

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 848 077**

51 Int. Cl.:

C04B 35/573 (2006.01)

C04B 35/80 (2006.01)

C04B 37/00 (2006.01)

C04B 35/577 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.10.2014** **PCT/EP2014/073259**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015** **WO15063178**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2014** **E 14790113 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2020** **EP 3063107**

54 Título: **Método de fabricación de objetos compuestos de matriz cerámica**

30 Prioridad:

01.11.2013 GB 201319366

01.11.2013 EP 13275276

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.08.2021

73 Titular/es:

MBDA UK LIMITED (100.0%)
Six Hills Way, Stevenage
Hertfordshire SG1 2DA, GB

72 Inventor/es:

ACKERMAN, TERENCE y
PICKFORD, CHRISTOPHER, PETER

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 848 077 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

Método de fabricación de objetos compuestos de matriz cerámica

- 5 La presente invención se refiere a un método para fabricar objetos compuestos de matriz cerámica. El método es particularmente adecuado para la fabricación de objetos en los que el compuesto de matriz cerámica comprende elementos de refuerzo fibrosos y en los que es preferible una arquitectura de fibras que tenga un carácter tridimensional.
- 10 Los compuestos de matriz cerámica comprenden fibras incorporadas en un material de matriz. Son conocidos por su capacidad para soportar altas temperaturas y se aplican en, por ejemplo, sistemas de frenos de automóviles. En tales sistemas, se utilizan predominantemente arquitecturas de fibra bidimensionales. Dicho de otro modo, en un objeto compuesto que se extiende en tres dimensiones (digamos, "x", "y" y "z"), las fibras se extenderán predominantemente en las direcciones "x" e "y", y no en la dirección "z". Esta estructura es conveniente porque las
- 15 cargas se aplican principalmente en un solo plano y es el resultado de la forma en que se colocan las capas de fibra durante la fabricación del compuesto. Sin embargo, para aprovechar los beneficios de los compuestos de matriz cerámica en otros campos donde no sea posible limitar las cargas aplicadas de tal manera, es beneficioso utilizar estructuras de matriz de fibras tridimensionales. Por ejemplo, los componentes como hélices o álabes de turbina para motores a reacción deben soportar altas temperaturas y pueden beneficiarse de las propiedades de los
- 20 compuestos de matriz cerámica. No obstante, estos componentes, durante el uso, a menudo están sometidos a patrones de carga complejos tridimensionales. Normalmente, las arquitecturas de fibra bidimensionales no pueden soportar dichos patrones de carga tridimensionales.
- 25 Gracias a la publicación de solicitud de patente n.º WO2010/077401 y por la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º US20110020130 se sabe cómo conformar álabes de turbina a partir de compuestos de matriz cerámica.
- Gracias a la patente estadounidense n.º 6.025.062 se sabe cómo conformar componentes dentados, especialmente
- 30 ruedas, bastidores, piñones, placas de unión o estructuras similares, destinados a la transmisión mecánica de fuerza, a partir de cerámica reforzada con fibra.
- El documento US2010/0000831 divulga discos de freno y embrague fabricados a partir de un compuesto cerámico reforzado con fibra de carbono. El documento US2010/0139841 divulga un método para la fabricación de un componente cerámico. El documento WO2010/077401 divulga un método para crear un álabe compuesto de matriz
- 35 cerámica. El documento US2002/0068164 divulga un cuerpo de fricción de carbono poroso reforzado con fibra de carbono y silicona infiltrada. SGL Carbon SE divulga en los documentos DE102011007815 y DE102010030552 varias estructuras de cerámica de carbono.
- De conformidad con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de fabricación de un
- 40 objeto compuesto de matriz cerámica que comprende las etapas de: proporcionar una primera disposición de una o más capas de fibra y mecanizar la primera disposición hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una primera preforma; proporcionar una segunda disposición de una o más capas de fibra y mecanizar la segunda disposición hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una segunda preforma; envolver la segunda preforma alrededor de al menos un borde de la primera preforma; fijar la primera y segunda
- 45 preformas entre sí para conformar una combinación de la primera y segunda preformas; proporcionar una o más disposiciones adicionales de una o más capas de fibra, mecanizar dicha una o más disposiciones adicionales hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una o más preformas adicionales; y adherir sucesivamente cada una de dichas una o más preformas adicionales a la combinación de la primera y segunda preformas para conformar una preforma completa, en la que al menos una de dichas una o más preformas
- 50 adicionales está envuelta alrededor de la combinación de la primera y segunda preformas; y rigidizar la preforma completa, comprendiendo la etapa de rigidización la infiltración de la preforma completa con un material líquido, seleccionándose el material líquido para que reaccione con un componente de la preforma completa para conformar una cerámica.
- 55 La segunda preforma puede estar configurada para ser flexible.
- En una realización, el compuesto de matriz cerámica es un compuesto de matriz cerámica de carbono-carburo de silicio.
- 60 La etapa de rigidizar la combinación de la primera y segunda preformas puede comprender pirolizar la combinación de la primera y segunda preformas.
- La etapa de rigidizar la combinación de la primera y segunda preformas puede comprender aumentar el contenido de carbono de la combinación de la primera y segunda preformas utilizando un proceso de infiltración química de
- 65 vapor.

La etapa de rigidizar la combinación de la primera y segunda preformas puede comprender la infiltración de la combinación de la primera y segunda preformas con un material líquido, seleccionándose el material líquido para que reaccione con un componente de la primera y segunda preformas, para así conformar una cerámica. El material líquido puede ser silicio líquido.

En una realización, la etapa de fijar la segunda preforma a la primera preforma comprende aplicar un adhesivo en una de dicha primera o segunda preformas, seleccionándose el adhesivo para producir un alto contenido de carbono cuando se piroliza. El adhesivo puede ser un adhesivo a base de brea o fenólico.

El método puede comprender, además, proporcionar una o más disposiciones adicionales de una o más capas de fibra, mecanizar dicha una o más disposiciones adicionales hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una o más preformas adicionales; y adherir sucesivamente cada una de dichas una o más preformas adicionales a la combinación de la primera y segunda preformas para conformar una preforma completa en la que al menos una de dichas una o más preformas adicionales se envuelve alrededor de una de la primera, segunda, o una o más preformas adicionales.

Dicha una o más preformas adicionales pueden configurarse para seguir siendo flexibles.

La invención abarca un objeto compuesto de matriz cerámica fabricado mediante el método anterior.

Las características anteriores y otras características de la invención se exponen, particularmente, en las reivindicaciones adjuntas y se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración de la microestructura de un compuesto de matriz cerámica;

la figura 2 es un diagrama de flujo que indica un método de fabricación conocido de un compuesto de matriz cerámica;

la figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de fabricación de un objeto compuesto de matriz cerámica de conformidad con la primera realización de la invención;

la figura 4 es una ilustración esquemática de una primera fase de un método de fabricación de un material compuesto de matriz cerámica de conformidad con una primera realización de la invención;

las figuras 5a-5d son ilustraciones esquemáticas de las etapas de una segunda fase del método de la primera realización; y

la figura 6 es una ilustración esquemática de un aparato de conformidad con una realización de la invención.

Los materiales compuestos de matriz cerámica comprenden fibras u otros elementos de refuerzo incorporados en una matriz cerámica. Por ejemplo, la fibra de carbono incorporada en carburo de silicio es un compuesto de matriz cerámica y en el presente documento se denominará C-SiC. La figura 1 es una micrografía de una muestra de C-SiC 100, en la se pueden ver los diversos componentes de la microestructura. La escala 110 de esta imagen es tal que el ancho de la micrografía representa aproximadamente 200 μm . Las fibras de carbono de refuerzo se pueden identificar discuriendo por el plano de la micrografía (fibra 120) y, en sección transversal, discuriendo perpendiculares al plano de la micrografía (fibra 130 y otras secciones transversales circulares de tamaño similar). En particular, las fibras discurren predominantemente en perpendicular al plano de la micrografía, discuriendo únicamente una fibra (fibra 120) en el plano de la micrografía. La región 140 y las áreas sombreadas similares son regiones de carbono no fibroso, incorporadas en el material pero no convertidas en carburo de silicio. La región 150 y las áreas sombreadas similares son igualmente regiones de silicio incorporadas al material pero no convertidas en carburo de silicio. La región 160 y las áreas sombreadas similares son regiones de carburo de silicio. Por último, la región 170 y las áreas sombreadas similares son vacíos en la microestructura, que demuestran que la microestructura tiene cierto nivel de porosidad.

Se conocen varios métodos de fabricación de este material. Un ejemplo de método conocido es el proceso de infiltración de silicio líquido. Este proceso se utilizó para fabricar la muestra de C-SiC 100 que se ilustra en la figura 1. En términos generales, el proceso de infiltración de silicio líquido sigue las etapas expuestas a modo de diagrama de flujo 200 en la figura 2. En la etapa 210, las capas de fibra de polímero se colocan en la configuración deseada. Después, las capas colocadas se pirolizan en la etapa 220, convirtiendo el polímero en carbono. A este material se incorpora carbono adicional mediante la infiltración química de vapor en la etapa 230. A continuación, se realiza la infiltración de silicio líquido en la etapa 240. El silicio reacciona, al menos parcialmente, con el carbono para conformar carburo de silicio. Después, el material resultante puede mecanizarse según sea necesario en la etapa 250 para producir el objeto acabado.

En el diagrama de flujo 300 que se muestra en la figura 3, se ilustra un método de fabricación de un compuesto de matriz cerámica de conformidad con una primera realización de la invención. El método ilustrado en el diagrama de

flujo 300 es una modificación del ilustrado en el diagrama de flujo 200 y descrito anteriormente con referencia a la figura 2.

La primera etapa de la fabricación, ilustrada en la etapa 310, es la conformación de una preforma de fibra. Esta preforma de fibra se prepara a partir de un material PANOX®. El PANOX® consiste en fibras de poliacrilonitrilo parcialmente oxidadas y está disponible en SGL Group (SGL CARBON SE, Sohnleinstrasse 8, 65201 Wiesbaden, Alemania). Las capas de fibras PANOX® utilizadas consisten en una serie de capas internas de fibras unidireccionales y de capas externas que consisten en fibras cortas alineadas al azar. Las capas externas sirven para mantener juntas las capas de fibras unidireccionales. Varias de estas capas se colocan juntas. En la presente realización, la orientación de las fibras en las capas va alternando, estando orientada una capa a 0° con respecto a un eje definido a lo largo del borde de la placa, y la siguiente a 90° con respecto a dicho eje. Dichas orientaciones se seleccionan para maximizar la resistencia del objeto compuesto final en direcciones particulares, y se seleccionan dependiendo de la aplicación del objeto compuesto final. La figura 4 ilustra esquemáticamente la alternancia de la alineación de las fibras en tres capas de fibra 410, 420 y 430. Por motivos de claridad, solo se muestran tres capas y se observa que su colocación está en despiece. En las capas 410 y 430, las fibras están alineadas a lo largo del borde largo de las capas, en la dirección horizontal, como se muestra. En la placa 420, colocada entre las capas 410 y 430, las fibras de la placa están desalineadas con respecto al plano de la ilustración, en perpendicular a las de las capas 410 y 430.

Las capas colocadas como se describió anteriormente no se adhieren entre sí excepto por fricción. Pueden mantenerse juntas en la dirección perpendicular al plano de las fibras unidireccionales (la dirección "z") para beneficiar de varias maneras las fases de procesamiento posteriores. En la presente realización, cuando se ha colocado un pequeño número de capas, se aplica una operación de punción. En la operación de punción, se inserta una aguja punzante en las capas y luego se tira hacia atrás para extraer algunas de las fibras orientadas al azar a través de la estructura colocada en la dirección "z". La operación de punción se repite al agregar más capas, ya que la aguja puede penetrar solo unas pocas capas en la estructura colocada. También se conocen otros métodos para mantener juntas las capas, como el uso de fibras adicionales para pegar las capas entre sí.

La preforma PANOX® colocada, conformada como se ha descrito con anterioridad, se mecaniza después en la etapa 320 para eliminar el exceso de material, por ejemplo, utilizando una herramienta de corte adecuada. Este proceso se ilustra esquemáticamente en las figuras 5(a) y (b) que se describen con más detalle a continuación. Se observará que dentro de esta primera preforma PANOX®, las fibras están orientadas dentro de un plano, aunque con alineaciones alternas dentro de dicho plano.

En las etapas 315 y 325 se conforma una segunda preforma PANOX®. Las etapas 315 y 325 se realizan de la misma manera que las etapas 310 y 320 descritas con anterioridad, por lo que no se describirán adicionalmente (excepto para señalar que la forma de la segunda preforma PANOX® es diferente a la de la primera). En la presente realización, que se describe con más detalle a continuación, haciendo referencia a la figura 5, es necesaria dicha forma diferente porque la segunda preforma debe envolverse alrededor de la primera. De forma adicional, debido a que la segunda preforma debe envolverse alrededor de la primera, ha de conservar un elemento de flexibilidad, por lo que en la presente realización es preferible utilizar un número reducido de capas para la segunda preforma.

La siguiente etapa 330 en la fabricación del objeto compuesto de matriz cerámica es la conexión de la primera preforma PANOX® y la segunda preforma PANOX®. Varias fases de este proceso se ilustran en las figuras 5(a)-(d). La figura 5(a) ilustra la primera preforma PANOX® 510, que comprende las capas de fibras individuales 410, 420 y 430. Debe observarse que las orientaciones alternas de las fibras en cada una de las capas 410, 420 y 430 no se muestran en las ilustraciones esquemáticas de las figuras 5(a)-(d) por motivos de claridad. En la presente realización, se va a fabricar un alerón de aplicación aeroespacial y es necesario eliminar material de la primera preforma, como se indica esquemáticamente en la figura 5(b), para conformar la forma precursora correcta del alerón. Como se muestra, las regiones 520 y 525 deben eliminarse de la preforma. Esto le da a la primera preforma un perfil ligeramente puntiagudo. Como se muestra en la figura 5(c), se aplica un adhesivo a la superficie de la primera preforma PANOX®. El adhesivo 530 cubre la superficie de la primera preforma PANOX®. Después, la segunda preforma PANOX® 540 se pone en contacto con la superficie cubierta con adhesivo y se envuelve alrededor de la primera placa colocada. La segunda preforma se envuelve alrededor del perfil puntiagudo de la primera preforma definida por la eliminación de las regiones 520 y 525, tal y como se ilustra en la figura 5(d).

Como se muestra en la figura 5(d), la segunda preforma comprende solo una capa en vez de las tres utilizadas en la primera preforma. El uso de un número menor de capas en la segunda preforma hace que la segunda preforma conserve un nivel de flexibilidad elevado, de tal modo que pueda moldearse alrededor de la región de borde de la primera preforma. En la figura 5(d) se ilustra esquemáticamente la configuración resultante 550. Como resultado de haber envuelto la segunda de las capas colocadas, varias fibras de la segunda placa, en la región 560 donde se curva alrededor de la primera placa, se orientarán parcialmente en una dirección fuera del plano definido por las fibras de la primera placa. Tal y como se ilustra, en parte, las fibras estarán orientadas perpendicularmente al plano de la primera preforma.

El adhesivo utilizado tiene un alto contenido de carbono. En la presente realización, se utiliza el adhesivo de base

fenólica Redux 775 (disponible en Hexcel Corporation, 281 Tresser Boulevard, piso 16, Stamford, documento CT 06901-3261, EE. UU.). Se prefiere el uso de adhesivos con alto contenido de carbono porque, durante la pirólisis posterior, el adhesivo también se descompondrá en carbono. Esto da como resultado que la unión adhesiva entre la primera y la segunda preforma permanezca después de la pirólisis, al menos a un nivel que permita completar las etapas de procesamiento posteriores.

Después, en la etapa 340, la combinación de la primera y segunda preformas se convierte en una preforma de fibra de carbono mediante pirólisis. Durante la pirólisis, tanto las fibras de polímero de las capas como el adhesivo se descomponen térmicamente en carbono. Para conseguirlo, la combinación de la primera y segunda preformas se somete a una temperatura de aproximadamente 2000 °C en una atmósfera inerte. Este proceso para la producción de fibra de carbono es conocido y se entenderá que la temperatura utilizada puede ser inferior a 2000 °C. Por ejemplo, puede utilizarse una temperatura de 1400 °C o cualquier temperatura superior a 1100 °C. Habitualmente, durante la pirólisis, las fibras se mantienen bajo tensión, pero en la presente realización no se aplica tensión.

La siguiente fase 350 en la fabricación del compuesto de matriz cerámica es la producción de una preforma porosa de carbono-carbono. En la presente realización, esto se consigue mediante la infiltración química de vapor. Uno de estos métodos se describe en la solicitud de patente internacional n.º WO2007/012865. Un hidrocarburo de peso molecular bajo, como el metano, se introduce en la preforma a presión y a alta temperatura, lo que produce la descomposición del hidrocarburo inducida térmicamente. El metano gaseoso, que se introduce en una cámara en la que se coloca la preforma de tejido a una temperatura de aproximadamente 1100 °C, se descompone en carbono sólido, que se deposita alrededor y dentro de la preforma de tejido, y en hidrógeno gaseoso. El proceso de infiltración química de vapor puede tardar entre 7 y 14 días, aunque puede continuar durante períodos más largos para producir estructuras de mayor densidad. Por ejemplo, puede continuar durante 21 días.

Después del proceso de infiltración química de vapor, la preforma se mecaniza adicionalmente hasta conseguir la forma deseada del objeto final. El mecanizado de esta fase es significativamente más fácil que el mecanizado del material compuesto de matriz cerámica final. En algunas realizaciones, puede ser conveniente repetir el proceso de infiltración química de vapor después del mecanizado o realizar varios ciclos de infiltración química de vapor y mecanizado para conseguir la densidad correcta de la preforma. Una ventaja de mecanizar la preforma después de la infiltración química de vapor es la mejora de la porosidad en la preforma final de carbono-carbono, lo que facilita la incorporación posterior de silicio.

A continuación, la preforma de carbono-carbono se infiltra con silicio mediante un proceso de infiltración de silicio líquido en la etapa 360. En términos generales, la infiltración de silicio líquido supone la infusión de silicio líquido en la preforma de carbono-carbono, donde reacciona con el carbono para conformar carburo de silicio. La preforma porosa de carbono-carbono se cubre con polvo de silicio y, después, se calienta a una temperatura por encima del punto de fusión del silicio de aproximadamente 1400 °C y, preferentemente, por encima de 1600 °C. En la presente realización, se utiliza una temperatura de aproximadamente 2000 °C. Se utilizan entre 500 kg y 1000 kg de polvo de silicio por cada metro cúbico de preforma de carbono-carbono.

El polvo de silicio se derrite y se infiltra en la preforma de carbono-carbono, donde reacciona con el carbono para producir carburo de silicio. El uso de una temperatura elevada de alrededor de 2000 °C mejora la velocidad de reacción entre el silicio y el carbono y fomenta una conversión más completa a carburo de silicio de los materiales precursores. El carburo de silicio es sólido al conformarse a esta temperatura. Esto dificulta la reacción en curso, dado que el silicio líquido debe difundirse a través de o moverse de otra manera en torno a la capa sólida de carburo de silicio. No obstante, durante el enfriamiento posterior, el desajuste entre los coeficientes de expansión térmica de las fibras de carbono y el carburo de silicio puede producir el agrietamiento del carburo de silicio. Después, se aplica un tratamiento térmico secundario, durante el cual se posibilita una mayor conversión del silicio en carburo de silicio gracias a las nuevas vías de flujo abiertas por las grietas que se han creado durante el enfriamiento inicial.

Se cree que el método anterior es particularmente adecuado para la construcción de un alerón aerodinámico para un misil u otro vehículo volador a partir de un material compuesto de matriz cerámica. El método permite modificar la orientación de las fibras dentro del alerón para soportar mejor los patrones de carga variables a los que puede verse sometido el alerón durante el vuelo, y proporciona un método de fabricación relativamente sencillo que mantiene una fuerte adhesión entre las diferentes preformas dentro la estructura final que, a través de las diversas fases de fabricación, están hechas para ser eficazmente integrales entre sí. Por ejemplo, la aplicación de la etapa de infiltración de silicio líquido al final del proceso, una vez adheridas las preformas entre sí, garantiza que habrá regiones efectivamente continuas de carburo de silicio a través de los límites entre las regiones definidas por las preformas utilizadas para fabricar la estructura.

La figura 6 es una ilustración esquemática del aparato 600 según otra realización de la invención. El aparato 600 comprende tres componentes 610 unidos entre sí a lo largo de superficies de unión 620. El aparato 600 se fabrica según el método descrito anteriormente, excepto en que la colocación de las capas de fibra está configurada para crear las superficies de unión 620. Cada uno de los componentes 610 se coloca por separado, colocándose las diversas capas de fibra como se ha descrito con anterioridad. Cada uno de los componentes tiene varias capas de fibra alineadas en un plano, así como una capa de fibra que se envuelve alrededor de las capas de fibra alineadas.

Una vez que se han colocado cada uno de los componentes, se aplica adhesivo en las superficies que deben unirse y los componentes se adhieren. Posteriormente, el aparato se piroliza y procesa tal y como se ha descrito con anterioridad. Durante la pirólisis y el procesamiento posterior, el adhesivo aplicado en las superficies de unión se convierte en material de matriz, de modo que el material de matriz es continuo a través de las superficies de unión.

No obstante, ninguna de las fibras de refuerzo atraviesa o interseca la superficie de unión. En la presente realización, el entorno más cercano de las superficies de unión discurre paralelo a las superficies de unión.

Al aplicar una fuerza mecánica en el material, el aparato se romperá preferentemente a lo largo de las superficies de unión 620. Dado que ninguna fibra atraviesa la superficie de unión, el material en la región de las superficies de unión es el material de matriz cerámica frágil. Así, el aparato se puede configurar para romperse de forma controlada. Por tanto, se apreciará que el aparato 600 se puede usar como una cubierta frangible. Por ejemplo, puede utilizarse para conformar la cubierta de un contenedor desde el que se lanzará un misil, proporcionándose la fuerza mecánica, en este caso, gracias al lanzamiento del misil. Se apreciará que la ubicación y orientación de la superficie de unión se pueden seleccionar y configurar, según se requiera para una aplicación en particular, mediante la colocación apropiada de las capas de fibra en las etapas iniciales del procesamiento. Así, el aparato 600 se puede utilizar en muchas otras aplicaciones, en particular, en vehículos aeroespaciales.

También son posibles otros métodos de fabricación del aparato 600. Por ejemplo, se entenderá que la adhesión de los componentes 610 puede realizarse en una fase posterior de la fabricación de los componentes, por ejemplo, después de que los componentes hayan pasado por una fase de infiltración química de vapor para aumentar el contenido de carbono antes de la infiltración de silicio líquido. En esta fase, las preformas de los componentes son rígidas, pero se puede adherir con un adhesivo de alto contenido en carbono y, después, volver a pirolizarlo antes de la infiltración de silicio líquido. En un caso de este tipo, puede ser que las fibras cercanas a las superficies de unión se acaben, en vez de correr en paralelo a la superficie de unión, como se describe arriba. No obstante, ninguna de las fibras atravesará o intersecará la superficie de unión.

Si bien en lo anterior se han descrito varias realizaciones específicas de la invención, cabe señalar que son posibles otras variantes y modificaciones sin alejarse del alcance de la presente invención que se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, aunque la realización descrita anteriormente se refiere al compuesto de fibra de matriz cerámica de carbono-carburo de silicio, se apreciará que la invención se puede aplicar en otros compuestos matriciales cerámicos. Se anticipa que la invención será más efectiva en aquellos compuestos de matriz cerámica conformados mediante un proceso que incorpore una etapa de reacción e infiltración en estado fundido, igual que el proceso de infiltración de silicio líquido descrito anteriormente, o materiales que requieren un proceso de pirólisis. Los ejemplos incluyen compuestos de carbono-carbono y carburo de silicio-carburo de silicio, pudiendo producirse ambos mediante métodos similares al descrito anteriormente. En el caso de los compuestos carbono-carbono, se apreciará que no se requiere la etapa de infiltración de silicio líquido, mientras que en el caso del carburo de silicio-carburo de silicio, será necesario colocar fibras de carburo de silicio. Otros ejemplos de materiales de matriz incluyen carbonitrúro de silicio y Blackglas®, un material patentado disponible en Honeywell.

También se apreciará que serán posibles otras realizaciones del método descrito en detalle en lo anterior con el propósito de elaborar otras formas o configuraciones de objetos compuestos de matriz cerámica mediante la alteración de los tamaños, formas o configuraciones de envoltura utilizadas para la primera y segunda preformas PANOX®. De forma adicional, se observará que se pueden combinar más de dos preformas PANOX® para obtener un abanico más amplio de formas, siendo configurables las orientaciones de las fibras para adaptarse a los patrones de carga a los que se someterá el objeto final. Así, puede ser deseable añadir más preformas de polímero a la primera y segunda preformas de la realización descrita anteriormente, por ejemplo, una tercera preforma de polímero envuelta alrededor de la primera y la segunda preformas de polímero, pero envuelta en una dirección perpendicular a la segunda. Los expertos en la materia idearán fácilmente otras configuraciones útiles. Además, se observará que el nivel de flexibilidad de la segunda o más preformas puede permitir, en algunas configuraciones, un mayor espesor de la segunda preforma. Cuando se requieren radios de curvatura pequeños junto con capas externas más gruesas, por supuesto, será posible una serie de preformas externas en sucesión, que se acumularán hasta conseguir el espesor deseado. En la realización descrita anteriormente, donde el objeto que debe fabricarse es un alerón, aunque se ha descrito el uso de una sola capa de fibras PANOX® en la segunda preforma, se prevé que sería factible utilizar de tres a cinco capas sin perder la flexibilidad requerida. En otras configuraciones, sin pequeños radios de curvatura, se podría incorporar un mayor número de capas.

Es posible que en el interior de cada placa existan varias orientaciones de las fibras, además de la configuración alterna de 0°/90° descrita anteriormente. Por ejemplo, es posible alinear las fibras de forma alternativa a +45°/-45° con respecto al eje, o de forma alternativa a 0°/60° con respecto al eje. También son posibles otras orientaciones, incluyendo otras disposiciones alternas y alineaciones unidireccionales, y se pueden aplicar dependiendo de la resistencia requerida para el objeto final en direcciones particulares.

También debería observarse que se pueden usar otros materiales precursores en lugar de los descritos anteriormente para conformar objetos compuestos de matriz cerámica de carbono-carburo de silicio. Por ejemplo, las fibras PANOX® descritas con anterioridad son una de una variedad de fibras poliméricas potenciales que se pueden utilizar como material precursor en la conformación de fibra de carbono por pirólisis. Se pueden utilizar otras fibras

de poliacrilonitrilo, oxidadas o de otra manera, así como otras fibras poliméricas conocidas por los expertos en la materia para su aplicación como materiales precursores en la producción de fibra de carbono. Así mismo, será posible colocar capas de fibra de carbono, en vez de utilizar un material precursor de polímero. De forma adicional, se pueden utilizar otros tipos de adhesivo en vez del adhesivo de ejemplo a base de brea descrito anteriormente para conectar las preformas. Los expertos en la materia apreciarán que se puede utilizar cualquier adhesivo que produzca gran cantidad de carbono tras la pirólisis para producir estructuras de carbono-carburo de silicio. Así, se pueden utilizar otros adhesivos de base fenólica, o se pueden utilizar adhesivos a base de brea o betún, como adhesivo de betún en frío (disponible en Iko PLC, Coney Green Road, Clay Cross, Chesterfield, Derbyshire, S45 9HZ, Reino Unido). Así mismo, los expertos en la materia también apreciarán que existen otros adhesivos adecuados si la invención debe aplicarse en otros tipos de compuestos de matriz cerámica. Los expertos en la materia podrán determinar fácilmente los adhesivos apropiados para químicas particulares de compuesto de matriz cerámica.

De forma adicional, los expertos en la materia apreciarán que es posible comprimir las preformas antes de la fase pirolítica, para así obtener una mayor densidad de carbono en la estructura acabada. Esta compresión se puede conseguir sujetando las preformas juntas o aplicando grandes presiones a través de otros medios. La compresión puede tener la ventaja adicional de mejorar en esta fase la resistencia de la adhesión entre las preformas.

También será posible fijar las preformas entre sí utilizando métodos distintos a la adhesión. Por ejemplo, se puede aplicar una conexión mecánica de las preformas, por ejemplo, pegando las preformas junto con fibras PANOX® adicionales u otro polímero, cerámica o fibras de carbono. La etapa de fijar juntas las preformas poliméricas también se puede realizar inmediatamente después de la colocación de las capas poliméricas, como se describe en lo anterior, o después de la etapa de pirólisis. No obstante, en el caso de que la etapa de fijación deba aplicarse después de pirolizar las capas de polímero, se observará que puede ser necesaria una etapa adicional de pirólisis para descomponer térmicamente el adhesivo en carbono. Como entenderá experto en la materia, la etapa de fijación se puede aplicar en cualquier punto después de la colocación de las capas de polímero, aunque antes de la etapa de infiltración de silicio líquido.

También puede ser deseable grafitar la preforma carbono-carbono sometiendo la preforma carbono-carbono, después de la infiltración química de vapor, a altas temperaturas (entre aproximadamente 2000 °C y 2400 °C) durante aproximadamente 96 horas. La grafitación puede mejorar la estabilidad por fricción y la conductividad térmica del compuesto de matriz cerámica C-SiC resultante.

Los expertos en la materia apreciarán que, en lugar de utilizar un proceso de infiltración química de vapor para producir la preforma de carbono-carbono, como se describe anteriormente, es posible utilizar de forma alternativa un material compuesto de matriz polimérica pirolizada para producir la preforma carbono-carbono. El uso de un compuesto de matriz polimérica pirolizada puede ser menos costoso, pero el compuesto C-SiC final también puede presentar una resistencia menor que un compuesto C-SiC obtenido mediante procesos basados en infiltración química de vapor (CVI).

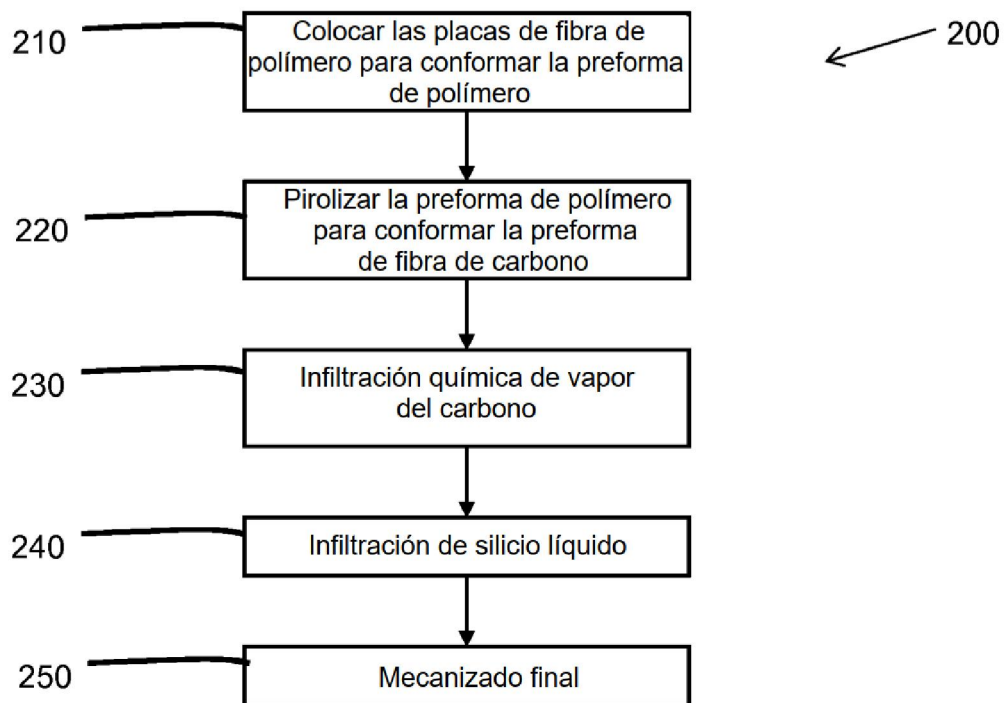
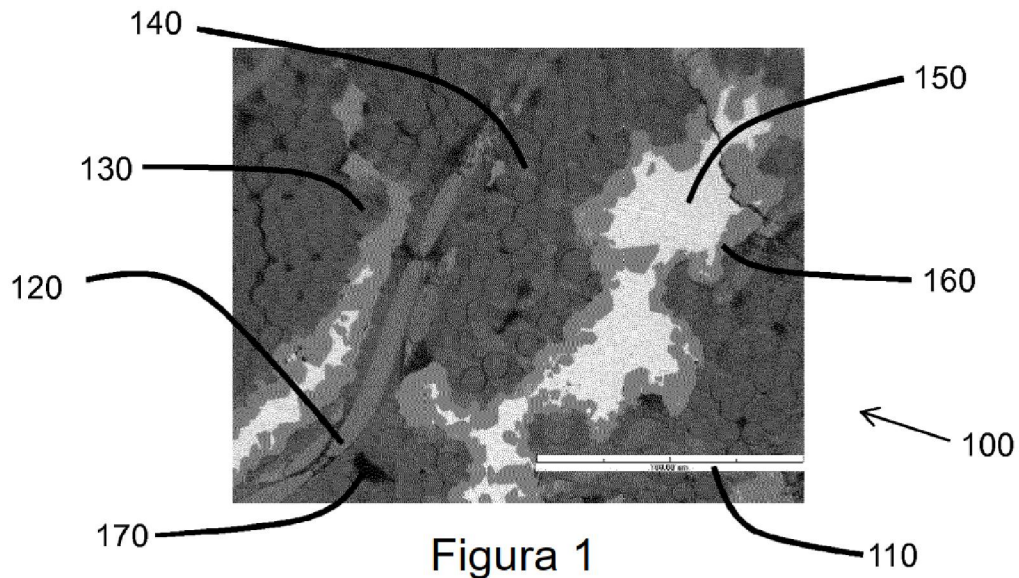
También se pueden utilizar temperaturas más altas para la infiltración con silicio líquido (LSI), con la ventaja de que el procesamiento es más rápido, pero a costa de un mayor uso de energía. De forma adicional, el uso de temperaturas más altas deriva en que se creen tensiones internas más altas en la microestructura del producto final como resultado de los desajustes de expansión térmica entre los diferentes componentes del material final. Estas tensiones internas más elevadas corren el riesgo de aumentar el número de defectos internos y también pueden reducir la resistencia del material final.

Los expertos en la materia también apreciarán que, aunque se ha descrito un orden particular de etapas de fabricación con respecto a realizaciones específicas (y, en particular, con referencia a la figura 3), será posible modificar el orden de las etapas y, en particular, la fase en la que se unen las preformas entre sí. Por ejemplo, puede ser conveniente pirolizar una o ambas de la primera y segunda preformas antes de mecanizar y adherir las dos preformas. Puede ser conveniente pirolizar y aplicar la etapa de infiltración química de vapor en una o ambas de la primera y segunda preformas antes de mecanizar y adherir las dos preformas. En estos casos, el procesamiento adicional de las preformas antes de la etapa de envoltura de la segunda preforma alrededor de parte de la primera tiene la desventaja de que la segunda preforma se vuelve menos flexible y puede dar como resultado una conexión más débil entre las preformas. No obstante, estas etapas solo se pueden aplicar en la primera preforma, de modo que la segunda preforma conserve su total flexibilidad; puede tener la ventaja de que la forma de la primera preforma se pueda definir con mayor precisión. Así mismo, al garantizar que la etapa de infiltración de silicio líquido se realice cuando las preformas están juntas, se espera que se conserve la suficiente integridad mecánica.

Por último, debe entenderse claramente que cualquier característica descrita con anterioridad con respecto a una realización cualquiera puede utilizarse sola o en combinación con otras características descritas, y también puede utilizarse en combinación con una o más características de otra cualquiera de las realizaciones, o cualquier combinación de otra cualquiera de las realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de un objeto compuesto de matriz cerámica que comprende las etapas de:
 - 5 i) proporcionar una primera disposición de una o más capas de fibra y mecanizar la primera disposición hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una primera preforma;
 - ii) proporcionar una segunda disposición de una o más capas de fibra y mecanizar la segunda disposición hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una segunda preforma;
 - 10 iii) envolver la segunda preforma alrededor de al menos un borde de la primera preforma;
 - iv) fijar la primera y segunda preformas juntas para conformar una combinación de la primera y segunda preformas; y
 - v) rigidizar la combinación de la primera y segunda preformasen donde la etapa de rigidizar la combinación de la primera y segunda preformas comprende la infiltración de la combinación de la primera y segunda preformas con un material líquido, seleccionándose el material líquido para
15 que reaccione con un componente de la primera y segunda preformas, para así conformar una cerámica; y que comprende proporcionar una o más disposiciones adicionales de una o más capas de fibra, mecanizar dicha una o más disposiciones adicionales hasta conseguir una configuración predeterminada para conformar una o más preformas adicionales; y adherir sucesivamente cada una de dichas una o más preformas adicionales a la combinación de la primera y segunda preformas para conformar una preforma completa en la que al menos una
20 de dichas una o más preformas adicionales se envuelve alrededor de una de la primera, segunda, o una o más preformas adicionales.
2. Un método según la reivindicación 1, en donde la segunda preforma está configurada para ser flexible.
- 25 3. Un método según la reivindicación 1 o reivindicación 2, en donde el compuesto de matriz cerámica es un compuesto de matriz cerámica de carbono-carburo de silicio.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material líquido es silicio líquido.
- 30 5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de fijar la segunda preforma a la primera preforma comprende aplicar un adhesivo en una de la primera o segunda preforma, seleccionándose el adhesivo para producir un alto contenido de carbono cuando se pirolice.
6. Un método según la reivindicación 5, en donde el adhesivo es un adhesivo a base de brea o fenólico.
- 35 7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha una o más preformas adicionales están configuradas para seguir siendo flexibles.



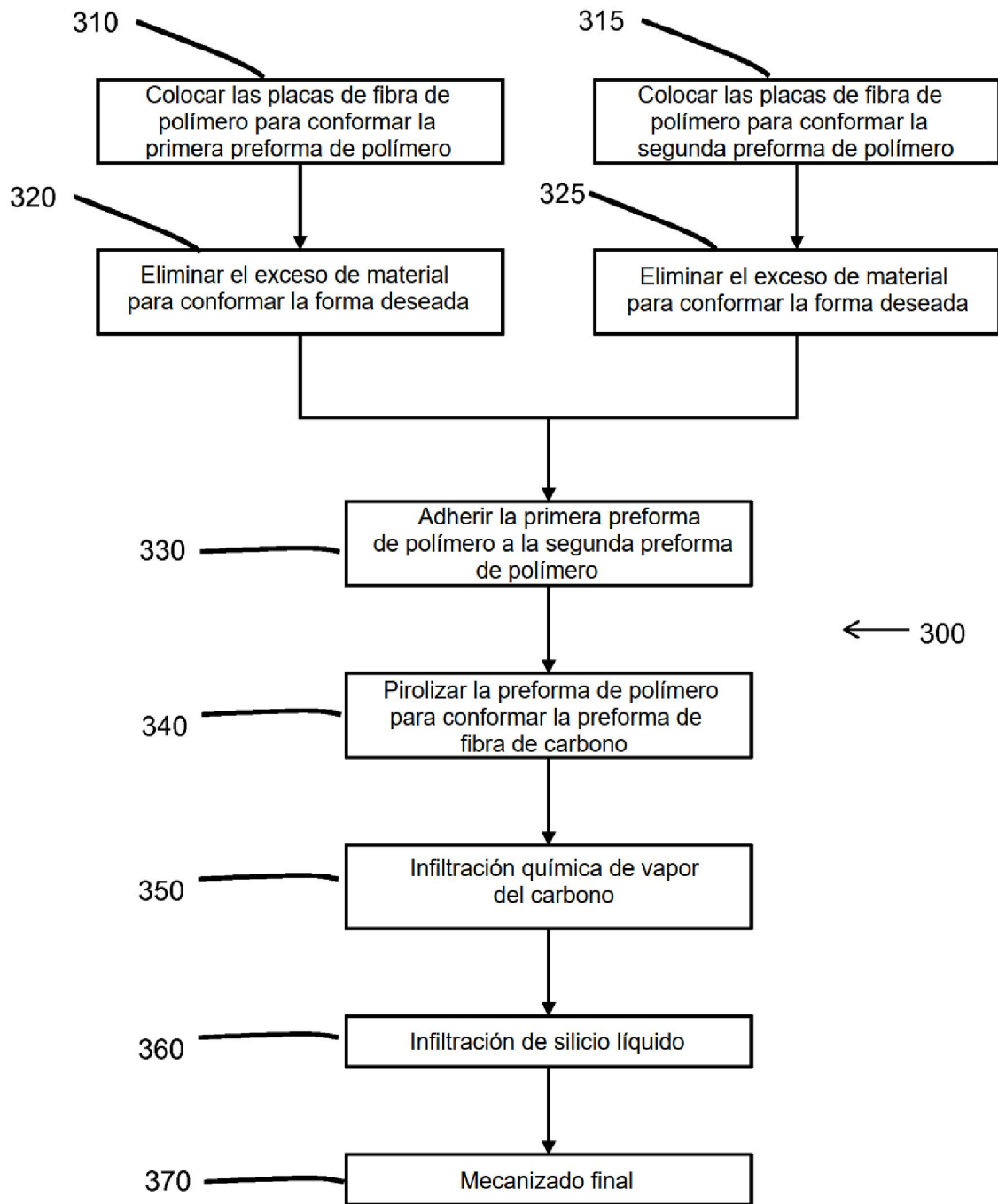


Figura 3

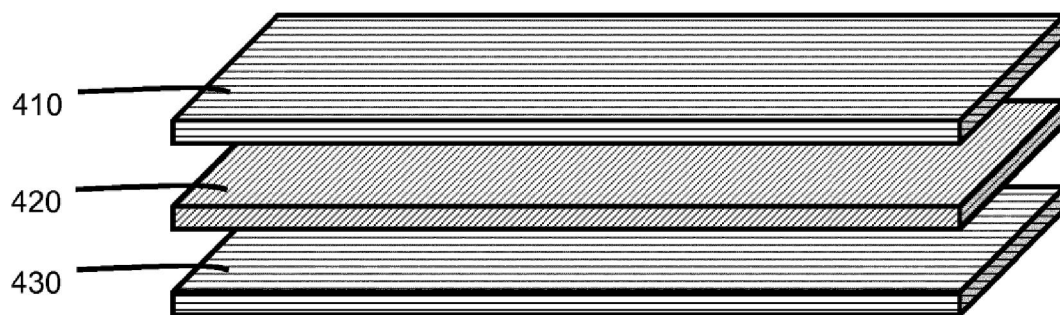


Figura 4

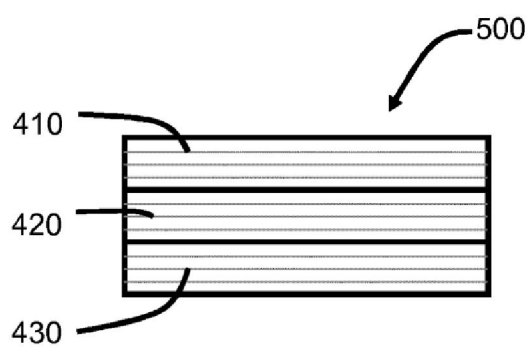


Figura 5a

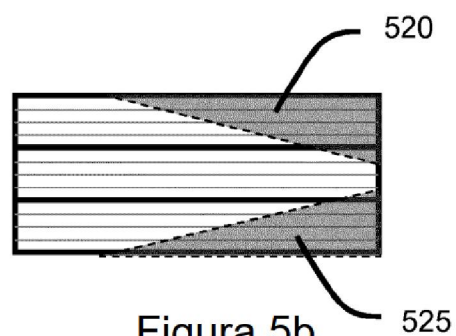


Figura 5b

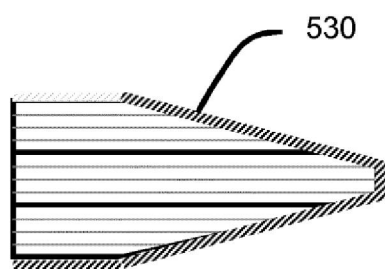


Figura 5c

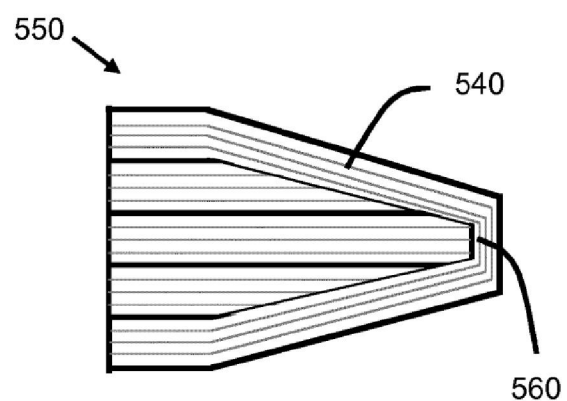


Figura 5d

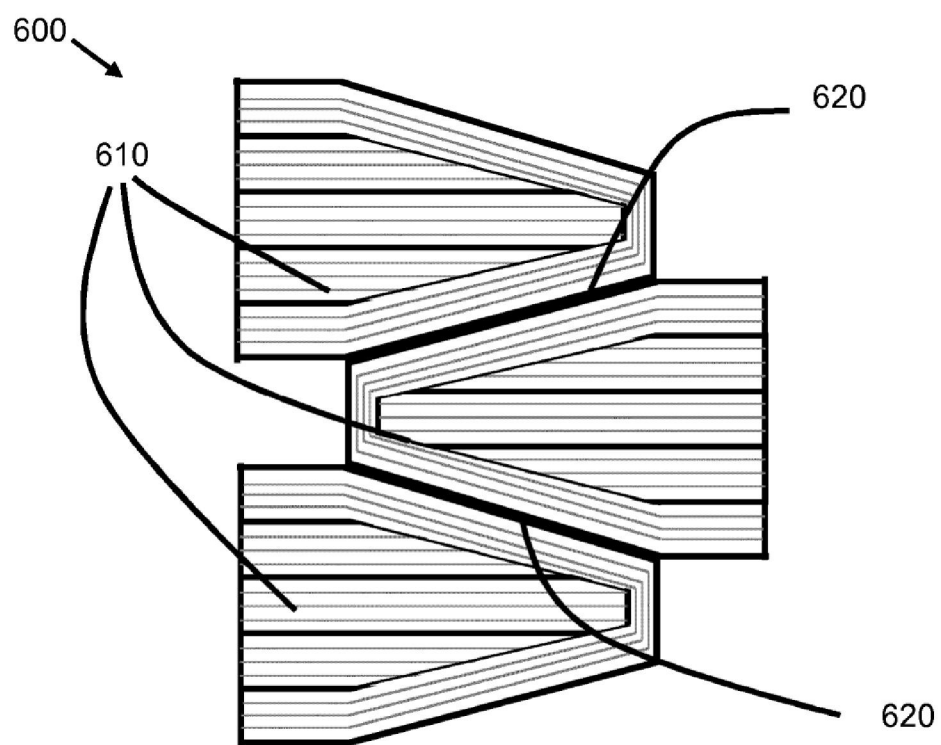


Figura 6