

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 827**

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 11840616 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2637838**

54 Título: **Métodos para formar partes compuestas integrales con un aparato SMP**

30 Prioridad:

21.09.2011 US 201113238733
16.05.2011 US 201161486539 P
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:
21.10.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

EVERHART, MATTHEW C.;
HAVENS, DAVID E.;
KYSAR, RANDY REX;
FIEGENBAUM, CARL RAY;
PRIEST, JEFFREY W.;
STRELOW, DELBERT LEON y
CASTER, KODI ELIZABETH ANN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 548 827 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 para formar partes compuestas integrales con un aparato SMP

Antecedentes

Campo

- 5 La presente invención se relaciona con sistemas y métodos para utilizar un aparato reutilizable hecho de polímero con memoria de forma (SMP) para fabricar partes compuestas.

Técnica relacionada

10 Las partes compuestas, tales como aquellas utilizadas en la fabricación de aeronaves, se pueden construir utilizando diversos métodos de producción, tales como bobinado de filamentos, colocación de cinta, trenzado exterior, cortado móvil de fibras, recubrimiento, moldeo manual, u otras técnicas de procesamiento de materiales compuestos y procesos de curado. La mayor parte de estos procesos utiliza una herramienta o mandril rígido de curado sobre el cual se aplica el material compuesto y luego se cura dentro de una parte compuesta rígida. El retiro de la herramienta o mandril rígido de curado de la parte compuesta curada es generalmente difícil, costoso, y/o consume tiempo, particularmente si la parte compuesta resultante tiene geometría de captura que impide el fácil retiro de la parte. Un método conocido para retirar el mandril requiere sacrificar o destruir el mandril mediante corte, disolución, granallado, o desintegración de otra forma del mandril en piezas pequeñas que se puedan retirar desde dentro de la parte compuesta. La destrucción del mandril evita obviamente que se utilice de nuevo para partes posteriores y se puede dañar en una superficie interna de la parte compuesta.

20 Otro método utiliza un mandril segmentado que se puede desensamblar y retirar después que se cura la parte compuesta. Sin embargo, estos mandriles son costosos y requieren una gran cantidad de tiempo para que sean instalados y retirados. Adicionalmente, estos mandriles segmentados cada uno se diseñan normalmente para fabricar una parte compuesta específica y no se reconfiguran fácilmente para ser utilizados en la fabricación de otras partes compuestas.

25 Todavía otro método utiliza mandriles inflamables que se pueden retirar al desinflarlos después que se cura la parte compuesta. Sin embargo, este método implica normalmente mandriles similares a globos que solo se pueden utilizar como un auxiliar de embolsado debido a su falta relativa de resistencia y rigidez durante moldeo del compuesto.

30 Otro método alternativo implica un mandril o herramienta de espuma recubierta con silicona. Esta herramienta de espuma se puede cubrir con una bolsa de silicona y luego envolver con el material compuesto no curado. Durante curado, la bolsa de silicona se infla y se funde la herramienta de espuma. Después que se cura, la bolsa de silicona se puede retirar y reutilizar. Sin embargo, la herramienta de espuma no es reutilizable, ya que se debe mecanizar una nueva herramienta de espuma de cada ciclo de curado de la nueva espuma.

El documento US-B-7727458 describe un método para fabricar una parte compuesta, el método comprende:

- 35 A. fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados en donde se moldea una parte final que comprende rebordes, activar un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) a un estado maleable, conformar un aparato SMP en estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a fabricar, que incluye una o más cavidades configuradas para la colocación de agentes de rigidez allí; y activar el aparato SMP a un estado rígido.

De acuerdo con lo anterior, subsiste una necesidad de métodos mejorados para fabricar partes compuestas.

Resumen

- 40 Las realizaciones de la presente invención proporcionan métodos para fabricar partes compuestas utilizando aparatos de polímero con memoria de forma (SMP). Un método de ejemplo puede comprender aplicar el material compuesto a por lo menos una parte de un aparato SMP, activar un cambio en el módulo del aparato SMP desde un estado rígido hasta un estado maleable, calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado del material compuesto, e inducir una presión diferencial que acciona el aparato SMP, en su estado maleable, hacia el material compuesto antes y/o durante curado para comprimir el material compuesto contra un molde rígido. El cambio en el módulo se puede activar al aplicar por lo menos uno de un cambio de temperatura, una corriente eléctrica, agua, y encender al aparato SMP. Una vez se completa el curado, se puede liberar la presión y el aparato SMP se puede retirar desde dentro de la parte compuesta curada resultante.
- 45

Otro método de ejemplo para fabricar una parte compuesta puede comprender las etapas de aplicar el material compuesto en por lo menos una parte de un aparato SMP, poner el material compuesto y aparato SMP en una cavidad dentro de una herramienta de moldeo rígido, de tal manera que por lo menos una parte del material compuesto descansa contra la herramienta de moldeo rígido, poner una lámina impermeable de material sobre el material compuesto y aparato SMP, y sellar la lámina impermeable de material a la herramienta de moldeo rígido y/o al aparato SMP. Luego, este método puede comprender calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado del material compuesto, activar el aparato SMP para que cambie en el módulo de un estado rígido hasta un estado maleable, e inducir una presión diferencial suficiente para accionar la lámina impermeable de material y el aparato SMP, en estado maleable, hacia el material compuesto, comprimiendo por lo tanto por lo menos una parte del material compuesto contra el molde rígido antes y durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.

En todavía otra realización de la presente invención, un método para fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados puede comprender las etapas de activar un aparato SMP hasta un estado maleable, conformar un aparato SMP en estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a fabricar, que incluye conformar el aparato SMP para que tenga una o más cavidades configuradas para colocación de agentes de rigidez allí, activar el aparato SMP a un estado rígido, poner los agentes de rigidez dentro de las cavidades, aplicar el material compuesto en el aparato SMP y las superficies expuestas de los agentes de rigidez que descansan dentro de las cavidades, y cocurar o coadherir los agentes de rigidez con el material compuesto sobre el aparato SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta.

En otra realización de la presente invención, un método para retirar un aparato SMP desde dentro de una parte compuesta curada puede comprender las etapas de activar el aparato SMP desde un estado rígido hasta un estado maleable, inducir una presión diferencial que acciona el aparato SMP, en estado maleable, lejos de la parte compuesta curada y hacia una herramienta de mandril interno, y retirar la herramienta de mandril interno con el aparato SMP que descansa sobre esta fuera de la parte compuesta curada. La herramienta de mandril interno puede comprender una superficie externa que tiene contornos variados de tal manera que un área de superficie de la superficie externa es suficientemente mayor para evitar que el aparato SMP se doble sobre sí mismo o se pliegue cuando se dirige hacia la herramienta de mandril interno. Una distancia máxima en línea recta entre puntos sobre la superficie externa puede ser suficientemente pequeña para permitir que la herramienta de mandril interno se despeje para el retiro de la parte compuesta curada.

En todavía otra realización de la presente invención, un método para fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados puede comprender las etapas de conformar o fundir un aparato SMP para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar, conformar o fundir el aparato SMP para que incluya una o más cavidades configuradas para la colocación de los agentes de rigidez allí, poner los agentes de rigidez dentro de las cavidades, aplicar el material compuesto en el aparato SMP y las superficies expuestas de los agentes de rigidez que descansan dentro de las cavidades y cocurar o coadherir los agentes de rigidez con el material compuesto sobre el aparato SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta. En esta realización de la invención, el aparato SMP puede permanecer en un estado rígido a través del cocurado o coadhesión de los agentes de rigidez con el material compuesto.

Este resumen se proporciona para introducir una selección de conceptos en una forma simplificada que se describen adicionalmente adelante en la descripción detallada. Este resumen no pretende identificar las características clave o características esenciales de la materia objeto reivindicada, ni pretende ser utilizada para limitar el alcance de la materia objeto 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 que acompañan.

45 Breve descripción de las figuras

Las realizaciones de la presente invención se describen en detalle adelante de con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

La FIGURA 1 es una vista en perspectiva de un aparato SMP construido de acuerdo con una realización de la presente invención y se muestra utilizado como un mandril con el material compuesto colocado sobre esta;

50 La FIGURA 2 es una vista en elevación en sección transversal vertical del aparato SMP de la Figura 1, con el aparato SMP inflado hacia afuera para que actúe como una cámara de aire, presionando el material compuesto sobre esta hacia un molde externo;

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

La FIGURA 4 es una vista en perspectiva de una herramienta de mandril interno construido de acuerdo con una realización de la presente invención;

5 La FIGURA 5 es una vista en perspectiva en explosión del aparato SMP de la Figura 3 después que se desliza sobre la herramienta de mandril interno ilustrada en la Figura 4 y se calienta para contraerse contra la herramienta de mandril interno, y también ilustra sellos de extremo configurados para sellar el aparato SMP a la herramienta de mandril interno en cada extremo del mismo;

La FIGURA 6a es una vista en perspectiva de agentes de rigidez internos construidos de acuerdo con las realizaciones de la presente invención y configurados para que sean coadheridos o cocurados a una parte compuesta;

10 La FIGURA 6b es una vista en perspectiva fragmentaria de una piel falsa y agentes de rigidez falsos construidos de acuerdo con una realización de la presente invención para ayudar en el aparato SMP formado de la Figura 5 dentro de una configuración de herramienta rígida deseada;

La FIGURA 7 es una vista en perspectiva fragmentaria de la piel falsa y agentes de rigidez falsos de la Figura 6, que ilustra adicionalmente insertos de agentes de rigidez puestos sobre y en los agentes de rigidez falsos;

15 La FIGURA 8 es una vista en perspectiva en explosión de la herramienta de mandril interno de la Figura 5 puesta dentro de una herramienta externa rígida construida de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIGURA 9 es una vista en perspectiva del aparato SMP de la Figura 5 en la configuración de herramienta rígida deseada con los agentes de rigidez falsos internos que descansan en las cavidades formadas allí;

20 La FIGURA 10a es una vista en perspectiva del aparato SMP de la Figura 9 en la configuración de herramienta rígida deseada con los agentes de rigidez internos retirados de las cavidades formadas allí;

La FIGURA 10b es una vista en perspectiva del aparato SMP de la Figura 5 en la configuración de herramienta rígida deseada con los agentes de rigidez internos de la Figura 6a que descansan en las cavidades formada allí;

La FIGURA 11 es una vista en perspectiva del aparato SMP de la Figura 9 con el material compuesto aplicado sobre este y alrededor de los agentes de rigidez internos;

25 La FIGURA 12 es una vista en perspectiva fragmentaria del aparato SMP y el material compuesto de la Figura 11 después que el material compuesto se cura, que ilustra el espacio entre el aparato SMP y el material compuesto curado una vez el aparato SMP se calienta y se contrae hacia la herramienta de mandril interno;

30 La FIGURA 13 es una vista en perspectiva del material compuesto de la Figura 12 y los agentes de rigidez internos de la Figura 6 se cocuran o coadhieren dentro de un fuselaje rígido, con la herramienta de mandril interno, la herramienta externa rígida, y el aparato SMP retirado de este;

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

La FIGURA 15 es un diagrama de flujo de un método para fabricar un fuselaje utilizando el aparato SMP de acuerdo con una realización de la presente invención;

35 La FIGURA 16 es una vista en sección transversal fragmentaria de un travesaño con forma de J que se forma entre dos aparatos SMP y una herramienta de molde rígido, cada uno construido de acuerdo con una realización de la presente invención; y

La FIGURA 17 es un diagrama de flujo de un método para fabricar un agente de rigidez compuesto utilizando el aparato SMP de acuerdo con una realización de la presente invención.

40 Las figuras no limitan la presente invención a las realizaciones específicas divulgadas y descritas aquí. Los dibujos no son necesariamente a escala, se hace énfasis en lugar de ser colocadas ilustran claramente los principios de la invención.

Descripción Detallada:

45 La siguiente descripción detallada de la invención hace referencia a los dibujos que acompañan que ilustran las realizaciones específicas en las que se puede practicar la invención. Las realizaciones pretenden describir aspectos

de la invención en detalle suficiente para permitir que aquellos expertos en la técnica practiquen la invención. Se pueden utilizar otras realizaciones y se pueden hacer cambios sin apartarse del alcance de la presente invención. Por lo tanto, la siguiente descripción detallada no se toma en un sentido limitante. El alcance de la presente invención se define solo por las reivindicaciones adjuntas.

5 Elaboración de Partes Compuestas con un Aparato SMP

Una realización de la presente invención es un método para elaborar partes compuestas. 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 Figuras 1-2, y/o una herramienta 28 externa rígida, como se describe finalmente aquí y se ilustra en la Figura 2. El aparato 12 SMP se puede utilizar como un mandril o herramienta rígida para aplicar el material 14 compuesto sobre esta, como se ilustra en la Figura 1, y una cámara de aire para proporcionar presión hacia afuera al material 14 compuesto durante curado del material 14 compuesto dentro de una parte compuesta endurecida, como se ilustra en la Figura 2.

El aparato 12 SMP se puede formar de la fundición del material SMP dentro de cualquier forma con memoria. Por ejemplo, el aparato 12 SMP se puede fundir dentro de una configuración hueca y/o alargada que tiene uno o más extremos abiertos utilizando cualquier método conocido en la técnica, tal como métodos para formar un cilindro SMP descrito en la Patente Estadounidense No. 7,422,714. Por ejemplo, el aparato 12 SMP puede ser un barril o cilindro SMP preformado abierto en dos extremos opuestos. Alternativamente, el aparato 12 SMP puede tener cualquier forma en sección transversal, tal como un trapecio, rectángulo, cuadrado, o triángulo, o se puede fundir dentro de una configuración no hueca. La forma fundida del aparato SMP se denomina aquí como su forma con memoria.

El material SMP utilizado para formar el aparato 12 SMP puede ser material SMP reforzado o no reforzado. Específicamente, el material SMP utilizado para formar el aparato 12 SMP puede ser un epoxi, un SMP con base en epoxi, un SMM con base en copolímero de estireno o cualquier otro tipo o combinación de SMP, tales como éster cianato, poliuretano, homopolímero de polietileno, estireno-butadieno, poliisopreno, copolímeros de estearil acrilato y ácido acrílico o metil acrilato, homopolímeros o copolímeros de norboneno o dimetanoctahidronaftaleno, y maleimida. Por ejemplo, el material SMP utilizado en el aparato 12 SMP puede ser cualquiera de los SMP descritos en la Patente Estadounidense No. 7,422,714, la Patente Estadounidense No. 6,986,855, la Patente Estadounidense No. 7,276,195, la Publicación de Solicitud de Patente Estadounidense No. 2008/0021188, la Publicación de Solicitud de Patente Estadounidense No. 2008/0269420. Sin embargo, existen numerosos otros tipos de SMP y se pueden adaptar para cumplir con los requerimientos de temperatura y tolerancias específicas.

El módulo de diversos materiales SMP se pueden cambiar a través de diversos métodos diferente, tales como un cambio de temperatura, una corriente eléctrica, agua, y/o encendido. Sin embargo, los métodos de ejemplo descritos aquí describen el uso de cambios de temperatura para transformar el aparato 12 SMP desde un estado maleable hasta un estado rígido y vice versa. No obstante, cualquiera de las activaciones enumeradas anteriormente para cambiar el módulo del material SMP del aparato 12 SMP se puede utilizar para los métodos de fabricación de la parte compuesta descrita aquí sin apartarse del alcance de la invención.

Una temperatura de transición de vidrio (T_g) de un material SMP se define aquí como una temperatura umbral a y/o por encima de la cual el material SMP empieza transición a un estado de módulo menor, haciéndose suave y/o maleable con el propósito de ser deformado. Por lo tanto, el aparato 12 SMP de la presente invención puede ser configurado para empezar a volverse flexible y formable cuando se calienta por encima de su T_g y para volverse rígido cuando se enfría hasta una temperatura por debajo de su T_g . Si el aparato 12 SMP se deforma en una temperatura por encima de T_g y luego se mantiene en ese estado deformado cuando su temperatura cae por debajo de T_g , luego el aparato 12 SMP se endurece en ese estado deformado. Cuando se calienta de nuevo, el aparato 12 SMP puede retornar generalmente a su forma de fundido original con memoria a menos que actúe de otra forma mediante otra fuerza. Mientras que el cambio de módulo del aparato 12 SMP puede empezar a T_g , puede estar en un rango de temperaturas de transición a través de lo cual el aparato 12 SMP se puede volver incrementalmente maleable.

El aparato 12 SMP se puede hacer de un material SMP que tiene cualquier T_g apropiado para uso y los métodos descritos aquí. En algunas realizaciones de la invención, T_g puede ser igual a o menos de la temperatura de curado para el material 14 compuesto, de tal manera que el aparato 12 SMP se puede utilizar como una cámara de aire expandible durante curado de la parte compuesta. En otras realizaciones 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 SMP permanece rígido durante cura de la parte compuesta.

Mientras que el aparato 12 SMP se puede diseñar 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 36 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 SMP puede ser aproximadamente igual a 143°F, 275°F, o 375°F 62, 135 o 191°C. El aparato 12 SMP se puede volver incrementalmente maleable cuando se calienta a través de un rango de transición de temperaturas que empiezan en o centran alrededor de T_g y se puede endurecer gradualmente hasta su estado rígido enfriado a través del rango de transición de temperaturas a una temperatura a o por debajo de T_g .

La herramienta 28 externa rígida puede tener cualquier forma o configuración deseada para fabricar la parte compuesta. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 28 externa rígida puede tener un espacio hueco dentro del cual se puede poner el aparato 12 SMP y el material 14 compuesto. Por ejemplo, la herramienta 28 externa rígida puede ser una herramienta de barril o una herramienta plegable. La herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Figura 2, puede formar una superficie externa de la parte compuesta. En la alternativa las realizaciones de la invención, la herramienta 28 externa rígida se puede reemplazar con cualquier tipo de forma de molde y se configura para formar una superficie interna o externa de una parte compuesta. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 28 externa rígida también se puede utilizar para ayudar a la forma o formar el aparato 12 SMP. Por ejemplo, piel 22 falsa, agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o insertos 26 de refuerzo se puede poner en o adherir a la herramienta 28 externa rígida, como se describe en detalle adelante, para proporcionar una configuración de molde deseada para el aparato 12 SMP.

El material 14 compuesto colocado sobre el aparato 12 SMP para formar la parte compuesta puede comprender o tener forma de resina a baja temperatura, resina a alta temperatura, resina endurecida, preimpregnado, fibra procesada húmeda, fibra seca, fibra continua, fibra discontinua, fibras cortadas, vidrio, KEVLAR (RTM), carbono, y/o núcleo. El núcleo se define aquí como cualquier componente de desfase que separa dos capas del material compuesto. Por ejemplo, el núcleo puede comprender espuma, materiales termoplásticos, materiales de panal, aluminio, material fenólico de fibra de vidrio, carbono, Nomex, etc. El núcleo también se puede denominar como paneles núcleo, núcleo de panal, o panel núcleo intercalado. Adicionalmente, la constitución química del material compuesto 12 puede incluir sustancias epoxi, BMI, benzoxazina, vinilo, acrílicas, poliéster, poliamida, ftalonitrilo, y cualesquiera otras sustancias similares conocidas en la técnica. El material 14 compuesto se puede poner en el aparato 12 SMP utilizando colocación automática de tela, colocación automática de fibra, bobinado automático de filamentos, colocación de tela, moldeo manual, o cualquier otro método conocido en la técnica. El material 14 compuesto puede ser configurado para ser endurecido o curado, tal como en una autoclave, fuera de una autoclave, por medio de un proceso de curado a baja temperatura, y/o por medio de un proceso de curado a alta temperatura.

En uso, el aparato 12 SMP se puede formar dentro de una configuración de herramienta rígida y luego el material 14 compuesto se puede aplicar sobre esta. Por ejemplo, el aparato 12 SMP se puede formar mediante uno o más moldes internos puestos dentro del aparato 12 SMP y/o uno o más moldes externos (tales como la herramienta 28 externa rígida) puesta fuera del aparato 12 SMP. Los moldes interno o externos pueden comprender cualquier número de componentes integralmente formados o ensamblados para proporcionar una forma deseada al aparato 12 SMP, tal como la piel 22 falsa, agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o insertos 26 de refuerzo puestos dentro de o en la herramienta 28 externa rígida en cualquier configuración deseada. Sin embargo, cualquier método del aparato SMP formado 12 se puede utilizar sin apartarse del alcance de la invención.

En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP se puede sellar en los moldes externos o internos, se calienta, y luego se presiona contra los moldes externos o internos. Por ejemplo, el aparato 12 SMP puede ser presionado contra los moldes por vía de una presión diferencial inducida mediante inflado, vacío, y/o cualquier otro método conocido en la técnica para empujar el aparato 12 SMP hacia el molde. Específicamente, el aparato 12 SMP se puede calentar e inflar hacia el molde externo dentro de una configuración para formar una superficie interna de una parte compuesta. Una vez el aparato 12 SMP se enfría en la configuración de herramienta rígida, como se ilustra en la Figura 1, el aparato 12 SMP se puede retirar de los moldes externos o internos y el material 14 compuesto se puede poner en el aparato 12 SMP utilizando cualquier método conocido en la técnica, tal como colocación de fibra. El aparato 12 SMP se puede denominar aquí como en la "configuración de herramienta rígida" después que se forma dentro de la forma deseada para el material 14 compuesto que se va a aplicar a esto.

En algunas realizaciones de la invención, se pueden formar cavidades 40 en el aparato 12 SMP de tal manera que los componentes (tales como agentes de rigidez internos como estructuras compuestos, travesaños, o núcleos) se pueden poner dentro de las cavidades para coadherir o cocurar al material 14 compuesto. Luego el material 14 compuesto se puede poner sobre y/o en el aparato 12 SMP y los componentes se coadhieren o cocuran. Estas cavidades 40 pueden mantener los componentes para ser coadheridos o cocurados en el material 14 compuesto en su lugar durante la aplicación del material 14 compuesto sin la necesidad de cualquiera adhesiones mecánicas. Adicionalmente o alternativamente, se pueden utilizar diversas restricciones para mantener los agentes de rigidez internos en su lugar durante la aplicación del material 14 compuesto. Luego la presión a través del aparato 12 SMP puede comprimir estos componentes o agentes de rigidez internos contra el material compuesto durante curado, sin embargo se cocuran o coadhieren juntos,

Adicionalmente o alternativamente, el tamaño y forma del aparato 12 SMP se puede configurar para permitir engrosar el material 14 compuesto o capas adicionales del material 14 compuesto que se van a aplicar sobre este

en ubicaciones seleccionadas. Por ejemplo, el aparato 12 SMP puede tener una parte con un área en sección transversal más pequeña y una parte con un área en sección transversal más grande. La parte del aparato 12 SMP con el área en sección transversal más pequeña puede permitir una cantidad mayor del material 14 compuesto que se van a aplicar sobre este. En general, el aparato 12 SMP puede tener una forma y se configura para proporcionar un espacio suficiente o desfase entre el aparato 12 SMP y la herramienta 28 externa rígida de tal manera que un grosor deseado del material 14 compuesto y/o los agentes de rigidez internos puedan encajar dentro de dicho desfase.

Una vez se aplica el material compuesto, el aparato 12 SMP y el material 14 compuesto puede tener calor y presión aplicada en este con el propósito de curar el material 14 compuesto y/o para cocurar o coadherir otros componentes o agentes de rigidez internos al material 14 compuesto. Adicionalmente, el calor también se puede utilizar para que cambie el módulo del aparato 12 SMP. Por ejemplo, el aparato 12 SMP y el material 14 compuesto se puede poner en el espacio hueco de la herramienta 28 externa rígida y se calienta y se presuriza según se requiera para curado del material 14 compuesto. En algunas realizaciones, el calor utilizado durante este proceso de curado puede ser mayor que T_g del aparato 12 SMP, provocando que el aparato 12 SMP se convierta a su estado maleable, y una presión diferencial aplicada desde dentro de y/o sin el aparato 12 SMP (por ejemplo, por medio de autoclave) puede provocar que el aparato 12 SMP se empuje hacia la herramienta 28 externa rígida. Específicamente, el calor puede transformar el aparato 12 SMP de la configuración de herramienta rígida dentro de una configuración de cámara de aire en la que el aparato 12 SMP se vuelve flexible e inflable, que actúa como una cámara de aire interna para comprimir el material compuesto 12 contra la herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Figura 2. Adicionalmente, en algunas realizaciones de la invención, se puede aplicar una presión diferencial pequeña o presurización al aparato 12 SMP hasta que su temperatura excede T_g , en la que el punto de presión se puede intensificar hasta la cantidad completa de presión deseada.

El aparato 12 SMP por lo tanto se puede utilizar para presionar el material 14 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida o cualquier superficie de molde rígido alternativo. La presión diferencial, como se describe aquí, se puede inducir utilizando una variedad de métodos, con el aparato 12 SMP sellado en una forma hermética al aire a una de las herramientas rígidas o moldes descritos aquí, de tal manera que el aparato 12 SMP se infla hacia el material compuesto y/o se extrae contra el material 14 compuesto durante curado. En algunas realizaciones de la invención, la presión diferencial se introduce por medio de autoclave.

Alternativamente, en algunas realizaciones de la invención, una bolsa de vacío u otra lámina impermeable de material se puede aplicar en dicha forma para empujar el aparato 12 SMP, en su estado maleable, hacia una superficie rígida para comprimir el material 14 compuesto entre el aparato 12 SMP y la superficie rígida. En esta realización de la invención, la bolsa de vacío u otra lámina impermeable de material se pueden sellar en una de las herramientas rígidas o moldes descritas aquí, tales como la herramienta 28 externa rígida. Esto puede ser particularmente útil si el aparato 12 SMP no es impermeable, comprende cualesquiera huecos o desgarros allí, y/o no se puede sellar a otra superficie de tal manera que una presión diferencial puede ser inducida entre el aparato 12 SMP y la superficie a la que se sella. Por ejemplo, la bolsa de vacío se puede sellar en la herramienta 28 externa rígida y se puede utilizar para accionar el aparato 12 SMP, en su estado maleable, en una dirección deseada por vía de una presión diferencial aplicada a la bolsa de vacío.

Como se describió anteriormente, el aparato 12 SMP se puede configurar para experimentar un cambio en el módulo en respuesta a activaciones diferente al calor, tales como una corriente eléctrica, agua, y/o encendido. Por lo tanto, en algunas realizaciones de la invención, una de las otras activaciones también se puede aplicar al aparato 12 SMP como el material 14 compuesto que se va a curar, de tal manera que el aparato 12 SMP es suficientemente maleable para inflar o de otra forma comprimir el material 14 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida.

Una vez el material 14 compuesto se cura, la presión diferencial se puede ecualizar sustancialmente mientras que la temperatura se mantiene por encima de T_g , y luego el aparato 12 SMP en la configuración flexible de la cámara de aire se puede retirar desde dentro de la parte compuesta curada. Alternativamente, una vez el material 14 compuesto se cura, puede ser inducida una presión diferencial suficiente para empujar el aparato 12 SMP lejos del material compuesto curado. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP se puede contraer en su forma original o forma con memoria, que permite el retiro fácil del aparato 12 SMP desde dentro de la parte compuesta resultante. En otras realizaciones de la invención, como se describe finalmente aquí, un mandril interno puesto dentro del aparato 12 SMP se puede configurar para extraer el aparato 12 SMP (todavía en su estado maleable) lejos de la parte compuesta. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP se puede empujar lejos de la parte compuesta curada mientras que aún está en estado maleable, luego permitir enfriarse y/o se vuelve por lo menos algo rígido o completamente rígido antes de ser retirado desde dentro de la parte compuesta curada.

El aparato 12 SMP puede ser utilizado para formar una variedad de partes compuestas de diversas geometrías, tales como partes compuestas con geometrías de captura. Por ejemplo, las partes compuestas pueden ser fuselaje de aeronaves, alas, góndolas, paneles, conductos, y soportes estructurales de la aeronave o agentes de rigidez. Ejemplos de soportes estructurales de aeronave pueden incluir travesaños, estructuras, agentes de rigidez con

forma de sombrero trapezoidal, agentes de rigidez con forma acampanada, agentes de rigidez tipo sombrero invertido, agentes de rigidez con forma de J, agentes de rigidez con forma de F, agentes de rigidez de paleta, agentes de rigidez con forma de I, y agentes de rigidez con forma de C. Adicionalmente, las partes compuestas formadas con el aparato 12 SMP pueden incluir partes para helicópteros, estructuras de soportes, pantallas térmicas, aros, entradas, alerones, puntas de las alas, estabilizantes verticales y horizontales, estructuras de helicópteros, empenaje, travesaños, rebordes, estructuras tubulares de fuselaje, superficies de control, secciones de nariz, fuselaje, aletas, alerones, deflectores, listones, tubos de torque, ejes de accionamiento, capuchas, entradas de motor, boquillas de escape, conos de escape, propulsores, cajas de cambios, carcasas de transmisión, manguitos, paletas de rotor, tanques de combustible, tren de aterrizaje, pozos del tren de aterrizaje, puertas, subestructuras, largueros, bandejas de alambre, amortiguadores, soportes, estabilizantes de estructura, montajes de piezas, pedestales de control, consolas de instrumentos, etc. Estas partes compuestas se pueden formar utilizando el aparato 12 SMP al poner primero el material 14 compuesto contra por lo menos una parte del aparato 12 SMP cuando el aparato 12 SMP está en su configuración de herramienta rígida. Luego el material 14 compuesto se puede comprimir contra y/o mediante el aparato 12 SMP en un estado rígido o estado maleable durante curado del material 14 compuesto dentro de la parte compuesta. En algunas realizaciones de la invención, se puede utilizar más de un aparato 12 SMP para fabricar la parte compuesta, como se describe aquí adelante. En algunas realizaciones de la invención en donde una pluralidad de aparatos SMP se utilizan para formar la parte compuesta, los aparatos SMP se pueden configurar para que tengan diferentes temperaturas T_g o diferentes activaciones para cambiar el módulo de los diferentes aparatos SMP, como se describió anteriormente.

Adicionalmente, los agentes de rigidez internos se pueden cocurar o coadherir con cualquier parte compuesta, tal como las partes compuestas enumeradas anteriormente, utilizando el aparato 12 SMP, como se describe más adelante. El término el cocurado se define aquí como simultáneamente curado y adhesión de dos partes compuestas no curadas. El término coadherir se define aquí como simultáneamente curado una parte compuesta no curada mientras que la adhesión a la parte compuesta no curada a una parte endurecida o una parte compuesta previamente curada. Los agentes de rigidez internos pueden incluir, por ejemplo, estructuras, travesaños, o núcleo, como se definió anteriormente. Las estructuras y travesaños pueden alargar agentes de rigidez estructurales que se extienden lateralmente y/o perpendicular con relación a una longitud de una parte compuesta. En algunas realizaciones de la invención, las estructuras pueden cruzar los travesaños en una configuración similar a rejilla. Ejemplos de algunos tipos específicos de estructuras y travesaños pueden incluir agentes de rigidez con forma de sombrero trapezoide, agentes de rigidez con forma acampanada, agentes de rigidez con forma de sombrero invertido, agentes de rigidez con forma de J, agentes de rigidez con forma de F, agentes de rigidez de paleta, agentes de rigidez con forma de I, y agentes de rigidez con forma de C. Adicionalmente, el aparato 12 SMP puede ser utilizado para formar una variedad de otras partes compuestas, tales como remolques, conductos de automóviles y colectores, manguera, neumáticos, turbocompresores, tanques, automóviles, vehículos de carreras, barcos, yates, bicicletas, canoas, kayaks, remos, artículos deportivos, de armas, empuñaduras, ballestas y accesorios, palos de golf y componentes relacionados, cañas de pescar, guitarras, tuberías, postes, suministros de construcción, paletas de aerogeneradores, componentes de motor, mobiliario, mástiles de vela, cerramientos electrónicos, armaduras, ejes de transmisión, satélites, misiles, y el aeronave. Estas partes compuestas se pueden formar utilizando métodos similares a cualquiera de los métodos descritos aquí.

40 Fabricar un fuselaje con el aparato SMP

Otra realización de la presente invención es un método para fabricar un fuselaje 15 de aeronave con agentes de rigidez 24 internos integrados, como se ilustra en la Figura 13. El método de esta realización se puede implementar con el aparato 12 SMP, como se describió anteriormente, junto con una herramienta 16 de mandril interno, sellos 18, 20, de extremo la piel 22 falsa, los agentes de rigidez 24 internos, los insertos 26 de refuerzo, y la herramienta 28 externa rígida, como se ilustra mejor en las Figuras 2-12.

En esta realización de la invención, el aparato 12 SMP, como se ilustra en la Figura 3, puede tener los rasgos y características descritos adelante en referencia a la realización de la invención ilustrada en las Figuras 1-2. Adicionalmente, el aparato 12 SMP puede tener una forma de barril, botella, embudo, cono, o de cilindro como su forma con memoria fundida. Sin embargo, cualquier otra forma con memoria fundida se puede utilizar sin apartarse del alcance de la invención. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP se puede recibir en un estado inflado. Específicamente, el aparato 12 SMP se puede hacer calentado anteriormente e inflado a un diámetro mayor que aquel de su forma con memoria y luego se enfría y endurece en ese estado inflado. El aparato 12 SMP puede comprender uno o dos extremos abiertos. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP puede tener aproximadamente 1 pulgada a 35 pies de diámetro y aproximadamente 1 pie a 75 pies de longitud. Sin embargo, el aparato 12 SMP puede tener cualesquiera dimensiones sin apartarse del alcance de la invención.

La herramienta 16 de mandril interno, como se ilustra en la Figura 4, se puede hacer de cualquier material durable rígido que permanece rígido a través de un ciclo de curado de compuesto. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 16 de mandril interno puede ser sustancialmente cilíndrica. Adicionalmente, la herramienta 16 de mandril interno puede ser hueca, tiene una pared 30 cilíndrica y dos extremos 32, 34 opuestos que pueden comprender aberturas (no mostradas) en el espacio hueco dentro de la herramienta 16 de mandril interno.

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 se puede forzar dentro de la herramienta 16 hueca de mandril interno, tal como por vía de líneas aéreas (no mostradas), proporcionando por lo tanto fuerza de inflado hacia afuera de la herramienta 16 de mandril interno. Las aberturas 36 de inflado también se pueden configurar para succionar el aparato 12 SMP contra la herramienta 16 de mandril interno durante diversas etapas para fabricar el fuselaje 15, como se describe adelante.

En algunas realizaciones de la invención, una superficie externa de la herramienta 16 de mandril interno también puede comprender contornos variados. Por ejemplo, los contornos variados pueden incluir una serie de protuberancias 38 y/o indentaciones para uso en la recuperación del aparato 12 SMP después que se cura la parte compuesta. Específicamente, como se ilustra en la Figura 4, una superficie externa de la pared 30 cilíndrica puede comprender las protuberancias 38 en la forma de una pluralidad de cantos o rebordes circunferencialmente o axialmente separados y dispuestos sustancialmente paralelos entre sí. Cada uno de los cantos o rebordes se puede extender entre los extremos 32, 34 opuestos de la herramienta 16 de mandril interno y se pueden formar con un patrón ondulado o sinusoidal que se extiende entre los extremos 32, 34 opuestos de la herramienta 16 de mandril interno, como se ilustra en la Figura: 4. Adicionalmente o alternativamente, las protuberancias 38 pueden ser uno o más anillos concéntricos formados alrededor de la herramienta 16 de mandril interno, o pueden tener cualquier otra configuración. Las protuberancias 38 se pueden formar integralmente o de otra forma adherir a la herramienta 16 de mandril interno.

El propósito de los contornos variados o protuberancias 38 es introducir una cantidad mayor de deformación del aparato 12 SMP en un área en sección transversal más pequeña. Específicamente, cuando el aparato 12 SMP se empuja mediante una presión inducida diferencial hacia la herramienta 16 de mandril interno que se retira desde dentro de una parte compuesta curada, los contornos variados o protuberancias 38 evitan que el aparato 12 SMP se doble sobre sí mismo. Por ejemplo, después de su expansión hacia afuera durante curado, como se describe más adelante, el aparato 12 SMP se puede estirar. La deformación axial y/o de aro inducida por los contornos variados o protuberancias 38 puede evitar que el aparato 12 SMP se doble sobre sí mismo o se pliegue y dañe el material SMP.

Así esencialmente los contornos variados, protuberancias 38, y/o invenciones proporcionan un área de superficie mayor para que el aparato 12 SMP se contraiga sin requerir un aumento de tamaño y/o sección transversal de la herramienta 16 de mandril interno. En la realización ilustrada en la Figura 4, si el radio de la herramienta 16 de mandril interno es "r", y la longitud es "L", entonces la ecuación para el área de superficie sería normalmente $2\pi r^2 L$. Sin embargo, debido a que las protuberancias 38 se extienden desde la superficie de la herramienta 16 de mandril interno en la Figura 4, el área de superficie de la herramienta 16 de mandril interno en la Figura 4 es mayor que $2\pi r^2 L$.

Como se ilustra en la Figura 5, los sellos 18, 20 de extremo pueden ser cualesquiera accesorios de extremo, sellos, y/o configuraciones de sello para proporcionar un sello hermético al aire entre el aparato 12 SMP y la herramienta 16 de mandril interno en o cerca de los extremos 32, 34 del aparato 12 SMP. Por ejemplo, los sellos de extremo 18, 20 pueden tener forma de matrices de cerradura y se configura para unirse a los extremos 32, 34 de la herramienta 16 de mandril interno sobre partes del aparato 12 SMP cerca de los extremos abiertos del aparato 12 SMP, formando por lo tanto un recipiente de presión dentro del aparato 12 SMP. Debido a la naturaleza del material SMP, se puede requerir calor para formar un sello adecuado entre los sellos 18, 20 de extremo el aparato 12 SMP, y/o la herramienta 16 de mandril interno. En algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de extremo pueden ser matrices de cerradura sustancialmente circulares. La presión de inflado se puede introducir al bombear gas comprimido dentro del aparato 12 SMP por vía de una o más líneas aéreas (no mostradas) cargadas a través de los sellos 18, 20 de extremo en algunas realizaciones de la invención. Sin embargo, la presión aplicada al aparato 12 SMP se puede proporcionar a través de cualesquiera aberturas en los sellos 18, 20 de extremo la herramienta 16 de mandril interno, y/o la herramienta 28 externa rígida sin apartarse del alcance de la invención. Observe que en algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de extremo se pueden omitir o se pueden configurar para sellar adicionalmente o alternativamente el aparato 12 SMP a la herramienta 28 externa rígida.

La piel 22 falsa, como se ilustra en las Figuras 6b y 7, se puede hacer de cualquier material y puede tener un grosor que corresponde al grosor del material 14 compuesto no curado que se pone en el aparato 12 SMP. La piel 22 falsa se puede hacer de formas de material compuesto, metal, plásticos no reforzados, o cualquier material que exhibe buena estabilidad dimensional bajo calor y presión. Por ejemplo, la piel 22 falsa se puede formar del material compuesto, tal como laminado compuesto epoxi reforzado con fibra de grafito. La piel 22 falsa se configura para ser puesta dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se describe más adelante, durante la deformación del aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida. En algunas realizaciones de la invención, la piel 22 falsa también puede incluir o se forma integralmente con los agentes 23 de rigidez falsos internos.

Los agentes 23 de rigidez falsos internos, como se ilustra en la Figura 6b y 7 pueden ser estructuras rígidas con un tamaño y forma sustancialmente idénticas a los agentes de rigidez 24 internos y dispuestas sobre la piel 22 falsa para representar los agentes de rigidez 24 internos curados y no curados durante la deformación del aparato SMP

dentro de la configuración de herramienta rígida. Los agentes 23 de rigidez falsos internos alternativamente, pueden tener una forma y tamaño para representar los agentes de rigidez internos y los insertos 26 de refuerzo durante la deformación del aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida.

Los agentes de rigidez 24 internos, como se ilustra en la Figura 6a y 10b, pueden ser cualesquiera agentes de rigidez de subestructura configurados para ser coadheridos y/o cocurados en el material 14 compuesto del fuselaje u otra parte compuesta. Los agentes de rigidez 24 internos pueden ser componentes estructurales alargados curvos para que coincidan con el contorno de una superficie interna del fuselaje. Los agentes de rigidez 24 internos pueden comprender material compuesto curado o material compuesto no curado en la forma de piezas de estructura internas, tales como estructuras y travesaños. Los agentes de rigidez 24 internos se pueden mantener en una forma deseada durante cura por medio de los insertos 26 de refuerzo, como se describe más adelante. Algunos ejemplos de agentes de rigidez 24 internos incluyen, pero no se limitan a agentes de rigidez con forma de sombrero de trapecio, agentes de rigidez con forma acampanada, agentes de rigidez con forma de sombrero invertido, agentes de rigidez con forma de J, agentes de rigidez con forma de F, agentes de rigidez de paleta, agentes de rigidez con forma de I, agentes de rigidez con forma de C, núcleo agentes de rigidez, panel núcleo intercalado, núcleo de panel, y similares. En algunas realizaciones de la invención, los agentes de rigidez 24 internos pueden incluir estructuras de aproximadamente 8 pulgadas de alto & travesaños de aproximadamente 3 pulgadas de alto. Sin embargo, se pueden utilizar cualesquiera dimensiones sin apartarse del alcance de esta invención.

En algunas realizaciones de la invención, las estructuras se pueden configurar para intersectar los travesaños en una configuración similar a rejilla dentro del fuselaje 15 terminado. Por ejemplo, los travesaños se pueden formar para superponer las estructuras y/o las estructuras se pueden formar para superponer los travesaños, como se ilustra en la Figura 6a. La superposición de los agentes de rigidez 24 internos se puede llevar a cabo ajustando el tamaño y conformando los agentes de rigidez 24 internos para ajustarlo como piezas de rompecabezas. Las mismas configuraciones también se pueden utilizar para los agentes 23 de rigidez falsos internos, como se ilustra en las Figuras 6b, 7, 8, y 9.

Los insertos 26 de refuerzo, como se ilustra en la Figura 7, se pueden hacer de un material rígido, tal como una aleación de acero de níquel como INVAR, y pueden hacer contacto y/o acoplarse con partes de los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos que enfrentan el aparato 12 SMP. Los insertos 26 de refuerzo se pueden configurar para aliviar esquinas afiladas y los extremos de los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos para facilitar mejor la formación del aparato 12 SMP. Específicamente, los insertos 26 de refuerzo se pueden configurar para acoplarse con o descansar dentro de uno o más ángulos presentados por uno o más de los agentes de rigidez 24 internos y/o agentes 23 de rigidez falsos internos. Por ejemplo, si uno de los agentes de rigidez 24 internos o agentes 23 de rigidez falsos internos presentan un ángulo derecho, uno de los insertos 26 de refuerzo puede tener dos superficies que se encuentran en un ángulo derecho y se configura para acoplarse con el ángulo derecho de ese refuerzo 24 interno o refuerzo 23 interno falso. Los insertos 26 de refuerzo también tienen superficies que se orientan lejos del refuerzo 24 interno o refuerzo 23 interno falso que son sustancialmente planos y/o presentan más ángulos graduales. Por ejemplo, uno o más de los insertos de refuerzo 24 pueden tener por lo menos una superficie angular o biselada y/o bordes redondeados que pueden hacer contacto con el aparato 12 SMP cuando se empuja hacia afuera hacia la herramienta 28 externa rígida, como se describe más adelante. Los insertos 26 de refuerzo también pueden ser curvos, en sentido longitudinal, para que coincida sustancialmente con una curva de los agentes de rigidez 24 internos, los agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o la superficie interna de la herramienta 28 externa rígida.

Los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos, junto con los insertos 26 de refuerzo se pueden configurar para formar cavidades 40, tales como ranuras o canales, dentro del aparato 12 SMP, como se ilustra en la Figura 10 y se describe aquí más adelante. En algunas realizaciones de la invención, los agentes 23 de rigidez falsos internos y/o los insertos 26 de refuerzo se pueden configurar para formar las cavidades 40 dentro del aparato 12 SMP, y se puede reemplazar después con los agentes de rigidez 24 internos. Por ejemplo, una vez el aparato 12 SMP está en la configuración de herramienta rígida, la piel 22 falsa, los agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o insertos 26 de refuerzo se pueden retirar de las cavidades 40 y reemplazados con los agentes de rigidez 24 internos no curados, se configura contra los insertos 26 de refuerzo, que se van a cocurar dentro del fuselaje 15. Alternativamente, una vez el aparato 12 SMP está en la configuración de herramienta rígida, la piel 22 falsa, agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o insertos 26 de refuerzo se puede retirar de las cavidades 40 y reemplazar con agentes de rigidez 24 internos precurados, se configura contra los insertos 26 de refuerzo se coadjuntan con el fuselaje 15.

En un realización de ejemplo de la invención, como se ilustra en las Figuras 6a, 6b, y 7, los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos pueden comprender agentes de rigidez 42 en forma de J soportados sobre por lo menos dos lados mediante insertos 26 de refuerzo correspondientes. Adicionalmente, los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos en esta realización de ejemplo puede comprender estructuras 44 que tienen una sección transversal sustancialmente con forma de "T", con las estructuras 44 también cada una se puede soportar sobre por lo menos dos lados mediante insertos 26 de refuerzo correspondientes. Como se ilustra en la Figura 7, los insertos 26 de refuerzo y/o partes de los agentes 23 de rigidez

falsos internos se pueden mantener en su lugar y se mantiene mediante sujetadores 46 mecánicos, tales como correas y pernos de empalme. Sin embargo, los agentes de rigidez 24 internos y/o los agentes 23 de rigidez falsos internos pueden tener cualesquiera configuraciones conocidas y los insertos 26 de refuerzo pueden tener cualquier forma y configuración para que se acoplen a estos.

5 La herramienta 28 externa rígida, como se ilustra en la Figura 8, puede ser una herramienta rígida que tiene una superficie interna se configura para dar forma a una superficie externa del fuselaje 15. Por ejemplo, la herramienta 28 externa rígida puede ser una herramienta plegable, como se ilustra en la Figura 2 o como se ilustra en la Figura 8, y puede tener dos mitades, que incluyen una cubierta inferior y una cubierta superior. Juntas, las dos mitades pueden formar una forma cilíndrica hueca unido por la superficie interna de la herramienta 28 externa rígida. Sin embargo, la herramienta 28 externa rígida puede comprender cualquier pluralidad de las partes que, cuando se unen, puede formar una superficie interna se configura para formar la forma de la superficie externa del fuselaje 15.

En general, un método para fabricar el fuselaje 15 pueden incluir las etapas de formación el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida con las cavidades 40 por los agentes de rigidez 24 internos, poner los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados e insertos 26 de refuerzo dentro de las cavidades 40 en el aparato 12 SMP, poner el material 14 compuesto no curado en el aparato 12 SMP, luego poner ese aparato 12 SMP y el material 14 compuesto no curado dentro de la herramienta 28 externa rígida. El método luego puede incluir las etapas de curado el material 14 compuesto por medio de presión y calor mientras que infla simultáneamente o de otra parte expande el aparato 12 SMP para comprimir el material 14 compuesto contra la herramienta 28 externa rígida durante el proceso de curado, luego, una vez el material 14 compuesto se cura, empujar el aparato 12 SMP a una sección transversal reducida, y extraer el aparato 12 SMP desde dentro del fuselaje resultante. Los agentes de rigidez 24 internos por lo tanto se pueden coadherir y/o cocurar con el fuselaje compuesto, eliminando la necesidad de sujetadores mecánicos para unir los agentes de rigidez 24 internos al fuselaje. Los métodos descritos aquí para cocurar o coadherir los agentes de rigidez 24 internos al fuselaje también se pueden utilizar para cocurar o coadherir los agentes de rigidez u otros componentes a cualquier parte compuesta conocido en la técnica, tal como cualquiera de los diversos componentes de aeronaves mencionados aquí.

El diagrama de flujo de la Figura 14 describe las etapas de un método 1400 de ejemplo para formar el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida utilizada para fabricar el fuselaje 15. En algunas implementaciones alternativas, las funciones observadas en los diversos bloques pueden ocurrir fuera del orden descrito en la Figura 14. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesivos en la Figura 14 de hecho se pueden ejecutar sustancialmente concurrentemente, o los bloques algunas veces se pueden ejecutar en orden inverso dependiendo de la funcionalidad involucrada.

El método 1400 puede comprender las etapas de recibir el aparato 12 SMP en el estado inflado, como se ilustra en la Figura 3, o recibir el aparato 12 SMP en su forma con memoria y luego calentar e inflar el aparato 12 SMP dentro de su estado inflado, como se describe en el bloque 1402. Esta expansión del aparato 12 SMP también se puede llevar a cabo utilizando diversas otras activaciones para que cambie el módulo del aparato 12 SMP y/o diversas otras fuerzas o técnicas para expandir el aparato 12 SMP al tamaño deseado. El aparato 12 SMP luego puede ser suficientemente grande para deslizarse sobre la herramienta 16 de mandril interno. Alternativamente, el aparato 12 SMP se puede fundir con una forma con memoria suficientemente grande para que se ajuste sobre la herramienta 16 de mandril interno. La siguiente etapa del método 1400 puede deslizar la herramienta 16 de mandril interno dentro del aparato 12 SMP o deslizar el aparato 12 SMP en la herramienta 16 de mandril interno, como se describe en el bloque 1404. En todavía otra realización alternativa de la invención, el aparato 12 SMP se puede recibir un estado colapsado y se puede conformar en la herramienta 16 de mandril interno de la Figura 4.

Una vez el aparato 12 SMP se posiciona sobre la herramienta 16 de mandril interno, el método 1400 puede comprender calentar el aparato 12 SMP por encima de T_g en la que el material SMP se vuelve maleable y formable, como se describe en el bloque 1406. Por encima de la temperatura umbral T_g , el aparato 12 SMP se puede contraer naturalmente hacia su forma original con memoria y tamaño, provocando que el aparato 12 SMP se contraiga alrededor de y forme una herramienta 16 de mandril interno, como se ilustra en la Figura 5. Adicionalmente o alternativamente, se puede aplicar vacío desde dentro de la herramienta 16 de mandril interno, por medio de las aberturas de inflado, y puede succionar el aparato 12 SMP maleable, caliente contra la herramienta 16 de mandril interno. En algunas realizaciones de la invención, la herramienta 16 de mandril interno puede tener partes 48 anguladas o biseladas en cada uno de los extremos 32, 34 opuestos a los que el aparato 12 SMP se puede conformar. Cualquier exceso de material que se extiende hacia afuera más allá de las partes 48 anguladas o biseladas puede ser necesario que se corten.

El método 1400 puede comprender adicionalmente la etapa de aplicar los sellos 18, 20 de extremo al aparato 12 SMP y la herramienta 16 de mandril interno, como se describe en el bloque 1408, creando un recipiente de presión entre la herramienta 16 de mandril interno y el aparato 12 SMP. Específicamente, cuando el aparato 12 SMP se contrae, las partes de extremo del aparato 12 SMP se pueden presionar hacia adentro hacia la herramienta 16 de mandril interno y/o sus partes 48 anguladas o biseladas y se bloquean por los sellos 18, 20 de extremo, tales como matrices de cerraduras. En algunas realizaciones de la invención, los sellos 18, 20 de extremo se pueden acoplar con las

partes 48 anguladas o biseladas de la herramienta 16 de mandril interno, las partes de intercalado del aparato 12 SMP entre los sellos 18, 20 de extremo y la herramienta 16 de mandril interno para formar un sello hermético al aire. En algunas realizaciones alternativas de la invención, la etapa de aplicar los sellos 18, 20 de extremo se puede omitir o el aparato 12 SMP se puede sellar en otras formas o en otras superficies para permite que una presión diferencial actúe sobre el aparato 12 SMP.

La siguiente etapa del método 1400 puede comprender poner los agentes 23 de rigidez falsos internos y/o insertos 26 de refuerzo en la piel 22 falsa en una configuración que corresponde con ubicaciones deseadas de los agentes de rigidez 24 internos dentro del fuselaje, como se describe en el bloque 1410 y se ilustra en la Figura 7. La piel 22 falsa, los agentes 23 de rigidez falsos internos, y/o los insertos 26 de refuerzo se pueden cubrir con una película delgada o alguna otra sustancia para evitar que se peguen entre sí y/o al aparato 12 SMP. El método 1400 luego puede comprender poner la piel 22 falsa dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se describe en el bloque 1412. Específicamente, la piel 22 falsa se puede aplicar a la superficie interna de la herramienta 28 externa rígida con el propósito de imitar o servir como un marcador de posición para el grosor del material 14 compuesto que se pondrá en el aparato 12 SMP. Esto asegura que el aparato 12 SMP con el material 14 compuesto aplicado sobre este en un grosor deseado aún se ajuste dentro de la herramienta 28 externa rígida.

Los insertos 26 de refuerzo se pueden posicionar en la piel 22 falsa que descansa sobre la herramienta 28 externa rígida junto con los agentes 23 de rigidez falsos internos, que se pueden formar y se configuran para emular el tamaño y configuración de los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados. Los agentes 23 de rigidez falsos internos luego se pueden remover de las cavidades 40 y reemplazar con los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados. Los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados junto con los insertos 26 de refuerzo luego se pueden poner dentro de las ranuras o cavidades 40 para coadherir o cocurar los agentes de rigidez 24 internos con el material 14 compuesto fabricando así el fuselaje 15.

Como se indicó anteriormente, los agentes 23 de rigidez falsos internos se pueden omitir y/o reemplazar con los agentes de rigidez 24 internos en cualquiera de las etapas descritas aquí en un estado curado o no curado. Por ejemplo, los agentes de rigidez internos. 24 y/o los insertos de refuerzo se pueden utilizar para formar las cavidades 40. En una realización de la invención, los agentes de rigidez 24 internos se pueden precurar y/o curar durante la conformación del aparato 12 SMP y luego se pueden coadherir al material 14 compuesto durante su cura, fabricando de esta forma el fuselaje 15.

El método 1400 puede comprender adicionalmente las etapas de poner el aparato 12 SMP, junto con la herramienta 16 de mandril interno, dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se describe en el bloque 1414 y se ilustra en la Figura 8, y luego calentar y presurizar el aparato 12 SMP, como se describe en el bloque 1416. El calor y presión puede forzar el aparato 12 SMP a inflarse y presionar contra la piel 22 falsa, los agentes 23 de rigidez falsos internos, agentes de rigidez 24 internos, y/o insertos 26 de refuerzo. Como mencionó anteriormente, el aparato 12 SMP se puede calentar a o por encima de T_g con el propósito de cambiar el módulo del aparato 12 SMP para hacerlo formable y expandible. Sin embargo, otros también se pueden utilizar métodos para que cambie el módulo del aparato 12 SMP, como se describe aquí. Adicionalmente, en realizaciones alternativas de la invención, las etapas del método 1410-1414 se pueden reemplazar con una etapa de poner el aparato 12 SMP dentro de cualquier forma de molde externa rígida y se configura para imitar una superficie interna de la parte compuesta que forma y que comprende protuberancias para formar las cavidades 40 deseadas dentro del aparato 12 SMP.

La presión o presión diferencial puede ser inducida en una serie de formas, tales como por medio de un gas comprimido forzado aplicado a través de las aberturas 36 de inflado de la herramienta 16 de mandril interno, como se ilustra en la Figura 4. Por ejemplo, la presión requerida para expandir el aparato 12 SMP puede depender del grosor y/o tamaño general del aparato 12 SMP. Adicionalmente, el tipo de material SMP utilizado y/o el diseño del aparato 12 SMP también pueden afectar cómo es fácil o cómo es difícil tensionar el aparato 12 SMP. En algunas realizaciones de la invención, la presión en un rango de 1-150 libras de fuerza por pulgada cuadrada (psig) o presión en un rango más estrecho de 30-90 psig se puede aplicar para inflar el aparato 12 SMP. Por ejemplo, se puede aplicar aproximadamente 45 psig dentro del aparato 12 SMP para inflar el aparato 12 SMP. Adicionalmente, en cualquiera de las etapas del método descritas aquí en donde el aparato 12 SMP se calienta y se presuriza, una baja presión diferencial que puede ser inducida con calor se incrementa hasta o por encima de T_g para evitar que el aparato 12 SMP colapse lejos del material 14 compuesto cuando se empieza a ablandar. Luego, en algún punto después que el aparato 12 SMP excede T_g , la presión diferencial se puede intensificar hasta la cantidad deseada completa. Por ejemplo, se puede aplicar una baja presión de aproximadamente 5 a 10 psi (0,34-0,69 Bar) dentro del aparato 12 SMP hasta que se ha aplicado suficiente calor para hacer el aparato 12 SMP suficientemente maleable, en la que el punto de presión aplicada allí se puede intensificar hasta la presión del ciclo de cura, tal como 30-90 psi (2,07-6,20 Bar).

Luego, el método 1400 puede comprender enfriar el aparato 12 SMP para endurecerlo en la configuración de herramienta rígida, como se describe en el bloque 1418. La presión de inflado puede continuar para ser aplicada cuando la temperatura del aparato 12 SMP se enfría a un punto por debajo de T_g de tal manera que el aparato SMP se endurece en su configuración de herramienta rígida inflada. El aparato 12 SMP por lo tanto se forma de acuerdo

con la piel 22 falsa, los agentes 23 de rigidez falsos internos, agentes de rigidez 24 internos, y/o insertos 26 de refuerzo, que forman las cavidades 40, cavidades, o ranuras dentro del aparato 12 SMP. Como se describe en el bloque 1420, el método 1400 luego puede comprender retirar el aparato 12 SMP y herramienta 16 de mandril interno de la herramienta 28 externa rígida. La piel 22 falsa también se puede retirar del aparato 12 SMP, como se ilustra en la Figura 9. La Figura 10a ilustra adicionalmente el aparato 12 SMP resultante en la configuración de herramienta rígida después que se retiran los agentes 23 de rigidez falsos internos, revelando por lo tanto las cavidades 40 formadas por el método 1400. La Figura 10b ilustra el aparato 12 SMP resultante en la configuración de herramienta rígida con los agentes de rigidez 24 internos puestos en donde se ubican los agentes 23 de rigidez falsos internos en la Figura 9.

El diagrama de flujo de la Figura 15 describe las etapas de un método de ejemplo 1500 para fabricar el fuselaje 15 utilizando el aparato 12 SMP en más detalle. En algunas implementaciones alternativas, las funciones observadas en los diversos bloques pueden ocurrir fuera del orden descrito en la Figura 15. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión en la Figura 15 de hecho se pueden ejecutar sustancialmente concurrentemente, o los bloques algunas veces se pueden ejecutar en orden inverso dependiendo de la funcionalidad involucrada.

Como se ilustra en la Figura 15, el método 1500 primero puede incluir la etapa de formación del aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida, como se describe en el bloque 1502 y en las etapas del método de la Figura 14. Como se indicó anteriormente, esta etapa puede requerir la formación de las cavidades 40 en el aparato 12 SMP en una configuración que corresponde con las ubicaciones deseadas de los agentes de rigidez 24 internos dentro del fuselaje 15 terminado. Se puede utilizar una variedad de métodos para formar el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida deseada con las cavidades 40, cavidades, o ranuras formadas allí.

Una vez se forma el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida, el método 1500 para fabricar el fuselaje 15 puede incluir la etapa de poner los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados e insertos 26 de refuerzo dentro de las cavidades en el aparato 12 SMP, como se describe en el bloque 1504 y se ilustra en la Figura 10b. Sin embargo, en algunas realizaciones de la invención, si los agentes de rigidez 24 internos ya se posicionaron sobre o entre los insertos 26 de refuerzo durante el calentamiento y se formó el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida, entonces los agentes de rigidez 24 internos e insertos 26 de refuerzo pueden permanecer dentro de las cavidades 40 resultantes, cavidades, o ranuras que se crean en el aparato 12 SMP, y se puede omitir la etapa 1504.

En algunas realizaciones de la invención, los agentes de rigidez 24 internos pueden ser material no curado aplicado a y/o envuelto alrededor de uno o más aparatos SMP de refuerzo, hechos de material SMP como se describe adelante para el aparato 12 SMP. De esta forma, los agentes de rigidez 24 internos y la parte compuesta o fuselaje 15 se pueden cocurar utilizando el material SMP. Sin embargo, el material SMP utilizado para los aparatos SMP de refuerzo puede tener un activador diferente y/o un T_g diferente que el aparato 12 SMP utilizado para formar el fuselaje 15. De esta forma los aparatos SMP de refuerzo o el aparato SMP para el fuselaje 15 puede permanecer rígido durante cocurado mientras que los otros aparatos SMP de refuerzo y el aparato 12 SMP se utiliza como una cámara de aire interna durante cocurado.

El método 1500 luego puede comprender una etapa para aplicar una parte del material 14 compuesto no curado en el aparato 12 SMP, como se describe en el bloque 1506 y se ilustra en la Figura 11. Específicamente, el material 14 compuesto se puede aplicar en el aparato 12 SMP y los agentes de rigidez 24 internos que descansan en las cavidades 40, de tal manera que por lo menos una parte de los agentes de rigidez 24 internos hace contacto y puede cocurar o coadherir al material 14 compuesto del fuselaje 15, como se describe más adelante. El material 14 compuesto no curado se puede poner en el aparato 12 SMP utilizando cualquier método conocido en la técnica, tal como colocación automática de tela, colocación automática de fibra, bobinado de filamentos de filamentos, y/o moldeo manual. Como se mencionó anteriormente, el material 14 compuesto puede comprender o estar en la forma de resina a baja temperatura, resina a alta temperatura, resina endurecida, preimpregnado, fibra procesada húmeda, fibra seca, fibra continua, fibra discontinua, fibras cortadas, KEVLAR de 'vidrio', carbono, y/o núcleo. En algunas realizaciones de la invención, una barrera y/o agente de liberación se puede poner entre el aparato 12 SMP y el material 14 compuesto, de tal manera que pueden ser más fáciles de separar después que cura del material 14 compuesto. La barrera o agente de liberación puede ser una película, un plástico, etc. La barrera o agente de liberación también, por ejemplo, puede tener un lado adherible y un lado liberable.

El método 1500 para fabricar el fuselaje 15 luego puede comprender poner el aparato 12 SMP y el material 14 compuesto no curado dentro de la herramienta 28 externa rígida, como se describe en el bloque 1508. Luego, el método puede incluir las etapas de curado del material 14 compuesto por medio de presión y calor, como se describe en el bloque 1510, mientras que simultáneamente se infla el aparato 12 SMP para comprimir el material 14 compuesto durante el proceso de curado, como se describe en 1512. En algunas realizaciones de la invención, la presión de inflado se puede proporcionar por medio de la herramienta 16 de mandril interno y el calor se puede elevar a una temperatura de curado de compuesto por encima de T_g . El inflado del aparato 12 SMP puede comprimir el material 14 compuesto durante el ciclo de curado, y comprimir los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados entre el aparato 12 SMP y la herramienta 28 externa rígida. Adicionalmente o alternativamente, el inflado

del aparato 12 SMP puede aplicar la presión directamente a uno o más de los insertos 26 de refuerzo de tal manera que los insertos 26 de refuerzo aplican fuerza de compresión directamente a portes de los agentes de rigidez 24 internos posicionados entre los insertos 26 de refuerzo. El inflado del aparato 12 SMP también puede comprimir los agentes de rigidez 24 internos curados o no curados dentro del material 14 compuesto del fuselaje, de esta forma coadherir o cocurar los agentes de rigidez 24 internos al fuselaje.

En otra realización de la invención, se puede formar un sello entre la herramienta 28 externa rígida y el aparato 12 SMP utilizando sellos mecánicos, adhesivo, o cualquier otro método conocido para sellar partes periféricas del aparato 12 SMP a la herramienta 28 externa rígida. La herramienta 28 externa rígida se puede ventilar para mejorar adicionalmente la presión diferencial creada por autoclave durante curado del material 14 compuesto. Esto puede eliminar la necesidad de un sello hermético al aire con la herramienta 16 de mandril interno. Observe que otros métodos de comprimir el aparato 12 SMP contra el material 14 compuesto se pueden utilizar sin apartarse del alcance de la invención. Adicionalmente, el calor y presión diferencial descrita aquí se pueden proporcionar mediante autoclave (no mostrada) o cualquier otra combinación de las técnicas de calentamiento y presión conocidas para fabricar partes compuestas.

Una vez el material 14 compuesto se cura, el método 1500 puede comprender retirar la presión de inflado desde dentro del aparato 12 SMP, como se describe en el bloque 1514, y extraer el aparato 12 SMP fuera desde dentro del fuselaje resultante, como se describe en el bloque 1516. El aparato 12 SMP se puede contraer alrededor de la herramienta 16 de mandril interno una vez se retira la presión, mientras que el calor permanece por encima de T_g . Por ejemplo, se puede aplicar vacío desde dentro de la herramienta 16 de mandril interno para succionar el aparato 12 SMP contra la herramienta 16 de mandril interno. Como se ilustra en la Figura 12, el aparato 12 SMP por lo tanto se retira lejos del material compuesto curado 14. Sin embargo, la extracción de la herramienta 16 de mandril interno desde dentro del fuselaje curado y los agentes de rigidez 24 internos resulta en extracción del aparato 12 SMP que se contrae contra la herramienta 16 de mandril interno después que se retira la presión de inflado.

Finalmente, el método 1500 puede comprender las etapas de retirar los insertos 26 de refuerzo de los agentes de rigidez 24 internos curados, como se describe en el bloque 1518, y extraer el fuselaje de la herramienta 28 externa rígida, como se describe en el bloque 1520. Por ejemplo, las partes de la herramienta 28 externa rígida se pueden desconectar mecánicamente una de la otra, permitiendo que el fuselaje 15 y sus agentes de rigidez 24 internos integrados se levanten fuera de la herramienta 28 externa rígida.

En una realización alternativa de la invención, el aparato 12 SMP puede permanecer rígido durante curado. Por ejemplo, una vez el material 14 compuesto no curado se aplica en el aparato 12 SMP, estos se pueden embolsar al vacío o sellar dentro de un material flexible, impermeable (no mostrado) y se curan. En esta realización alternativa, la temperatura del material 14 compuesto curado puede ser menos de la temperatura T_g en la que el aparato 12 SMP se empieza a volver maleable, de tal manera que el aparato 12 SMP permanece rígido a través del ciclo de curado. Así que en lugar de utilizar el aparato 12 SMP como una cámara de aire Durante curado, el aparato 12 SMP puede permanecer rígido Durante curado, con fuerza de compresión de la bolsa de vacío o material impermeable que se utilizar para cocurar o coadherir el material 14 compuesto del fuselaje y los agentes de rigidez 24 internos. Luego, una vez el material 14 compuesto se cura, la bolsa de vacío se puede retirar de alrededor del fuselaje resultante, y la temperatura del aparato 12 SMP se puede elevar por encima de T_g de tal manera que el aparato 12 SMP puede ser maleable y/o contraerse hacia su forma con memoria que se retira desde dentro del fuselaje.

Fabricación de agentes de rigidez con el aparato SMP

Otra realización de la invención, como se ilustra mejor en las Figuras 16-17, es un método para fabricar un refuerzo 50, tal como los agentes de rigidez 24 internos, descritos anteriormente, una estructura, y/o un travesaño. En esta realización de la invención, el método se puede implementar utilizando el aparato 12 SMP, una herramienta 52 de molde rígido, y una lámina impermeable de material 54 tal como una bolsa de vacío para fabricar el refuerzo, como se ilustra en la Figura 16.

El aparato 12 SMP ilustrado en la Figura 16 puede tener los mismos rasgos y características como el aparato 12 SMP descrito para la realización de la invención ilustrada en las Figuras 1-2. Adicionalmente, el aparato 12 SMP se puede formar dentro de una configuración de herramienta rígida deseada utilizando cualquier método deseado, tal como las técnicas descritas anteriormente. En algunas realizaciones de la invención, el aparato 12 SMP se puede fundir con una forma con memoria que corresponde sustancialmente a una forma deseada o contorno de por lo menos una superficie del refuerzo 50 resultante. Por ejemplo, si el refuerzo 50 que se va a fabricar es un travesaño con una sección transversal con forma de trapecio, luego el aparato 12 SMP se puede fundir con una forma con memoria que tiene una sección transversal sustancialmente con forma de trapecio. Alternativamente, el aparato 12 SMP se puede fundir dentro de cualquier forma alargada y después se inserta dentro de un molde hueco, se calienta, y se infla allí, luego se enfría y endurece dentro de 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 descrita adelante y se puede hacer de cualquier material capaz de permanecer rígido durante curado

del material 14 compuesto, tal como acero. Alternativamente, la herramienta 52 de moldeo rígido se puede hacer de un material SMP que se configura para permanecer rígido durante curado del material 14 compuesto. Por ejemplo, la herramienta 52 de moldeo rígido puede ser el aparato 12 SMP ilustrado en la Figura 10a y el T_g del aparato 12 SMP ilustrado en la Figura 16 puede diferir del T_g de la herramienta 52 de moldeo rígido en esta realización alternativa de la invención. La herramienta 52 de moldeo rígido se puede configurar para formar por lo menos una superficie externa deseada del refuerzo. Por ejemplo, la herramienta 52 de moldeo rígido puede comprender una cavidad 56 formada allí dentro de la cual se puede poner el material 14 compuesto no curado, se forma por lo menos una pared del refuerzo 50. Como se ilustra en la Figura 16, la cavidad 56 puede ser un canal con una parte inferior y dos paredes laterales que se extienden en ángulos diferentes de 90° desde la parte inferior.

La lámina impermeable de material 54 puede ser una bolsa de vacío o cualquier otro material flexible, impermeable que se puede sellar en la herramienta 52 de moldeo rígido y/o el aparato 12 SMP. Por ejemplo, la lámina impermeable de material 54 se puede poner sobre el material 14 compuesto y se sella en la herramienta 52 de moldeo rígido, creando un sello sustancialmente hermético al aire entre la lámina impermeable de material 54 y la herramienta 52 de moldeo rígido. La lámina impermeable de material 54 también puede comprender un puerto de vacío (no mostrado) que se extiende a través de este para permitir evacuación y ventilación de aire. Cuando se retira el aire desde entre la herramienta 52 de moldeo rígido y la lámina impermeable de material 54, la lámina impermeable de material 54 puede comprimir el material 14 compuesto puesto entre esta. Adicionalmente o alternativamente, el aparato 12 SMP se puede presurizar mediante autoclave y/o gas comprimido, inflando de esta forma el aparato 12 SMP hacia la herramienta 52 de moldeo rígido y la lámina impermeable de material 54. Adicionalmente, una lámina prensada (no mostrada) se puede poner entre la lámina impermeable de material 54 y el material 14 compuesto para controlar mejor el contorno y la terminación de superficie del material 14 compuesto. Otras técnicas de embolsado de compuesto conocidas en la técnica también se puede utilizar aquí sin apartarse del alcance de la invención.

En una realización alternativa de la invención, la lámina 54 de material impermeable se puede reemplazar con una lámina permeable de material que se puede poner sobre el material 14 compuesto y el aparato 12 SMP. En esta realización de la invención, la lámina permeable de material se puede presionar físicamente hacia el material 14 compuesto mientras que la presión del aparato 12 SMP durante cura comprime el material 14 compuesto. En todavía otra realización alternativa de la invención, la lámina impermeable de material 54 se puede reemplazar con una herramienta de cubrimiento rígido que puede ser permeable o impermeable y se puede sujetar, se presiona hacia, o se fija mecánicamente a la herramienta 52 de moldeo rígido y sobre el material 14 compuesto.

El diagrama de flujo de la Figura 17 describe las etapas de un método de ejemplo 1700 para fabricar un refuerzo compuesto utilizando el aparato 12 SMP. En algunas implementaciones alternativas, las funciones observadas en los diversos bloques pueden ocurrir fuera del orden descrito en la Figura 17. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión en la Figura 17 de hecho se pueden ejecutar sustancialmente concurrentemente, o los bloques algunas veces se pueden ejecutar en orden inverso dependiendo de la funcionalidad involucrada.

El método 1700 para fabricar el refuerzo 50 utilizando el aparato 12 SMP puede comprender las etapas de formar el aparato 12 SMP dentro de la configuración de herramienta rígida, como se describe en el bloque 1702, y luego aplicar por lo menos una parte del aparato 12 SMP con el material 14 compuesto, como se describe en el bloque 1704. En algunas realizaciones de la invención, la configuración de herramienta rígida del aparato 12 SMP puede corresponder con una forma interna y/o ángulo del refuerzo 50 que se va a formar sobre esta. En otras realizaciones de esta invención, el material 14 se puede poner en o envolver en el aparato 12 SMP primero, y luego el aparato 12 SMP se puede formar dentro de la configuración de herramienta rígida, utilizando cualesquiera técnicas de moldeo descritas aquí o conocidas en la técnica.

Luego el método 1700 puede comprender poner el aparato 12 SMP aplicado con el material 14 compuesto dentro de la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se describe en el bloque 1706. Alternativamente, el material 14 compuesto se puede fijar en la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido y luego el aparato 12 SMP en la configuración de herramienta rígida se puede poner sobre 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 serie de técnicas para colocar el material 14 compuesto en contacto con el aparato 12 SMP, y para colocarlo en la cavidad de la herramienta 52 de moldeo rígido, sin apartarse del alcance de esta invención. Adicionalmente, en algunas realizaciones de la invención, se puede utilizar más de un aparato SMP para fabricar el refuerzo 50. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 16, dos aparatos 58,60 SMP tienen las propiedades del aparato 12 SMP, como se describió anteriormente, se forman o se moldean para soportar superficies opuestas del material 14 compuesto para fabricar el refuerzo 50 en una configuración de travesaño con forma de J. Específicamente, el refuerzo 50 puede ser un refuerzo alargado que tiene una sección transversal sustancialmente con forma de J. El material 14 compuesto se puede posicionar entre los dos aparatos 58,60 SMP y la herramienta 52 de moldeo rígido como se ilustra en la Figura 16 utilizando moldeo manual o cualquier otro método conocido en la técnica. Luego, se puede poner un laminado 62 de piel sobre los dos aparatos SMP 58, 60, que hacen contacto con el extremo superior del material 14 compuesto fabricando la sección transversal con forma de J

del refuerzo 50. En esta realización de la invención, el laminado 62 de piel y el material 14 compuesto se puede coadherir, como se describe más adelante.

Por lo tanto, en general, el método 1700 puede comprender la etapa de poner otra capa del material compuesto o el laminado 62 de piel sobre el aparato 12 SMP, que hace contacto por lo menos una parte del material 14 compuesto que descansa dentro de la cavidad 56 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se describe en el bloque 1708. Luego, el método puede comprender poner la lámina impermeable de material 54 sobre el material 14 compuesto y/o el laminado 62 de piel, como se describe en el bloque 1710, y sellar la lámina impermeable de material 54 a la herramienta 52 de moldeo rígido, como se describe en el bloque 1712, formando por lo tanto un límite hermético al aire alrededor del material 14 compuesto. El límite hermético al aire también se puede formar sobre y/o contra el aparato 12 SMP, mientras que se deja por lo menos una abertura de ventilación (no mostrada) para el aparato 12 SMP, de tal manera que el espacio dentro del aparato 12 SMP permanece expuesto a la atmósfera hacia afuera del límite hermético al aire.

Luego el método 1700 puede comprender una etapa de inducir una presión diferencial para empujar la lámina impermeable de material 54 hacia la herramienta 52 de moldeo rígido, como se describe en el bloque 1714. Por ejemplo, esta etapa puede implicar el retiro de aire de entre la lámina impermeable de material 54 y la herramienta 52 de moldeo rígido, tal como por vía de vacío, que puede presionar la lámina impermeable de material 54 hacia o contra el material 14 compuesto y/o el laminado 62 de piel. Luego o simultáneo a la etapa descrita en el bloque 1714, el método 1700 puede comprender la etapa de calentar el material 14 compuesto y el aparato 12 SMP hasta una temperatura para curado del material 14 compuesto, como se describe en el bloque 1716. Las temperaturas de curado de compuesto pueden ser mayores que T_g , de tal manera que el aparato 12 SMP se puede volver maleable y puede empujar o inflar hacia afuera, presionando contra el material 14 compuesto. El aparato 12 SMP por lo tanto se puede comportar similar a una bolsa de vacío interna. Adicionalmente o alternativamente, se puede introducir presión de gas o aire dentro del aparato SMP para provocar o ayudar a su inflado hacia afuera para comprimir el material 14 compuesto.

En algunas realizaciones alternativas de la invención, por lo menos uno de los aparatos 58,60 SMP se puede reemplazar con una herramienta rígida de la misma forma. En otras realizaciones alternativas de la invención, los aparatos SMP 58, 60 se pueden reemplazar con herramientas rígidas de la misma forma y la herramienta 52 de moldeo rígido se puede reemplazar con el aparato 12 SMP de la Figura 10a. En general, se puede utilizar cualquiera combinación de aparatos SMP y herramientas de moldeo rígido para formar las partes compuestas descritas y divulgadas aquí.

Una vez se cura el material 14 compuesto, el método puede comprender las etapas de retirar la lámina impermeable de material 54 de la herramienta 52 de moldeo rígido, como se describe en el bloque 1718. En algunas realizaciones de la invención, el método 1700 también puede comprender ya sea continuar calentando o reaplicar calor al aparato 12 SMP, como se describe en el bloque 1720, de tal manera que el aparato 12 SMP se puede contraer o de otra forma empujar lejos del refuerzo 50 curado. Si se introduce presión de gas o aire para ayudar en el inflado del aparato 12 SMP, esta presión también se puede retirar. El aparato 12 SMP se puede contraer naturalmente hacia su forma original con memoria, que permanece blando y maleable hasta que se enfría. Por lo tanto, el método 1700 pueden incluir una etapa de retirar el aparato 12 SMP del material compuesto curado 14 o refuerzo 50 mientras que está en estado maleable, blando, como se describe en el bloque 1722. Alternativamente, el aparato 12 SMP se puede contraer o empujar lejos del refuerzo 50 curado mientras que está en su estado maleable, pero luego se enfría y se endurece antes de ser retirado desde dentro del refuerzo 50 curado.

Observe que, una vez retirado del refuerzo 50 curado, el aparato 12 SMP luego se puede reconfigurar dentro de cualquier configuración de herramienta rígida deseada dentro de las limitaciones de deformación del aparato 12 SMP y se reutiliza para hacer otro refuerzo. En general, el aparato 12 SMP es, reconfigurable y reusable. Por el contrario, las bolsas de mandril interno conocidas en la técnica no se pueden reutilizar o no ofrecen durabilidad deseada y son más propensas a falla. Las bolsas de mandril interno no tienen los agentes de rigidez necesarios que se pueden utilizar como una herramienta de moldeo para aplicar el material 14 compuesto a este. Específicamente, otros tipos de mandriles utilizados en aplicaciones de formación de refuerzo tradicionales se requieren frecuentemente para ser cortados fuera o lavados fuera del refuerzo curado y por lo tanto tampoco son reutilizables. Ventajosamente, el aparato 12 SMP se puede utilizar como la herramienta de molde rígido para moldear el material compuesto y como una bolsa interna o cámara de aire durante curado del material 14 compuesto, y luego se puede retirar y reutilizar para múltiples ciclos.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a la realización preferida ilustrada en los dibujos adjuntos, se observa que se pueden emplear equivalentes y se hacen aquí sustituciones sin apartarse del alcance de la invención como se menciona en las reivindicaciones. Por ejemplo, se aplica cualquier caso de vacío o fuerza de inflado hacia adentro o hacia afuera del aparato 12 SMP, como se describe aquí, es únicamente de ejemplo y se puede reemplazar con cualesquiera técnicas conocidas en el arte para crear una presión diferencial capaz de empujar el aparato 12 SMP hacia un molde deseado y/o el material compuesto 12. Adicionalmente, mientras que se han descrito aquí diversas formas, configuraciones, y herramientas para formar el aparato 12 SMP dentro de una

configuración de herramienta rígida deseada, observe que se puede utilizar cualquier molde o combinación de moldes y herramienta rígida para definir una forma del aparato 12 SMP utilizando una o más de las etapas del método descritas aquí.

5 Adicionalmente, aunque las Figuras y realizaciones de ejemplo proporcionadas aquí describen la fabricación de partes compuestas para aeronaves, las herramientas de formación y métodos descritos aquí se pueden utilizar para fabricar partes compuestas para automóviles, botes, artículos deportivos, y similares sin apartarse del alcance de la invención.

Los siguientes párrafos enumerados definen las realizaciones particulares de la presente invención:

1. Un método para fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados, el método comprende:

10 conformar o fundir un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;

conformar o fundir el aparato SMP para que incluya una o más cavidades configuradas para la colocación de los agentes de rigidez allí;

poner los agentes de rigidez dentro de las cavidades;

15 aplicar el material compuesto en el aparato SMP y las superficies expuestas de los agentes de rigidez que descansan dentro de las cavidades; y

cocurar o coadherir los agentes de rigidez con el material compuesto sobre el aparato SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, en donde el aparato SMP permanece en un estado rígido a través del cocurado o cohesión de los agentes de rigidez con el material compuesto.

20 2. El método del párrafo 1, en donde el cocurado o cohesión de los agentes de rigidez con el material compuesto comprende:

sellar una lámina impermeable de material alrededor del material compuesto;

comprimir la lámina impermeable de material contra el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material; y

25 calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material se comprime contra el material compuesto.

3. El método del párrafo 1, en donde los agentes de rigidez incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo compuesto, y capas adicionales del material compuesto.

4. El método del párrafo 1, en donde los agentes de rigidez se precuran antes de la colocación en las cavidades.

30 5. El método del párrafo 1, en donde los agentes de rigidez no se curan antes de la colocación en las cavidades.

6. El método del párrafo 1, que comprende adicionalmente:

activar el aparato SMP desde el estado rígido hasta un estado maleable; y

retirar el aparato SMP desde dentro de la parte compuesta.

35 7. El método del párrafo 6, en donde el aparato SMP se configura para que sea activado hasta el estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura T_g , en donde la temperatura de curado del material compuesto es menor de T_g , de tal manera que el aparato SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.

40 8. El método del párrafo 1, que comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato SMP y los agentes de rigidez internos antes de aplicar el material compuesto al aparato SMP, en donde las cavidades tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes de rigidez internos descansen allí.

9. Un método para fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados, el método comprende:
- activar un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) a un estado maleable;
- conformar un aparato SMP en estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;
- 5 conformar el aparato SMP para que incluya una o más cavidades configuradas para la colocación de los agentes de rigidez allí;
- activar el aparato SMP a un estado rígido;
- poner los agentes de rigidez dentro de las cavidades;
- 10 aplicar el material compuesto en el aparato SMP y las superficies expuestas de los agentes de rigidez que descansan dentro de las cavidades; y
- cocurar o coadherir los agentes de rigidez con el material compuesto sobre el aparato SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, que incluye las etapas de:
- sellar una lámina impermeable de material alrededor del material compuesto;
- 15 comprimir la lámina impermeable de material hacia el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material; y
- calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material comprime el material compuesto.
10. El método del párrafo 9, en donde los agentes de rigidez son agentes de rigidez internos.
11. El método del párrafo 9, en donde los agentes de rigidez incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo, y capas adicionales del material compuesto.
- 20 12. El método del párrafo 9, en donde la parte compuesta es un fuselaje monolítico de aeronave, una ala, una góndola, un panel de aeronave, un conducto de la aeronave, soportes estructurales de la aeronave, un componente de aeronave hecho de laminados sólidos, laminados integralmente rígidos, o estructura de intercalado rígida de núcleo, o agentes de rigidez internos para un componente de aeronave.
- 25 13. El método del párrafo 9, en donde los agentes de rigidez se precuran antes de la colocación en las cavidades.
14. El método del párrafo 9, en donde los agentes de rigidez no se curan antes de la colocación en las cavidades.
15. El método del párrafo 9, que comprende adicionalmente:
- retirar la lámina impermeable de material después que el material compuesto se cura;
- activar el aparato SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable; y
- 30 retirar el aparato SMP desde dentro de la parte compuesta mientras que el aparato SMP está en estado maleable.
16. El método del párrafo 9, en donde el aparato SMP se configura para que cambie hasta el estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura T_g , en donde la temperatura de curado del material compuesto es menor de T_g , de tal manera que el aparato SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.
- 35 17. El método del párrafo 9, en donde se forma el aparato SMP para que corresponda con la primera superficie de la parte compuesta que se va a formar sobre esta comprende:
- poner el aparato SMP sobre una herramienta de mandril interno;
- sellar los extremos del aparato SMP a la herramienta de mandril interno;

poner el aparato SMP y herramienta de mandril interno dentro de un molde externo;

calentar el aparato SMP por encima de una temperatura T_g en la que el aparato SMP se empieza a volver maleable e inflar el aparato SMP hacia el molde externo;

enfriar el aparato SMP por debajo de T_g ; y

5 retirar el aparato SMP en su estado rígido del molde externo.

18. El método del párrafo 9, comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato SMP y los agentes de rigidez antes de aplicar el material compuesto al aparato SMP, en donde las cavidades tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes de rigidez descansen allí.

10 19. Un método para fabricar una parte compuesta con características de refuerzo integradas, el método comprende:

activar un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) a un estado maleable;

conformar un aparato SMP en estado maleable para que corresponda de manera general con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;

15 conformar el aparato SMP para que incluya una o más cavidades configuradas para la colocación de los agentes de rigidez internos allí;

activar el aparato SMP a un estado rígido;

poner los agentes de rigidez internos dentro de las cavidades;

aplicar el material compuesto en el aparato SMP y las superficies expuestas de los agentes de rigidez internos que descansan dentro de las cavidades;

20 cocurar o coadherir los agentes de rigidez internos con el material compuesto sobre el aparato SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, que incluye las etapas de:

sellar una lámina impermeable de material alrededor del material compuesto,

comprimir la lámina impermeable de material hacia el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material, y

25 calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material comprime el material compuesto;

retirar la lámina impermeable de material de la parte compuesta;

activar el aparato SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable; y

retirar el aparato SMP desde dentro de la parte compuesta mientras que el aparato SMP está en estado maleable.

30 20. El método del párrafo 19, en donde los agentes de rigidez internos incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo, y capas adicionales del material compuesto.

35 21. El método del párrafo 19, en donde el aparato SMP se configura para empezar 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 menor de T_g , de tal manera que el aparato SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.

22. El método del párrafo 19, comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato SMP y los agentes de rigidez internos antes de aplicar el material compuesto al aparato SMP, en donde las cavidades tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes de rigidez internos descansen allí.

40

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar una parte compuesta, el método comprende:

A. para fabricar una parte compuesta con agentes de rigidez integrados:

5 conformar o fundir un aparato (12) de polímero con memoria de forma (SMP) para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;

conformar o fundir el aparato (12) SMP para que incluya una o más cavidades configuradas para la colocación de los agentes (23) de rigidez allí;

poner los agentes (23) de rigidez dentro de las cavidades;

10 aplicar el material compuesto en el aparato (12) SMP y las superficies expuestas de los agentes (23) de rigidez que descansan dentro de las cavidades (40); y

cocurar o coadherir los agentes (23) de rigidez con el material compuesto sobre el aparato (12) SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, en donde el aparato (12) SMP permanece en un estado rígido a través del cocurado o coadhesión de los agentes (23) de rigidez con el material compuesto;

15 o

B. para fabricar una parte compuesta con agentes (23) de rigidez integrados;

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

conformar un aparato (12) SMP en estado maleable para que corresponda con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;

20 conformar el aparato (12) SMP para que incluya una o más cavidades (40) configuradas para la colocación de los agentes (23) de rigidez allí;

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

poner los agentes (23) de rigidez dentro de las cavidades;

25 aplicar el material compuesto en el aparato (12) SMP y las superficies expuestas de los agentes (23) de rigidez que descansan dentro de las cavidades (40); y

cocurar o coadherir los agentes (23) de rigidez con el material compuesto sobre el aparato (12) SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, que incluye las etapas de:

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

30 comprimir la lámina impermeable de material (54) hacia el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material (54); y

calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato (12) SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material (54) comprime el material compuesto;

o

C. para fabricar una parte compuesta con características de refuerzo integradas (23);

35 activar un aparato de polímero con memoria de forma (SMP) (12) a un estado maleable;

conformar un aparato (12) SMP en estado maleable para que corresponda de manera general con una configuración deseada de una primera superficie de la parte compuesta que se va a formar;

conformar el aparato (12) SMP para que incluya una o más cavidades (40) configuradas para la colocación de los agentes (23) de rigidez internos allí;

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

poner los agentes (23) de rigidez internos dentro de las cavidades (40);

- 5 aplicar el material compuesto en el aparato (12) SMP y las superficies expuestas de los agentes (23) de rigidez internos que descansan dentro de las cavidades (40);

cocurar o coadherir los agentes (23) de rigidez internos con el material compuesto sobre el aparato (12) SMP por medio de presión y calor para fabricar la parte compuesta, que incluye las etapas de:

- 10 sellar una lámina impermeable de material (54) alrededor del material compuesto, comprimir la lámina impermeable de material (54) hacia el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material (54); y

calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato (12) SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material (54) comprime el material compuesto;

retirar la lámina impermeable de material (54) de la parte compuesta;

- 15 activar el aparato (12) SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable; y

retirar el aparato (12) SMP desde dentro de la parte compuesta mientras que el aparato (12) SMP está en estado maleable.

2. El método de la reivindicación 1A, en donde el cocurado o coadhesión de los agentes (23) de rigidez con el material compuesto comprende:

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

comprimir la lámina impermeable de material (54) contra el material compuesto al inducir una presión diferencial hacia afuera y/o hacia adentro de la lámina impermeable de material; y

calentar el material compuesto hasta una temperatura de curado de compuesto, con el aparato (12) SMP en estado rígido mientras que la lámina impermeable de material se comprime contra el material compuesto.

- 25 3. El método de la reivindicación 1 en donde:

(a) en la alternativa A en la reivindicación 1, los agentes (23) de rigidez incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo compuesto, y capas adicionales del material compuesto; o

(b) en la alternativa B en la reivindicación 1, los agentes (23) de rigidez incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo, y capas adicionales del material compuesto; o

- 30 (c) en la alternativa C en la reivindicación 1, los agentes (23) de rigidez internos incluyen por lo menos uno de estructuras, travesaños, núcleo, y capas adicionales del material compuesto.

4. El método de la alternativa A o B en la reivindicación 1, en donde los agentes (23) de rigidez se (a) pre-curan o (b) no se curan, antes de la colocación en las cavidades (40).

5. El método de la alternativa A en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

- 35 activar el aparato (12) SMP desde el estado rígido hasta un estado maleable; y

retirar el aparato (12) SMP desde dentro de la parte compuesta.

- 40 6. El método de la reivindicación 5, en donde el aparato (12) SMP se configura para que sea activado hasta el estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura T_g , en donde la temperatura de curado del material compuesto es menor de T_g , de tal manera que el aparato (12) SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.

7. El método de la alternativa A en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato (12) SMP y los agentes (23) de rigidez internos antes de aplicar el material compuesto al aparato (12) SMP, en donde las cavidades (40) tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes (23) de rigidez internos descansen allí.
- 5 8. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, en donde los agentes (23) de rigidez son agentes de rigidez internos.
9. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, en donde la parte compuesta es un fuselaje monolítico de aeronave, una ala, una góndola, un panel de aeronave, un conducto de la aeronave, soportes estructurales de la aeronave, un componente de aeronave hecho de laminados sólidos, laminados integralmente rígidos, o estructura de intercalado rígida de núcleo, o agentes de rigidez internos para un componente de aeronave.
- 10 10. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
- retirar la lámina impermeable de material (54) después que el material compuesto se cura;
- activar el aparato (12) SMP desde el estado rígido hasta el estado maleable; y
- retirar el aparato (12) SMP desde dentro de la parte compuesta mientras que el aparato (12) SMP está en estado maleable.
- 15 11. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, en donde el aparato (12) SMP se configura para que cambie hasta el estado maleable cuando se calienta por encima de una temperatura T_g , en donde la temperatura de curado del material compuesto es menor de T_g , de tal manera que el aparato (12) SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.
- 20 12. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, en donde se forma el aparato (12) SMP para que corresponda con la primera superficie de la parte compuesta que se va a formar sobre esta comprende:
- poner el aparato (12) SMP sobre una herramienta de mandril interno (16);
- sellar los extremos del aparato (12) SMP a la herramienta de mandril interno (16);
- poner el aparato (12) SMP y herramienta de mandril interno dentro de un molde externo (28);
- 25 calentar el aparato (12) SMP por encima de una temperatura T_g en la que el aparato (12) SMP se empieza a volver maleable e inflar el aparato SMP hacia el molde externo (28), enfriar el aparato (12) SMP por debajo de T_g ; y
- retirar el aparato (12) SMP en su estado rígido del molde externo (28).
- 30 13. El método de la alternativa B en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato (12) SMP y los agentes (23) de rigidez antes de aplicar el material compuesto al aparato (12) SMP, en donde las cavidades (40) tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes (23) de rigidez descansen allí.
- 35 14. El método de la alternativa C en la reivindicación 1, en donde el aparato (12) SMP se configura para empezar 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 menor de T_g , de tal manera que el aparato (12) SMP permanece rígido durante curado del material compuesto dentro de la parte compuesta.
15. El método de la alternativa C en la reivindicación 1C, que comprende adicionalmente poner insertos de refuerzo rígidos dentro de las cavidades entre el aparato (12) SMP y los agentes (23) de rigidez internos antes de aplicar el material compuesto al aparato (12) SMP, en donde las cavidades tienen un tamaño y forma para permitir que los insertos de refuerzo rígidos y los agentes (23) de rigidez internos descansen allí.

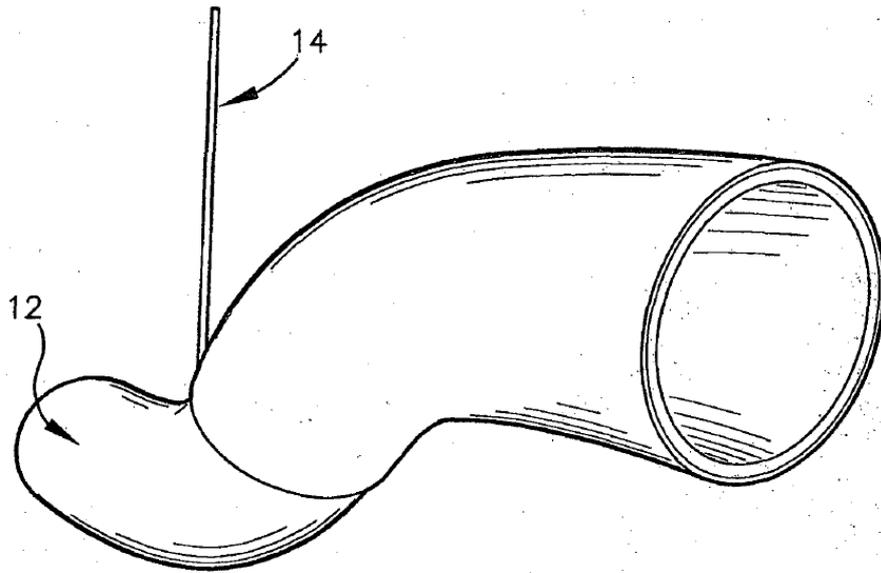


Fig. 1

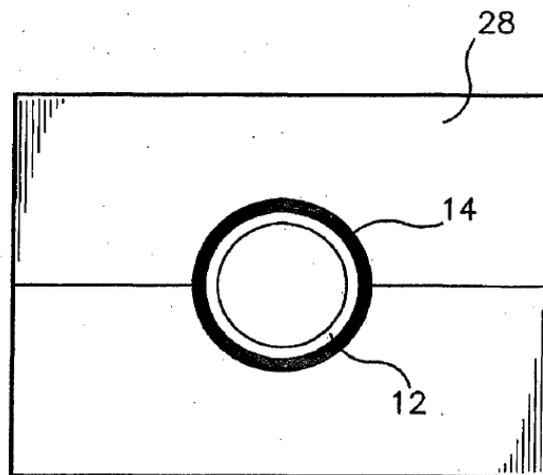


Fig. 2

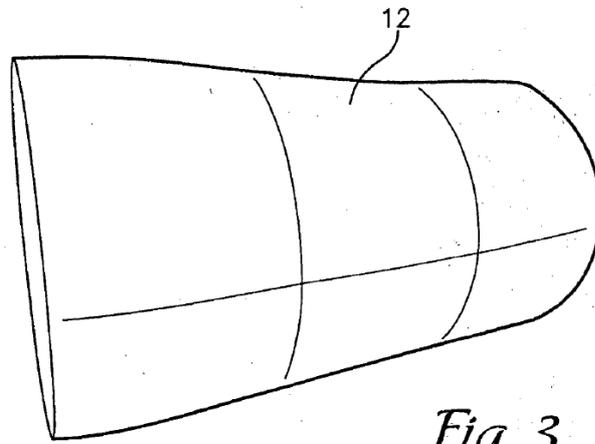


Fig. 3

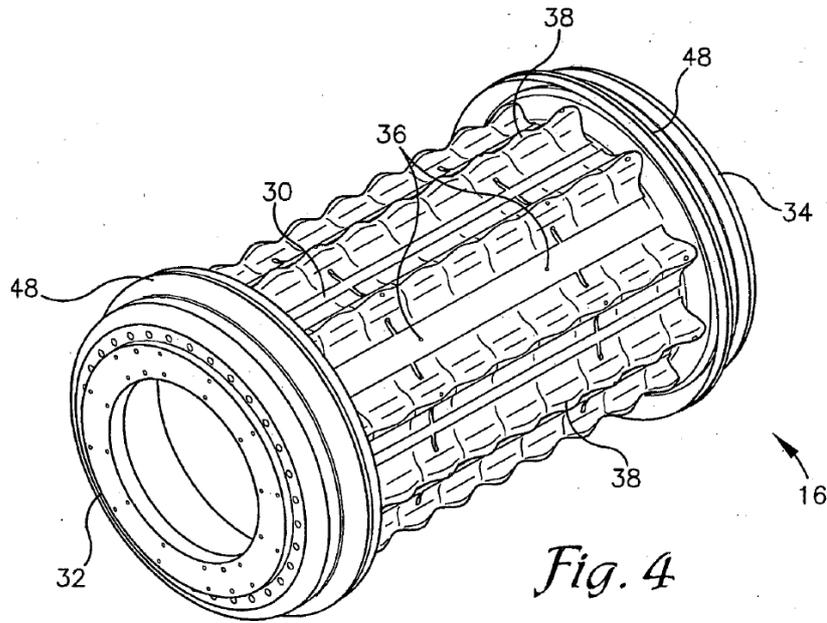
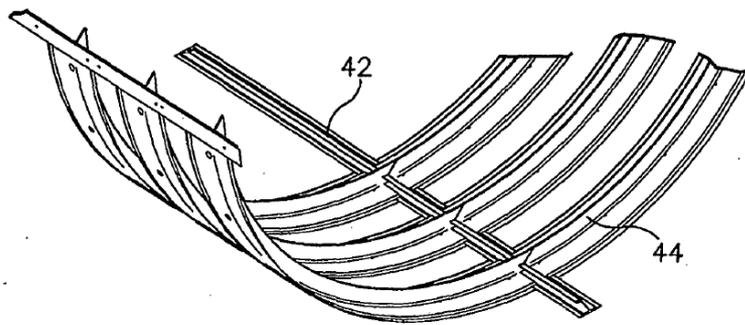
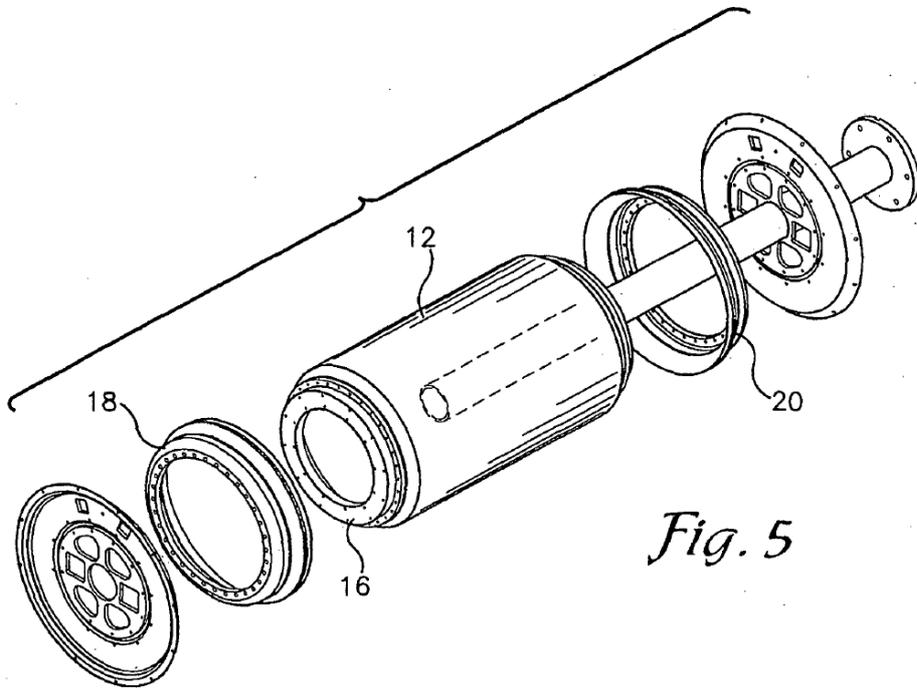


Fig. 4



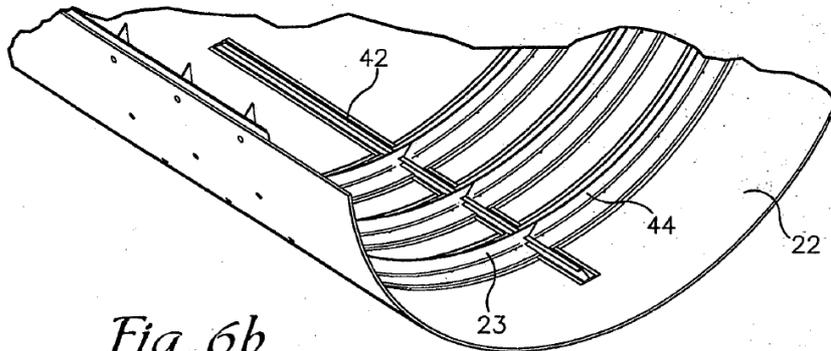


Fig. 6b

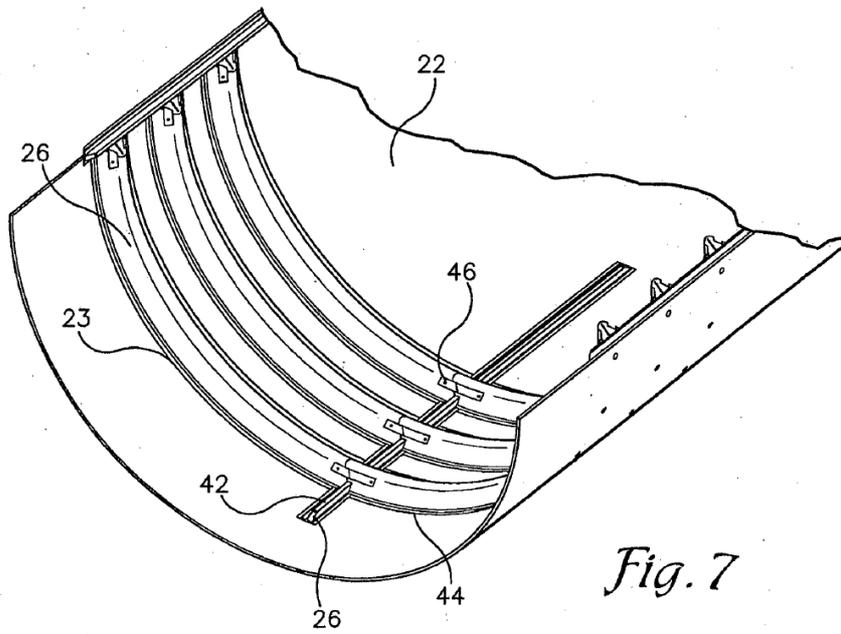


Fig. 7

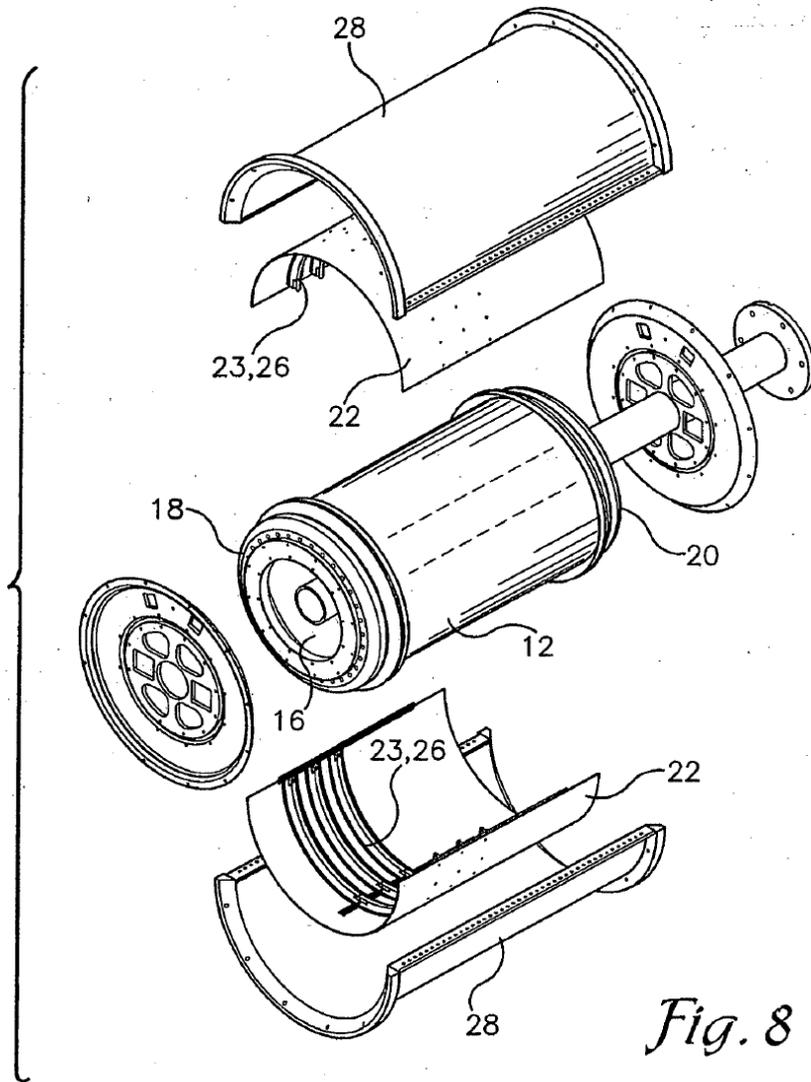


Fig. 8

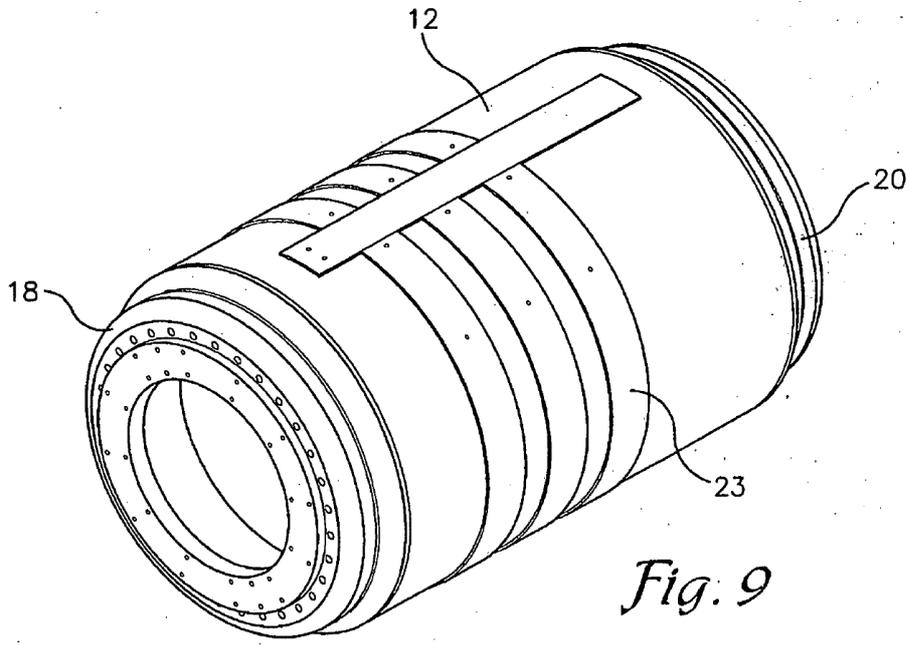


Fig. 9

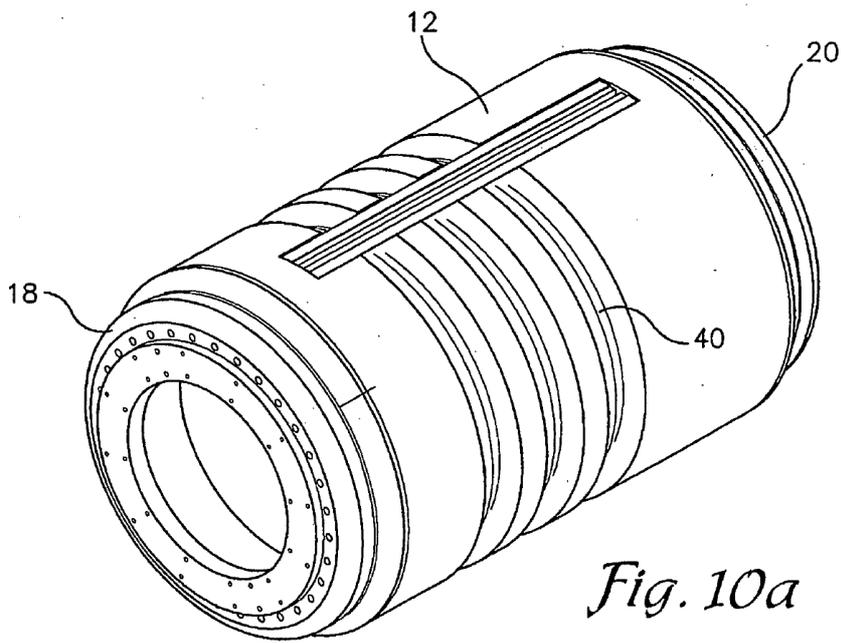
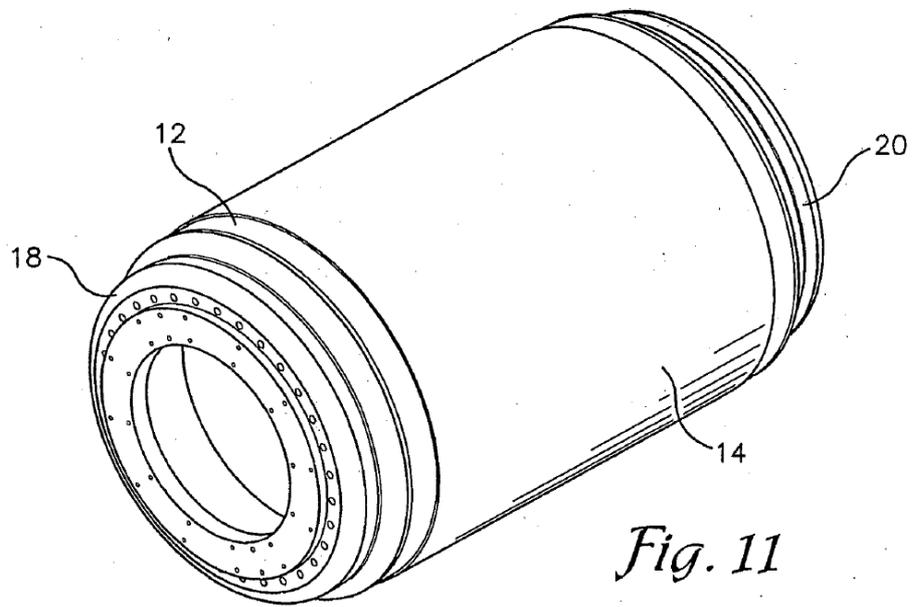
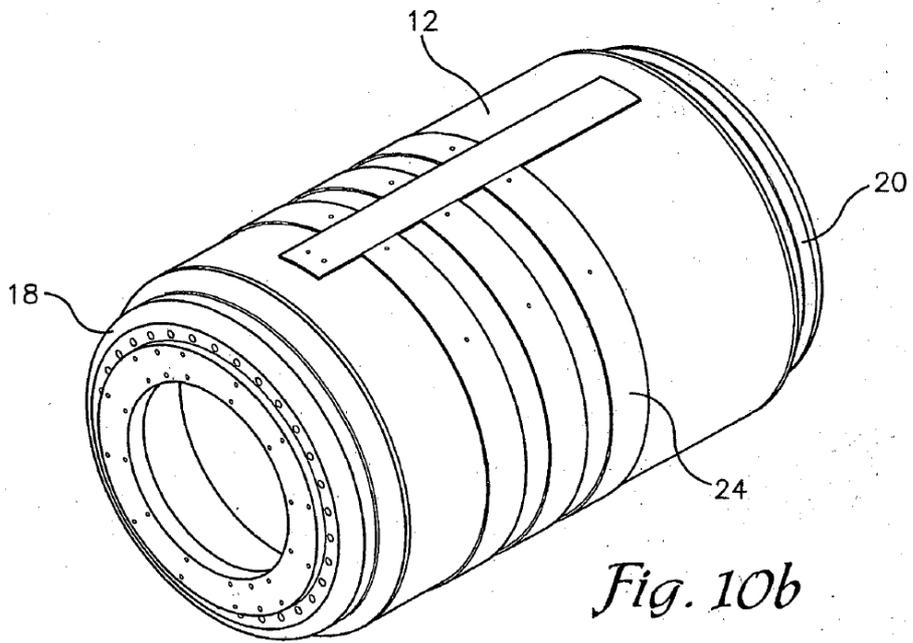
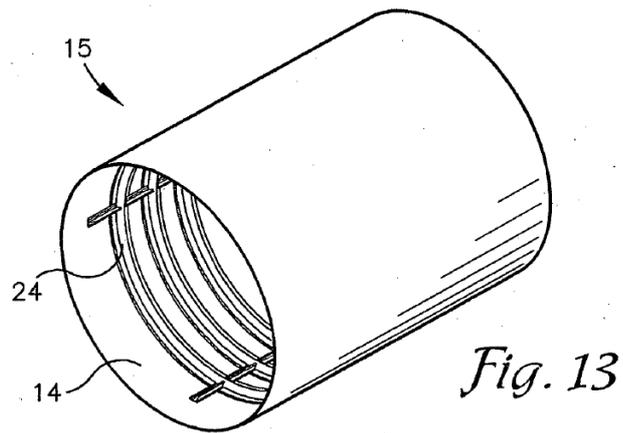
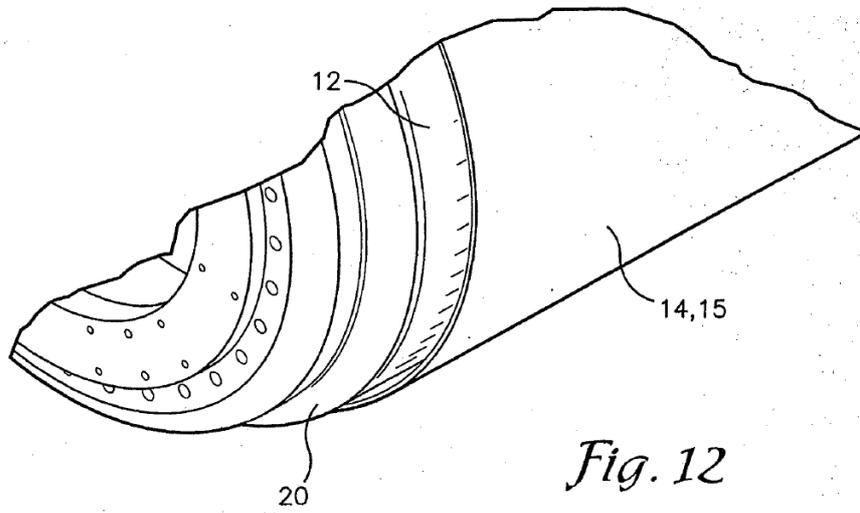


Fig. 10a





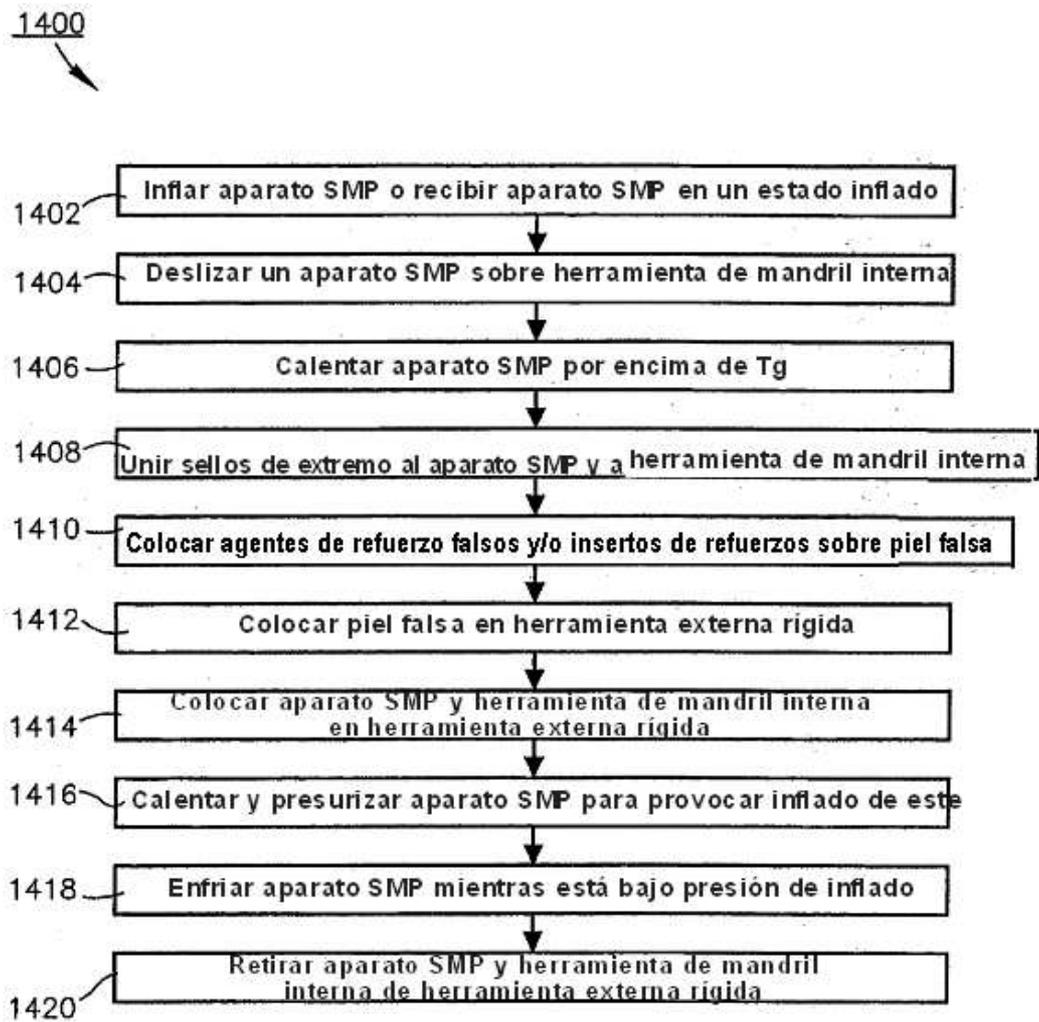


Fig. 14

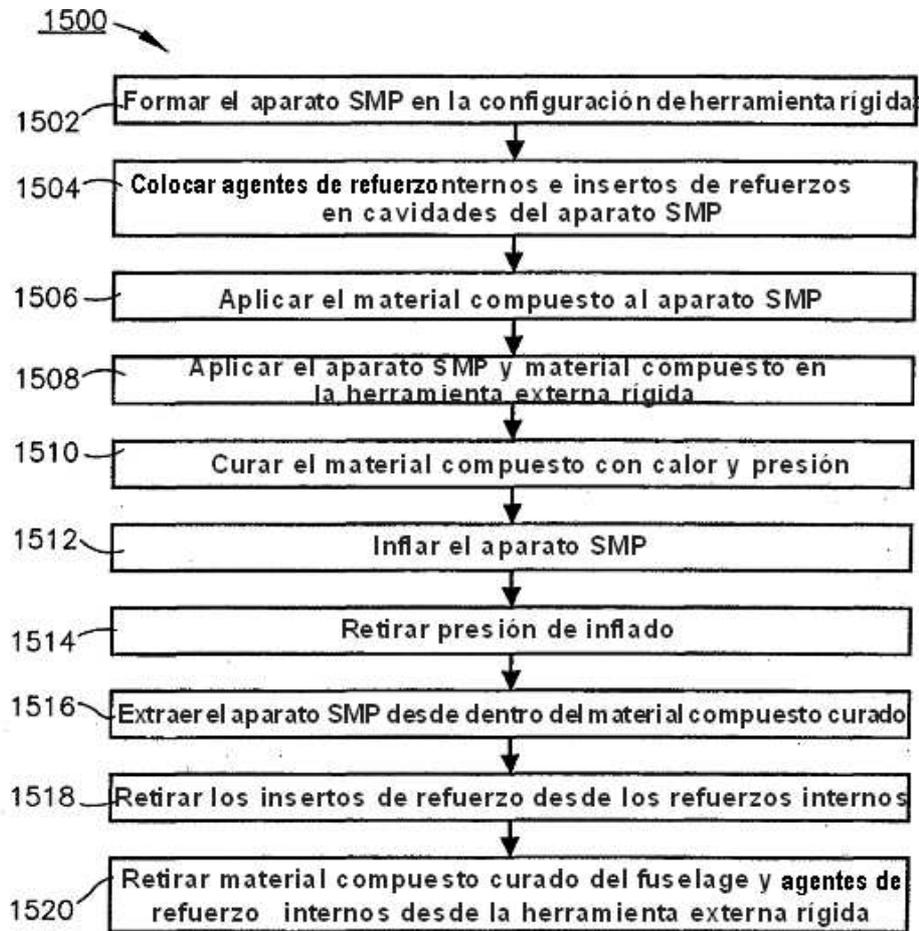
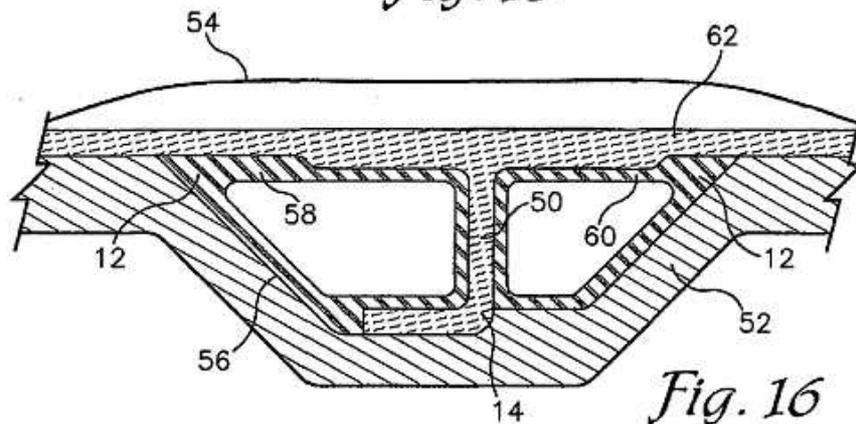


Fig. 15



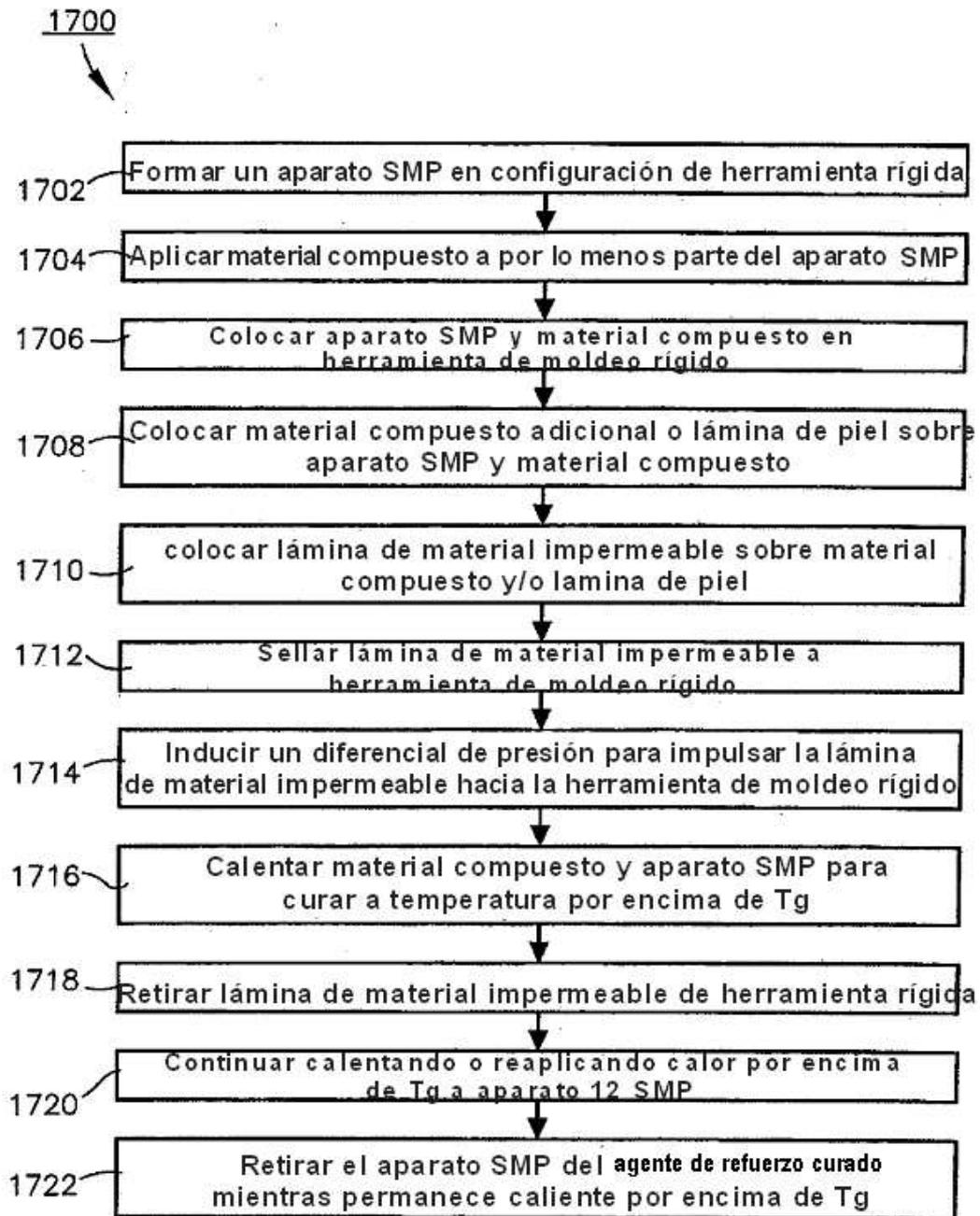


Fig. 17