

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 155**

51 Int. Cl.:

B29C 70/44 (2006.01)

B29C 33/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2007 E 07864611 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015 EP 2091720**

54 Título: **Aparato y métodos para formar piezas compuestas rigidizadas de sombrero usando placas de labrado térmicamente expansivas**

30 Prioridad:

20.11.2006 US 561602

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

29.12.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 NORTH RIVERSIDE PLAZA
CHICAGO IL 66066-2016, US**

72 Inventor/es:

**MARTIN, JEFFREY D.;
RUPEL, KEITH E.;
CHRISOS, PHILIP O.;
FROESCHNER, NEAL A.;
BYINGTON, RONALD J.;
JOST, KAREN M. y
PISZAR, JIMMY S.**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 555 155 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

Aparato y métodos para formar piezas compuestas rigidizadas de sombrero usando placas de labrado térmicamente expansivas

5 **Antecedentes**

Las realizaciones de la divulgación se refieren a la formación de una pieza compuesta y, más en particular, a aparatos y métodos para formar piezas compuestas rigidizadas de sombrero usando placas de labrado elásticas.

10 Las estructuras compuestas, tales como las utilizadas en la industria de las aeronaves y otras, se forman normalmente curando un material compuesto polimérico mientras que el material se cubre, al menos parcialmente, y se soporta mediante herramientas de formación. Una estructura compuesta común empleada en las aplicaciones aeroespaciales y otras es una pieza compuesta rigidizada de sombrero. Para construir una pieza compuesta rigidizada de sombrero, el proceso de fabricación comienza colocando material compuesto en una herramienta de base, colocando un mandril de labrado en el material compuesto soportado mediante la herramienta de base, colocando un material compuesto adicional sobre un mandril de labrado, y cubriendo al menos parte del material compuesto con una herramienta de formación. La herramienta de formación cubre normalmente al menos el material compuesto que reviste el mandril de labrado y ayuda a definir la forma de sombrero. El material compuesto puede entonces someterse a un proceso de curado, tal como aligeramiento y calentamiento, para adherir y unir adicionalmente las capas compuestas para producir una estructura compuesta integral.

25 El documento US 5.688.353 divulga un método de fabricación de un núcleo apanalado, inclinado y estabilizado de densidad total baja para un moldeo de cocurado de alta presión de un artículo compuesto de núcleo apanalado y ligero. El aparato de moldeo de compuesto es un aparato de moldeo semirrígido tal como se define en el preámbulo de la reivindicación 1, que comprende un miembro de base rígido y un miembro de molde semirrígido complementario. Las superficies de moldeo del miembro de base rígido y el miembro de molde semirrígido complementario en combinación definen la superficie de línea del molde exterior del artículo compuesto de núcleo apanalado y ligero que se va a fabricar. El miembro de molde semirrígido complementario es un miembro con forma semirrígida formado a partir de un material elastomérico reforzado con fibra y es operativo para proporcionar una presión uniforme transferida durante el proceso de moldeo de cocurado de alta presión. Para facilitar el proceso de cocurado de alta presión, unos insertos rígidos de refuerzo están dispuestos en el miembro de molde semirrígido y son operativos para proporcionar distribuciones de presión simétricas por las superficies inclinadas del artículo compuesto de núcleo apanalado y ligero que se va a fabricar. Los insertos rígidos de refuerzo se forman para tener una configuración plana que coincide con las configuraciones correspondientes de las superficies inclinadas del artículo compuesto de núcleo apanalado y ligero que se están fabricando.

40 El documento EP1238785 divulga un método para producir un artículo perfilado similar a una vaina y un molde que es útil para ello. El aparato de formación de compuesto comprende una herramienta de base, un mandril de labrado sobre la herramienta de base y una herramienta de formación de compuesto que recubre el mandril de labrado. La herramienta de formación de compuesto comprende lados con un inserto en su interior, siendo los insertos de un material diferente en el resto de los lados. Los insertos se extienden a lo largo de parte de la porción lateral.

45 La precisión incrementada necesaria para las dimensiones críticas de las piezas ha creado una necesidad de herramientas que puedan formar piezas compuestas con altos grados de precisión, al menos para las dimensiones críticas. Con respecto a las piezas compuestas rigidizadas de sombrero, por ejemplo, el radio definido en la intersección entre las piernas rigidizadoras de sombrero y la estructura plana correspondiente debe mantenerse típicamente dentro de una tolerancia muy ajustada. Las herramientas de formación rígidas convencionales han proporcionado capacidades limitadas para producir piezas compuestas dentro de una precisión obligatoria. Principalmente, durante el proceso de curado, el mandril de labrado se expande mientras que la herramienta de formación de compuesto, menos expansiva térmicamente, que cubre al menos una porción del material compuesto, se expande en un menor grado, teniendo como resultado áreas con una presión grande y pequeña dentro del material compuesto que provocan porosidad de las piezas y un movimiento no deseado del material compuesto. Como tal, el material compuesto puede desecharse en intentos fallidos de producir piezas que tengan las dimensiones críticas usando una herramienta de formación casi no expansiva. Además, la diferencia de expansión entre el mandril de labrado y la herramienta de formación menos expansiva térmicamente también puede afectar al proceso de unión del material compuesto, por lo que la pieza resultante exhibe defectos, tales como desuniones.

60 Se han desarrollado herramientas de formación más expansivas térmicamente y son capaces de una mayor expansión que las herramientas menos expansivas térmicamente. Sin embargo, tanto las herramientas de formación más expansivas térmicamente como las casi no expansivas fallan al producir de manera consistente piezas que cumplan los requisitos de dimensiones críticas. Por ejemplo, una pieza compuesta rigidizada de sombrero necesita un radio de esquina específico en la intersección de las piernas rigidizadas de sombrero y la estructura plana correspondiente. Esto es a menudo una dimensión crítica para una pieza compuesta rigidizada de sombrero. Generalmente, puede usarse un mandril de labrado térmicamente expansivo para formar el interior de la estructura de sombrero, mientras que una herramienta de formación menos expansiva térmicamente puede usarse para formar

el exterior de la estructura de sombrero. A menudo, el mandril de labrado térmicamente expansivo se expande durante el proceso de curado, mientras que la herramienta de formación menos expansiva térmicamente no se expande tanto. El problema con esta diferencia en la expansión es que el radio de esquina de la pieza terminada está fuera de la tolerancia.

5 Por tanto, sería ventajoso proporcionar aparatos y métodos para formar una pieza compuesta, tal como un compuesto rigidizado de sombrero, con una precisión incrementada de formación y calidad. Además, sería ventajoso proporcionar aparatos y métodos para disminuir la cantidad de material compuesto desechado debido a malas técnicas y herramientas de formación de la pieza.

10 Sumario

15 Las realizaciones de la divulgación pueden abordar las anteriores necesidades y lograr otras ventajas proporcionando aparatos y métodos mejorados para la formación de una pieza compuesta, tal como una pieza compuesta rigidizada de sombrero. Generalmente, las realizaciones de la divulgación proporcionan aparatos y métodos para formar una pieza compuesta con una flexibilidad mayor, reduciendo por tanto la cantidad y la severidad de cualquier defecto. Por ejemplo, las piezas compuestas pueden formarse usando una placa de labrado elástica y un mandril de labrado elástico.

20 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una herramienta de formación de compuesto y un método de formación de una pieza tal como se reivindica en las reivindicaciones adjuntas.

25 En una realización, se proporciona una herramienta para formar una pieza compuesta. La herramienta incluye primeras y segundas porciones de pierna, y terceras y cuartas porciones de piernas que se conectan con las primeras y segundas porciones de pierna, respectivamente. La herramienta incluye además una porción de interconexión que se extiende entre y conecta las terceras y cuartas porciones de pierna. Las primeras y terceras porciones de pierna y las segundas y cuartas porciones de pierna pueden definir respectivas superficies planas. Las primeras y segundas porciones de pierna incluyen porciones de pie respectivas. Las porciones de pie de las primeras y segundas porciones de pierna pueden ser paralelas con la porción de interconexión. Para proporcionar ventajosamente una expansión diferencial entre las porciones de pierna, las primeras y segundas porciones de pierna de la herramienta de formación de compuesto incluyen un material que es menos expansivo térmicamente que el material que forma las terceras y cuartas porciones de pierna y la porción de interconexión. Por ejemplo, las primeras y segundas porciones de pierna y las porciones de pie respectivas pueden formarse de fluoroelastómero y las terceras y cuartas porciones de pierna y la porción de interconexión pueden incluir caucho de silicona. Adicionalmente, las primeras y segundas porciones de pierna pueden incluir fluoroelastómero con refuerzo de fibras.

40 En otra realización, se proporciona un método para formar una pieza compuesta. El método incluye colocar un material compuesto inicial en una herramienta de base y colocar un mandril de labrado en el material compuesto. El método incluye además colocar material compuesto adicional sobre el mandril de labrado y cubrir al menos una porción del material compuesto que recubre el mandril de labrado con una herramienta de formación de compuesto. Además, el método incluye calentar el material compuesto, tal como aplicando calor radiante a la pieza compuesta, para curar al menos parcialmente el material compuesto. El método puede incluir permitir que el mandril de labrado también se expanda durante el calentamiento del material compuesto. En este sentido, se puede permitir que una primera porción de la herramienta de formación de compuesto cambie de tamaño, tal como expandiéndose en mayor medida, durante el calentamiento del material compuesto en un mayor grado que una segunda porción de la herramienta de formación de compuesto, donde la segunda porción de la herramienta de formación de compuesto está más cerca de la herramienta de base que la primera porción de la herramienta de formación de compuesto.

50 En otra disposición, se proporciona un aparato para la formación de compuesto. El aparato incluye una herramienta de base y un mandril de labrado sobre la herramienta de base. El mandril de labrado puede incluir primeras y segundas superficies opuestas, donde la primera superficie tiene un radio más pequeño que el radio de la segunda superficie. El aparato también incluye una herramienta de formación de compuesto que recubre el mandril de labrado y tiene primeras y segundas porciones de pierna con porciones de pie respectivas, terceras y cuartas porciones de pierna conectadas con las primeras y segundas porciones de pierna, respectivamente, y una porción de interconexión que se extiende entre y conecta la terceras y cuartas porciones de pierna. Las porciones de pie de las primeras y segundas porciones de pierna pueden ser paralelas con la porción de interconexión. Las primeras y terceras porciones de pierna y las segundas y cuartas porciones de pierna pueden definir superficies planas respectivas. Las primeras y segundas porciones de pierna con porciones de pie respectivas pueden formarse de fluoroelastómero. Además, las primeras y segundas porciones de pierna pueden formarse de fluoroelastómero con refuerzo de fibras. Las terceras y cuartas porciones de pierna, la porción de interconexión y el mandril de labrado pueden formarse de caucho de silicona.

Breve descripción de ilustraciones

65 Habiendo descrito de esta manera las realizaciones de la divulgación en términos generales, ahora se hará referencia a las ilustraciones adjuntas, que no están necesariamente dibujadas a escala, y en las que:

La Figura 1 es una ilustración en sección del aparato de formación de compuesto con una pieza compuesta de acuerdo con una realización.

La Figura 2 es una ilustración en sección del mandril de labrado sobre el material compuesto con el material compuesto que descansa sobre la herramienta de base de acuerdo con otra realización.

5 La Figura 3 es una ilustración en sección del mandril de labrado con material compuesto adicional colocado sobre él mientras que el mandril de labrado descansa sobre material compuesto de acuerdo con otra realización adicional.

La Figura 4 es una ilustración en sección de la herramienta de formación de compuesto que cubre el material compuesto adicional de acuerdo con otra realización adicional.

10 La Figura 5 es una ilustración en sección de la primera porción de la herramienta de formación de compuesto que cambia de tamaño en un grado mayor que una segunda porción de la herramienta de formación de compuesto de acuerdo de nuevo con otra realización.

Descripción detallada

15 Las realizaciones se describirán ahora más completamente en lo sucesivo en referencia a las ilustraciones adjuntas, en las que se muestran algunas, pero no todas las realizaciones. De hecho, estas realizaciones pueden representarse de muchas formas diferentes y no deberían interpretarse como limitadas a la realizaciones expuestas en el presente documento; en su lugar, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. Los números similares hacen referencia a elementos similares a través del documento.

20 En referencia ahora a la Fig. 1, se muestra un aparato **10** de formación de compuesto. Aunque la realización del aparato **10** de formación de compuesto representado en la Fig. 1 y descrito a continuación se configura para formar una pieza **50** compuesta rigidizada de sombrero, tal como una viga compuesta rigidizada de sombrero, el aparato **10** de formación de compuesto y el método de formación asociado pueden configurarse para formar otros tipos de estructuras compuestas. Aunque las piezas compuestas rigidizadas de sombrero y otros tipos de piezas se emplean normalmente en las aplicaciones aeroespaciales, las piezas compuestas resultantes pueden emplearse en otras aplicaciones y en otras industrias en caso deseado.

30 En la Fig. 1, el aparato **10** de formación incluye una herramienta **20** de formación de compuesto, un mandril **30** de labrado, y una herramienta **40** de unión de base. La herramienta **40** de unión de base se diseña normalmente para soportar la estructura compuesta durante las operaciones de formación y, en algunos casos, puede definir al menos una porción de la forma resultante de la estructura compuesta. Como tal, la herramienta **40** de unión de base tiene generalmente una forma plana, pero podría tener cualquier otra dependiendo de la forma de la pieza compuesta resultante. La herramienta **40** de unión de base se fabrica normalmente de acero, carbono o epoxi de vidrio, u otros materiales metálicos o no metálicos.

40 El mandril **30** de labrado se diseña generalmente para definir un espacio o hueco interior dentro de la estructura compuesta resultante y, como tal, puede tener diversas formas y tamaños dependiendo del tamaño y la forma de la pieza compuesta resultante. En la realización ilustrada, un mandril **30** de labrado se muestra como un trapecoide con una primera superficie **31** que tiene una anchura en sección transversal más pequeña que la anchura de una segunda superficie **32** opuesta. El mandril **30** de labrado puede fabricarse de diversos materiales, tales como caucho de silicona.

45 La herramienta **20** de formación de compuesto generalmente tiene una forma que complementa al mandril **30** de labrado que, a su vez, se acciona mediante la forma y el tamaño de la pieza compuesta resultante. Sin embargo, la forma de la herramienta **20** de formación de compuesto puede diferenciarse de la del mandril **30** de labrado si viene dictada por la forma y el tamaño de la pieza compuesta resultante. La forma de la herramienta **20** de formación de compuesto puede incluir porciones ahusadas, diferencias de espesor entre una porción y otra, y otras características para ayudar en la producción de la pieza requerida. En la Fig. 1, la herramienta **20** de formación de compuesto incluye porciones **21** de pie, la primera porción **22** de pierna y la segunda porción **23** de pierna, la tercera porción **24** de pierna y la cuarta porción **25** de pierna, y la porción **26** de interconexión. En esta realización, las primeras y terceras porciones **22**, **24** de pierna comprenden una pierna primera **27** y las segundas y cuartas porciones **23**, **25** de pierna comprenden una segunda pierna **28**. Cada pierna puede dividirse igualmente para establecer ambas porciones de pierna, o cada porción de pierna puede constituir cantidades diferentes de la pierna completa siempre y cuando las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna estén próximas a las respectivas porciones **21** de pie, y las terceras y cuartas porciones **24**, **25** estén próximas a la porción **26** de interconexión.

60 Las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna son menos expansivas térmicamente que las terceras y cuartas porciones **24**, **25** de pierna, por que las terceras y cuartas porciones **24**, **25** de pierna se forman de un material con un mayor coeficiente de expansión térmica que las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna. Por ejemplo, las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna pueden formarse de fluoroelastómero, mientras que las terceras y cuartas porciones **24**, **25** de pierna y la porción **26** de interconexión pueden formarse de caucho de silicona. Las porciones **21** de pie se forman generalmente del mismo material que las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna, tal como fluoroelastómero. Además, las primeras y segundas porciones **22**, **23** de pierna y las porciones **21** de pie respectivas pueden incluir una capa de vidrio o refuerzo de fibra de carbono. Debido a la diferencia en las

propiedades de expansión térmica, las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna se expanden y se contraen más que las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna, a medida que la temperatura cambia, tal como durante el curado de la pieza compuesta. Consecuentemente, la herramienta **20** de formación de compuesto y el mandril **30** de labrado permiten un cambio de curvatura mientras que siguen controlando la forma crítica del radio definido en la intersección entre las piernas de la pieza compuesta y la estructura plana correspondiente. Las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna, así como las porciones **21** de pie respectivas, también pueden contener un espesor adicional cuando se comparan con las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna para proporcionar un mayor control sobre la forma de la pieza.

Un método ventajoso para formar piezas compuestas comienza en la Fig. 2, que muestra el mandril **30** de labrado colocado sobre el material compuesto **51** que descansa en la herramienta **40** de unión de base. El material compuesto **51** puede ser una o más capas o láminas de material preimpregnado, tal como una matriz de fibras de grafito en forma de tela o cinta preimpregnada con una resina convencional acumulada con una orientación de 0, 45, 90, una orientación de 0, 30, 60, 90, u otra orientación adecuada. Después de colocar el mandril **30** de labrado sobre el material compuesto **51**, un material compuesto **52** adicional se coloca sobre el mandril **30** de labrado tal como se muestra en la Fig. 3. Al igual que antes, el material compuesto **52** adicional puede ser una o más capas, tal como capas o láminas de envoltura y tubo de material compuesto, tal como un material preimpregnado. El material compuesto **52** adicional puede formarse del mismo material o un material compuesto diferente al del material compuesto **51**. Además, el material compuesto **52** adicional puede tener la misma orientación o una orientación de fibra diferente que el material compuesto **51**.

La siguiente etapa en la formación de una pieza compuesta, tal como se ve en la Fig. 4, puede ser colocar la herramienta **20** de formación de compuesto para cubrir al menos una porción de material compuesto **52** adicional. Una bolsa **60** de vacío puede colocarse sobre la herramienta **20** de formación de compuesto y el material compuesto **51** para realizar un vacío de la herramienta **20** de formación de compuesto, el mandril **30** de labrado, el material compuesto **51** y el material compuesto **52** adicional hacia la herramienta **40** de unión de base. Generalmente, tiene lugar un proceso de curado tras haber colocado la herramienta **20** de formación de compuesto sobre el material compuesto **52** adicional y, generalmente, se mantiene en su lugar, tal como mediante la evacuación de una bolsa **60** de vacío o similar. Un proceso de curado puede incluir la aplicación de calor, tal como mediante calor radiante y, opcionalmente, la aplicación de fuerza de presión compresiva o evacuada en el material compuesto.

Como resultado de la formación de las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna como un material menos expansivo térmicamente con un menor coeficiente de expansión térmica que el de las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna, las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna mantienen su forma y posición más que las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna durante el proceso de calentamiento, ya que las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna se expanden en mayor grado que las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna. Aunque no está dibujada a escala, la Fig. 5 muestra las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna de la herramienta **20** de formación de compuesto que cambian de tamaño durante el calentamiento de los materiales **52, 51** en mayor grado que las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna de la herramienta **20** de formación de compuesto. Además, en la Fig. 5, el mandril **30** de labrado se expande durante el calentamiento del material compuesto, normalmente en mayor grado que las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna, pero en una cantidad menor a o igual a la expansión de las terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna. El cambio relativo del tamaño de la herramienta **20** de formación de compuesto, tal como se ve al comparar las Fig. 4 y 5, no es generalmente la magnitud de expansión típica, sino que se ha exagerado con fines de ilustración. Además, la línea **A** entre las primeras y terceras porciones **22, 24** de pierna y la línea **B** entre las segundas y cuartas porciones **23, 25** de pierna tienen fines de ilustración únicamente y no son visibles generalmente. Ambas líneas **A, B** ayudan a mostrar cómo las terceras y cuartas porciones **24, 25** de piernas se expanden más que las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna. Por ejemplo, la línea **A** en la Fig. 4 divide aproximadamente la primera pierna **27** no calentada en 2 porciones iguales, las primeras y terceras porciones **22, 24** de pierna. Como tal, la Fig. 4 muestra que la longitud de la primera porción **22** de pierna, la longitud **L1**, es aproximadamente la misma que la longitud de la tercera porción **24** de pierna, la longitud **L3**. El proceso de curado, que ocurre en la Fig. 5, provoca que la tercera porción **24** de pierna se expanda en mayor grado que la primera porción **22** de pierna debido, tal como se ha analizado anteriormente, a la diferencia en el coeficiente de expansión térmica de los materiales que conforman las porciones de pierna separadas. Al comparar la Fig. 5 con la Fig. 4, la longitud **L3** de la tercera porción **24** de pierna se muestra incrementándose durante el proceso de curado, mientras que la longitud **L1** de la primera porción **22** de pierna no se muestra incrementándose tanto como la longitud **L3**. Además, la Fig. 5 muestra que la línea **A** ya no divide la primera pierna **27** en dos porciones aproximadamente iguales, sino que, sin embargo, la tercera porción **24** de pierna forma ahora más de la mitad de toda la pierna como resultado de la expansión de la tercera porción **24** de pierna en mayor grado que la primera porción **22** de pierna. Las segundas y cuartas porciones **23, 25** de pierna, que forman la segunda pierna **28**, también se expanden en menores y mayores cantidades, respectivamente, durante el proceso de curado de la misma manera que se ha analizado antes en relación con la primera pierna **27**.

Tras el proceso de curado, el aparato **10** de formación de compuesto y el material compuesto **51, 52** se enfrían y la herramienta **20** de formación de compuesto y el mandril **30** de labrado se retiran posteriormente. Tanto la herramienta **20** de formación de compuesto como el mandril **30** de labrado pueden volver a usarse para la producción de múltiples piezas compuestas. Después, la pieza compuesta, tal como una pieza **50** compuesta

rigidizada de sombrero, se retira de la herramienta **40** de unión de base. Tras el enfriamiento, el compuesto puede retener la forma que tenía durante el curado debido al curado y solidificación de la resina. En otras realizaciones, pueden formarse diferentes tipos de piezas compuestas.

- 5 Al formar las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna con material que no se expande tanto como las otras porciones de la pierna, una forma de esquina puede restringirse o mantenerse dentro de tolerancias durante la fabricación, lo que es deseable con respecto a la integridad de las piezas compuestas. Como tal, las esquinas definidas entre las porciones **21** de pie y las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna pueden formarse con una tolerancia más exigente que las otras porciones de la pieza compuesta, tales como las esquinas entre las
- 10 terceras y cuartas porciones **24, 25** de pierna y la porción **26** de interconexión. Ya que las esquinas definidas entre las porciones **21** de pie y las primeras y segundas porciones **22, 23** de pierna deben mantenerse en una tolerancia más cercana que las otras porciones de la pieza compuesta, la herramienta **20** de formación de compuesto se configura para formar piezas compuestas que cumplan incluso tolerancias bastante exigentes para algunas de las características, mientras que siguen permitiendo la expansión inevitable del material compuesto y el mandril **30** de
- 15 labrado, lo que ocurre durante el proceso de curado.

- Muchas modificaciones y otras realizaciones de las invenciones expuestas en el presente documento serán aparentes para un experto en la materia al que pertenezcan estas invenciones, teniendo el beneficio de las enseñanzas presentadas en las anteriores descripciones y los dibujos asociados. Por ejemplo, el aparato **10** de
- 20 formación de compuesto puede tener otras formas, y/u otras porciones de la herramienta **20** de formación de compuesto pueden formarse de material menos expansivo térmicamente. Generalmente, sin embargo, la herramienta **20** de formación de compuesto incluirá material menos expansivo térmicamente con un coeficiente menor de expansión térmica próximo a aquellas características del material compuesto que tienen tolerancias menores, y material más expansivo térmicamente con un coeficiente mayor de expansión térmica próximo a aquellas
- 25 características de la pieza compuesta que tienen tolerancias más flexibles, con la expansión del material compuesto **51, 52** y/o el mandril **30** de labrado ajustada predominantemente mediante la expansión de aquellas porciones de la herramienta **20** de formación de compuesto formadas de material más expansivo térmicamente. Por tanto, debe entenderse que las invenciones no deben limitarse a las realizaciones específicas divulgadas y que las modificaciones y otras realizaciones van destinadas a incluirse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.
- 30 Aunque se han empleado términos específicos en el presente documento, estos se usan en un sentido genérico y descriptivo únicamente y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Una herramienta (20) que comprende;
 5 primeras (22) y segundas (23) porciones de pierna conectadas a respectivas porciones (21) de pie; terceras (24) y
 cuartas (25) porciones de pierna, conectadas con las primeras y segundas porciones (22, 23) de pierna,
 respectivamente; y
 una porción (26) de interconexión que se extiende entre y conecta las terceras y cuartas porciones (24, 25) de
 10 pierna, donde las primeras y segundas porciones (22, 23) de pierna de la herramienta de formación de compuesto
 comprenden un material que es menos expansivo térmicamente que un material que forma las terceras y cuartas
 porciones (24, 25) de pierna y la porción (26) de interconexión; **caracterizada por que:**
- 15 las primeras y segundas porciones (22, 23) de pierna se conectan en un extremo con las porciones (21) de pie y
 en el otro extremo con las respectivas terceras y cuartas porciones (24, 25) de pierna, y las terceras y cuartas
 porciones (24, 25) de pierna se conectan en su otro extremo con la porción (26) de interconexión.
2. Una herramienta (20) de formación de compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde las primeras y
 segundas porciones (22, 23) de pierna comprenden fluoroelastómero.
- 20 3. Una herramienta (20) de formación de compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde las terceras y cuartas
 porciones (24, 25) de pierna y la porción (26) de interconexión comprenden caucho de silicona.
4. Una herramienta (20) de formación de compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde las porciones (21) de
 pie de las primeras y segundas porciones (22, 23) de pierna son paralelas con la porción (26) de interconexión.
- 25 5. Una herramienta (20) de formación de compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde las primeras (22) y
 las terceras (24) porciones de pierna y las segundas (23) y cuartas (25) porciones de pierna definen respectivas
 superficies planas.
- 30 6. Una herramienta (20) de formación de compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, donde las primeras y
 segundas porciones (22, 23) de pierna comprenden fluoroelastómero con refuerzo de fibras.
7. Un método de formación de una pieza compuesta que comprende:
- 35 colocar un material compuesto inicial en una herramienta (40) de base;
 colocar un mandril (30) de labrado en el material compuesto;
 colocar un material compuesto (52) adicional sobre el mandril de labrado;
 cubrir al menos una porción del material compuesto, que recubre el mandril de labrado, con una herramienta (20)
 de formación de compuesto;
 40 calentar el material compuesto para curar al menos parcialmente el material compuesto; y
 permitir que una primera porción (24, 25, 26) de la herramienta (20) de formación de compuesto cambie su
 tamaño durante el calentamiento del material compuesto en un grado mayor que una segunda porción de la
 herramienta de formación de compuesto, donde la segunda porción (21, 22, 23) de la herramienta de formación
 de compuesto está más cerca de la herramienta (40) de base que la primera porción de la herramienta de
 45 formación de compuesto.
8. Un método de formación de una pieza compuesta de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además
 aplicar presión en el material compuesto mientras se calienta el material compuesto.
- 50 9. Un método de formación de una pieza compuesta de acuerdo con la reivindicación 7, donde calentar el material
 compuesto comprende aplicar calor radiante a la pieza compuesta.
10. Un método de formación de una pieza compuesta de acuerdo con la reivindicación 7, donde permitir que la
 primera porción de la herramienta de formación de compuesto cambie su tamaño comprende permitir que la primera
 porción de la herramienta de formación de compuesto se expanda en mayor medida que la segunda porción de la
 55 herramienta de formación de compuesto.
11. Un método de formación de una pieza compuesta de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además
 permitir que el mandril de labrado también se expanda durante el calentamiento del material compuesto.



