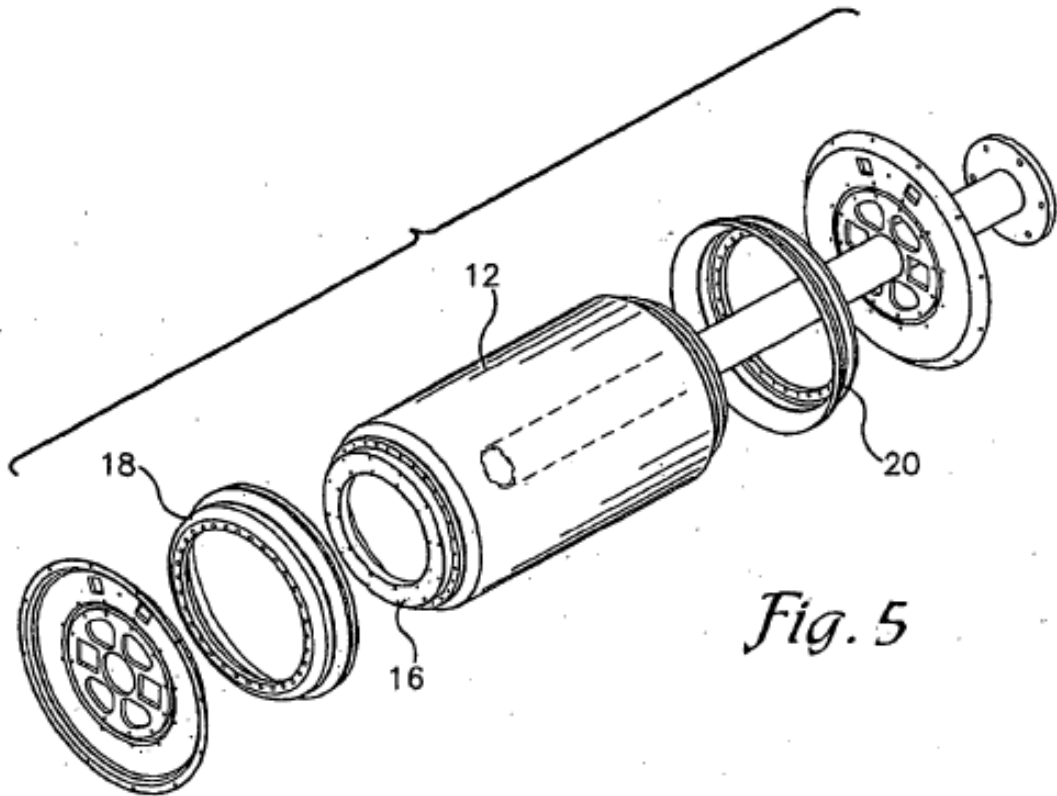
*Fig. 2*

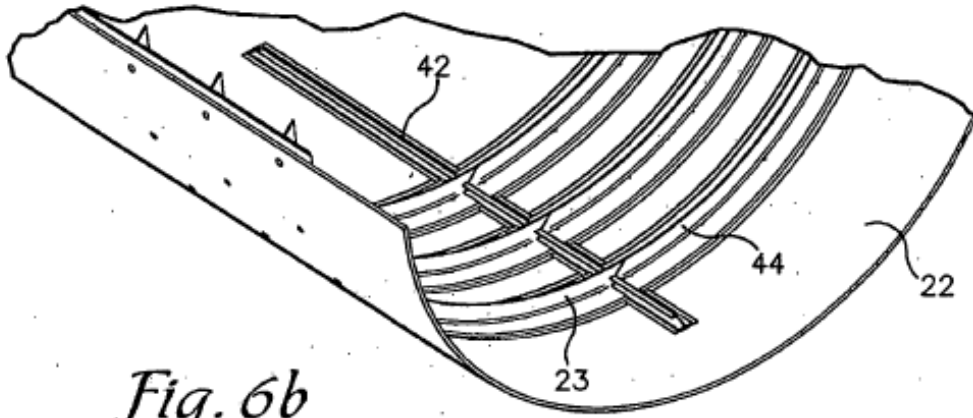


*Fig. 3*

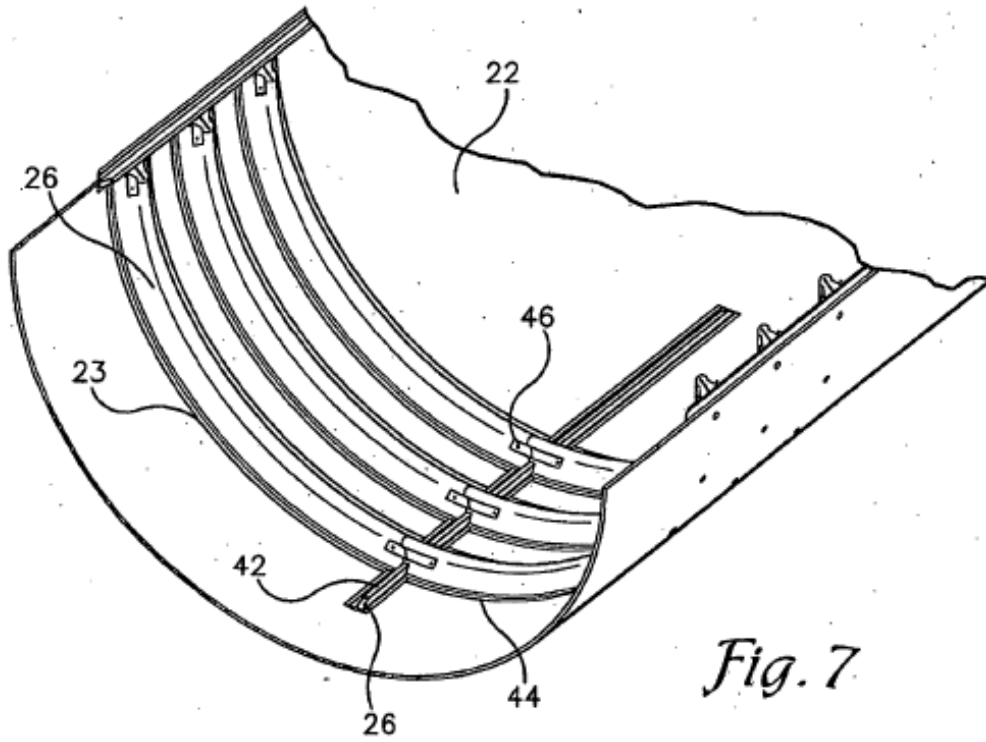


*Fig. 4*

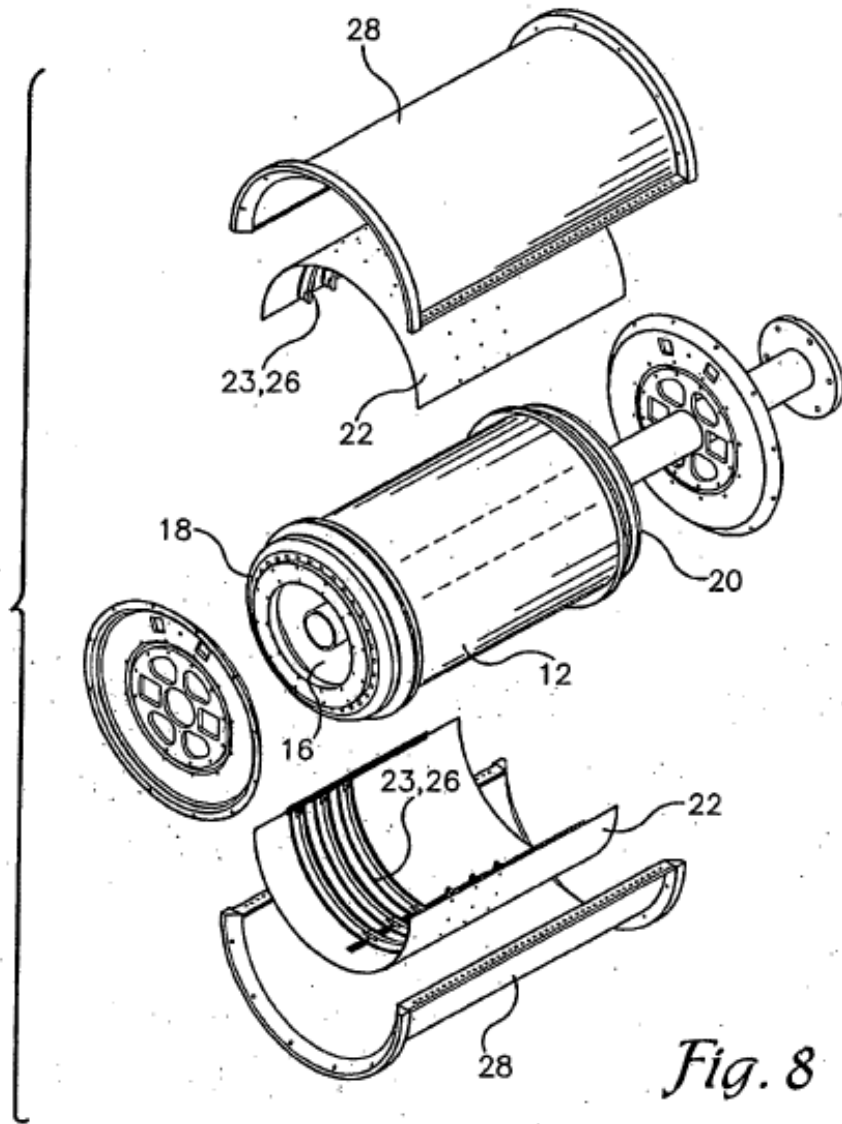




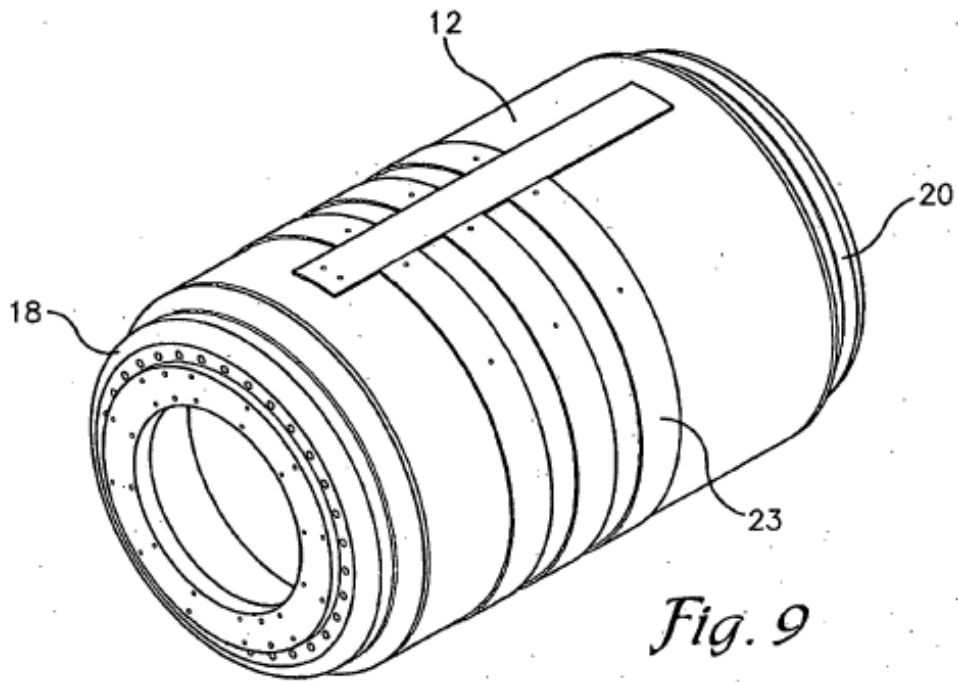
*Fig. 6b*



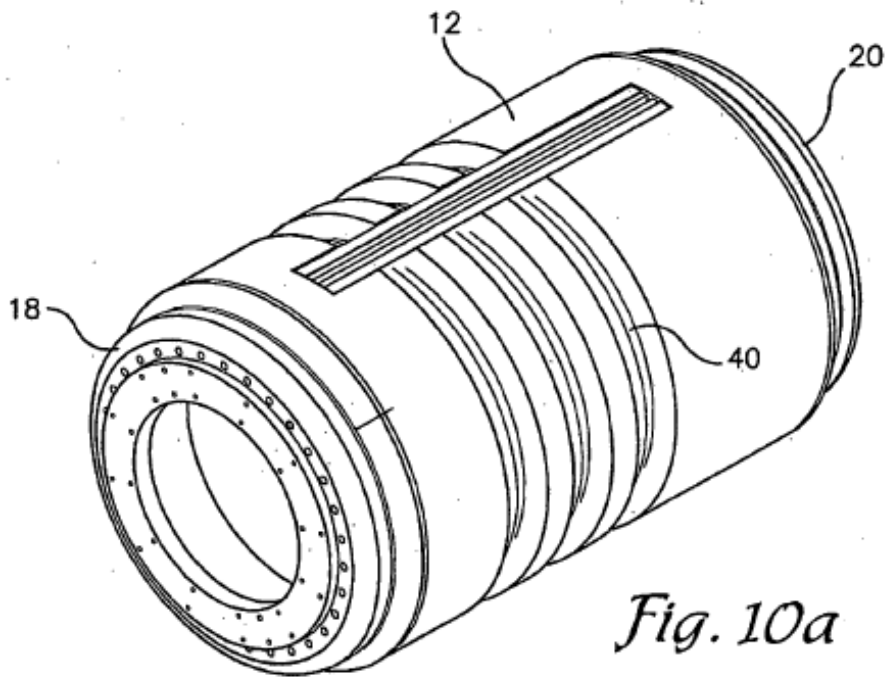
*Fig. 7*



*Fig. 8*

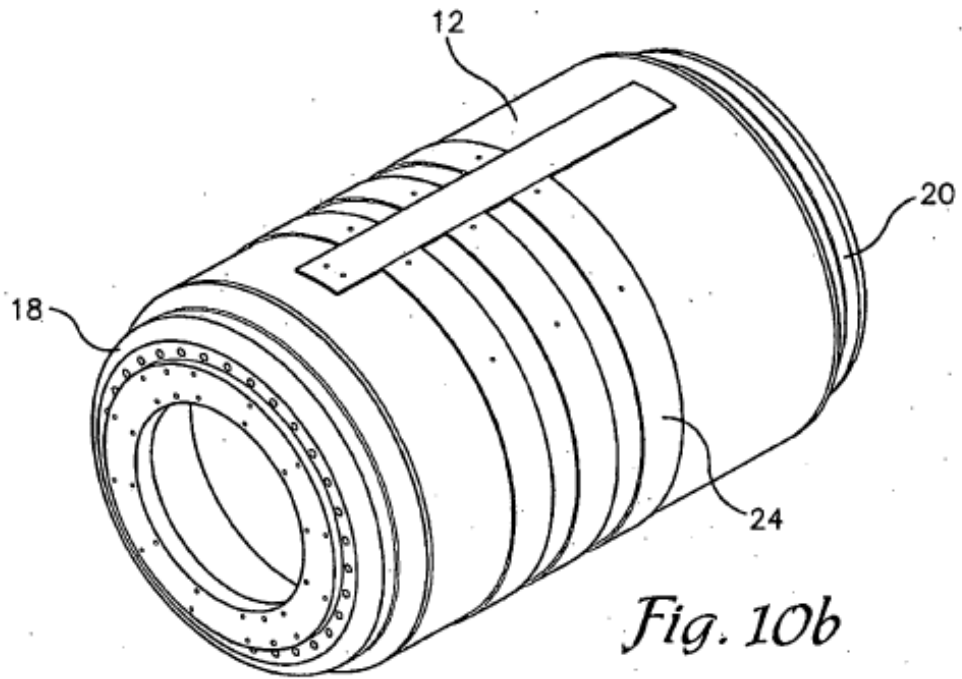


*Fig. 9*

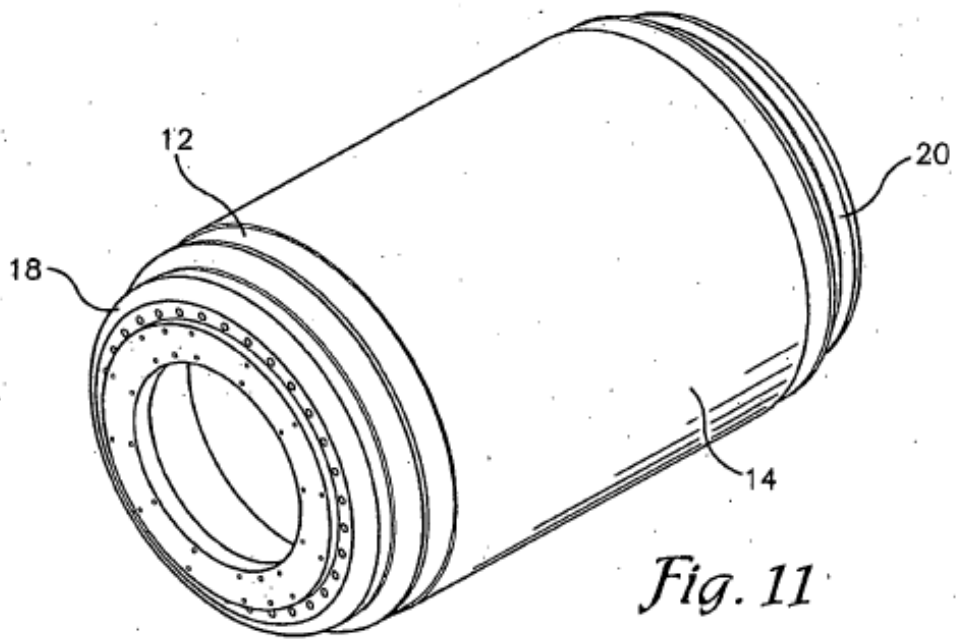


*Fig. 10a*

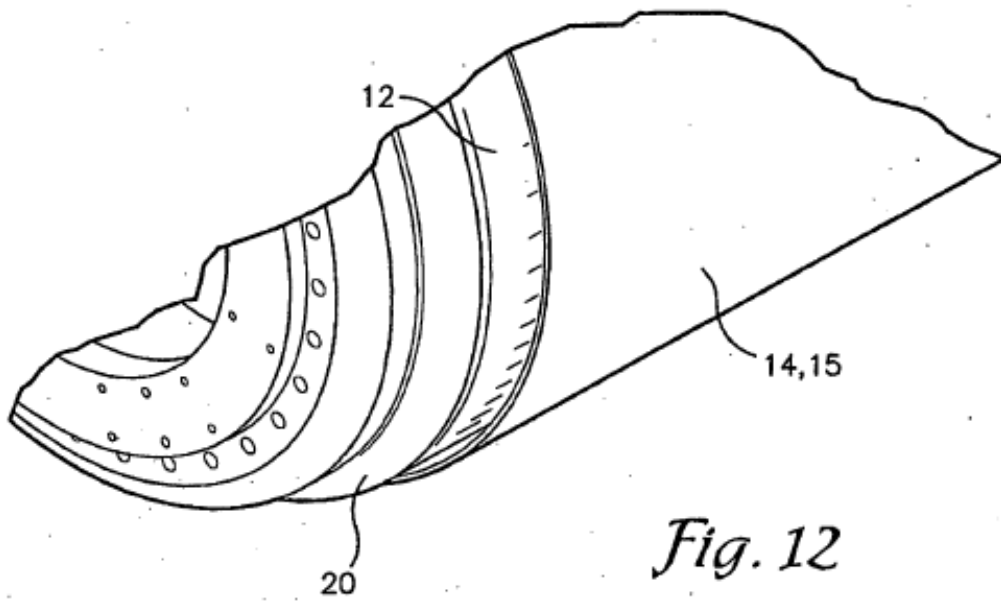




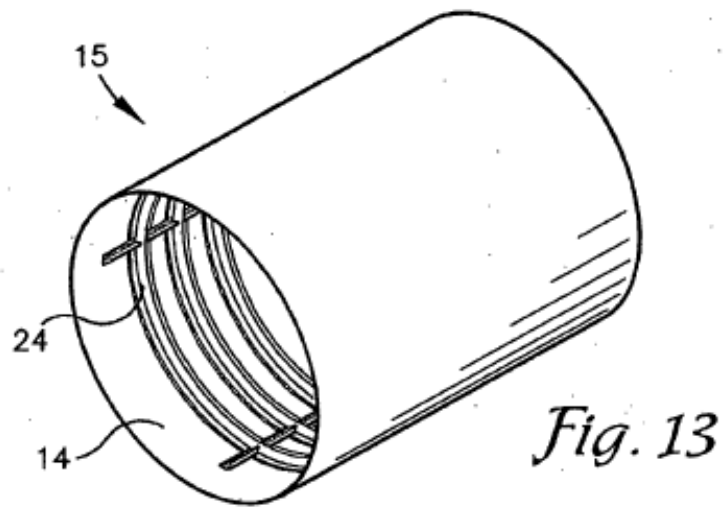
*Fig. 10b*



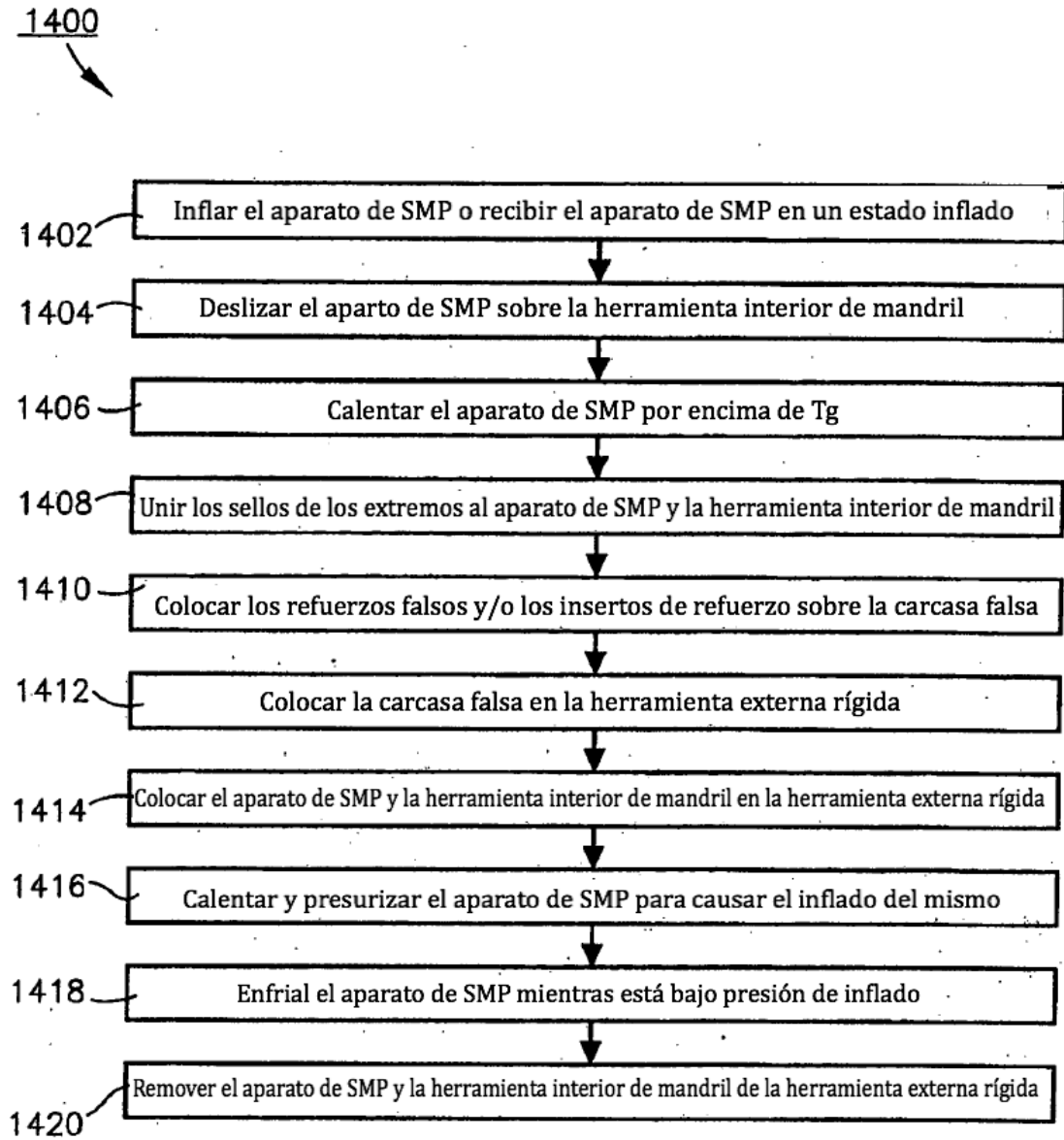
*Fig. 11*



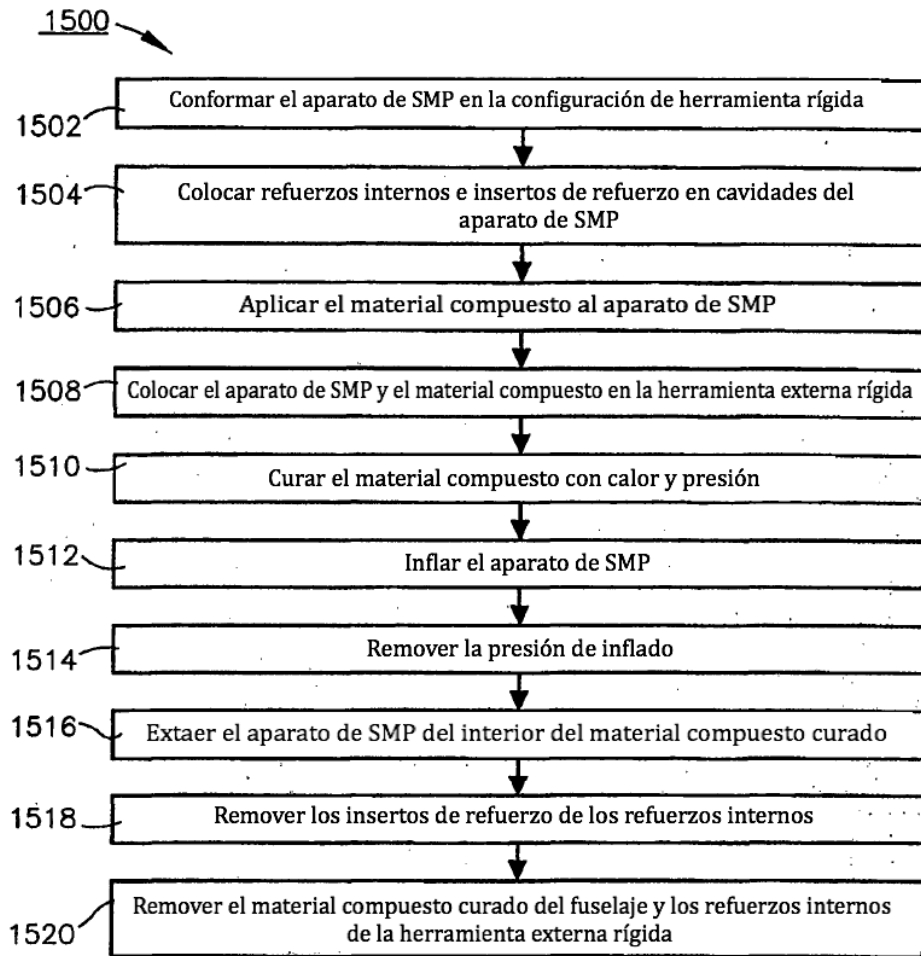
*Fig. 12*



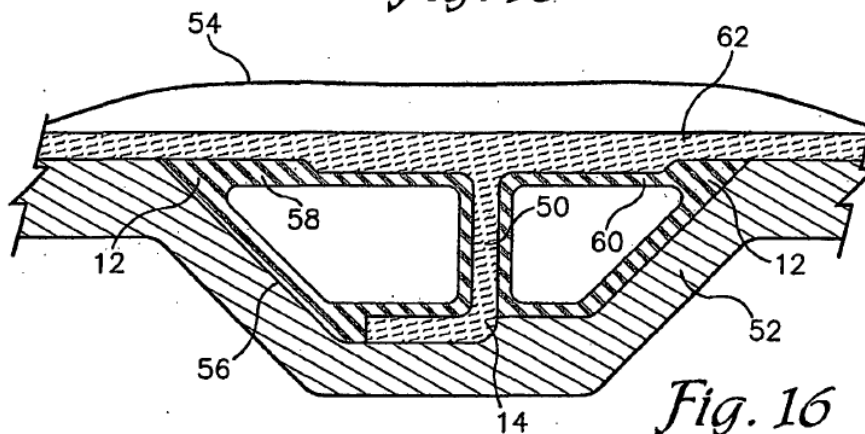
*Fig. 13*



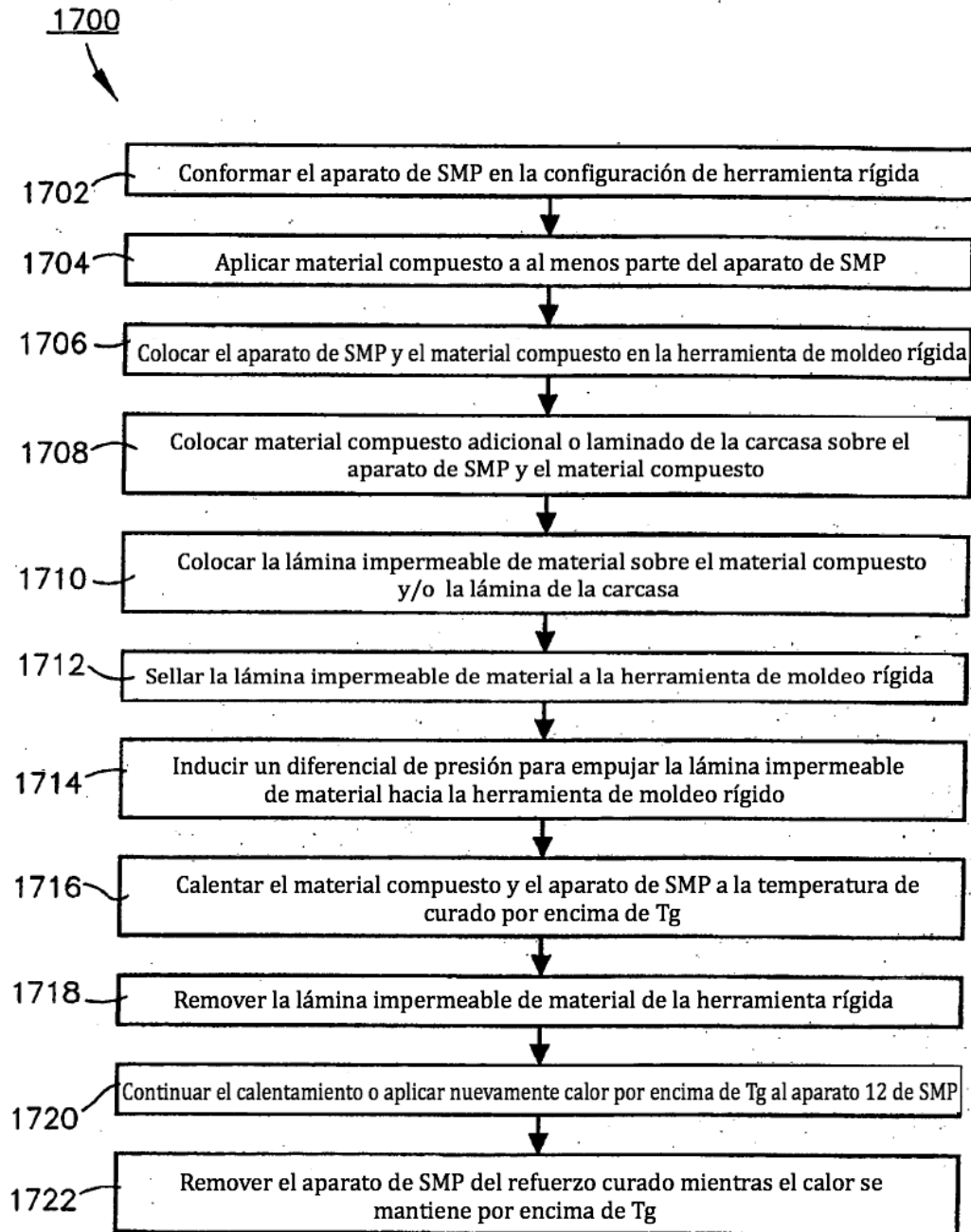
*Fig. 14*



*Fig. 15*



*Fig. 16*



*Fig. 17*