



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 163**

51 Int. Cl.:  
**B29C 33/38** (2006.01)  
**B29C 33/56** (2006.01)  
**B29C 70/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05712047 .9**  
96 Fecha de presentación : **20.01.2005**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1711324**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.10.2006**

54 Título: **Utillaje de material compuesto de espuma de carbono y procedimientos para usar el mismo.**

30 Prioridad: **20.01.2004 US 536999 P**  
**29.06.2004 US 878151**  
**29.06.2004 US 878125**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**05.04.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**05.04.2011**

73 Titular/es:  
**TOUCHSTONE RESEARCH LABORATORY Ltd.**  
**R.D. 1, Box 100B, The Millennium**  
**Triadelphia, Virginia Occidental 26059, US**

72 Inventor/es: **Joseph, Brian, E.;**  
**Lucas, Rick, D. y**  
**Merriman, Douglas, J.**

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 356 163 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Campo de la invención

Esta invención se refiere a un utillaje de material compuesto y a procedimientos para usar el mismo, más específicamente a la incorporación de espuma de carbono en un cuerpo de herramienta para formar piezas hechas de materiales de material compuesto.

Antecedentes de la invención

En general, los materiales de material compuesto se preparan incrustando un material de refuerzo dentro de un material de matriz. Los materiales de material compuesto que tienen altos grados de utilidad normalmente muestran propiedades mecánicas u otras superiores a las de los materiales individuales de los que se formó el material compuesto. Un ejemplo común de un material compuesto es la fibra de vidrio. La fibra de vidrio son fibras de vidrio, que son el material de refuerzo incrustado en una resina curada, que constituye el material de matriz.

Se ha encontrado que los materiales de material compuesto tienen un alto grado de utilidad cuando se usan como piezas de estructuras, componentes, submontajes, y similares, de montajes tales como aviones, misiles, barcos, equipo médico y artículos deportivos. Un material compuesto comúnmente usado en tales aplicaciones es la fibra de vidrio. Otros materiales compuestos que tienen grados particularmente altos de utilidad en tales aplicaciones son los que se preparan a partir de fibras de carbono combinadas con un material de matriz tales como las resinas termoestables (por ejemplo termoendurecidas y similares) y/o termoplásticos. Tales materiales compuestos se denominan materiales compuestos de fibra de carbono (denominado en lo sucesivo en el presente documento CFC), o más comúnmente, materiales compuestos de carbono. Los materiales compuestos de carbono se han usado, por ejemplo, como superficies de vuelo de aviones, cuerpos de misiles, soportes ortopédicos y palos de golf. La utilidad de tales materiales compuestos de carbono normalmente está relacionada con su razón de solidez frente a peso excepcionalmente alta y con su resistencia a la fatiga y a la corrosión. En la mayoría de los casos, estas propiedades beneficiosas superan a las de los metales u otros materiales sustituidos por el uso de los materiales compuestos de carbono. Adicionalmente, algunos tipos de materiales compuestos de fibra de carbono pueden carbonizarse para formar materiales compuestos de carbono-carbono.

Pueden desearse orientaciones de fibra específicas en el producto de material compuesto final para conferir solidez, rigidez y/o flexibilidad acentuadas a lo largo de ciertos ejes. Además, los materiales de formación de material compuesto, particularmente la fibra de carbono, son relativamente caros y la cantidad de desperdicio generalmente es desalentadora. Por tanto, los materiales compuestos se producen en tamaños, conformaciones y formas que se ajustan estrechamente a los requeridos por la aplicación deseada. De hecho, los materiales compuestos, particularmente los materiales compuestos de fibra de carbono usados en aplicaciones aeroespaciales y en muchas otras, se producen rutinariamente dentro de tolerancias muy restrictivas al tamaño requerido.

La formación de materiales compuestos, incluyendo materiales compuestos de carbono, para tal nivel de exigencia en cuanto a la dimensión, se lleva a cabo normalmente mediante el uso de dispositivos similares a moldes denominados comúnmente herramientas. Estas herramientas engloban una o más superficies, denominadas caras de herramienta, con lo que el material compuesto se forma, se conforma, se moldea o se produce de otro modo dando lugar a componentes de tamaños y conformaciones predeterminados. Tales componentes pueden incluir estructuras, piezas, submontajes y similares. La cara de herramienta es una superficie formada normalmente de manera que es una imagen especular negativa tridimensional precisa de una superficie del componente de material compuesto deseado. Es decir, una superficie elevada sobre la pieza de material compuesto se ajustará y se formará mediante una depresión de superficie dimensionada de manera equivalente (negativamente) de la cara de herramienta. Asimismo, una superficie rebajada sobre la pieza de material compuesto se ajustará y se formará mediante una superficie elevada dimensionada de manera equivalente (negativamente) de la cara de herramienta. En la práctica, una mezcla de un material de refuerzo y un material de matriz, por ejemplo fibra de carbono y una resina, se colocan en la cara de herramienta mediante cualquiera de varios procedimientos y se llevan en contacto estrecho con esa cara de herramienta. Las dimensiones de la cara de herramienta son de manera que este contacto moldea eficazmente una superficie de la mezcla de material de matriz y material de refuerzo para dar lugar a la conformación y las dimensiones deseadas. Entonces se solidifica el material de matriz, normalmente mediante el curado de la resina, para producir el componente de material compuesto. Por ejemplo, una fibra de carbono que contiene resina se cura normalmente mediante la aplicación de calor para dar un componente de CFC sólido que tiene una superficie que muestra la conformación y las dimensiones conferidas por la cara de herramienta.

Además de la cara de herramienta, una herramienta también comprende un cuerpo de herramienta y normalmente una estructura de soporte. El cuerpo de herramienta comprende la cara de herramienta. Es decir, la cara de herramienta con la que se forma el material compuesto, por ejemplo un CFC, es una superficie del cuerpo de herramienta. El cuerpo de herramienta también puede englobar una

cubierta que engloba como mínimo la cara de herramienta, o una parte de la misma, de manera que se forma un volumen esencialmente cerrado entre la cara de herramienta y la cubierta. La estructura de soporte se conecta al cuerpo de herramienta y puede ser para varios fines, incluyendo pero sin limitarse a, soporte, orientación y transporte del cuerpo y la cara de herramienta y junto con protección frente a

5 daño del cuerpo y la cara de herramienta.

Características importantes del utillaje incluyen, por ejemplo, calidad, peso, solidez, tamaño, coste, facilidad de reparación y similares. Adicionalmente, se considera que la rigidez y la duración son características muy importantes del utillaje. Todas estas características dependen del diseño de la herramienta, de los materiales de construcción de la herramienta y de los materiales usados para formar el material compuesto.

10

Una característica del utillaje que es muy importante es el coeficiente de expansión térmica (denominado en lo sucesivo en el presente documento CET y CETs en la forma plural) mostrado por la cara de herramienta. Cuando la cara de herramienta es una superficie del cuerpo de herramienta, el CET mostrado por la cara de herramienta depende del material del que está compuesto el cuerpo de herramienta. En general se desea que la cara de herramienta muestre un CET que sea sustancialmente similar o equivalente al CET de la pieza de material compuesto formada. Preferiblemente, el CET mostrado por la cara de herramienta debe ser similar o equivalente al CET de la pieza de material compuesto formada en un amplio intervalo de temperatura. La importancia de tener una similitud sustancial, o más preferiblemente una equivalencia, entre el CET de la pieza de material compuesto y el mostrado por la cara de herramienta está relacionada con la manera en que se preparan las piezas de material compuesto usando las herramientas. Es decir, normalmente, los materiales usados para formar el material compuesto se colocan sobre la cara de herramienta a temperatura ambiente. Entonces se aumenta la temperatura de la herramienta y los materiales de formación de material compuesto hasta alguna temperatura elevada, normalmente tal como 138,9°C (250°F) o más, para curar la resina del material compuesto. Una vez curada la resina, la pieza de material compuesto resultante, por ejemplo un CFC, es rígida. Tras el curado de la resina, la cara de herramienta y la pieza de material compuesto se enfrían hasta temperaturas ambiente. Tal exposición a temperaturas significativamente superiores a la temperatura ambiente es el motivo por el que se desea que el CET del utillaje se ajuste al de la pieza de material compuesto resultante. Por ejemplo, si el CET de la pieza de material compuesto es significativamente inferior al mostrado por la cara de herramienta, la pieza de material compuesto puede quedar atrapada o retenida en la herramienta mediante la contracción relativamente superior de las dimensiones de la cara de herramienta con el enfriamiento. A la inversa, si el CET de la pieza de material compuesto es significativamente superior al mostrado por la cara de herramienta, la pieza puede quedar retenida de nuevo en la herramienta o puede dañar la cara de herramienta durante la contracción o las dimensiones del material compuesto curado pueden diferir de las de la cara de herramienta.

15

20

25

30

35

Normalmente, los materiales compuestos de carbono tienen CETs relativamente bajos mientras que los CETs para la mayoría de otros materiales son mucho más altos. Por tanto, es muy difícil ajustar el CET mostrado por la cara de herramienta con el CET de un material compuesto de carbono ya que hay pocos materiales disponibles para la construcción del cuerpo de herramienta que tengan CETs suficientemente bajos. Tales materiales con CET bajo disponibles adecuados para la construcción del cuerpo de herramienta incluyen, por ejemplo, otros materiales compuestos de carbono, INVAR<sup>®</sup> (por ejemplo, una aleación de níquel y hierro de expansión controlada), y similares.

40

INVAR<sup>®</sup> es duradero y tiene un CET que es sustancialmente similar al de los materiales compuestos de carbono. Sin embargo, las herramientas basadas en INVAR<sup>®</sup> normalmente son pesadas, difíciles de fabricar y pueden requerir, por ejemplo, hasta diecisiete fases separadas de fabricación. Estas numerosas fases de fabricación pueden conducir a un incremento de aproximadamente el 140% a aproximadamente el 250% en el coste del utillaje y a un incremento de cuatro veces en los tiempos de espera, tal como se trata en "Fabrication and Analysis of Invar Faced Composites for Tooling Applications", Proceedings of Tooling Composites 93, Pasadena, California, que se incorpora al presente documento como referencia.

45

50

De manera similar al utillaje basado en INVAR<sup>®</sup>, el utillaje basado en material compuesto de fibra de carbono puede ajustar el CET de piezas de CFC, y similares, incluso por ejemplo, el CET difícil de ajustar de los materiales de bajo CET. Para este tipo de utillaje, los materiales compuestos de fibra de carbono se usan como el cuerpo de herramienta total y/o la parte del cuerpo de herramienta que define la cara de herramienta. El utillaje basado en material compuesto de fibra de carbono es ventajoso ya que tales herramientas basadas en CFC son menos caras, más ligeras, tienen una masa térmica baja y requieren tiempos de espera más cortos para la fabricación de la herramienta que los del utillaje convencional tales como los basados en INVAR<sup>®</sup>. Sin embargo, las herramientas basadas en CFC normalmente son propensas al daño si no se manejan con cuidado, especialmente cuando se encuentra material compuesto en ellas. Adicionalmente, puede producirse la degradación de la superficie de las herramientas basadas en CFC como resultado de la repetición del ciclo de proceso debido a una combinación de adhesión de componentes, falta de ajuste del CET y descomposición oxidativa. Además, cualquier reparación necesaria de las herramientas basadas en CFC conduce a un incremento en los

55

60

costes de reparación y mantenimiento. Además, las herramientas basadas en CFC se someten a tensiones dimensionales debidas al soporte irregular. Por consiguiente, debido a los problemas mencionados anteriormente, el utillaje basado en CFC no se usa comúnmente.

5 Existen otras características importantes del utillaje de material compuesto, particularmente del utillaje de CFC, que también deben considerarse. Por ejemplo, además de ser rígido, duradero, fuerte y de CET ajustable, el utillaje también debe ser de bajo coste y fácil de producir. Es decir, un factor considerado normalmente cuando se selecciona el material para un cuerpo de herramienta es el número total de piezas que van a producirse. En esta consideración se incluye el hecho de que la producción de un gran número de piezas puede justificar más fácilmente un utillaje caro. Sin embargo, en general se acepta generalmente que se desea un utillaje rígido, fuerte, duradero y de CET ajustable, que puede producirse fácilmente a bajo coste, independientemente del número de piezas planificado.

15 Las espumas de carbono son materiales con un contenido en carbono muy alto que tienen un volumen vacío apreciable. En su aspecto, a excepción del color, las espumas de carbono pueden parecerse a las espumas de plástico comerciales fácilmente disponibles. Al igual que con las espumas de plástico, el volumen vacío de las espumas de carbono se ubica dentro de numerosas células vacías. Los límites de estas células están definidos por la estructura del carbono. Estas células normalmente se aproximan a esferas o a ovoides de tamaño, conformación, distribución y orientación regular, pero no necesariamente uniforme. Los volúmenes vacíos en estas células normalmente se conectan directamente con los volúmenes vacíos circundantes. Una disposición de este tipo se denomina una espuma de célula abierta. El carbono en estas espumas forma una estructura que es continua en tres dimensiones a través del material. Normalmente, las células en las espumas de carbono son de un tamaño que es fácilmente visible a simple vista. Además, el volumen vacío de las espumas de carbono es de manera que normalmente ocupa mucho más que la mitad del volumen de la espuma de carbono. El tamaño, conformación, distribución y orientación regulares de las células dentro de la espuma de carbono distingue fácilmente a este material de otros materiales tales como los coques metalúrgicos. Las espumas de carbono se han preparado a partir de una variedad de materias primas usando una variedad de procesos. Por ejemplo, las materias primas para la producción de espuma de carbono han incluido, pero sin limitarse a, breas, carbones y derivados de carbón. Asimismo, se han identificado los procesos para la producción de espumas de carbono a partir de cada una de estas materias primas. La mayoría de estos procesos incluyen la exposición de la espuma de carbono a una temperatura elevada, a veces de hasta aproximadamente 3000°C, tras la preparación de la espuma.

20 En Kuppusamy, Arvid, Development of framework for rapid tool manufacture for RIDFT process, se describe el uso de la espuma de carbono como material en un procedimiento de RIDFT. El material de carbono se describe como pulverulento, frágil y que rompe las láminas de silicona.

25 En Advanced Materials and Composite News, vol. 25; n.º 22, 17.11.2003, págs. 5-6 se notifica una espuma de C. En este documento se describe en general que la espuma de carbono puede usarse para utillaje. Además, se identifica que el material puede usarse en utillaje de material compuesto según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 11.

#### Sumario de la invención

35 Se dan a conocer herramientas, para la formación de piezas de material compuesto a partir de materiales de formación de material compuesto, que tienen cuerpos de herramienta que comprenden, al menos en parte, espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono incorporada puede definir al menos una parte de una cara de herramienta de una herramienta.

45 La espuma de carbono soporta un material de cara de herramienta, una superficie del cual define al menos una parte de una cara de herramienta de una herramienta según la reivindicación 1. La espuma de carbono incorporada puede rellenarse parcial o completamente con un material de relleno. Parte de los materiales de relleno pueden carbonizarse tras el relleno de la espuma de carbono. El uso de materiales de relleno puede proporcionar, por ejemplo, una cara de herramienta más lisa y/o hacer que algunas zonas de la espuma de carbono se vuelvan impermeable al paso de gases u otros materiales. Los materiales de cara de herramienta pueden incluir, pero sin limitarse a, materiales compuestos, en particular materiales compuestos de fibra de carbono, resinas, metales, incluyendo metales pulverizados con arco, materiales cerámicos y otros materiales.

55 Las caras de herramienta de las herramientas dadas a conocer pueden mostrar coeficientes de expansión térmica (CETs) que son relativamente bajos. Las caras de herramienta que tienen tales CETs bajos pueden ser particularmente útiles para la preparación de materiales compuestos de CET bajo tales como materiales compuestos de fibra de carbono (CFC). Por ejemplo, un cuerpo de herramienta que comprende espuma de carbono, en el que una superficie de la espuma de carbono es una cara de herramienta para la producción de materiales compuestos de fibra de carbono (CFC) es particularmente ventajoso ya que el CET de la espuma de carbono puede ajustarse al del CFC resultante. Como otro ejemplo, la espuma de carbono de las herramientas dadas a conocer puede soportar un material de cara de herramienta, tal como un CFC, una superficie del cual proporciona una cara de herramienta para la

producción de materiales compuestos de fibra de carbono (CFC). En este ejemplo, el CET de la espuma de carbono se ajusta al del material de cara de herramienta y al CFC resultante.

5 Las herramientas dadas a conocer pueden ser más ligeras, más duraderas y menos costosas de producir y/o usar que las herramientas convencionales usadas para la producción de piezas de material compuesto, particularmente que las herramientas usadas para la producción de CFC. Adicionalmente, tales herramientas pueden ser reutilizables, reparables y más fácilmente modificables que las herramientas de la técnica anterior.

10 En ciertas realizaciones, la invención puede incluir una herramienta para la producción de al menos una pieza de material compuesto, comprendiendo la herramienta un cuerpo de herramienta en la que al menos una parte del cuerpo de herramienta es espuma de carbono. Una superficie del cuerpo de herramienta define una cara de herramienta, y una parte de la cara de herramienta puede ser al menos parcialmente una superficie de la espuma de carbono que comprende el cuerpo de herramienta. En algunas realizaciones, las células de la espuma de carbono pueden estar al menos parcialmente rellenas con un material de relleno. El material de relleno puede ser una resina curada, una brea, un material  
15 cerámico moldeable curado, una resina carbonizada, o una brea carbonizada. En ciertas realizaciones, el coeficiente de expansión térmica de la cara de herramienta es sustancialmente similar al coeficiente de expansión térmica de la pieza de material compuesto producida en la cara de herramienta. En realizaciones adicionales, al menos una parte de la espuma de carbono que comprende el cuerpo de herramienta soporta al menos parcialmente un material de cara de herramienta. El material de cara de  
20 herramienta puede ser metales, materiales cerámicos, una resina curada, un material compuesto de fibra, un material compuesto de fibra de carbono, un material compuesto particulado, INVAR<sup>®</sup>, carburo de silicio o materiales cerámicos de zircona. La espuma de carbono puede derivarse al menos en parte de brea, carbón o un derivado de carbón. En otras realizaciones, el cuerpo de herramienta puede tener forma de mandril. Todavía adicionalmente, la herramienta puede comprender además una cubierta colocada sobre  
25 al menos una parte de la cara de herramienta y encerrar al menos una parte de la cara de herramienta. La herramienta también puede incluir un orificio de conexión de depósito de resina en comunicación de vacío con la parte encerrada de la cara de herramienta. El orificio de conexión de depósito de resina puede estar adaptado para conectarse a un sistema de depósito de resina y proporciona transferencia de resina desde el sistema de depósito de resina hacia la parte encerrada de la cara de herramienta cuando se crea  
30 un vacío en la parte encerrada de la cara de herramienta.

Ciertas realizaciones de la invención también pueden incluir un procedimiento para producir al menos una pieza de material compuesto, tal como se define en la reivindicación 11. El material de formación de material compuesto puede incluir una mezcla de una resina y al menos uno seleccionado del grupo que consiste en un material de refuerzo de material particulado y un material de refuerzo  
35 fibroso. El procedimiento puede incluir además la etapa de colocar una película de división entre los materiales de formación de material compuesto y la cara de herramienta. El procedimiento también puede incluir la etapa de recubrir al menos una parte de la cara de herramienta con un agente de liberación antes de poner en contacto la cara de herramienta con el material de formación de material compuesto. Todavía adicionalmente, la herramienta puede incluir además una cubierta colocada sobre al menos una  
40 parte de la cara de herramienta y que encierra al menos una parte de la cara de herramienta, y el material de formación de material compuesto puede colocarse sobre la parte encerrada de la cara de herramienta. Puede conseguirse un vacío dentro de la parte encerrada de la cara de herramienta.

#### Breve descripción de las figuras

45 La figura 1 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un mandril comprendido en parte de espuma de carbono. Los materiales de formación de material compuesto se colocan entonces sobre la superficie exterior de este mandril para formar una pieza de material compuesto.

50 La figura 2 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono en la que una superficie de la espuma de carbono se ha mecanizado o se ha contorneado o formado de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para servir como una cara de herramienta.

55 La figura 3 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono en la que una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta soporta un material impermeable de la cara de herramienta. Una sección de este material de cara de herramienta se ha mecanizado o se ha contorneado o formado de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para servir como una cara de herramienta.

60 La figura 4 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono en la que una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta soporta un material impermeable de la cara de herramienta. Una sección de este material de cara de herramienta se ha

mecanizado o se ha contorneado o formado de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para servir como una cara de herramienta.

5 La figura 5 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de dos secciones mutuamente opuestas de espuma de carbono en la que una superficie mutuamente opuesta de cada sección de espuma de carbono soporta un material de cara de herramienta, cuyas superficies sirven como las caras de herramienta.

10 La figura 6 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono en la que una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta se ha mecanizado o se ha contorneado o formado de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para servir como una cara de herramienta.

15 La figura 7 ilustra una representación en sección transversal de una primera mitad de un cuerpo de herramienta reutilizable comprendido al menos en parte de espuma de carbono, que tiene una superficie en la que se forma un canal y una conformación.

#### Descripción detallada de las realizaciones de la invención

20 Puede utilizarse utillaje para fabricar piezas, incluyendo piezas de material compuesto, de diversos tipos, conformaciones, tamaños y materiales con una alta exactitud dimensional. El diseño del utillaje normalmente depende de la conformación deseada de la pieza que va a formarse, de los materiales usados para formar la pieza, de la cantidad de solidez y rigidez que debe tener el utillaje para soportar los materiales necesarios para formar la pieza, y/o del procedimiento usado para proporcionar los materiales para formar la pieza.

25 Herramientas engloba una o más superficies, denominadas caras de herramienta, con las que el material se forma, se conforma, se moldea o se produce de otro modo para dar lugar a una(s) pieza(s) que tiene una(s) superficie(s) de tamaños y conformaciones predeterminados. Tales piezas pueden incluir, pero sin limitarse a, estructuras, piezas, submontajes, partes de componentes, componentes parciales, y similares, incluyendo cualquier forma sólida que tenga una superficie conformada. La cara de herramienta es una superficie del cuerpo de herramienta, formada normalmente de manera que sea una imagen especular negativa tridimensional precisa de una superficie deseada de una pieza. Es decir, una superficie elevada en la pieza, por ejemplo una pieza de material compuesto, se ajustará y se formará mediante una depresión de superficie dimensionada de manera equivalente (negativamente) de la cara de herramienta. Asimismo, una superficie rebajada en la pieza se ajustará y se formará mediante una superficie elevada dimensionada de manera equivalente (negativamente) de la cara de herramienta.

35 En la práctica, los materiales que comprenden una pieza de material compuesto pueden colocarse sobre la cara de herramienta mediante cualquiera de varios procedimientos. Comúnmente, los materiales compuestos utilizan una(a) resina(s) como material de matriz y fibra como el material de refuerzo. Sin embargo, también puede(n) usarse una(s) resina(s) y un(os) material(es) particulado(s) como el material de matriz y de refuerzo, respectivamente. En ocasiones la colocación de la fibra se controla estrechamente de manera que la pieza de material compuesto resultante muestra una separación y/u orientación de fibras específica. La fibra y la resina pueden mezclarse o combinarse de otro modo antes de la colocación de la cara de herramienta. Alternativamente, puede colocarse la fibra sobre la cara de herramienta y puede perfundirse posteriormente la resina al interior de la fibra mediante cualquiera de varios procedimientos. En algunos casos, antes de la colocación de los materiales que comprenden el material compuesto, puede cubrirse la cara de herramienta con una lámina fina de material, en ocasiones denominada lámina de división o película de liberación, que se forma estrechamente con la cara de herramienta. Puede considerarse que tales láminas son un recubrimiento temporal sobre la cara de herramienta. La superficie de esta lámina que no está en contacto con la cara de herramienta, es decir, la superficie externa de la lámina, se convierte eficazmente en la cara de herramienta. Tales láminas pueden usarse para proteger la cara de herramienta y/o para proporcionar una eliminación o liberación más fácil de la pieza de material compuesto formada. Alternativamente, puede evitarse que los materiales que comprenden el material compuesto se unan a la cara de herramienta recubriendo la cara de herramienta con un agente de liberación. Los agentes de liberación pueden incluir diversos polímeros, incluyendo PVA y ceras, entre otros materiales. Las películas de liberación pueden estar compuestas de cualquiera de varios materiales poliméricos que no se unen con ninguno de los materiales que comprenden el material compuesto. Se conocen muchos tipos de materiales, películas, compuestos y agentes de liberación en las técnicas asociadas y pueden usarse con la presente invención.

60 Las dimensiones de la cara de herramienta pueden ser de manera que una superficie de los materiales que comprenden la pieza de material compuesto, comúnmente una fibra que contiene resina, se moldee eficazmente para dar lugar a la conformación y las dimensiones deseadas. La(s) resina(s) incluidas en los materiales que comprenden la pieza de material compuesto pueden curarse

posteriormente, normalmente mediante la aplicación de calor, para dar una pieza de material compuesto sólida que tiene una superficie de la conformación y las dimensiones conferidas por la cara de herramienta. No es raro que tal calor se aplique en un horno o autoclave. El uso de un autoclave también puede proporcionar la formación de piezas de material compuesto a presiones elevadas.

5 Además de la cara de herramienta, una herramienta comprende un cuerpo de herramienta y normalmente una estructura de soporte. El cuerpo de herramienta define la cara de herramienta. Es decir, la cara de herramienta con la que se forma la pieza de material compuesto es una superficie del cuerpo de herramienta. La estructura de soporte, si está presente, está conectada al cuerpo de herramienta y puede servir para varios fines, incluyendo pero sin limitarse a, soporte, orientación y transporte del cuerpo  
10 y la cara de herramienta junto con protección frente a daño del cuerpo y la cara de herramienta.

15 La espuma de carbono normalmente es un material ligero, fuerte, de célula abierta, duradero, estable, fácilmente mecanizado y relativamente no reactivo. Las espumas de carbono también pueden mostrar coeficientes de expansión térmica muy bajos que pueden ser esencialmente equivalentes a los de los materiales compuestos de fibra de carbono. El CET de espuma de carbono puede modificarse controlando la temperatura máxima a la que se expone la espuma de carbono durante la preparación o mediante la selección de la de la materia prima del material usado para preparar espuma de carbono.

20 Las herramientas de la presente invención tienen cuerpos de herramienta que incorporan espuma de carbono. Los cuerpos de herramienta pueden estar compuestos completa o parcialmente de espuma de carbono. La espuma de carbono de los cuerpos de herramienta individuales puede ser una o más piezas únicas de espuma de carbono. Si los cuerpos de herramienta individuales están compuestos de más de una pieza de espuma de carbono, pueden usarse adhesivos, resinas, y similares para unir las múltiples piezas de espuma de carbono. Si están compuestos parcialmente de espuma de carbono, los cuerpos de herramienta se construyen de manera que el CET de la cara de herramienta es sustancialmente similar o equivalente al de la espuma de carbono y las piezas de material(es)  
25 compuesto(s), particularmente material(es) compuesto(s) de fibra de carbono, preparadas de la misma. Si el cuerpo de herramienta está compuesto completamente de espuma de carbono, esta espuma de carbono puede tener un CET sustancialmente similar o idéntico al del material compuesto, particularmente material compuesto de fibra de carbono, y las piezas formadas del mismo.

30 Las herramientas de la presente invención pueden ser reutilizables, reparables y más fácilmente modificables que las herramientas de la técnica anterior. Es decir, puesto que son reutilizables, las herramientas de la presente invención pueden usarse para producir secuencialmente más de una pieza de material compuesto. La espuma de carbono, que comprende al menos una parte del cuerpo de herramienta de las herramientas de la presente invención, puede unirse usando adhesivos, resinas y similares convencionales, y puede mecanizarse para dar lugar a estrechas tolerancias usando  
35 herramientas de mano y/o de máquina fácilmente disponibles. Como resultado de estas características, las herramientas son reparables por lo que secciones dañadas de espuma de carbono usada en un material compuesto que forma la herramienta pueden sustituirse fácilmente por espuma de carbono no dañada. Además, estas características de la espuma de carbono proporcionan la capacidad de sustituir fácilmente secciones de espuma de carbono usadas en un material compuesto que forma la herramienta de modo que pueden modificarse las secciones de una cara de herramienta, según se desee, sin  
40 sustitución de toda la cara de herramienta.

45 En la presente invención, una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta sirve para soportar otros materiales que definen al menos una parte de la cara de herramienta o toda la cara de herramienta. Al definir la cara de herramienta, una superficie de la espuma de carbono o de otros materiales tiene una geometría o configuración suficiente para conferir la configuración deseada a una superficie de la pieza de material compuesto formada en ella. Estos otros materiales, denominados en esta memoria descriptiva materiales de cara de herramienta, tienen CETs sustancialmente similares o idénticos a los de de la espuma de carbono y a los de la pieza de material compuesto, particularmente una pieza de material compuesto de carbono, preparada en ella. Los  
50 materiales de cara de herramienta para la producción de piezas de CFC pueden ser de materiales compuestos de carbono.

55 Los materiales de cara de herramienta pueden utilizarse en una cantidad o forma de manera que el CET observado de la cara de herramienta sea sustancialmente similar o equivalente al de de la espuma de carbono y la pieza de material compuesto, particularmente una pieza de material compuesto de carbono, preparada en ella.

60 Tanto la espuma carbonosa del cuerpo de herramienta, como la parte de la cara de herramienta del cuerpo de herramienta, incluyendo cualquier material de cara de herramienta, pueden tener CETs sustancialmente similares a o idénticos al CET de la pieza de material compuesto resultante formada sobre la cara de herramienta. En una realización adicional, al menos una parte del cuerpo de herramienta, particularmente la parte del cuerpo de herramienta que soporta y/o define la cara de herramienta, y la cara de herramienta, puede ajustarse para que tenga un CET bajo. El CET de la espuma de carbono

puede ser normalmente bajo y sustancialmente similar o idéntico a los de los materiales compuestos de fibra de carbono. Por tanto, se favorece particularmente el uso del utillaje de la presente invención para fabricar materiales compuestos de fibra de carbono, normalmente de dimensiones controladas. Debe observarse que es posible variar el CET de la cara de herramienta mediante la selección juiciosa de los materiales de cara de herramienta. También se contempla que el CET del cuerpo de herramienta puede variarse mediante la selección de la materia prima y/o el control de las condiciones del proceso usadas para producir la espuma de carbono. Tales condiciones del proceso pueden incluir, pero sin limitarse a, la temperatura máxima a la que se expone la espuma de carbono durante la producción de espuma.

5

La espuma de carbono incorporada en los cuerpos de herramienta de la presente invención puede fabricarse con diversas geometrías predeterminadas para proporcionar caras de herramienta que reflejan esas geometrías. Alternativamente, un material de cara de herramienta puede formarse o fabricarse de otro modo con diversas geometrías predeterminadas para proporcionar caras de herramienta que reflejan las geometrías deseadas. Estas geometrías se incorporan entonces en una(s) superficie(s) de la pieza de material compuesto formada con el utillaje. La(s) cara(s) de herramienta define(n) al menos una superficie de al menos una pieza de material compuesto formada con el utillaje. Puede haber una pluralidad de caras de herramienta diferentes dispuestas en el mismo cuerpo de herramienta. Además, el utillaje de la presente invención puede usarse con otros tipos de utillaje conocidos.

10

15

Normalmente se requiere el uso de una película de división para evitar la unión de los materiales de formación de material compuesto a la espuma de carbono. Incluso con el uso de una película de división, el tamaño de célula de la espuma de carbono puede reflejarse en la posible modelización de superficie de la pieza de material compuesto resultante. Este tamaño de esta modelización puede modificarse mediante el uso de espumas de carbono que tienen otros tamaños de célula en el cuerpo de herramienta y la cara de herramienta resultante. Pueden utilizarse espumas de carbono de diferentes tamaños de célula en un cuerpo de herramienta. Por ejemplo, puede usarse una espuma de célula pequeña, densa para definir la cara de herramienta mientras que puede usarse una espuma de célula grande, más ligera, para soportar la espuma de carbono más densa que define la cara de herramienta. Alternativamente, una cara de herramienta puede incorporar superficies de espuma tanto de célula pequeña como de célula grande. La modelización de superficie de la pieza de material compuesto resultante reflejará entonces el uso de espumas de carbono de diferentes tamaños de célula.

20

25

30

Una modelización de superficie de este tipo puede minimizarse o eliminarse rellenando las células, es decir, el volumen vacío interno de la espuma de carbono, con un material de relleno. Los materiales de relleno puede incluir, pero sin limitarse a, resinas curadas, breas, materiales cerámicos moldeables curados, y similares. Algunos materiales de relleno, incluyendo pero sin limitarse a resinas curadas y breas, también pueden carbonizarse para producir un material de relleno de carbono. La espuma de carbono puede rellenarse parcial o completamente con el material de relleno. Por ejemplo, puede rellenarse con el material de relleno sólo el volumen de la espuma de carbono que está más cerca de la cara de herramienta. Alternativamente, puede rellenarse una fracción de todo el volumen vacío interno de la espuma de carbono. Un rellenado de este tipo puede ser completo de manera que cada célula esté completamente cargada con material de relleno o puede ser incompleto de manera que cada célula esté sólo parcialmente rellena con el material de relleno. El rellenado parcial de las células de la espuma de carbono minimizará la modelización. Sin embargo, se proporcionará una cara de herramienta más lisa mediante el rellenado completo de las células de la espuma de carbono como mínimo en la cara de herramienta superficie. Adicionalmente, una superficie más lisa puede proporcionar el uso de un agente de liberación, en lugar de una película de división, para evitar la unión de los materiales de formación de material compuesto a la cara de herramienta. Puede requerirse el rellenado completo de las células de la espuma de carbono en cierto volumen de la espuma que rodea la cara de herramienta, incluyendo posiblemente el rellenado de las células de la espuma de carbono en la cara de herramienta superficie, con un material de relleno impermeable al gas para aquellos casos en los que se desea que se produzca un vacío por encima de la cara de herramienta. Adicionalmente, las células de la espuma de carbono pueden rellenarse parcial o completamente con un material de relleno para aumentar las propiedades mecánicas, tales como la solidez, de la espuma.

35

40

45

50

Se espera que una espuma de carbono que tiene células sólo parcialmente rellenas con un material de relleno muestre un CET esencialmente equivalente al mostrado por la espuma antes del rellenado de las células. También se espera que un material de relleno carbonizado pueda tener muy poco efecto sobre el CET de la espuma de carbono independientemente del grado de rellenado de las células. El rellenado de las células mediante otros materiales puede dar como resultado que la espuma muestre diferentes CETs antes y después del rellenado. El CET observado tras el rellenado de las células puede estar entre el de la espuma de carbono y el del material de relleno. Alternativamente, si el material de relleno de las células es suficientemente compresible, el CET observado puede ser el de la espuma de carbono. Tal como se describió anteriormente, los materiales de relleno carbonizados pueden tener valores de CET muy próximos, o incluso iguales, a los de la espuma de carbono de la cara de herramienta. En tal caso, el CET de la cara de herramienta sería el de la espuma de carbono.

55

60



En otra realización de la presente invención, el material, que puede denominarse material de cara de herramienta, puede formarse, depositarse, recubrirse, disponerse en capas, fijarse o colocarse de otro modo sobre una superficie de la espuma de carbono del cuerpo de herramienta, para proporcionar al menos una parte de una cara de herramienta. Pueden usarse capas relativamente gruesas o relativamente finas de material(es) de cara de herramienta, dependiendo de las propiedades del material de cara de herramienta y de los usos deseados de la superficie a la que se aplica el material de cara de herramienta. El material de cara de herramienta puede cubrir toda la cara de herramienta. El material de cara de herramienta también puede cubrir superficies del cuerpo de herramienta que no son caras de herramienta. Normalmente, superficies cubiertas que no son cara de herramienta pueden entrar en contacto con la resina u otros materiales usados para formar la pieza de material compuesto. La espuma de carbono puede mecanizarse o contornearse o formarse de otro modo para producir una superficie que tiene una conformación específica antes de la formación y/o deposición del material de cara de herramienta. La formación o deposición del material de cara de herramienta sobre una conformación de este tipo puede producir entonces una cara de herramienta que tiene la configuración y dimensiones deseadas. Alternativamente, tras la formación y/o deposición del material de cara de herramienta sobre la superficie de espuma de carbono, este material puede entonces mecanizarse o formarse o contornearse de otro modo para proporcionar una cara de herramienta de la geometría deseada. El mecanizado de la espuma de carbono o material de cara de herramienta puede controlarse de manera más precisa para dar lugar a las dimensiones deseadas mediante la incorporación de marcas testigo, pernos fijadores, o similares, en el interior o sobre el cuerpo de herramienta antes del inicio de cualquier operación de mecanizado de precisión.

El uso de un material de cara de herramienta puede proporcionar una cara de herramienta muy lisa de alta exactitud dimensional. El uso de materiales de cara de herramienta también puede proporcionar la fácil eliminación de la pieza de material compuesto formada. Normalmente, pueden usarse películas de división o agentes de liberación con las caras de herramienta proporcionados por los materiales de cara de herramienta. Adicionalmente, el CET de un material de cara de herramienta puede ajustarse con el CET de la pieza de material compuesto resultante y se ajusta con la parte del cuerpo de herramienta que soporta el material de cara de herramienta. Un ajuste de este tipo puede garantizar la exactitud y precisión dimensional y estructural de la pieza de material compuesto formada. Adicionalmente, un ajuste de este tipo puede proporcionar el curado posterior de las piezas sobre o en la herramienta, en contraposición al curado independiente.

El CET del cuerpo de herramienta, la cara de herramienta, los materiales de cara de herramienta y la pieza de material compuesto son sustancialmente similares o equivalentes. La expresión CET "sustancialmente similar" o "equivalente" tal como se usa en el presente documento, puede referirse a valores de CET que están suficientemente próximos en magnitud de manera que la pieza de material compuesto producida tiene las dimensiones críticas deseadas y no queda atrapada o retenida en, ni salta de, la herramienta por el efecto de expansiones y contracciones no equivalentes de la pieza de material compuesto y la cara de herramienta, o, son aquellos que tienen valores que están suficientemente próximos en magnitud de manera que la cara de herramienta no resulta dañada por el efecto de expansiones y contracciones no equivalentes de la pieza de material compuesto y la cara de herramienta.

Se prevé que un caso de este tipo puede proporcionar un procedimiento que logra un CET de cara de herramienta que no se obtiene fácilmente mediante otros procedimientos. También se prevé que las caras de herramienta compuestas de capas finas de materiales de cara de herramienta muestran el CET de la espuma de carbono subyacente. Se esperaría que esto ocurriera especialmente con capas muy finas de materiales de cara de herramienta que tienen ciertas propiedades elásticas.

Pueden usarse varios materiales diferentes, solos o en combinación, como material de cara de herramienta siempre que cumplan con la definición de la reivindicación 1. Estos materiales incluyen, por ejemplo, resinas curadas, incluyendo resinas fenólicas, de poliimida, de BMI y epoxidicas, materiales *prepreg*, películas adhesivas, recubrimientos, y similares, o bien solos o bien en combinación. El material de cara de herramienta también puede ser, por ejemplo, un material compuesto, incluyendo los de fibra de vidrio, fibra de carbono, carbono-carbono, y otros materiales similares incluyendo otros materiales compuestos de fibra y particulados. Adicionalmente, el material de cara de herramienta puede ser INVAR<sup>®</sup>, carburo de silicio, materiales cerámicos de zircona, y otros metales y materiales cerámicos. Estos tipos de materiales de cara de herramienta pueden depositarse sobre la espuma de carbono para formar una cara de herramienta usando técnicas incluyendo, pero sin limitarse a, pulverización con arco y a la llama y deposición de vapor. Los materiales de cara de herramienta adecuados pueden ser esencialmente impermeables al gas. Metales, materiales cerámicos y materiales compuestos de carbono que tienen CETs bajos son materiales de cara de herramienta particularmente útiles, especialmente para las herramientas usadas para producir CFC.

Puede producirse un vacío dentro de un cuerpo de herramienta de espuma de carbono para ayudar en la colocación de los materiales de cara de herramienta de resina y/o material compuesto basado en resina. Adicionalmente, cualquier porosidad de superficie no deseada mostrada por cualquier material de cara de herramienta tras la colocación sobre el cuerpo de herramienta puede rellenarse

mediante el recubrimiento del material de cara de herramienta con una capa fina de resina. Puede ayudarse a la permeación de tales capas finas de resina al interior de cualquier porosidad de superficie del material de cara de herramienta mediante la producción de un vacío dentro del cuerpo de herramienta de espuma de carbono.

5 La cara de herramienta también puede formarse de manera que confiera una textura a una superficie de la pieza de material compuesto formada mediante el utillaje. Puede realizarse una inscripción en la cara de herramienta con un patrón dimensionalmente negativo de manera que la imagen positiva de este patrón se transmitirá a una superficie de la pieza de material compuesto formada. Tales patrones pueden incluir cualquier combinación de una pluralidad de diferentes texturas, rayado cruzado, líneas de trazado, y similares para establecer la conformación y/o textura externa de la pieza de material compuesto. Adicionalmente, la superficie de la(s) cara(s) de herramienta puede no ser homogénea. Por ejemplo, una parte de la(s) cara(s) de herramienta tiene una primera textura mientras que otras partes de la cara de herramienta tienen diferentes texturas.

10 Las geometrías del cuerpo de herramienta pueden ser de una forma similar a un mandril. En este caso, la cara de herramienta sería entonces la superficie exterior de esta forma similar a un mandril. Entonces puede colocarse papel, material textil y fibra impregnados con resina, y similares, sobre la superficie del mandril (es decir, la cara de herramienta) mediante medios manuales o automáticos para formar una pieza de material compuesto que tiene una superficie, normalmente una superficie interior, cuyas dimensiones reflejan las de la superficie exterior del mandril.

20 Además, las caras de herramienta pueden estar en la forma de una pieza macho y/o de una pieza hembra que tiene cavidades y/o salientes con conformaciones opuestas en caras de herramienta opuestas. En la presente invención, al menos una parte de una de las caras de herramienta opuestas se identifica por la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta, o se define por una superficie de un material de cara de herramienta soportada al menos en parte por la espuma de carbono del cuerpo de herramienta. Un volumen vacío entre tales caras de herramienta opuestas puede rellenarse con materiales de formación de material compuesto. Tras el curado de estos materiales, la conformación de la pieza de material compuesto resultante duplicará la del volumen vacío entre las caras de herramienta macho y hembra. También es posible tener un único cuerpo de herramienta que tenga al menos una superficie que proporcione una cara de herramienta o una superficie de las paredes de una cavidad que sirve como cara(s) de herramienta. Puede incorporarse una cubierta en el cuerpo de herramienta. Una cubierta de este tipo puede ser una cubierta flexible, en la que la cubierta puede comprender un material de plástico, elastomérico, tal como una lámina o membrana elastomérica de silicona, u otro material similar a una lámina flexible. La cubierta puede colocarse sobre la superficie o cavidad para formar un volumen cerrado. Entonces puede producirse un vacío en el volumen cerrado resultante. La fuerza de la presión atmosférica fuera del volumen cerrado hace entonces que la cubierta se deforme y entre en contacto con los materiales de formación de material compuesto. Este contacto fuerza a estos materiales contra la superficie o las paredes de la cavidad. Tras el curado de los materiales de formación de material compuesto, puede producirse una pieza de material compuesto que tiene la conformación de la superficie o las paredes de la cavidad del cuerpo de herramienta.

40 Los materiales de formación de material compuesto que pueden ser adecuados para formar piezas de material compuesto usando las herramientas de la presente invención incluyen aquellos materiales conocidos en las técnicas relevantes. Materiales de matriz adecuados incluyen, pero sin limitarse a, resinas, materiales *prepreg*, ésteres vinílicos, películas de adhesión y recubrimientos. Las resinas pueden comprender cualquier familia de resinas termoplásticas o termoestables y pueden catalizarse. Otros ejemplos de materiales de matriz adecuados son las resinas epoxídicas. Tales resinas se forman generalmente a partir de ésteres de diglicidilo de bisfenol A de bajo peso molecular. Dependiendo del peso molecular, tales resinas pueden oscilar desde resinas líquidas hasta sólidas, y pueden curarse con aminas, poliamidas, anhídridos u otros catalizadores. Las resinas sólidas adecuadas pueden modificarse con otras resinas y ácidos grasos insaturados. Las resinas epoxídicas pueden ser particularmente adecuadas ya que tienen buena adhesión a fibras y porque su expansión térmica puede adaptarse para ajustarse a la del utillaje basado en espuma de carbono cuando se combina con ciertas fibras. Además, sus bajas viscosidades son eficaces al humedecer diversos materiales de refuerzo. Más específicamente, las resinas adecuadas para su uso en la fabricación de piezas de material compuesto pueden comprender cualquier combinación de resinas disponibles comercialmente, por ejemplo, Dow 330, Gougeon WEST, Gougeon XR02-099-29A, ProSet 125, ProSet 135, ProSet 145 y MGS. Además, las resinas disponibles comercialmente usadas en los materiales de cara de utillaje pueden comprender, por ejemplo, PTM&W HT2C, AirTech Toolmaster 2001, JD Lincoln L-956 y Vantico RP 4005. Adicionalmente, las piezas de material compuesto pueden producirse en el utillaje de la presente invención usando ésteres vinílicos. Los materiales de matriz útiles en la presente invención también pueden englobar catalizadores, endurecedores y otros agentes de curado usados para iniciar la polimerización o en endurecimiento del sistema de material de matriz. Para los fines de esta memoria descriptiva, los materiales de matriz adecuados se denominarán colectivamente en el presente documento resinas.

Los materiales *prepreg* también son adecuados para su uso como materiales de formación de material compuesto para la producción de piezas de material compuesto usando el utillaje de la presente invención. Materiales *prepreg* es una abreviatura de materiales preimpregnados e incluyen aquellos materiales de refuerzo que se combinan con un material de matriz no curado antes de la colocación sobre la cara de herramienta. Los materiales *prepreg* pueden comprender cualquier combinación de fieltro, material textil, material no tejido, y mecha con resina. Normalmente, éstos se curan habitualmente hasta la fase B, lista para el moldeo. Ejemplos adicionales de material *prepreg* incluyen mezclas, tales como, JD Lincoln L-526, mezclas de resina epoxídica/carbono, tales como JD Lincoln L-956, ACG, y AirTech Toolmaster, y mezclas de resina epoxídica/vidrio, tales como Bryte, y similares. Además, el material *prepreg* disponible comercialmente usado para los materiales de cara de herramienta puede comprender combinaciones de resina epoxídica/carbono, por ejemplo, JD Lincoln L-956, ACG, y AirTech Toolmaster.

Además, las piezas de material compuesto pueden producirse en el utillaje de la presente invención usando películas de adhesión. Las películas de adhesión son una película fina, seca de resina, habitualmente una resina termoestable, usada como hoja intercalada en la producción de materiales laminados tales como madera contrachapada. El calor y la presión aplicados en el proceso de laminación pueden hacer que la película una a ambas capas entre sí. Algunas películas de adhesión disponibles comercialmente incluyen, pero sin limitarse a, JD Lincoln L-313 Epoxy, SIA - MA-562, y SIA - PL-7771 FR.

Los materiales de refuerzo usados en los materiales compuestos producidos en el utillaje de la presente invención pueden incluir cualquiera de los conocidos en las técnicas relevantes. Tales materiales pueden incluir, pero sin limitarse a, carbonos (incluyendo grafitos), Kevlar, aramida, vidrio y similares en formas que incluyen, por ejemplo, fibras, incluyendo fibras unidireccionales y fibras cortadas, materiales tejidos y materiales no tejidos y materiales de tela. También pueden usarse refuerzos particulados.

También pueden añadirse estructuras de refuerzo a los materiales de formación de material compuesto mientras que estos materiales se colocan sobre la cara de herramienta. Tales estructuras de refuerzo pueden, por ejemplo, reforzar la pieza de material compuesto resultante y/o formar la base para unir la pieza de material compuesto para dar como resultado un conjunto. Estas estructuras de refuerzo pueden incluir formas tales como barras, tubos, láminas, pantallas, piezas planas, placas y similares, de cualquier configuración geométrica específica. Los materiales de los que se componen tales estructuras de refuerzo pueden incluir esencialmente cualquier material sólido de solidez apreciable que tenga una compatibilidad adecuada tanto con los materiales de formación de material compuesto como con cualquier condición de curado asociada. Tales materiales pueden incluir metales, materiales cerámicos, plásticos, madera, vidrio, materiales compuestos previamente curados, y similares. En la práctica, las estructuras de refuerzo pueden sumergirse en, o colocarse contra una superficie de, los materiales de formación de material compuesto sobre la cara de herramienta. Tras el curado de los materiales de formación de material compuesto, las estructuras de refuerzo pueden unirse de manera más firme a la pieza de material compuesto resultante mediante el uso de tornillos, grapas, adhesivos, y similares si así se desea o se requiere. Específicamente, tales materiales de refuerzo pueden tener CETs que son sustancialmente similares o idénticos a los de la pieza de material compuesto resultante.

Pueden usarse diversas técnicas de formación de material compuesto conjuntamente con las herramientas de la presente invención. Estas técnicas las conocen bien los expertos en las técnicas asociadas e incluyen, pero sin limitarse a, laminado manual, laminado automático, pulverización manual, pulverización automática, moldeo por transferencia de resina (RTM), y moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM). Adicionalmente, también puede usarse cualquier combinación de tales procedimientos.

El moldeo por transferencia de resina es un procedimiento mediante el cual resinas poliméricas termoestables líquidas se transfieren dentro de un volumen que puede estar confinado, tal como, por ejemplo, una cavidad o un canal dentro de o sobre un cuerpo de herramienta o superficie de cuerpo de herramienta. Pueden distribuirse refuerzos, tales como fibras cortadas dentro de la resina antes de la distribución. Alternativamente, puede colocarse un refuerzo de fibra dentro del volumen, particularmente en la zona del volumen definida por una cara de herramienta. El RTM normalmente se pone en práctica transfiriendo o inyectando resina catalizada, ejemplos de la cual incluyen polímeros de resina epoxídica, éster vinílico, metacrilato de metilo, resina fenólica y poliéster en el interior de un volumen de la herramienta definido al menos parcialmente por una(s) cara(s) de herramienta. Las resinas rellenan el volumen y prefunden al interior de los materiales de refuerzo que se han colocado previamente dentro del volumen. Ha de tenerse cuidado en este procedimiento para evitar el atropamiento de burbujas de gas, ya que las burbujas de gas pueden debilitar el material compuesto resultante. Refuerzos típicos incluyen fibra de vidrio y fibras de carbono.

También puede usarse un sistema de vacío para ayudar en la transferencia de la resina en y a través del volumen de la herramienta. Este proceso se denomina moldeo por transferencia de resina asistido por vacío. Con una previsión adecuada, puede utilizarse un sistema de vacío en muchos procesos de formación de material compuesto. Debe observarse que para los fines de esta memoria descriptiva, un sistema de vacío es un sistema que puede reducir la presión gaseosa interna de un

volumen cerrado, conectado al sistema de vacío, hasta presiones significativamente por debajo de la presión atmosférica ambiental. Es decir, un sistema de vacío evacuará un recinto, incluyendo un volumen cerrado. Los sistemas de vacío normalmente consisten en una bomba de vacío y se asocian con tuberías o tubos de conexión.

5           Adicionalmente, la extracción de aire de los materiales de formación de material compuesto, durante la formación de la pieza de material compuesto, mediante el uso de un sistema de vacío puede ayudar a garantizar la exactitud y precisión dimensional y estructural de la pieza de material compuesto formada. Es decir, una extracción de aire de este tipo puede reducir, o incluso eliminar, la formación de burbujas de aire en la pieza de material compuesto resultante. Tal eliminación de burbujas puede dar como resultado piezas de material compuesto más fuertes. La extracción de aire se pone en práctica habitualmente produciendo al menos un vacío parcial en un volumen cerrado que contiene los materiales de formación de material compuesto. Adicionalmente, la producción de un vacío en un volumen cerrado de este tipo, si ese volumen está definido por al menos una cubierta o pared flexible, puede dar como resultado que el material compuesto se comprima, habitualmente por su diseño, contra la cara de herramienta mediante la acción de la presión atmosférica medioambiental sobre la cubierta o pared flexible.

10           Más específicamente, el volumen cerrado puede formarse, por ejemplo, cerrando y sellando aberturas, orificios y/o límites que tienen acceso al volumen. Esto puede llevarse a cabo con una bolsa de vacío, incluyendo, por ejemplo, una lámina de material flexible, una tela de purga y una película de liberación colocada por encima y/o por debajo del laminado de material compuesto en la herramienta, y los bordes de la lámina, que se sellan para crear un volumen cerrado. Un sistema de vacío se conecta al volumen cerrado que contiene la tela de purga, la película de liberación y el laminado del material compuesto. El aire atrapado se expulsa mecánicamente del laminado de material compuesto y se elimina del sistema de vacío. Entonces se cura la pieza de material compuesto a lo largo del tiempo en condiciones controladas de temperatura y presión. Dependiendo del material para formar la pieza de material compuesto y/o de las características del producto final, el material para formar la pieza de material compuesto puede curarse, a temperaturas que oscilan desde aproximadamente temperatura ambiente hasta aproximadamente 400°F y presiones de vacío que oscilan desde aproximadamente 0 hasta aproximadamente 28 en Hg. Estos intervalos dependen del tipo de resinas usadas. Es decir, puede usarse cualquier temperatura y/o presión adecuadas.

25           La espuma de carbono también puede incorporarse en herramientas de material compuesto existentes para proporcionar los beneficios de la presente invención. Una incorporación de este tipo puede ser para mejorar, efectuar la reparación o para proporcionar de otro modo cualquier beneficio de la presente invención. Una incorporación de este tipo se incorpora completamente dentro del alcance de la presente invención.

30           Una realización de la presente invención se refiere a un cuerpo de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono, que comprende al menos una parte del cuerpo de herramienta, soporta un material de cara de herramienta. Una superficie del material de cara de herramienta, que en esta realización es un material compuesto de fibra de carbono, define una cara de herramienta. La espuma de carbono se prepara o se selecciona de manera que el CET de la espuma de carbono es sustancialmente similar o equivalente al de los materiales compuestos curados que se formarán mediante la herramienta. En uso, la cara de herramienta se recubre con un agente de liberación. Entonces se colocan materiales de formación de material compuesto de carbono sobre la cara de herramienta para proporcionar una cobertura esencialmente uniforme de la cara de herramienta. Los materiales de formación de material compuesto pueden presionarse contra la cara de herramienta. Los materiales de formación de material compuesto se curan entonces a una temperatura elevada para proporcionar un material compuesto de fibra de carbono, que entonces se elimina de la herramienta.

40           Ahora se hará referencia en detalle a otras realizaciones de la presente invención, ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Diversos aspectos de estas realizaciones pueden combinarse con las enseñanzas de la presente invención para proporcionar ejemplos adicionales que no se explican específicamente. Por tanto, se pretende que estas realizaciones sólo sean ilustrativas de la presente invención y no se consideren limitativas de esta invención.

45           La figura 1 ilustra una primera realización a modo de ejemplo de una herramienta y un sistema para fabricar al menos una pieza de material compuesto, según esta invención. Esta herramienta utiliza un cuerpo de herramienta similar a un mandril para formar una pieza de material compuesto.

50           La figura 1 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un mandril 100 que gira sobre un árbol 110 incluido en un sentido antihorario tal como se indica por la flecha en la figura 1. El mandril comprende espuma 120 de carbono. La superficie exterior de la espuma de carbono está recubierta con un material 130 de cara de herramienta tal como se muestra en este ejemplo. El material de cara de herramienta puede ser un material compuesto de carbono.

Alternativamente, las células de la espuma de carbono, como mínimo las células sobre la superficie de espuma de carbono, pueden estar rellenas con un material de relleno. La superficie exterior del mandril es la cara 140 de herramienta. La cara 140 de herramienta está recubierta preferiblemente con un agente de liberación. Un haz de fibras 150 dispuestas longitudinalmente, de longitud apreciable, se dirige hasta entrar en contacto tangencialmente con el mandril 100 giratorio de manera que se estira de las fibras (es decir, se enrollan), normalmente bajo tensión, alrededor de la circunferencia del mandril giratorio. Las fibras pueden ser de cualquier tipo que se sepa que sean materiales de refuerzo de material compuesto eficaces. Tales fibras pueden estar compuestas, por ejemplo, de vidrio o carbono. Las fibras se prefunden con una resina antes de, durante, y/o tras entrar en contacto con el mandril. Alternativamente, puede usarse un material *prepreg* de fibra dispuesto longitudinalmente como el haz de fibras. El haz de fibras prefundido con material *prepreg* o resina se estira alrededor de la circunferencia del mandril hasta que se obtiene el espesor deseado de las fibras profundidas con material *prepreg* o resina. Normalmente, el contacto tangencial del haz de fibras con el mandril se mueve paralelo al eje de rotación del mandril de manera que las fibras profundidas con fibra *prepreg* o resina se colocan de manera uniforme a lo largo de la longitud del mandril. Una vez que se obtiene el espesor deseado de las fibras profundidas con material *prepreg* o resina, ya no se suministra más la fibra al mandril y se detiene el giro del mandril. Entonces se cura la fibra profundida con material *prepreg* o resina que recubre el mandril. Se prefiere el calentamiento de la fibra profundida que recubre el mandril o se requiere para que algunos materiales *prepreg* y resinas efectúen el curado. El calentamiento puede llevarse a cabo mediante el uso de un autoclave, horno, elemento de calentamiento individual y/u otros dispositivos de calentamiento similares. Los elementos de calentamiento individuales pueden ser externos a o internos a (es decir, incrustados dentro de) el cuerpo de herramienta. Una vez curada, el recubrimiento de fibra profundida con resina constituye una pieza de material compuesto. La pieza de material compuesto puede retirarse entonces del mandril. Cuando se usa calor para curar el material compuesto, los valores relativos de CET del mandril y material compuesto se vuelven importantes. Si el CET de la pieza de material compuesto es inferior a o esencialmente equivalente al del mandril, la pieza de material compuesto puede retirarse fácilmente del mandril. Sin embargo, la dimensión interior de la pieza de material compuesto puede ser mayor que la del diámetro exterior del mandril no calentado. Si el CET de la pieza de material compuesto es superior al del mandril, la pieza de componente puede "bloquearse" en el mandril, siendo difícil, si no imposible, la separación del mandril sin daño.

Debe observarse que el mandril no tiene que girar tal como se muestra en esta realización. Por ejemplo, el mandril puede girar en sentido horario. Alternativamente, el mandril puede ser estacionario mientras que el haz de fibras profundidas con material *prepreg* o resina se dirige de manera que se enrolla alrededor de la circunferencia exterior del mandril estacionario.

La figura 2 ilustra una segunda herramienta y un sistema para fabricar al menos una pieza de material compuesto, que no es según esta invención.

La figura 2 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo 200 de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta se ha mecanizado o se ha contorneado o formado de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada y sirve como la cara 210 de herramienta. Esta cara de herramienta se extiende a lo largo de la superficie de la espuma de carbono desde 210-A hasta 210-B. Esta superficie de la cara de herramienta está cubierta con una lámina 220 de división no permeable. La lámina de división cubre no sólo la cara de herramienta sino también las superficies circundantes a la cara de herramienta para evitar el contacto no deseado de otras superficies de la herramienta con materiales de formación de material compuesto. Los materiales 230 de formación de material compuesto se colocan sobre la lámina de división que cubre la cara de herramienta. Estos materiales de formación de material compuesto se colocan, mecánicamente o manualmente, sobre la zona de la lámina de división que cubre la cara de herramienta de manera que se obtiene una distribución esencialmente uniforme de estos materiales. Los materiales de formación de material compuesto también se presionan contra la lámina de división que cubre la cara de herramienta. Esta presión se realiza para garantizar que los materiales de formación de material compuesto se adaptan a la configuración de la cara de herramienta. Además, puesto que la cara de herramienta es espuma de carbono no rellena, conferirá cierto tipo de modelado, representativo de las células de la espuma de carbono no rellenas sobre la cara de herramienta, a la superficie definida de la cara de herramienta de la pieza de material compuesto.

Entonces se curan los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por la cara de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. El calentamiento puede llevarse a cabo mediante el uso de un autoclave, horno, elemento de calentamiento individual y/u otros dispositivos de calentamiento similares. Los elementos de calentamiento individuales pueden ser externos a o internos a (es decir, incrustados dentro de) el cuerpo de herramienta. Tal como se trató anteriormente, el calentamiento efectuará cambios en las dimensiones de todos los materiales calentados. Las magnitudes de tales cambios dimensionales dependen de los CETs de los materiales individuales. Para este, y todos los

ejemplos incluidos en esta memoria descriptiva, el CET de la cara de herramienta y de la pieza de material compuesto resultante son preferiblemente similares o esencialmente idénticos, tal como sería el caso si la pieza de material compuesto resultante fuera un CFC. Si el CET de la pieza de material compuesto no es similar o esencialmente idéntico al de la cara de herramienta, el tamaño de la pieza de material compuesto puede no adaptarse a las dimensiones críticas deseadas. Además, si el CET es superior al de la cara de herramienta, la pieza de componente puede llegar a "bloquearse" en la cara de herramienta, siendo difícil, si no imposible, la separación de la cara de herramienta sin daño.

Este ejemplo puede modificarse de diversas formas. Según la invención, la cara de herramienta puede ser una superficie de un material de cara de herramienta soportado por la espuma de carbono. O, las células de la cara de herramienta de espuma de carbono pueden rellenarse completamente con un material de relleno. Para ambas modificaciones, puede ser posible sustituir la lámina de división por un agente de liberación. Otras modificaciones resultarán evidentes para los expertos en las técnicas asociadas.

La figura 3 ilustra una tercera realización a modo de ejemplo de una herramienta según esta invención.

La figura 3 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo 300 de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta soporta un material 310 de cara de herramienta esencialmente impermeable al gas. Una sección de la superficie expuesta del material de cara de herramienta está contorneada o conformada de otro modo para dar lugar a una configuración deseada para proporcionar una cara 320 de herramienta. La cara de herramienta se extiende desde 320-A hasta 320-B. Las superficies del cuerpo de herramienta cerca de la cara 330 de herramienta también están revestidas con material de cara de herramienta impermeable al gas. Una cubierta 340 impermeable al gas encierra la cara de herramienta, las superficies de cuerpo de herramienta cerca de la cara de herramienta, y los materiales 350 de formación de material compuesto. La cubierta puede estar hecha de un material flexible, tal como, por ejemplo, plástico, o de material rígido, tal como, por ejemplo, espuma carbonosa, metal, y similares.

Si se usa espuma de carbono como cubierta, pueden recubrirse como mínimo la(s) superficie(s) de la espuma de carbono que se espera que entren en contacto con los materiales de formación de material compuesto con un material de cara de herramienta, un material de relleno de células o una lámina de división. Es decir, el uso de espuma de carbono como cubierta puede ponerse en práctica en gran parte de la misma forma que cuando se incorpora espuma de carbono en un cuerpo de herramienta tal como describe la presente invención. Se requiere el recubrimiento de una cubierta de espuma de carbono si esa cubierta va a ser impermeable al paso de gases. Adicionalmente, cualquier material rígido usado como cubierta puede contornearse, formarse o conformarse de otro modo sobre la superficie que se espera que entre en contacto con el material de formación de material compuesto para formar una cara de herramienta en el lado opuesto de los materiales de formación de material compuesto de esa cara de herramienta del cuerpo de herramienta. Esta segunda cara de herramienta conformará entonces una superficie de los materiales de formación de material compuesto. Esta superficie estará en el lado opuesto de la pieza de material compuesto resultante que el de la superficie producida por la cara de herramienta del cuerpo de herramienta. Pueden aplicarse láminas de división y agentes de liberación a cualquier superficie, especialmente a las que se espera que entren en contacto con materiales de formación de material compuesto.

La intersección del cuerpo de herramienta y la cubierta forma una abertura 355 alrededor de todo el perímetro de la intersección. Esta abertura puede sellarse con diversos materiales 360 según se requiera para producir un límite impermeable al aire o al gas. Materiales adecuados son aquellos que proporcionarán el contacto de la cubierta con los materiales de material compuesto mientras que todavía proporcionan una acción de sellado. Por ejemplo, la abertura puede sellarse con cinta adhesiva, material de junta de estanqueidad, aislante, obturador, y similares. Un orificio 370 de conexión está ubicado en la cubierta del cuerpo de herramienta (tal como se muestra en la figura 3), o la abertura de manera que este orificio de conexión accede al volumen definido por el cuerpo de herramienta, la cara de herramienta, la cubierta y cualquier material de sellado de la abertura. Un sistema 380 de vacío está conectado a este orificio de conexión.

Si la abertura y el orificio de conexión están sellados o cerrados de otro modo, los materiales de formación de material compuesto en la cara de herramienta están contenidos por tanto dentro de un volumen 390 cerrado. Este volumen cerrado puede sellarse de manera esencialmente hermética cuando las superficies del cuerpo de herramienta y la cubierta, y la abertura entre el cuerpo de herramienta y la cubierta se sellan o se hacen impermeables de otro modo al paso de gases.

En uso, los materiales de formación de material compuesto se colocan sobre la cara de herramienta y se sella la abertura entre el cuerpo de herramienta y la cubierta excepto por el orificio de conexión. El funcionamiento del sistema de vacío retira el aire del volumen cerrado y los materiales de

formación de material compuesto contenidos dentro del volumen cerrado. El funcionamiento del sistema de vacío también hace que la cubierta se empuje hacia el límite exterior de los materiales de formación de material compuesto mediante la acción de la presión atmosférica local. Entonces la cubierta presiona estos materiales contra la cara de herramienta. Además, si la cubierta está hecha de un material rígido, la conformación de la cubierta influye en la conformación de la(s) superficie(s) de la pieza de material compuesto adyacente(s) a una superficie interior de la cubierta. Es decir, una cubierta rígida puede funcionar como una segunda cara de herramienta.

Entonces se curan los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por la cara de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. El conjunto de herramienta y cubierta puede colocarse en un autoclave para aplicar presión adicional a la cubierta y/o para calentar los materiales de formación de material compuesto para efectuar el curado. Pueden usarse otros dispositivos tales como un horno, y/o elementos de calentamiento individuales para aplicar calor a los materiales contenidos dentro del volumen cerrado con el fin de curar los materiales de formación de material compuesto contenidos en el mismo para dar como resultado la pieza de material compuesto. Si se desea, los elementos de calentamiento individuales pueden estar incrustados dentro del cuerpo de herramienta. Dependiendo de las propiedades de la resina usada para formar el material compuesto, puede ser suficiente temperatura ambiente o ambiental, por ejemplo, para curar los materiales para formar la pieza de material compuesto.

Tal como se trató anteriormente, el calentamiento efectuará cambios en las dimensiones de todos los materiales calentados. Las magnitudes de tales cambios dimensionales dependen de los CETs de los materiales individuales. Preferiblemente, el CET de la cara de herramienta y la pieza de material compuesto resultante son sustancialmente similares o equivalentes, tal como sería el caso si la pieza de material compuesto resultante y el material de cara de herramienta fueran CFC.

La figura 4 ilustra una cuarta realización a modo de ejemplo de un sistema según esta invención.

La figura 4 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo 400 de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta soporta un material 405 impermeable de cara de herramienta. Una sección de la superficie expuesta del material de cara de herramienta está contorneada o conformada de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para proporcionar una cara 410 de herramienta. La cara de herramienta se extiende desde 410-A hasta 410-B. Las superficies de cuerpo de herramienta cerca de la cara 415 de herramienta también están revestidas con material impermeable de cara de herramienta. Una cubierta 420 encierra la cara de herramienta, las superficies de cuerpo de herramienta cerca de la cara de herramienta, y los materiales 425 de refuerzo de material compuesto. Los materiales de refuerzo de material compuesto pueden ser fibras. La cubierta puede estar hecha de un material flexible, tal como, por ejemplo, plástico o de un material rígido, tal como, por ejemplo, espuma carbonosa, metal, y similares.

Si se usa espuma de carbono como cubierta, pueden recubrirse la(s) superficie(s) de la espuma de carbono que se espera que entren en contacto con los materiales de formación de material compuesto con un material de cara de herramienta, un material de relleno de células, o una lámina de división. Es decir, el uso de espuma de carbono como cubierta puede ponerse en práctica en gran parte de la misma forma que cuando se incorpora espuma de carbono en un cuerpo de herramienta tal como describe la presente invención. Se requiere el recubrimiento de una cubierta de espuma de carbono si la cubierta va a ser impermeable al paso de gases. Adicionalmente, cualquier material rígido usado como cubierta puede contornearse, formarse o conformarse de otro modo sobre la superficie que se espera que entre en contacto con el material de formación de material compuesto para formar una cara de herramienta en el lado opuesto de los materiales de formación de material compuesto de esa cara de herramienta del cuerpo de herramienta. Esta segunda cara de herramienta conformará entonces una superficie de los materiales de formación de material compuesto. Esta superficie estará en el lado opuesto de la pieza de material compuesto resultante que el de la superficie producida por la cara de herramienta del cuerpo de herramienta. Pueden aplicarse láminas de división y agentes de liberación a cualquier superficie, especialmente a las que se espera que entren en contacto con materiales de formación de material compuesto.

La intersección del cuerpo de herramienta y la cubierta forma una abertura 430 alrededor de todo el perímetro de la intersección. Esta abertura puede sellarse con diversos materiales 435 según se requiere para producir un límite impermeable al aire o al gas. Materiales adecuados son aquellos que proporcionarán el contacto de la cubierta con los materiales de material mientras que todavía proporcionan una acción de sellado. Por ejemplo, la abertura puede sellarse con cinta adhesiva, material de junta de estanqueidad, aislante, obturador y similares. Un primer orificio 440 de conexión está ubicado sobre la cubierta (tal como se muestra en este ejemplo), o la abertura 430 de manera que este orificio de conexión accede al volumen definido por el cuerpo de herramienta, la cara de herramienta, la cubierta y cualquier material de sellado de la abertura. Pueden usarse primeros orificios de conexión múltiples. Un

sistema 445 de vacío está conectado al/a los primer(os) orificio(s) de conexión. Un segundo orificio 450 de conexión está ubicado sobre la cubierta (tal como se muestra en este ejemplo), o la abertura 430 de manera que este orificio de conexión accede al volumen definido por el cuerpo de herramienta, la cara de herramienta, la cubierta y cualquier material de sellado de la abertura. Un depósito 455 de resina, ventilado a la atmósfera, está conectado al segundo orificio de conexión.

Si la abertura y los orificios de conexión están sellados o cerrados de otro modo, los materiales de formación de material compuesto sobre la cara de herramienta están contenidos por tanto dentro de un volumen 460 cerrado. Este volumen cerrado puede sellarse de manera esencialmente hermética cuando las superficies del cuerpo de herramienta y la cubierta, y la abertura entre el cuerpo de herramienta y la cubierta se sellan o se hacen impermeables de otro modo al paso de los gases.

En uso, los materiales de refuerzo de material compuesto se colocan sobre la cara de herramienta y se sella la abertura entre el cuerpo de herramienta y la cubierta excepto por los orificios de conexión. El funcionamiento del sistema de vacío retira el aire del volumen cerrado y los materiales de refuerzo de material compuesto contenidos dentro del volumen cerrado. El funcionamiento del sistema de vacío también hace que la cubierta se empuje hacia el límite exterior de los materiales de refuerzo de material compuesto mediante la acción de la presión atmosférica local. Entonces la cubierta presiona estos materiales contra la cara de herramienta. Además, si la cubierta está hecha de un material rígido, la conformación de la cubierta influye en la conformación de la(s) superficie(es) de la pieza de material compuesto adyacente(s) a una superficie interior de la cubierta.

El funcionamiento del sistema de vacío también hace que la resina en el depósito de resina se transfiera desde el depósito hacia el volumen cerrado. Opcionalmente, puede usarse una bomba para ayudar en la transferencia de resina. La resina en el volumen cerrado perfunde entonces en el material de refuerzo de material compuesto para dar como resultado la producción de un material de formación de material compuesto. El segundo orificio de conexión se cierra una vez que se ha transferido una cantidad suficiente de resina para formar la composición de material compuesto deseada con el material de refuerzo al volumen cerrado.

Una vez que finaliza la perfusión del material de refuerzo con resina, se curan entonces los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por la cara de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. El conjunto de herramienta y cubierta puede colocarse en un autoclave para aplicar presión adicional a la cubierta y/o para calentar los materiales de formación de material compuesto para efectuar el curado. También puede ponerse en práctica la transferencia de resina en un autoclave. Puede usarse otros dispositivos tales como un horno, y/o elementos de calentamiento individuales para aplicar calor a los materiales contenidos dentro del volumen cerrado con el fin de curar los materiales de formación de material compuesto contenidos en el mismo para dar como resultado la pieza de material compuesto. Si se desea, los elementos de calentamiento individuales pueden estar incrustados dentro del cuerpo de herramienta. Dependiendo de las propiedades de la resina usada para formar el material compuesto, puede ser suficiente temperatura ambiente o ambiental, por ejemplo, para curar los materiales para formar la pieza de material compuesto.

Tal como se trató anteriormente, el calentamiento efectuará cambios en las dimensiones de todos los materiales calentados. Las magnitudes de tales cambios dimensionales dependen de los CETs de los materiales individuales. En particular, el CET de la cara de herramienta y la pieza de material compuesto resultante son sustancialmente similares o equivalentes, tal como sería el caso si la pieza de material compuesto resultante y el material de cara de herramienta fueran CFC.

Los expertos en las técnicas asociadas pueden clasificar el utillaje tratado en este ejemplo ilustrativo como un ejemplo de VARTM (moldeo por transferencia de resina asistido por vacío). Ligeras modificaciones en las enseñanzas de este ejemplo producirían entonces el ejemplo ilustrativo de RTM (moldeo por transferencia de resina). Estas modificaciones son la eliminación del sistema de vacío y la ventilación del volumen cerrado. La ventilación del volumen cerrado puede ser mediante el uso de un orificio de conexión abierto o no sellando la abertura entre la cubierta y el cuerpo de herramienta.

En la RTM, los materiales de refuerzo de material compuesto están colocados en la cara de herramienta.

La resina en el depósito de resina se transfiere entonces, habitualmente mediante la acción de una bomba, desde el depósito hacia el volumen cerrado ventilado. La resina en el volumen cerrado perfunde entonces al interior del material de refuerzo de material compuesto para dar como resultado la producción de un material de formación de material compuesto. El segundo orificio de conexión se cierra una vez que se ha transferido suficiente resina al volumen cerrado y/o material de refuerzo.

La figura 5 ilustra una quinta realización a modo de ejemplo de un sistema según esta invención.



La figura 5 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo 500 de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Este cuerpo de herramienta está dividido en dos secciones, una sección 500-A superior y una sección 500-B inferior. Aunque no se ilustra en este ejemplo, podrían utilizarse más de dos secciones en un único cuerpo de herramienta. Las superficies de estas secciones entran en contacto estrechamente entre sí a lo largo de una superficie mutua, que se denominará superficie 505 de división. Una parte de la superficie de división de cada sección está mecanizada, contorneada, moldeada o conformada de otro modo para proporcionar una cara 510 de herramienta de las dimensiones deseadas. Las caras de herramienta de cada sección están colocadas en las superficies de división de manera que se define un volumen 515 que tiene la conformación y las dimensiones de la pieza de material compuesto planificada para la producción en la herramienta. Adicionalmente, las caras de herramienta están colocadas sobre las superficies de división de manera que las superficies de división de cada sección entran en contacto entre sí alrededor del perímetro de las caras de herramienta. La zona de contacto de las superficies de división puede sellarse según se desee o se requiera con diversos materiales incluyendo cinta adhesiva, material de junta de estanqueidad, aislante, obturador y similares. En este ejemplo, la cara de herramienta de la sección de herramienta superior se extiende desde 520-A hasta 520-B. La cara de herramienta de la sección de herramienta inferior se extiende desde 520-C hasta 520-D.

Para cada sección, una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta soporta un material 525 de cara de herramienta. Este material de cara de herramienta forma la superficie de las caras de herramienta y preferiblemente la superficie de división de cada sección. Preferiblemente, este material de cara de herramienta es un material compuesto de fibra de carbono. Alternativamente, una superficie de la espuma de carbono de las secciones de cuerpo de herramienta superior e inferior puede servir como las caras de herramienta y/o superficies de división. Las células de esta espuma de carbono pueden rellenarse parcial o completamente. Pueden usarse compuestos de liberación y láminas de división según se desee y sea apropiado. Estos procedimientos pueden usarse solos o en combinación.

Ejes conectan el volumen definido por las caras de herramienta con el exterior del cuerpo de herramienta. Ejes 530 de ventilación conectan la(s) sección/secciones más superior(es) del volumen con la atmósfera. Este tipo de eje(s) se forma de la manera más conveniente en el cuerpo de herramienta superior. Otro(s) eje(s) 535 se conecta(n) a un(os) depósito(s) 540 que contiene(n) una resina. Este tipo de eje(es) se conecta(n) con la(s) sección/secciones más inferior(es) del volumen.

En uso, los materiales de refuerzo de material compuesto se colocan en el volumen definido por las caras de herramienta. Se introduce entonces resina en el volumen, habitualmente mediante la acción de una bomba, desde el depósito unido. La resina llena el volumen y se infiltra en los materiales de refuerzo. La introducción de la resina se detiene cuando la resina entra en el/los eje(s) que conecta(n) el volumen con la atmósfera.

Entonces se curan los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por las caras de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. El calentamiento puede llevarse a cabo mediante el uso de un autoclave, horno, elementos de calentamiento individuales y/u otros dispositivos de calentamiento similares. Los elementos de calentamiento individuales puede ser externos a, o internos a (es decir, no incrustados dentro de), el cuerpo de herramienta. Tal como se trató anteriormente, el calentamiento efectuará cambios en las dimensiones de todos los materiales calentados. Las magnitudes de tales cambios dimensionales dependen de los CETs de los materiales individuales. Específicamente, el CET de la cara de herramienta y la pieza de material compuesto resultante son similares o esencialmente idénticos, tal como sería el caso si la pieza de material compuesto resultante y el material de cara de herramienta fueran CFC.

Los expertos en las técnicas asociadas pueden clasificar el utillaje tratado en este ejemplo ilustrativo como un ejemplo de RTM (moldeo por transferencia de resina). Ligeras modificaciones en las enseñanzas de este ejemplo producirían entonces el ejemplo ilustrativo de VARTM (moldeo por transferencia de resina asistido por vacío). Estas modificaciones son la conexión del/de los eje(s) de ventilación a un sistema de vacío en vez de a la atmósfera. También puede ser necesario sellar de manera más concienzuda las caras de herramienta, las superficies de división y/o la zona de contacto de las superficies de división de manera que sean impermeables a los gases.

La figura 6 ilustra una sexta realización a modo de ejemplo de un sistema según esta invención.

La figura 6 ilustra una representación en sección transversal de una herramienta reutilizable que comprende un cuerpo 600 de herramienta comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Una superficie de la espuma de carbono incorporada en el cuerpo de herramienta está contorneada o conformada de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para proporcionar una cara 605 de herramienta. En la figura 6, la cara de herramienta se extiende desde 605-A hasta 605-B. Las células de

la espuma de carbono que incorporan esta cara de herramienta pueden estar parcialmente rellenas de manera que la cara de herramienta sigue siendo permeable al paso de gases. Alternativamente, la espuma de carbono soporta un material de cara de herramienta permeable al gas. Una sección de la superficie expuesta del material de cara de herramienta está contorneada o conformada de otro modo hasta dar lugar a una configuración deseada para proporcionar una cara de herramienta. La zona de la superficie del cuerpo de herramienta exterior, a excepción de la cara de herramienta y una zona 610 de conexión, están selladas con un material 615 impermeable al gas. Un primer orificio 620 de conexión está fijado en la zona de conexión. Este orificio de conexión está conectado a un sistema 625 de vacío.

La superficie 630 del cuerpo de herramienta que rodea inmediatamente a la cara de herramienta está equipada con dos bastidores, un bastidor 635 superior y un bastidor 640 inferior. Cada bastidor sostiene una membrana elastomérica impermeable al gas. El bastidor superior sostiene la membrana 645 superior. El bastidor inferior sostiene la membrana 650 inferior. Los bastidores son de tamaño equivalente y están apilados de manera que se forma un primer volumen 655 cerrado entre las membranas. Además, los bastidores apilados están colocados sobre la superficie del cuerpo de herramienta rodeando inmediatamente a la cara de herramienta de modo que se forma un segundo volumen 660 cerrado entre la cara de herramienta y la membrana inferior. Estos volúmenes cerrados pueden sellarse frente a la transferencia de gas no deseada dentro y fuera de estos volúmenes mediante la aplicación de obturadores 665 entre los bastidores y entre el bastidor superior y la superficie del cuerpo de herramienta que rodea inmediatamente a la cara de herramienta. Los obturadores pueden incluir diversos materiales incluyendo cinta adhesiva, material de junta de estanqueidad, aislante, obturador y similares. Un segundo orificio 670 de conexión está ubicado entre los bastidores, o alternativamente, en la membrana superior de manera que proporciona comunicación entre una segunda fuente 675 de vacío y el primer volumen cerrado.

En uso, los materiales 680 de formación de material compuesto se colocan en el primer volumen cerrado. El funcionamiento del/de los sistema(s) de vacío retira aire del primer volumen cerrado y el segundo volumen cerrado. Debe observarse que el aire retirado del segundo volumen cerrado se extrae a través del cuerpo de herramienta hasta el primer orificio de conexión y desde allí hasta el sistema de vacío. El volumen resultante en el primer volumen cerrado retira aire de los materiales de formación de material compuesto. El vacío resultante en el segundo volumen cerrado hace que las membranas elastoméricas se flexionen de manera que los materiales de formación de material compuesto se empujan y se colocan contra la cara de herramienta mediante la acción de la presión atmosférica ambiental sobre la membrana superior.

Entonces se curan los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por la cara de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. La herramienta puede colocarse en un autoclave para aplicar presión adicional a los materiales de formación de material compuesto y para calentar esos materiales para efectuar el curado. Pueden usarse otros dispositivos tales como un horno, y/o elementos de calentamiento individuales para aplicar calor a los materiales contenidos dentro del volumen cerrado con el fin de curar los materiales de formación de material compuesto contenidos en el mismo para dar como resultado la pieza de material compuesto. Si se desea, los elementos de calentamiento individuales pueden estar incrustados dentro del cuerpo de herramienta. Dependiendo de las propiedades de la resina usada para formar el material compuesto, puede ser suficiente temperatura ambiente o ambiental, por ejemplo, para curar los materiales para formar la pieza de material compuesto.

Tal como se trató anteriormente, el calentamiento efectuará cambios en las dimensiones de todos los materiales calentados. Las magnitudes de tales cambios dimensionales dependen de los CETs de los materiales individuales. Específicamente, el CET de la cara de herramienta y la pieza de material compuesto resultante son similares o esencialmente idénticos, tal como sería el caso si la pieza de material compuesto resultante y el material de cara de herramienta fueran CFC.

La figura 7 ilustra una séptima realización a modo de ejemplo de un sistema según esta invención.

La figura 7 ilustra una representación tridimensional de una primera mitad de un cuerpo de herramienta reutilizable comprendido al menos en parte de espuma de carbono. Esta parte del cuerpo 700 de herramienta consiste en espuma de carbono que tiene una superficie 705 de división en la que está mecanizada, conformada, moldeada o formada de otro modo una conformación 710. En esta representación, esa conformación es un hemisferio. Un canal 715 está también mecanizado, conformado, moldeado o formado de otro modo en la superficie de división de la espuma de carbono. Este canal atraviesa la superficie de división de la parte de cuerpo de herramienta desde la conformación hasta un borde exterior de esa superficie.

La segunda mitad del cuerpo de herramienta reutilizable (no mostrado) tiene una superficie de división. Esta segunda mitad puede tener también un canal y una conformación mecanizada, conformada,

moldeada o formada de otro modo en la superficie de división. Este canal y la conformación de la segunda mitad pueden reflejar los de la primera mitad. La superficie de división de la segunda mitad puede construirse de manera que es una imagen especular dimensional de la superficie de división de la primera mitad. Como tal, puede obtenerse un ajuste estrecho cuando las superficies de división de la primera y la segunda mitad se juntan entre sí. En particular, la segunda mitad puede construirse de manera que un canal, si está presente, atraviesa la superficie hasta un borde que es esencialmente la imagen especular del borde que entra en contacto con el canal de la primera mitad.

La forma conferida a las mitades del cuerpo de herramienta por el/los canal(s) y la(s) conformación/conformaciones constituye una cara de herramienta. Estas caras de herramienta pueden tener cualquier forma que proporcione que pueda trazarse una línea desde un plano paralelo a la superficie de división hasta cada parte de la cara de herramienta. El material de cara de herramienta está dispuesto en capas sobre la espuma de carbono para proporcionar una cara de herramienta. Estos materiales de cara de herramienta pueden ser cualquiera de los conocidos en las técnicas asociadas incluyendo materiales compuestos de fibra de carbono.

En uso, las dos mitades del cuerpo de herramienta están unidas entre sí en las caras de división. Pueden usarse pernos fijadores o marcas testigo para garantizar la alineación apropiada de las dos mitades. Pueden usarse diversos procedimientos para mantener el contacto de las superficies de división. Tales procedimientos incluyen, pero no se limitan a, fijación, atornillado y sujeción con flejes. Pueden verse entonces en el/los canal(es) materiales de formación de material compuesto tales como resinas que contienen refuerzos de fibras cortas o material particulado. Los materiales de formación de material compuesto se transportan entonces a través del canal hasta el volumen definido por la conformación de cara de herramienta. Alternativamente, el volumen definido por la conformación de cara de herramienta puede contener un material de refuerzo de material compuesto, tal como fibras. La resina introducida en el canal profundiría entonces en este material de refuerzo de material compuesto para dar como resultado un material de formación de material compuesto. Si se desea, el cuerpo de herramienta puede girarse y/o rotarse de manera que el material de formación de material compuesto recubra de manera uniforme la cara de herramienta.

También es posible rellenar las conformaciones en las mitades del cuerpo de herramienta con materiales de refuerzo de material compuesto antes de unir las mitades en las caras de división. Una vez unidas, puede verse resina en el/los canal(es). La resina se transporta entonces mediante la acción de la gravedad hasta el volumen definido por la conformación de cara de herramienta. Alternativamente, la resina puede bombearse al interior del volumen definido por la conformación de cara de herramienta. En este volumen, la resina perfunde en los materiales de refuerzo dando como resultado la formación de un material de formación de material compuesto.

Entonces se curan los materiales de formación de material compuesto para producir una pieza de material compuesto que tiene la forma conferida por la cara de herramienta. Se prefiere o se requiere el calentamiento de los materiales de formación de material compuesto para que algunos materiales de formación de material compuesto efectúen el curado. La herramienta puede colocarse en un autoclave para aplicar presión adicional a los materiales de formación de material compuesto y para calentar esos materiales para efectuar el curado. Pueden usarse otros dispositivos tales como un horno, y/o elementos de calentamiento individuales, para aplicar calor a los materiales contenidos dentro del volumen de herramienta con el fin de curar los materiales de formación de material compuesto contenidos en el mismo para dar como resultado la pieza de material compuesto. Si se desea, los elementos de calentamiento individuales pueden estar incrustados dentro del cuerpo de herramienta. Dependiendo de las propiedades de la resina usada para formar el material compuesto, puede ser suficiente temperatura ambiente o ambiental, por ejemplo, para curar los materiales para formar la pieza de material compuesto.

Las figuras 8A, 8B y 8C ilustran una octava realización a modo de ejemplo de un sistema según esta invención.

Las figuras 8A, 8B y 8C ilustran la preparación de un cuerpo de herramienta reutilizable de una herramienta de material compuesto según la presente invención. Refiriéndose a la figura 8A, se ilustra un bloque 800 de espuma de carbono. El bloque de espuma de carbono comprenderá al menos una parte de un cuerpo de herramienta. El bloque de espuma de carbono puede formarse con cualquier geometría deseada. Adicionalmente, este bloque de espuma de carbono puede estar compuesto por dos o más bloques de espuma de carbono individuales. En este ejemplo ilustrativo, tres bloques 802, 804 y 806 de espuma carbonosa están unidos entre sí con un material adhesivo, o similar, con el fin de formar el bloque 800 de espuma de carbono del cuerpo de herramienta. El material adhesivo usado para unir los bloques de espuma de carbono individuales puede ser, por ejemplo, una película adhesiva, una resina y similares. Más específicamente, pueden usarse materiales adhesivos disponibles comercialmente. Por ejemplo, pueden usarse Graphi Bond 551, Expando y/o cemento refractario. En particular, los diversos bloques 802, 804 y 806 de espuma de carbono se preparan de manera que tengan un CET sustancialmente similar o idéntico. Alternativamente, puede usarse un único bloque de espuma de carbono para formar el cuerpo 800 de herramienta.

Se conforma entonces una superficie del bloque 800 de espuma de carbono para dar una geometría 810 deseada. Por ejemplo, se mecaniza una superficie 812 del bloque 800 de espuma de carbono para dar una geometría predeterminada. Normalmente, las dimensiones de la superficie conformada del bloque de carbono se ajustan a las dimensiones de un material de cara de herramienta, en este ejemplo un material laminado formado, que finalmente definirá la cara de herramienta. Es decir, la conformación puede realizarse en un perfil ligeramente mayor que si no se planeó el material de cara de herramienta para su uso.

Refiriéndose a la figura 8B, tras la conformación, se dispone un material 814 laminado de resina y materiales de refuerzo sobre la superficie 812 conformada del bloque 800 de espuma de carbono. El material laminado constituirá un material de cara de herramienta. Los materiales usados para formar el material laminado se seleccionan de manera que el CET del material laminado curado resultante y el bloque 800 de espuma de carbono sean idénticos, concretamente equivalentes. La superficie del material 814 laminado, opuesta al bloque de espuma de carbono, servirá como cara de herramienta del cuerpo de herramienta una vez que finaliza el curado del material laminado. Por tanto, el material 814 laminado se forma para proporcionar una superficie que tiene las dimensiones de la cara de herramienta deseada. En esta realización de la presente invención, el material 814 laminado es un material compuesto de fibra de carbono. En otras realizaciones de la presente invención, cualquiera de los materiales de cara de herramienta tratados anteriormente puede sustituirse por el material laminado siempre que el CET del material de cara de herramienta y el cuerpo de herramienta de espuma de carbono sean equivalentes.

El material 814 laminado está cubierto con una cubierta 816 conectada a un sistema de vacío (no mostrado) de manera que puede reducirse la presión en el volumen 815 entre la cubierta y el material 814 laminado. Puede ser necesario el sellado de la cubierta 816 con el material 814 laminado y/o el cuerpo 800 de utillaje. De esta manera, el material laminado se comprime contra la superficie 812 conformada del bloque 800 de espuma de carbono mediante la acción de la presión atmosférica medioambiental localizada sobre la cubierta. La cubierta 816 puede ser una membrana de silicio, una bolsa de elastómero y similares. El material laminado se cura entonces.

En referencia a la figura 8C, el material 814 laminado curado se retira temporalmente del bloque 800 de espuma de carbono. Se aplica una pasta 816 de adhesión sobre la superficie del bloque 800 de espuma carbonosa con el fin de unir la superficie de contacto entre el bloque 800 de espuma de carbono y el material 814 laminado. El material 814 laminado curado se vuelve a colocar entonces sobre el bloque de espuma de carbono. Una vez que la unión es completa, la superficie 818 exterior del material 814 laminado opcionalmente se mecaniza y/o finaliza para dar unas dimensiones y una geometría predeterminada según sea necesario. El ensamblaje del bloque 800 de espuma carbonosa y el material 814 laminado curado constituye ahora un cuerpo de herramienta siendo la cara de herramienta la superficie exterior del material laminado.

Tal como se trató anteriormente, los materiales de cara de herramienta pueden sustituirse por el material 814 laminado en el utillaje de la presente invención. Por ejemplo, puede aplicarse un metal pulverizado con arco a la superficie del bloque 800 de espuma de carbono para actuar como material de cara de herramienta y por tanto proporcionar una cara de herramienta. Un material de cara de herramienta de este tipo puede mecanizarse o formarse de otro modo posteriormente para dar de manera precisa la geometría deseada mediante técnicas de fabricación de metal convencionales. Adicionalmente, puede aplicarse una resina u otro material de cara de herramienta sobre el bloque 800 de espuma de carbono en lugar del material laminado. En esta configuración, la resina se aplica a la superficie 812 del bloque 800 de espuma carbonosa y se deja curar. A continuación, se muele la resina o se conforma de otro modo para dar la geometría deseada para obtener una cara de utillaje lista para usarse en la producción de piezas de material compuesto.

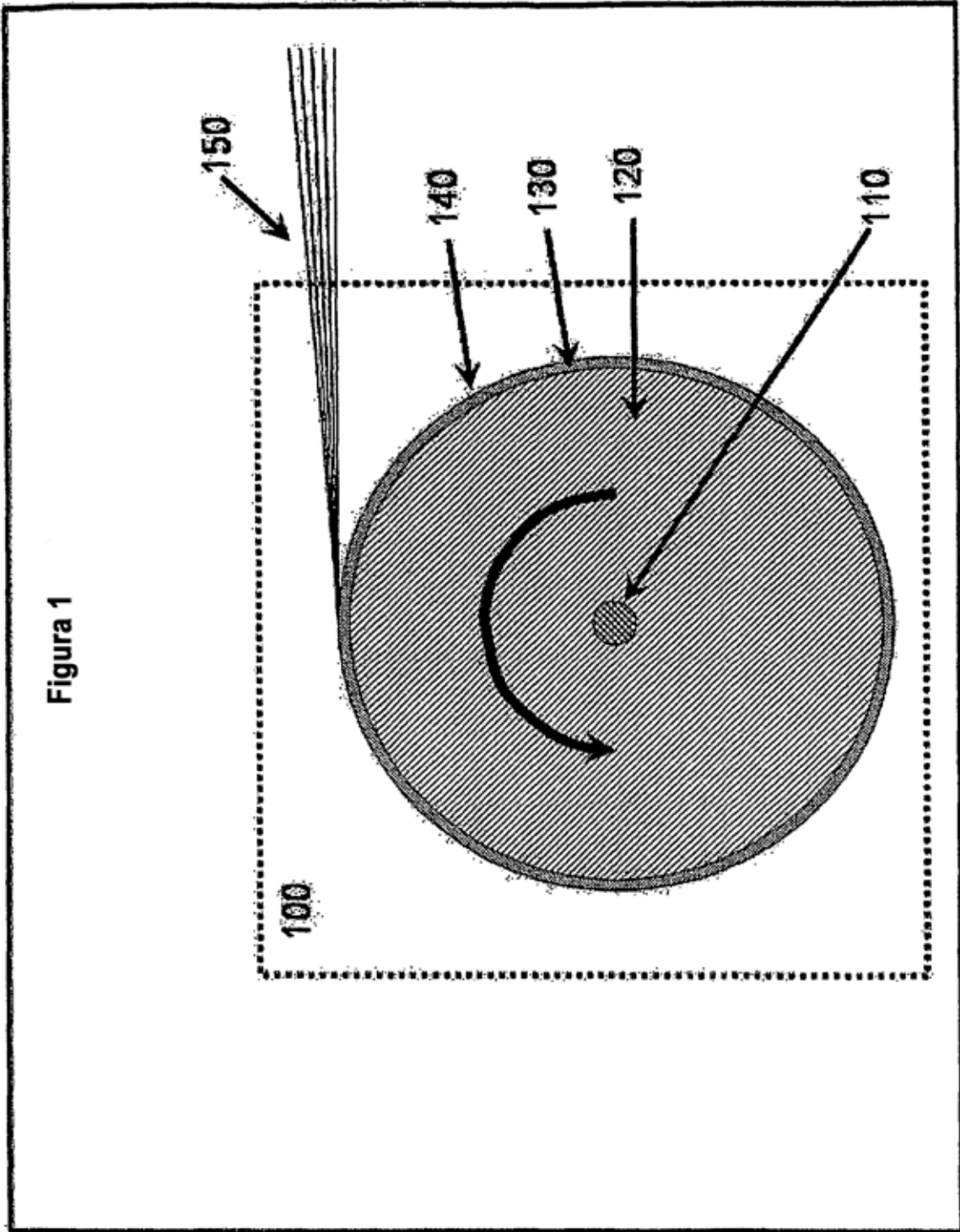
Si se desea, pueden incorporarse líneas de trazado, rayado cruzado, patrones y similares en las caras de herramienta proporcionadas mediante cualquier de los procedimientos anteriores. Estos patrones, y similares, se incorporarán finalmente en las piezas de utillaje formadas con el cuerpo de utillaje.

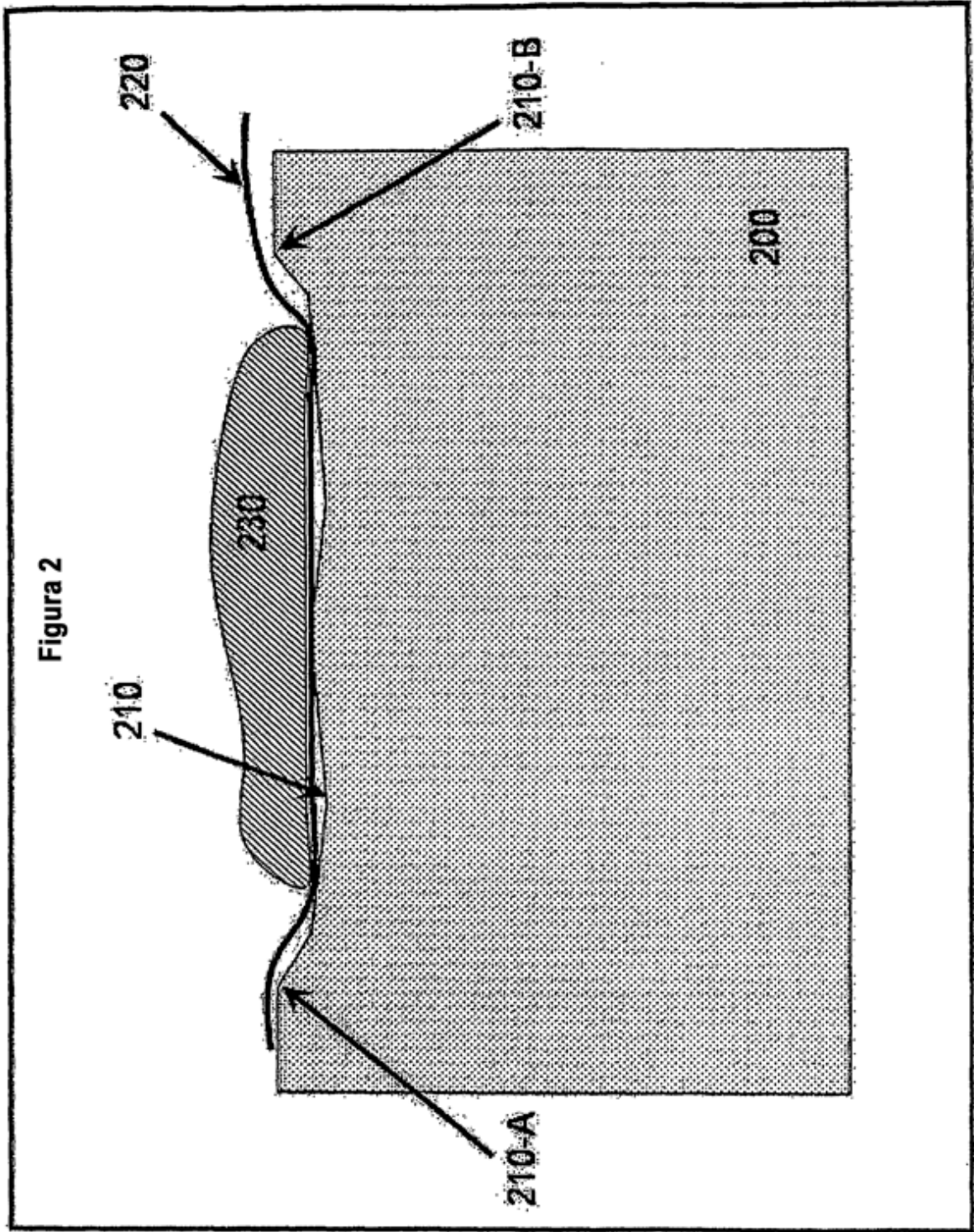
Resultará evidente para los expertos en la técnica que pueden hacerse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra las modificaciones y variaciones de esta invención siempre que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

## REIVINDICACIONES

1. Herramienta para la producción de al menos una pieza de material compuesto, comprendiendo la herramienta un cuerpo (400) de herramienta de espuma de carbono y soportando dicho cuerpo (400) de herramienta de espuma de carbono un material (405) de cara de herramienta, caracterizada porque el coeficiente de expansión térmica del material (405) de cara de herramienta y el cuerpo (400) de herramienta de espuma de carbono son equivalentes.
2. Herramienta según la reivindicación 1, en la que al menos una parte de las células de la espuma de carbono están al menos parcialmente rellenas con un material de relleno.
3. Herramienta según la reivindicación 2, en la que el material de relleno es al menos uno de una resina curada, una brea, un material cerámico moldeable curado, una resina carbonizada o una brea carbonizada.
4. Herramienta según la reivindicación 1, en la que el coeficiente de expansión térmica de la cara (410) de herramienta es sustancialmente similar al coeficiente de expansión térmica de una pieza de material compuesto producida sobre la cara (410) de herramienta.
5. Herramienta según la reivindicación 1, en la que el material (405) de cara de herramienta se selecciona del grupo que consiste en metales y materiales cerámicos.
6. Herramienta según la reivindicación 1, en la que el material (405) de cara de herramienta se selecciona del grupo que consiste en una resina curada, un material compuesto de fibra, un material compuesto de fibra de carbono, un material compuesto particulado, INVAR<sup>®</sup>, carburo de silicio y materiales cerámicos de zircona.
7. Herramienta según la reivindicación 1, en la que la espuma de carbono se deriva al menos en parte de brea, carbón o un derivado de carbón.
8. Herramienta según la reivindicación 1, en la que el cuerpo (400) de herramienta tiene forma de mandril.
9. Herramienta según la reivindicación 1, que comprende además una cubierta (420) colocada al menos parcialmente sobre la cara (410) de herramienta y que encierra al menos una parte de la cara (410) de herramienta.
10. Herramienta según la reivindicación 9, que comprende además un orificio (440, 450) de conexión de depósito de resina en comunicación de vacío con la parte encerrada de la cara de herramienta, en la que el orificio (440, 450) de conexión de depósito de resina está adaptado para conectarse a un sistema (455) de depósito de resina y proporciona transferencia de resina desde el sistema (450) de depósito de resina hasta la parte encerrada de la cara de herramienta cuando se crea un vacío en la parte encerrada de la cara de herramienta.
11. Procedimiento para producir al menos una pieza de material compuesto, que comprende las etapas de:
  - proporcionar un cuerpo (400) de herramienta de espuma de carbono que tiene una cara (410) de herramienta y dicha cara (410) de herramienta comprende un material (405) de cara de herramienta;
  - colocar material de formación de material compuesto sobre la cara de herramienta; y
  - curar el material de formación de material compuesto produciendo de ese modo la pieza de material compuesto, caracterizado porque el coeficiente de expansión térmica del material (405) de cara de herramienta, el cuerpo (400) de herramienta de espuma de carbono y el material de formación de material compuesto son equivalentes.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el material de formación de material compuesto es una mezcla de una resina y al menos uno seleccionado del grupo que consiste en un material de refuerzo de material particulado y un material de refuerzo fibroso.
13. Procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además la etapa de colocar una película de división entre los materiales de formación de material compuesto y la cara de herramienta.
14. Procedimiento según la reivindicación 11, que comprende además la etapa de recubrir al menos una parte de la cara (410) de herramienta con un agente de liberación antes de poner en contacto la cara (410) de herramienta con el material (425) de formación de material compuesto.

15. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el material (405) de cara de herramienta se selecciona del grupo que consiste en metales y materiales cerámicos.
- 5 16. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el material (405) de cara de herramienta se selecciona del grupo que consiste en una resina curada, un material compuesto de fibra, un material compuesto de fibra de carbono, un material compuesto particulado, INVAR<sup>®</sup>, carburo de silicio, y materiales cerámicos de zircona INVAR<sup>®</sup>, carburo de silicio y materiales cerámicos de zircona.
- 10 17. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la herramienta comprende además una cubierta (420) colocada sobre al menos una parte de la cara (410) de herramienta y que encierra al menos una parte de la cara de herramienta, y en el que el material (425) de formación de material compuesto se coloca sobre la parte encerrada de la cara de herramienta, y que comprende además la etapa de producir un vacío dentro de la parte encerrada de la cara de herramienta.







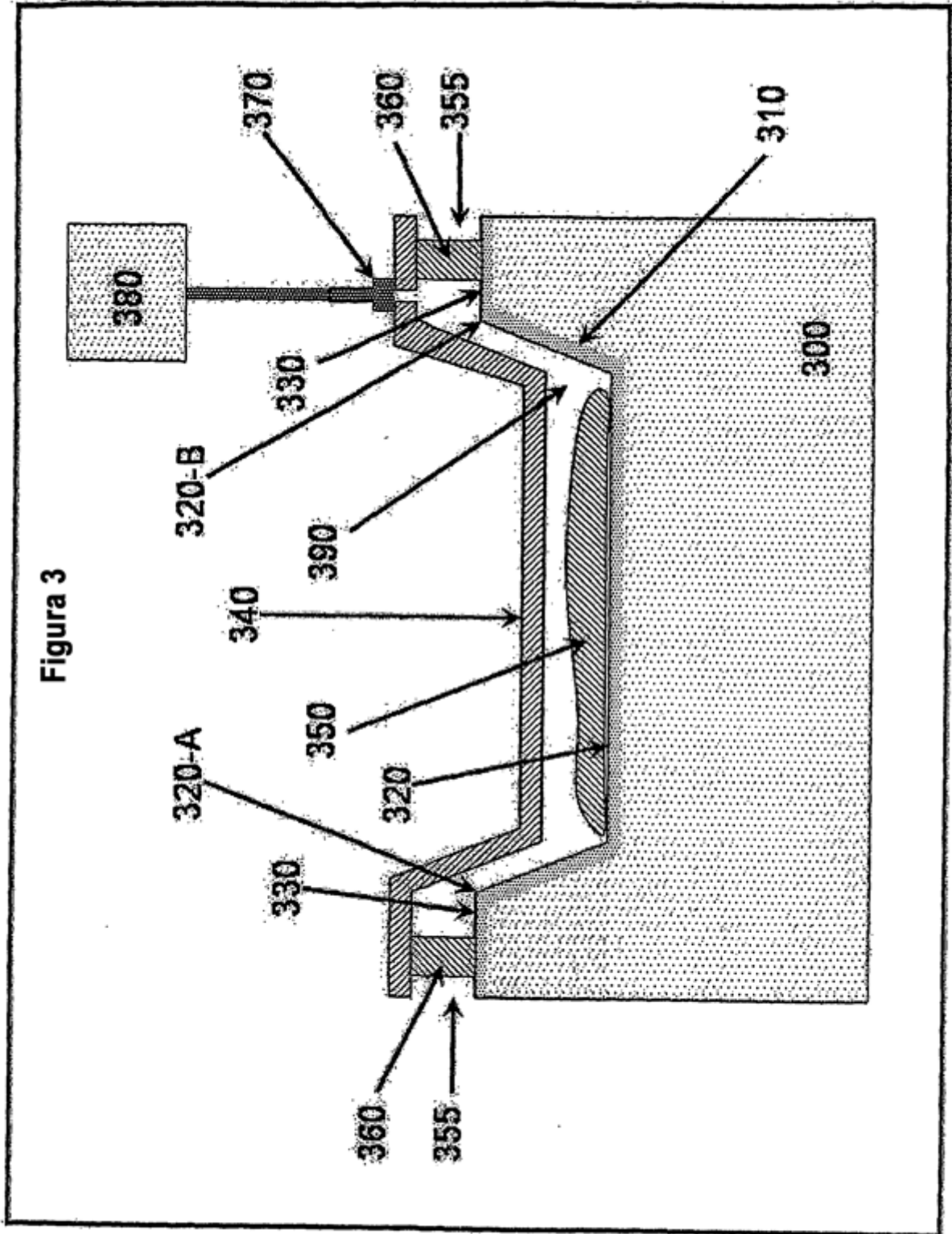


Figura 4

