

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 204**

51 Int. Cl.:

C04B 35/117	(2006.01)	C04B 35/626	(2006.01)
C04B 35/14	(2006.01)	C04B 35/628	(2006.01)
C04B 35/56	(2006.01)	C04B 35/63	(2006.01)
C04B 35/565	(2006.01)	C04B 35/634	(2006.01)
C04B 35/571	(2006.01)	C04B 35/80	(2006.01)
C04B 35/58	(2006.01)	C04B 35/563	(2006.01)
C04B 35/581	(2006.01)		
C04B 35/583	(2006.01)		
C04B 35/584	(2006.01)		
C04B 35/589	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2014 PCT/US2014/011218**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2014 WO14110478**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2014 E 14701658 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 2943448**

54 Título: **Procedimientos para formar estructuras compuestas de matriz cerámica**

30 Prioridad:

14.01.2013 US 201313741052

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

23.09.2020

73 Titular/es:

**COI CERAMICS, INC. (100.0%)
9617 Distribution Avenue
San Diego, CA 92121, US**

72 Inventor/es:

**SZWEDA, ANDREW y
JACKSON, THOMAS BARRETT**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 784 204 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

Procedimientos para formar estructuras compuestas de matriz cerámica

5 CAMPO TÉCNICO

[0001] La divulgación, en diversos modos de realización, se refiere, en general, a procedimientos para formar estructuras compuestas de matriz cerámica. Más específicamente, la divulgación se refiere a procedimientos para formar estructuras compuestas de matriz cerámica usando un aparato de colocación avanzada de fibra.

10

ANTECEDENTES

[0002] Un compuesto de matriz cerámica (CMC) es un material que incluye fibras cerámicas de refuerzo incrustadas en una matriz cerámica. Los CMC pueden exhibir una variedad de propiedades deseables, tales como estabilidad a altas temperaturas, alta resistencia térmica, alta integridad mecánica, alta dureza, alta resistencia a la corrosión, peso ligero, propiedades no magnéticas y propiedades no conductoras. De este modo, los CMC se pueden usar para formar una serie de estructuras industriales y militares que incluyen, por ejemplo, estructuras aeroespaciales, marinas y automotrices que requieren una o más de las propiedades mencionadas anteriormente.

15

[0003] Un enfoque para formar estructuras de CMC incluye el uso de moldeo por transferencia de resina (RTM). Para formar una estructura de CMC usando RTM, las fibras cerámicas se colocan en un molde en una disposición deseada. Luego se evacua el molde, se introduce una resina en el molde bajo presión y se controla la temperatura del molde para permitir que la resina fragüe. La resina luego se cura y se piroliza a temperaturas elevadas para formar la estructura de CMC. Desafortunadamente, sin embargo, el RTM se limita, en general, al uso en la formación de estructuras de CMC relativamente pequeñas (por ejemplo, debido a limitaciones de tamaño del molde), y puede dar lugar a problemas de uniformidad de la matriz cerámica. Por ejemplo, pueden introducirse o evolucionar burbujas de gas dentro de la resina durante el procesamiento, que no pueden escapar o son difíciles de eliminar durante el curado y la pirólisis. En consecuencia, las burbujas de gas pueden estar presentes en la matriz cerámica de la estructura de CMC, y pueden afectar negativamente las propiedades deseadas de la misma.

20

25

30

[0004] Otro enfoque para formar estructuras de CMC incluye el uso de infiltración química de vapor (CVI). Para formar una estructura de CMC usando CVI, las preformas de fibra cerámica seca, tales como telas tejidas cerámicas seca, se colocan en una herramienta en una disposición deseada para formar una estructura de fibra cerámica seca. Luego se usa un proceso de deposición química de vapor (CVD) para infiltrar la estructura de fibra cerámica seca con una matriz cerámica y formar la estructura de CMC. Desafortunadamente, sin embargo, la CVI requiere herramientas complejas y costosas para garantizar que la estructura de fibra cerámica seca tenga la forma adecuada, y para garantizar que la estructura de CMC incluya una matriz cerámica uniforme. Además, la naturaleza del proceso de CVD limita típicamente, en general, la reutilización de las herramientas, lo que aumenta significativamente los costes de fabricación de la estructura de CMC.

35

40

[0005] Aún otro enfoque para formar estructuras de CMC implica la colocación manual (por ejemplo, disposición) de preformas de fibra cerámica, como cintas cerámicas o telas cerámicas tejidas, infiltradas con una suspensión de matriz precerámica sobre una herramienta para formar una estructura de material compuesto no curado. La estructura de material compuesto no curado se cura y sinteriza o piroliza a continuación para formar una estructura de CMC deseada. Desafortunadamente, sin embargo, dicho procesamiento puede ser prohibitivamente costoso ya que la colocación manual puede requerir mucho tiempo y trabajo, así como también aumentar las posibilidades de defectos del producto debido a errores humanos.

45

[0006] Aún otro enfoque para formar estructuras de CMC implica el devanado de filamentos de hilos de fibra cerámica infiltrados con una suspensión de matriz precerámica sobre una herramienta para formar una estructura de material compuesto no curado. La estructura de material compuesto no curado se cura y sinteriza o piroliza a continuación para formar una estructura de CMC deseada. Desafortunadamente, sin embargo, el devanado de filamentos se limita, en general, a formar estructuras de CMC que tienen una forma sustancialmente cilíndrica. A saber, la herramienta sobre la cual se enrollan los hilos se limita, en general, a tener una forma sustancialmente cilíndrica, de modo que los hilos siguen un trayecto de colocación que permite que los hilos permanezcan en su lugar en la herramienta (es decir, un trayecto geodésico).

50

55

[0007] Por lo tanto, sería deseable tener nuevos procedimientos, sistemas y aparatos para formar una estructura de CMC que sean fáciles de emplear, rentables, rápidos y más versátiles en comparación con los procedimientos, sistemas y aparatos convencionales para formar estructuras de CMC. Dichos procedimientos, sistemas y aparatos pueden, por ejemplo, facilitar una mayor adopción y uso de estructuras de CMC en aplicaciones industriales y militares.

60

[0008] La Patente US 2002/197465 A1 divulga un CMC tolerante al daño usando la suspensión de matriz sol-gel.

65

[0009] La Patente US 6 096 164 A divulga una máquina de colocación de fibra de múltiples ejes. La Patente EP1004559 divulga un procedimiento para formar un compuesto de matriz cerámica sin óxido. Menciona el uso de una herramienta y fibras preimpregnadas de bobinado en la herramienta. Las fibras preimpregnadas se cortan cuando se colocan.

5

DIVULGACIÓN

[0010] La invención se define por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen modos de realización ventajosos.

10

[0011] Los modos de realización descritos en el presente documento incluyen procedimientos para formar estructuras compuestas de matriz cerámica, y sistemas, aparatos y estructuras compuestas de matriz cerámica relacionadas. Por ejemplo, de acuerdo con un modo de realización descrito en el presente documento, un procedimiento para formar una estructura compuesta de matriz cerámica comprende formar al menos un material compuesto preimpregnado que comprende una preforma de fibra cerámica y una suspensión de matriz precerámica. El al menos un material compuesto preimpregnado se coloca sobre al menos una superficie de una herramienta usando un aparato de colocación avanzada de fibra para formar una estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado. La estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado se expone al menos a temperaturas elevadas para convertir la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado en una estructura compuesta de matriz cerámica.

15

20

[0012] En modos de realización adicionales, un sistema para formar una estructura compuesta de matriz cerámica comprende un aparato de colocación avanzada de fibra, un aparato de curado y un aparato de densificación. El aparato de colocación avanzada de fibra está configurado para colocar al menos un material compuesto preimpregnado sobre al menos una superficie de una herramienta, comprendiendo el al menos un material compuesto preimpregnado una preforma de fibra cerámica infiltrada con una suspensión de matriz precerámica. El aparato de curado está configurado para curar la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado para formar una estructura de material compuesto sustancialmente curado. El aparato de densificación está configurado para densificar la estructura de material compuesto sustancialmente curado para formar una estructura compuesta de matriz cerámica.

25

30

[0013] En otros modos de realización adicionales, un aparato de colocación avanzada de fibras comprende al menos un cabezal de colocación configurado para arrastrar, alinear, colocar, cortar y volver a entretrejer al menos un material compuesto preimpregnado que comprende una preforma de fibra cerámica infiltrada con una suspensión de matriz precerámica, y al menos un carrete del al menos un material compuesto preimpregnado.

35

[0014] En otros modos de realización adicionales, una estructura compuesta de matriz cerámica comprende una estructura formada por el procedimiento que comprende formar al menos un material compuesto preimpregnado que comprende una preforma de fibra cerámica y una suspensión de matriz precerámica, colocar el al menos un material compuesto preimpregnado sobre al menos una superficie de una herramienta usando un aparato de colocación avanzada de fibras para formar una estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado, y exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado al menos a temperaturas elevadas para convertir la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado en una estructura compuesta de matriz cerámica.

40

45

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0015]

La FIG. 1 es un diagrama de flujo simplificado de un procedimiento para formar una estructura de CMC, de acuerdo con modos de realización de la divulgación.

50

la FIG. 2 es una vista, en perspectiva, simplificada de un proceso de disposición para el procedimiento ilustrado en la FIG. 1, de acuerdo con modos de realización de la divulgación;

55

la FIG. 3A es una fotografía que muestra una vista superior descendente de una parte de una preforma de fibra cerámica antes de ser infiltrada con una suspensión de matriz precerámica, como se describe en el EJEMPLO proporcionado en el presente documento;

60

la FIG. 3B es una vista en alzado lateral que ilustra un cabezal de colocación de un aparato de AFP usado para colocar un material compuesto preimpregnado en una superficie de una herramienta, como se describe en el EJEMPLO proporcionado en el presente documento;

65

la FIG. 3C es una fotografía que muestra una vista en alzado lateral de dos capas de un material compuesto preimpregnado en una herramienta, como se describe en el EJEMPLO proporcionado en el presente documento;

la FIG. 3D es una fotografía que muestra una vista, en perspectiva, de una estructura de material compuesto curado, como se describe en el EJEMPLO proporcionado en el presente documento; y

5 la FIG. 3E es una fotografía que muestra una vista, en perspectiva, de una estructura de CMC, como se describe en el EJEMPLO proporcionado en el presente documento.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA INVENCION

10 **[0016]** Se describen procedimientos para formar una estructura de CMC, así como sistemas, aparatos y estructuras de CMC relacionados. En algunos modos de realización, un procedimiento para formar una estructura de CMC incluye colocar (por ejemplo, "disponer") un material compuesto preimpregnado en o sobre al menos una superficie de una herramienta usando un aparato de colocación avanzada de fibra (AFP) (que también puede ser referido como un aparato "automatizado" de colocación de fibra) para formar una estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado. La estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado se puede curar y sinterizar o pirolizar posteriormente para formar la estructura de CMC. La estructura de CMC puede exhibir propiedades deseables para su uso en una amplia variedad de aplicaciones industriales y militares. Los procedimientos, sistemas y aparatos de los modos de realización de la divulgación pueden ser más rápidos, más rentables y más versátiles que los procedimientos, sistemas y aparatos convencionales usados para formar estructuras de CMC.

20 **[0017]** La siguiente descripción proporciona detalles específicos, tales como tipos de materiales y condiciones de procesamiento para proporcionar una descripción detallada de los modos de realización de la divulgación. Sin embargo, un experto en la técnica entendería que los modos de realización de la divulgación pueden practicarse sin emplear estos detalles específicos. De hecho, los modos de realización de la divulgación pueden practicarse junto con técnicas convencionales empleadas en la industria. Solo los actos y estructuras de proceso necesarios para comprender los modos de realización de la divulgación se describen en detalle a continuación. Los actos adicionales para formar una estructura de CMC de la divulgación pueden realizarse mediante técnicas convencionales, que no se describen en detalle en el presente documento. Además, los dibujos que acompañan a la solicitud son solo para fines ilustrativos y, por lo tanto, no están dibujados a escala. Además, los elementos comunes entre las figuras pueden conservar la misma designación numérica.

30 **[0018]** Como se usa en el presente documento, los términos "que comprende", "que incluye", "que contiene", "caracterizado por" y sus equivalentes gramaticales son términos inclusivos o abiertos que no excluyen elementos o etapas de procedimiento adicionales no enumerados, sino que también incluyen términos más restrictivos "que consisten en" y "que consisten esencialmente en" y equivalentes gramaticales de los mismos. Como se usa en el presente documento, el término "puede" con respecto a un material, estructura, característica o acto de procedimiento indica que se contempla su uso en la implementación de un modo de realización de la divulgación y dicho término se usa con preferencia al término más restrictivo "es" para evitar cualquier implicación de que otros materiales, estructuras, características y procedimientos compatibles, que se pueden usar en combinación con ellos, deberían o deben ser excluidos.

35 **[0019]** Como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "uno" y "el/la" pretenden incluir asimismo las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

40 **[0020]** Tal como se utiliza en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

45 **[0021]** Como se usa en el presente documento, los términos relacionales, como "primero", "segundo", "sobre", "arriba", "abajo", "subyacente", etc., se usan para mayor claridad y conveniencia en la comprensión de la divulgación y los dibujos adjuntos y no connotan ni dependen de ninguna preferencia, orientación u orden específicos, excepto cuando el contexto indique claramente lo contrario.

50 **[0022]** Como se usa en el presente documento, el término "sustancialmente", en referencia a un parámetro, propiedad o condición dada, significa en un grado que un experto en la técnica entenderá que el parámetro, propiedad o condición dada se cumple con un pequeño grado de variación, como dentro de tolerancias de fabricación aceptables.

55 **[0023]** La FIG. 1 es un diagrama de flujo simplificado que ilustra un procedimiento para formar una estructura de CMC de acuerdo con modos de realización de la divulgación. El procedimiento puede incluir un proceso de disposición 102 que incluye colocar al menos un material compuesto preimpregnado en o sobre una superficie de una herramienta usando un aparato de AFP, un proceso de curado 104 que incluye curar el material compuesto preimpregnado después de colocarlo en o sobre la superficie de la herramienta para formar una estructura de material compuesto curado, un proceso de densificación 106 que incluye sinterizar o pirolizar la estructura de material compuesto curado para formar la estructura de CMC y, opcionalmente, un proceso de finalización 108 que incluye un tratamiento adicional (por ejemplo, mecanizado, revestimiento, etc.) de la estructura de CMC. Con la descripción que se proporciona a continuación, será evidente para un experto en la técnica que el procedimiento

descrito en el presente documento puede usarse en diversas aplicaciones. En otras palabras, el procedimiento puede usarse siempre que se desee formar una estructura de CMC.

[0024] Ahora se describirá un modo de realización de la divulgación con referencia a la FIG. 2, que ilustra una vista en perspectiva simplificada del proceso de disposición 102. Como se muestra en la FIG. 2, el proceso de disposición 102 incluye colocar al menos un material compuesto preimpregnado 202 en o sobre al menos una superficie 206 de una herramienta 204 usando un aparato de AFP 200. El material compuesto preimpregnado 202 incluye una preforma de fibra cerámica infiltrada (por ejemplo, impregnada) con una suspensión de matriz precerámica. Como se usa en el presente documento, el término "preforma de fibra cerámica" significa e incluye una estructura formada por, y que incluye, fibras cerámicas. Las fibras cerámicas pueden ser continuas, y pueden estar orientadas en una dirección, en general paralela, en general perpendicular, o en otro ángulo con respecto a una longitud de la preforma de fibra cerámica. La preforma de fibra cerámica puede comprender un solo hilo de las fibras cerámicas (por ejemplo, un haz sustancialmente unidireccional de las fibras cerámicas), puede comprender una cinta de múltiples hilos de fibras cerámicas (por ejemplo, una matriz de hilos sustancialmente unidireccionales de las fibras cerámicas cosido usando otro material, como un material de vidrio), o puede comprender una tela tejida de múltiples hilos de las fibras cerámicas (por ejemplo, un ligamento tafetán de los múltiples hilos, un ligamento de raso de arnés de 4 de los múltiples hilos, un ligamento de raso de arnés de 5 de los múltiples hilos, un ligamento de raso de arnés de 8 de los múltiples hilos, etc.). La preforma de fibra cerámica puede tener cualquier dimensión (por ejemplo, longitud, anchura, espesor) compatible con el aparato de AFP 200 empleado para aplicar el material de matriz compuesto preimpregnado 202 a la herramienta 204. Por ejemplo, la preforma de fibra cerámica puede tener una longitud que permita colocar una cantidad deseada del material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204, y puede tener una anchura compatible con un medio de colocación (por ejemplo, un cabezal de colocación) del aparato de AFP 200, tal como una anchura dentro de un intervalo de aproximadamente una octava pulgada (es decir, aproximadamente 3,175 milímetros) a aproximadamente una pulgada (es decir, aproximadamente 25,4 milímetros). En algunos modos de realización, la anchura de la preforma de fibra cerámica es de aproximadamente una pulgada (es decir, aproximadamente 25,4 milímetros).

[0025] Las fibras cerámicas de la preforma de fibra cerámica pueden estar formadas e incluir un material cerámico compatible con los otros componentes (por ejemplo, la suspensión de matriz precerámica) del material compuesto preimpregnado 202, de características físicas apropiadas para reforzar la estructura de CMC a formar y formulado para soportar las condiciones de procesamiento (por ejemplo, temperaturas, presiones, atmósfera ambiental, etc.) utilizadas para formar la estructura de CMC. Como se usa en el presente documento, el término "compatible" significa e incluye un material que no reacciona, descompone o absorbe otro material de manera no intencionada, y que tampoco perjudica las propiedades químicas y/o mecánicas del otro material de manera no intencionada. Las fibras cerámicas pueden ser fibras cerámicas de óxido, o pueden ser fibras cerámicas sin óxido. La preforma de fibra cerámica puede ser, por lo tanto, una preforma de fibra cerámica basada en óxido, o puede ser una preforma de fibra cerámica no basada en óxido. Ejemplos no limitativos de fibras cerámicas de óxido adecuadas incluyen fibras de alúmina, fibras de alúmina-sílice y fibras de alúmina-óxido de boro-sílice. Dichas fibras cerámicas de óxido están disponibles comercialmente en numerosas fuentes, incluidas, entre otras, la firma 3M Company (St. Paul, MN) (por ejemplo, bajo los nombres comerciales NEXTEL™ 312, NEXTEL™ 440, NEXTEL™ 550, NEXTEL™ 610 y NEXTEL™ 720). Los ejemplos no limitativos de fibras cerámicas sin óxido adecuadas incluyen fibras de carburo de silicio, fibras de nitruro de silicio, fibras que incluyen carburo de silicio sobre un núcleo de carbono, fibras de carburo de silicio que contienen titanio, fibras de oxicarbonuro de silicio, fibras de oxicarbonitruro de silicio y fibras de carbono. Dichas fibras cerámicas sin óxido están disponibles comercialmente en numerosas fuentes, entre ellas, las firmas COI Ceramics, Inc. (San Diego, CA) (por ejemplo, bajo el nombre comercial SYLRAMIC®), Nippon Carbon Co., Ltd. (Tokio, JP) (por ejemplo, bajo los nombres comerciales CG NICALCON™, HI-NICALCON™ y NICALCON TYPE S™) y Ube Industries (Tokio, JP) (por ejemplo, bajo los nombres comerciales TYRANNO SA y TYRANNO LoxM). En algunos modos de realización, las fibras cerámicas de la preforma de fibra cerámica son las fibras NEXTEL™ 610. La preforma de fibra cerámica que incluye las fibras cerámicas puede formarse usando procesos y equipos convencionales, que no se describen en detalle en el presente documento.

[0026] La suspensión de matriz precerámica puede ser una suspensión adecuada para formar una matriz cerámica sobre y alrededor de la preforma de fibra cerámica, e incluir suficientes propiedades químicas y mecánicas (por ejemplo, rigidez, adhesividad, resistencia ambiental, etc.) para facilitar la colocación del material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204 usando el aparato de AFP 200, como se describe con más detalle a continuación. Por ejemplo, la suspensión de matriz precerámica puede ser una suspensión formulada para permitir formar una matriz cerámica de óxido o una matriz cerámica sin óxido tras un procesamiento adicional (por ejemplo, sinterización, pirólisis, etc.), para permitir que el material compuesto preimpregnado 202 sea cortado por el aparato de AFP 200 y adherirse al menos a la superficie 206 de la herramienta 204 y al propio material compuesto preimpregnado 202 durante la colocación, y para resistir y acomodar sin degradación sustancial las condiciones de procesamiento físicas y ambientales asociadas con la colocación del material compuesto preimpregnado 202 durante el tiempo que sea necesario para completar dicha colocación.

[0027] Como ejemplo no limitativo, la suspensión de matriz precerámica puede ser una suspensión de matriz precerámica basada en óxido que incluye un sol de cerámica de óxido y un relleno de cerámica de óxido. El sol de cerámica de óxido puede ser un sol de alúmina (por ejemplo, alúmina coloidal en agua), un sol de sílice (por ejemplo, sílice coloidal en agua), un sol de alúmina-sílice (por ejemplo, alúmina-sílice coloidal en agua), o una combinación de los mismos. En algunos modos de realización, el sol de cerámica de óxido es un sol de sílice. Los sólidos (por ejemplo, sílice) pueden constituir de aproximadamente el 15 por ciento a aproximadamente el 60 por ciento del peso total del sol de cerámica de óxido. A su vez, el relleno de cerámica de óxido puede incluir partículas de al menos un material cerámico de óxido, tales como partículas de al menos uno de alúmina, sílice, dióxido de zirconio. En algunos modos de realización, el relleno de cerámica de óxido incluye partículas de alúmina. Cada una de las partículas puede tener un tamaño deseado (por ejemplo, dentro de un rango de aproximadamente 20 nanómetros a aproximadamente 1000 nanómetros) y una forma (por ejemplo, una forma esférica, una forma hexaédrica, una forma elipsoidal, una forma cilíndrica, una forma irregular, etc.). Además, las partículas pueden ser monodispersas, en las que cada una de las partículas tiene sustancialmente el mismo tamaño y forma, o pueden ser polidispersas, en las que las partículas incluyen una variedad de tamaños y/o formas.

[0028] La proporción del sol de cerámica de óxido con respecto al relleno de cerámica de óxido en la suspensión de matriz precerámica basada en óxido puede depender de las propiedades (por ejemplo, estabilidad térmica, viscosidad, peso, conductividad, etc.) de los materiales seleccionados para el sol de cerámica de óxido y el relleno de cerámica de óxido, en las condiciones de procesamiento utilizadas para formar la estructura de CMC a partir del material compuesto preimpregnado 202, y en las propiedades deseadas (por ejemplo, estabilidad térmica, resistencia al choque térmico, estabilidad mecánica, dureza, resistencia a la corrosión, peso, conductividad, etc.) de la estructura de CMC a formar. La suspensión de matriz precerámica basada en óxido puede incluir, por ejemplo, desde aproximadamente un 20 por ciento en peso hasta aproximadamente un 60 por ciento en peso del sol de cerámica de óxido, tal como desde aproximadamente un 25 por ciento en peso hasta aproximadamente un 40 por ciento en peso, y puede incluir desde aproximadamente un 20 por ciento en peso hasta aproximadamente un 80 por ciento en peso de relleno cerámica de óxido, tal como desde aproximadamente un 40 por ciento en peso hasta aproximadamente un 70 por ciento en peso. En algunos modos de realización, la suspensión de matriz precerámica basada en óxido incluye aproximadamente un 28 por ciento en peso de sol de sílice y aproximadamente un 60 por ciento en peso de relleno de alúmina.

[0029] Opcionalmente, la matriz precerámica basada en óxido también puede incluir al menos un coadyuvante de procesamiento. El coadyuvante de procesamiento puede comprender un material que, cuando se combina con las condiciones de procesamiento (por ejemplo, temperaturas, presiones, ambiente, etc.) aplicado antes, durante y después de la colocación del material compuesto preimpregnado 202, mejora una o más propiedades del material compuesto preimpregnado 202. El coadyuvante de procesamiento puede, por ejemplo, comprender un material que mejore al menos una de las propiedades de rigidez, adhesividad y resistencia ambiental (por ejemplo, tiempo de exposición máximo posible a las condiciones de procesamiento) del material compuesto preimpregnado 202 antes y durante la colocación del material compuesto preimpregnado 202 en la superficie 206 de la herramienta 204. Por ejemplo, el coadyuvante de procesamiento puede comprender un material orgánico soluble en agua que incluye, entre otros, un poliol (por ejemplo, glicerol), una goma de celulosa (por ejemplo, metilcelulosa), un alcohol vinílico (por ejemplo, alcohol polivinílico), un glicol (por ejemplo, propilenglicol, etilenglicol) y goma de acacia. En algunos modos de realización, el al menos un coadyuvante de procesamiento incluye propilenglicol y alcohol polivinílico. Si se incluye, el coadyuvante de procesamiento puede constituir desde aproximadamente el 0,1 por ciento hasta aproximadamente el 20 por ciento del peso total de la matriz precerámica basada en óxido, tal como desde aproximadamente el 5 por ciento hasta aproximadamente el 15 por ciento del peso total de la matriz precerámica basada en óxido. En algunos modos de realización, la matriz precerámica basada en óxido incluye aproximadamente el 10,5 por ciento en peso de propilenglicol y aproximadamente el 1,5 por ciento en peso de alcohol polivinílico.

[0030] Como otro ejemplo no limitativo, la suspensión de matriz precerámica puede ser una suspensión de matriz precerámica no basada en óxido que incluye un polímero precerámico sin óxido y un relleno cerámico sin óxido. El polímero precerámico sin óxido puede ser un polímero organosilícico formulado para formar una matriz cerámica sin óxido tras un procesamiento adicional (por ejemplo, curado y pirólisis), y que tiene suficientes propiedades químicas y mecánicas para facilitar la colocación del material compuesto preimpregnado 202. Por ejemplo, el polímero precerámico sin óxido puede comprender al menos uno de un polisiloxano, un polisilazano (por ejemplo, al menos uno de un hidridopolisilazano, un silaciclobutasilazano, un hidridopolisilazano modificado con boro y un hidridopolisilazano modificado con vinilo), un polisilano, un policarbosilano, un policarbosilazano y un polisilsesequioxano, que permite que el material compuesto preimpregnado 202 sea cortado por el aparato de AFP 200 y sea colocado en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204 usando el aparato de AFP 200. Los polímeros precerámicos sin óxido adecuados están disponibles comercialmente en numerosas fuentes, incluidas, entre otras, la firma Starfire Systems (Schenectady, NY) (por ejemplo, bajo los nombres comerciales SMP-500 y SMP-800). En algunos modos de realización, el polímero precerámico sin óxido es SMP-500. A su vez, el relleno cerámico sin óxido puede incluir partículas de al menos un material cerámico sin óxido, como partículas de al menos uno de carburo de silicio, nitruro de silicio, hexaboruro de silicio, nitruro de aluminio, nitruro de boro, carburo de boro, boruro de titanio, carburo de titanio y carburo de hafnio. En algunos modos de realización, el material de relleno cerámico sin óxido incluye partículas de carburo de silicio. Cada una de las partículas puede tener un

tamaño deseado (por ejemplo, dentro de un rango de aproximadamente 20 nanómetros a aproximadamente 1000 nanómetros) y una forma (por ejemplo, una forma esférica, una forma hexaédrica, una forma elipsoidal, una forma cilíndrica, una forma irregular, etc.). Además, las partículas pueden ser monodispersas, en las que cada una de las partículas tiene sustancialmente el mismo tamaño y forma, o pueden ser polidispersas, en las que las partículas incluyen una variedad de tamaños y/o formas.

[0031] La proporción del polímero precerámico sin óxido con respecto al relleno cerámico sin óxido en la suspensión de matriz precerámica no basada en óxido puede estar relacionada con las propiedades (por ejemplo, estabilidad térmica, viscosidad, peso, conductividad, etc.) de los materiales seleccionados para el polímero precerámico sin óxido y el relleno cerámico sin óxido, en las condiciones de procesamiento utilizadas para formar la estructura de CMC a partir del material compuesto preimpregnado 202, y en las propiedades deseadas (por ejemplo, estabilidad térmica, resistencia al choque térmico, estabilidad mecánica, dureza, resistencia a la corrosión, peso, conductividad, etc.) de la estructura del CMC a formar. La suspensión de matriz precerámica no basada en óxido puede incluir, por ejemplo, de aproximadamente el 20 por ciento en peso a aproximadamente el 60 por ciento en peso del polímero precerámico sin óxido, tal como de aproximadamente el 30 por ciento en peso a aproximadamente el 50 por ciento en peso, y puede incluir de aproximadamente el 20 por ciento en peso a aproximadamente el 60 por ciento en peso del relleno cerámico sin óxido, tal como de aproximadamente el 30 por ciento en peso a aproximadamente el 50 por ciento en peso.

[0032] Opcionalmente, la matriz precerámica sin óxido también puede incluir uno o más de al menos un catalizador de curado y al menos un disolvente compatible (por ejemplo, tetrahidrofurano, hexano, heptano, benceno, tolueno, xileno, etc.). Como se usa en el presente documento, el término "catalizador de curado" se refiere a un material capaz de catalizar sustancialmente la infusibilización de sección profunda (por ejemplo, curado) del polímero precerámico sin óxido en el material compuesto preimpregnado 202. Los catalizadores de curado adecuados están disponibles comercialmente en numerosas fuentes que incluyen, pero no se limitan a, la firma Sigma-Aldrich (St. Louis, MO) (por ejemplo, bajo el nombre comercial Luperox® 101). Si se incluye, el catalizador de curado puede constituir de aproximadamente el 0,1 por ciento a aproximadamente el 2 por ciento del peso total de la matriz precerámica basada en óxido, tal como de aproximadamente el 0,1 por ciento a aproximadamente el 1,5 por ciento del peso total de la matriz precerámica a base de óxido.

[0033] El material compuesto preimpregnado 202 que incluye la preforma de fibra cerámica y la suspensión de matriz precerámica puede formarse usando procesos y equipos convencionales, que no se describen en detalle en el presente documento. A modo de ejemplo no limitativo, la suspensión de matriz precerámica puede formarse sobre y alrededor de las fibras cerámicas de la preforma de fibra cerámica usando al menos uno de un proceso de recubrimiento por pulverización convencional, un proceso de recubrimiento por inmersión convencional y un proceso de remojo convencional. Independientemente del proceso utilizado para formar el material compuesto preimpregnado 202, el proceso puede controlarse para facilitar una infiltración uniforme y completa de la suspensión de matriz precerámica sobre y alrededor de la preforma de fibra cerámica.

[0034] En algunos modos de realización, como donde se desea formar una estructura de CMC que incluye una matriz cerámica sin óxido sobre y alrededor de la preforma de fibra cerámica, se puede formar al menos un material interfacial en la preforma de fibra cerámica antes de formar la suspensión de matriz precerámica sobre y alrededor de la preforma de fibra cerámica. El material interfacial puede, por ejemplo, ser un material que facilite o mejore la unión interfacial entre la preforma de fibra cerámica y la suspensión de matriz precerámica. A modo de ejemplo no limitativo, el material interfacial puede ser al menos uno de nitruro de boro, nitruro de silicio, carburo de silicio, nitruro de aluminio, carburo de boro y carbono. El material interfacial puede formarse en o sobre la preforma de fibra cerámica usando procesos convencionales (por ejemplo, deposición química de vapor, recubrimiento con precursores de polímeros seguido de pirólisis, etc.) y equipos, que no se describen en detalle en el presente documento.

[0035] Siguiendo la referencia a la FIG. 2, la herramienta 204 puede ser una estructura que muestre una configuración deseada (por ejemplo, tamaño y forma), que sea química y mecánicamente compatible con el material compuesto preimpregnado 202, y que sea capaz de resistir las condiciones de procesamiento (por ejemplo, temperaturas, presiones, ambiente, etc.) usado para colocar el material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la superficie 206 de la misma usando el aparato de AFP 200. La herramienta puede, por ejemplo, tener una forma tridimensional, como una forma cónica, una forma piramidal, una forma cúbica, forma cuboidal, una forma esférica, una forma hemisférica, una forma cilíndrica, una forma semicilíndrica, versiones truncadas de la misma, o una forma irregular. Las formas tridimensionales irregulares incluyen formas complejas, tales como formas asociadas con estructuras y dispositivos aeroespaciales, marinos y automotrices (por ejemplo, estructuras de escape calientes, como conductos de escape, boquillas, cubiertas de ventiladores e inversores de empuje; unidades de potencia auxiliares, fuselajes; revestimientos cónicos del ala; conos de ojiva; etc.). La superficie 206 de la herramienta 204 puede ser, por lo tanto, plana o no plana (por ejemplo, contorneada, como al menos parcialmente cóncava, al menos parcialmente convexa, o una combinación de las mismas). La herramienta 204 puede formarse usando procesos y equipos convencionales, que no se describen en detalle en el presente documento.

[0036] La herramienta 204 puede ser estacionaria o puede ser móvil. Por ejemplo, como se representa en la FIG. 2, la herramienta 204 puede estar unida de forma desmontable a un dispositivo de rotación 208 configurado para hacer girar la herramienta 204 durante la colocación del material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la misma. Si se realiza, la rotación de la herramienta 204 puede controlarse (por ejemplo, mediante un control numérico por ordenador) con respecto al aparato de AFP 200, de manera que el material compuesto preimpregnado 202 se coloca en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204 en una configuración deseada (por ejemplo, un patrón).

[0037] El aparato de AFP 200 puede ser cualquier aparato de AFP configurado y operado para colocar el material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204. Por ejemplo, el aparato de AFP 200 puede ser un aparato de AFP multiteje convencional configurado y operado para arrastrar, alinear, colocar, cortar y volver a entretejer el material compuesto preimpregnado 202. Como se muestra en la FIG. 2, el aparato de AFP 200 puede, por ejemplo, incluir un cabezal de colocación 212 configurado y operado para arrastrar el al menos un material compuesto preimpregnado 202 (por ejemplo, en forma de uno o más hilos cerámicos, cintas cerámicas, o telas tejidas cerámicas infiltradas con la suspensión de matriz precerámica) desde al menos un carrete 210, para alinear y colocar al menos una parte del material compuesto preimpregnado 202 en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204, para cortar el material compuesto preimpregnado 202 después de la colocación, y para volver a entretejer el material compuesto preimpregnado 202 para una colocación adicional según se desee. El aparato de AFP 200 también se puede configurar y operar para manipular una o más propiedades físicas (por ejemplo, adhesividad, rigidez, etc.) del material compuesto preimpregnado 202 antes y/o durante la colocación en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204. Por ejemplo, el aparato de AFP 200 se puede configurar y operar para enfriar el material compuesto preimpregnado 202 (por ejemplo, para aumentar la rigidez del mismo) a una temperatura dentro de un intervalo de aproximadamente -25 °C a aproximadamente 35 °C antes de la colocación en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204, y/o calentar el material compuesto preimpregnado 202 (por ejemplo, para aumentar la adhesividad del mismo) a una temperatura dentro de un intervalo de aproximadamente 85 °C a aproximadamente 165 °C durante la colocación en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204. La manipulación de las propiedades físicas del material compuesto preimpregnado 202 puede ocurrir en una sola parte del aparato de AFP 200 (por ejemplo, dentro del cabezal de colocación 212), o puede ocurrir en múltiples partes del aparato de AFP 200 (por ejemplo, dentro de un recinto que contiene el al menos un carrete 210, y dentro del cabezal de colocación 212). Las operaciones realizadas por el aparato de AFP 200 pueden ser sustancialmente automáticas (por ejemplo, mediante el uso de control numérico por ordenador). Ejemplos no limitativos de aparatos de AFP adecuados para su uso como el aparato de AFP 200 se describen en las patentes de los EE. UU. números 5.290.380, 6.050.315 y 6.096.164.

[0038] El aparato de AFP 200 puede colocar múltiples materiales compuestos preimpregnados 202 (por ejemplo, múltiples hilos cerámicos, cintas cerámicas y/o telas tejidas cerámicas infiltradas con la suspensión de matriz precerámica) en contacto continuo, de borde a borde, en la superficie 206 de la herramienta 204. Los múltiples materiales compuestos preimpregnados 202 pueden colocarse simultáneamente, secuencialmente o una combinación de los mismos. Además, el aparato de AFP 200 puede colocar materiales compuestos preimpregnados 202 adicionales (por ejemplo, hilos cerámicos, cintas cerámicas y/o telas tejidas cerámicas infiltradas adicionales con la suspensión de matriz precerámica) en o sobre los múltiples materiales compuestos preimpregnados 202 previamente colocados utilizando el aparato de AFP 200. En consecuencia, el aparato de AFP 200 puede colocar los materiales compuestos preimpregnados 202 en la superficie 206 de la herramienta 204 en cualquier cantidad deseada de cobertura y en cualquier espesor deseado. Los múltiples materiales compuestos preimpregnados 202 pueden formar una estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado (no mostrado) en o sobre la superficie 206 de la herramienta 204. Además, si se colocan múltiples capas (por ejemplo, pliegues) de los materiales compuestos preimpregnados 202 sobre la superficie 206 de la herramienta 204, cada capa de los materiales compuestos preimpregnados 202 puede extenderse sustancialmente en la misma dirección (por ejemplo, cada hilo cerámico, cinta cerámica y/o tela tejida cerámica infiltrada con la suspensión de matriz precerámica pueden orientarse paralelamente respecto a otro hilo cerámico, cinta cerámica y/o tela tejida cerámica infiltrada con la suspensión de matriz precerámica), o al menos una capa del material compuesto preimpregnado 202 puede extenderse en una dirección diferente de al menos otra capa del material compuesto preimpregnado 202 (por ejemplo, hilos cerámicos, cintas cerámicas y/o telas tejidas cerámicas infiltradas con la suspensión de matriz precerámica en una sola la capa puede orientarse en una dirección diferente a la de otros hilos cerámicos, cintas cerámicas y/o telas tejidas cerámicas infiltradas con la matriz precerámica en otra capa).

[0039] El proceso de disposición 102 tiene la ventaja de poder utilizar aparatos de AFP que se han utilizado en la fabricación convencional de compuestos de matriz polimérica (PMC). Si bien dichos aparatos de AFP se han usado con éxito para fabricar estructuras de PMC, las utilizaciones anteriores de dichos aparatos de AFP no reconocieron ni apreciaron el potencial de su uso para formar estructuras de CMC.

[0040] Siguiendo el proceso de disposición 102, la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado puede someterse al menos al proceso de curado 104 (FIG. 1) y al proceso de densificación 106 (FIG. 1) para formar una estructura de CMC que exhibe una configuración deseada. El proceso de curado 104 puede incluir someter la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado a al menos una de temperatura o temperaturas elevadas y presión o presiones elevadas (por ejemplo, usando un aparato de curado, tal como un

autoclave, un molde de compresión o un prensa de laminación) durante un período de tiempo suficiente para formar una estructura de material compuesto sustancialmente curada (no mostrada) que tenga suficiente integridad mecánica para ser manipulada. Como ejemplo no limitativo, si la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado está sustancialmente no curado, el proceso de curado 104 puede incluir colocar la herramienta 204 que incluye la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado formada en o sobre la misma en una bolsa de vacío, y exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado a al menos una temperatura menor o igual que aproximadamente 175 °C y a al menos una presión menor o igual que aproximadamente 100 libras por pulgada cuadrada (psi) (es decir, aproximadamente $6,89 \times 10^5$ pascales) un período de tiempo suficiente para formar la estructura de material compuesto sustancialmente curado. La estructura de material compuesto sustancialmente curado puede entonces retirarse de la herramienta 204 y someterse a un procesamiento adicional para formar la estructura de CMC, como se describe con más detalle a continuación. De forma alternativa, si la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado exhibe integridad mecánica suficiente, el proceso de curado 104 puede incluir retirar la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado de la herramienta 204, colocar la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado en otra herramienta (no se muestra) configurada para retener el material compuesto al menos parcialmente no curado, embolsar al vacío la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado y la otra herramienta, y exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado a la temperatura y presión antes mencionadas durante un período de tiempo suficiente para formar la estructura de material compuesto sustancialmente curado.

[0041] El proceso de densificación 106 puede incluir sinterizar o pirolizar la estructura de material compuesto sustancialmente curado a temperatura o temperaturas elevadas (por ejemplo, usando un aparato de densificación, tal como un horno de alta temperatura) para formar una estructura de CMC (no mostrada). Por ejemplo, si la estructura de material compuesto sustancialmente curado incluye una matriz precerámica de óxido, la estructura de material compuesto sustancialmente curado se puede sinterizar a una temperatura dentro de un intervalo de aproximadamente 1000 °C a aproximadamente 1350 °C durante un período de tiempo suficiente para formar una estructura de CMC de óxido que exhibe una cantidad deseada de porosidad, tal como de aproximadamente un 10 por ciento de porosidad a aproximadamente un 25 por ciento de porosidad. Como otro ejemplo, si la estructura de material compuesto sustancialmente curado incluye una matriz precerámica sin óxido, la estructura de material compuesto sustancialmente curado se puede pirolizar a una temperatura dentro de un intervalo de aproximadamente 600 °C a aproximadamente 1400 °C en una atmósfera ambiente inerte (por ejemplo, una atmósfera de nitrógeno, una atmósfera de argón, etc.) para convertir al menos el 70 por ciento del polímero precerámico de la matriz precerámica sin óxido en un material cerámico sin óxido y formar una estructura de CMC sin óxido. Si el proceso de pirólisis convierte menos que todo el polímero precerámico en el material cerámico sin óxido, la estructura de CMC sin óxido puede infiltrarse con un polímero precerámico adicional mediante procesos convencionales, y luego puede someterse a al menos a un proceso de pirólisis adicional hasta que la estructura de CMC sin óxido exhiba una matriz cerámica sin óxido formada por, y que incluye, una cantidad deseada del material cerámico sin óxido, tal como una matriz cerámica sin óxido formada por, y que incluye, un porcentaje mayor o igual que aproximadamente el 95 por ciento del material cerámico sin óxido.

[0042] Como se analizó previamente con respecto a la FIG. 1, siguiendo el proceso de densificación 106, la estructura de CMC puede, opcionalmente, someterse al menos a un proceso de finalización 108. El proceso de finalización 108 puede, por ejemplo, incluir uno o más de mecanizado (por ejemplo, recorte, planarización, etc.) y revestimiento de sellado (por ejemplo, si la estructura de CMC es una estructura de CMC sin óxido) de la estructura de CMC. De forma alternativa, el proceso de finalización 108 puede omitirse, y la estructura de CMC puede usarse tal cual.

[0043] Usando los procedimientos, sistemas y aparatos de la divulgación, la formación de estructuras de CMC de una amplia variedad de formas y tamaños (por ejemplo, incluyendo formas grandes y complejas asociadas con aplicaciones militares e industriales) se puede lograr de manera rápida y rentable. En consecuencia, los procedimientos, sistemas y aparatos de la divulgación pueden mejorar la asequibilidad de las estructuras de CMC, facilitando una mayor producción de estructuras aeroespaciales, marinas y automotrices que exhiben propiedades mejoradas (por ejemplo, estabilidad térmica, resistencia térmica, dureza, resistencia a la corrosión, peso, propiedades no magnéticas, propiedades no conductoras, etc.) en comparación con las estructuras aeroespaciales, marinas y automotrices correspondientes formadas por materiales que no son CMC.

[0044] El siguiente ejemplo sirve para explicar algunos modos de realización de la divulgación con más detalle. El ejemplo no debe interpretarse como exhaustivo o exclusivo en cuanto al alcance de la divulgación.

EJEMPLO

[0045] Se preparó una suspensión de matriz precerámica que incluye un sol de sílice, un relleno de alúmina, un coadyuvante de procesamiento de propilenglicol y un coadyuvante de procesamiento de alcohol polivinílico usando un proceso de molienda de bolas convencional. El sol de sílice incluía sílice coloidal disperso en agua. Las partículas de sílice coloidal constituían aproximadamente el 40 por ciento del peso total del sol de sílice, y el sol de sílice constituía aproximadamente el 28,11 por ciento del peso total de la suspensión de matriz precerámica. El

relleno de alúmina constituía aproximadamente el 59,90 por ciento del peso total de la suspensión de matriz precerámica, e incluía partículas de alúmina que tenían un diámetro medio de aproximadamente 300 nanómetros. El coadyuvante de procesamiento de propilenglicol constituía aproximadamente el 10,62 por ciento del peso total de la suspensión de matriz precerámica. El coadyuvante de procesamiento de alcohol polivinílico constituía aproximadamente el 1,37 por ciento del peso total de la suspensión de matriz precerámica.

[0046] Mil (1000) pies lineales (es decir, 304,8 metros) de una cinta de una pulgada (es decir, 25,4 milímetros) de ancho de hilos NEXTEL™ 610 de 1500 deniers cosidos juntos con una fibra de vidrio se infiltraron posteriormente con la suspensión de matriz precerámica para formar un material compuesto preimpregnado en un dispositivo de preimpregnación automatizado. La FIG. 3A es una fotografía que muestra una vista superior descendente de una parte de la cinta de hilos NEXTEL™ 610 de 1500 deniers antes de ser infiltrada con la suspensión de matriz precerámica. El material compuesto preimpregnado se arrolló en un carrete y se proporcionó a un aparato de AFP convencional configurado para arrastrar, colocar y cortar el material compuesto preimpregnado. La FIG. 3B es una vista en alzado lateral que ilustra un cabezal de colocación 312 del aparato de AFP utilizado, con el carrete 310 del material compuesto preimpregnado 302 provisto sobre el mismo.

[0047] El aparato de AFP se usó para formar ocho capas del material compuesto preimpregnado en una herramienta que muestra las dimensiones y la forma de una cubierta de popa. La FIG. 3C es una fotografía que muestra una vista en alzado lateral de las ocho capas del material compuesto preimpregnado en la herramienta. Una primera de las ocho capas se colocó en una superficie contorneada de la herramienta usando el aparato de AFP, una segunda de las ocho capas se colocó sobre la primera capa usando el aparato de AFP y las capas subsiguientes se colocaron de manera similar (por ejemplo, se colocó una tercera capa sobre la segunda capa usando el aparato de AFP, se colocó una cuarta capa sobre la tercera capa usando el aparato de AFP, etc.). Las fibras NEXTEL™ 610 de la segunda capa se orientaron en una dirección de aproximadamente +45 grados de desviación con respecto a las fibras NEXTEL™ 610 de la primera capa. A su vez, las fibras NEXTEL™ 610 de las capas posteriores (es decir, la tercera capa de las ocho capas) se orientaron en una dirección de aproximadamente -45 grados, aproximadamente 90 grados, aproximadamente 90 grados, aproximadamente -45 grados, aproximadamente +45 grados y aproximadamente 0 grados de desviación con respecto a las fibras NEXTEL™ 610 de la primera capa, respectivamente.

[0048] Después de la colocación en la herramienta, las ocho capas del material compuesto preimpregnado se envasaron al vacío y luego se curaron en un autoclave usando una temperatura máxima aplicada de aproximadamente 125 °C y una presión máxima aplicada de aproximadamente 30 psi (es decir, aproximadamente $2,07 \times 10^5$ pascales) para formar una estructura de material compuesto curado. La FIG. 3D es una fotografía que muestra una vista, en perspectiva, de la estructura de material compuesto curado. La estructura del material compuesto curado se sinterizó posteriormente usando la temperatura máxima aplicada de aproximadamente 1150 °C, y se sometió a procesos de mecanizado convencionales para formar una estructura de CMC que exhibe las dimensiones y la forma de una cubierta posterior. La FIG. 6 es una fotografía que muestra una vista en perspectiva de la estructura de CMC resultante.

[0049] Aunque la divulgación es susceptible a varias modificaciones y formas alternativas, se han mostrado modos de realización específicos a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para formar una estructura compuesta de matriz cerámica, que comprende:
 - 5 formar al menos un material compuesto preimpregnado (202) que comprende una preforma de fibra cerámica y una suspensión de matriz precerámica;
 - colocar el al menos un material compuesto preimpregnado (202) sobre al menos una superficie (206) de una herramienta (204) usando un aparato de colocación avanzada de fibra (200) para formar una estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado, comprendiendo el aparato de colocación avanzada de fibra (200):
 - 10 al menos un carrete (210) enrollado con el al menos un material compuesto preimpregnado (202); y
 - 15 un cabezal de colocación (212) configurado y operado para arrastrar el al menos un material compuesto preimpregnado (202) del al menos un carrete (210), para alinear y colocar al menos una parte del al menos un material compuesto preimpregnado (202) en o sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204), para cortar el material compuesto preimpregnado (202) después de la colocación, y para volver a entretejer el material compuesto preimpregnado (202); y
 - 20 exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado al menos a temperaturas elevadas para convertir la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado en una estructura compuesta de matriz cerámica.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que colocar el al menos un material compuesto preimpregnado (202) sobre al menos una superficie (206) de una herramienta (204) comprende colocar el al menos un material compuesto preimpregnado (202) sobre una superficie contorneada (206) de la herramienta (204) usando el aparato de colocación avanzada de fibra (200).
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que colocar el al menos un material compuesto preimpregnado (202) sobre al menos una superficie (206) de una herramienta (204) comprende colocar múltiples materiales compuestos preimpregnados (202) sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204) usando el aparato de colocación avanzada de fibra (200).
4. El procedimiento según la reivindicación 3, en el que colocar múltiples materiales compuestos preimpregnados (202) sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204) usando el aparato de colocación avanzada de fibras (200) comprende:
 - 40 colocar una primera capa de materiales compuestos preimpregnados (202) sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204) usando el aparato de colocación avanzada de fibras (200); y
 - 45 colocar una segunda capa de materiales compuestos preimpregnados (202) sobre la primera capa de materiales compuestos preimpregnados (202) en una orientación diferente usando el aparato de colocación avanzada de fibras (200).
5. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la formación de al menos un material compuesto preimpregnado (202) comprende infiltrar al menos uno de un solo hilo de fibras cerámicas, una cinta de múltiples hilos de fibras cerámicas y una tela tejida de múltiples hilos de fibras cerámicas con la suspensión de matriz precerámica.
6. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que formar al menos un material compuesto preimpregnado (202) comprende infiltrar una preforma de fibra cerámica basada en óxido con una suspensión de matriz precerámica basada en óxido, comprendiendo la preforma de fibra cerámica basada en óxido fibras cerámicas de óxido y comprendiendo la matriz precerámica a base de óxido un sol de cerámica de óxido y un relleno de cerámica de óxido.
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que las fibras cerámicas de óxido comprenden al menos una de fibras de alúmina, fibras de alúmina-sílice y fibras de alúmina-óxido de boro-sílice.
8. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el sol de cerámica de óxido comprende un sol de sílice, y en el que el relleno de cerámica de óxido comprende partículas de al menos uno de alúmina, sílice y dióxido de zirconio.

- 5
9. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la matriz precerámica basada en óxido comprende, además, un material orgánico soluble en agua formulado para aumentar al menos una de las propiedades de rigidez, adhesividad y resistencia ambiental del al menos un material compuesto preimpregnado (202) antes y durante la colocación sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204).
- 10
10. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado al menos a temperaturas elevadas para convertir la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado en una estructura compuesta de matriz cerámica comprende:
- 10
- curar la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado para formar una estructura de material compuesto sustancialmente curado; y
- sinterizar la estructura de material compuesto sustancialmente curado para formar la estructura compuesta de matriz cerámica.
- 15
11. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que formar al menos un material compuesto preimpregnado (202) comprende infiltrar una preforma de fibra cerámica no basada en óxido con una suspensión de matriz precerámica no basada en óxido, comprendiendo la preforma de fibra cerámica no basada en óxido fibras cerámicas sin óxido, y comprendiendo la suspensión de matriz precerámica sin base de óxido un polímero precerámico sin óxido y un relleno cerámico sin óxido.
- 20
12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que las fibras cerámicas sin óxido comprenden al menos una de fibras de carburo de silicio, fibras de nitruro de silicio, fibras que comprenden carburo de silicio sobre un núcleo de carbono, fibras de carburo de silicio que contienen titanio, fibras de oxicarbonuro de silicio, fibras de oxicarbonitruro de silicio y fibras de carbono.
- 25
13. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que el polímero precerámico sin óxido comprende al menos uno de un polisiloxano, un polisilazano, un polisilano, un policarbosilano, un policarbosilazano y un polisilsesequioxano, y en el que el relleno cerámico de óxido comprende al menos uno de carburo de silicio, nitruro de silicio, hexaboruro de silicio, nitruro de boro, carburo de boro, boruro de titanio, carburo de titanio, carburo de hafnio y nitruro de aluminio.
- 30
14. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que el polímero precerámico sin óxido se formula para aumentar al menos una de las propiedades de rigidez, adhesividad y resistencia ambiental del al menos un material compuesto preimpregnado (202) antes y durante la colocación sobre la al menos una superficie (206) de la herramienta (204).
- 35
15. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que exponer la estructura de material compuesto al menos parcialmente sin curar al menos a temperaturas elevadas para convertir la estructura de material compuesto al menos parcialmente sin curar en una estructura compuesta de matriz cerámica comprende:
- 40
- curar la estructura de material compuesto al menos parcialmente no curado para formar una estructura de material compuesto sustancialmente curado; y
- 45
- pirolizar la estructura de material compuesto sustancialmente curado para convertir el polímero precerámico sin óxido en un material cerámico sin óxido y formar la estructura compuesta de matriz cerámica.

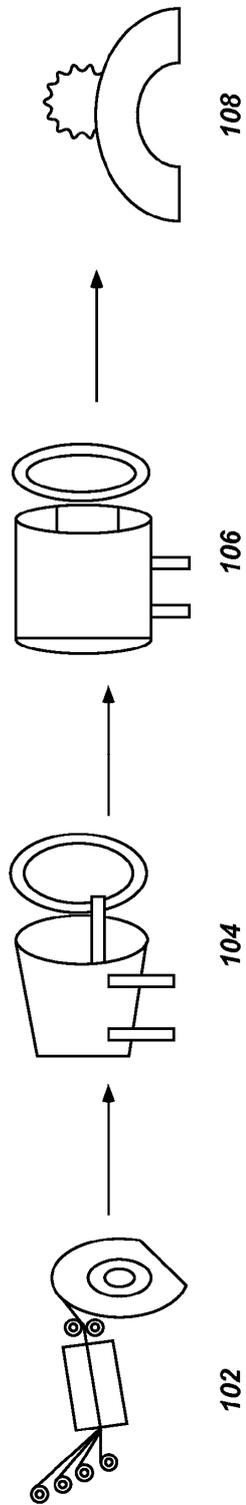


FIG. 1

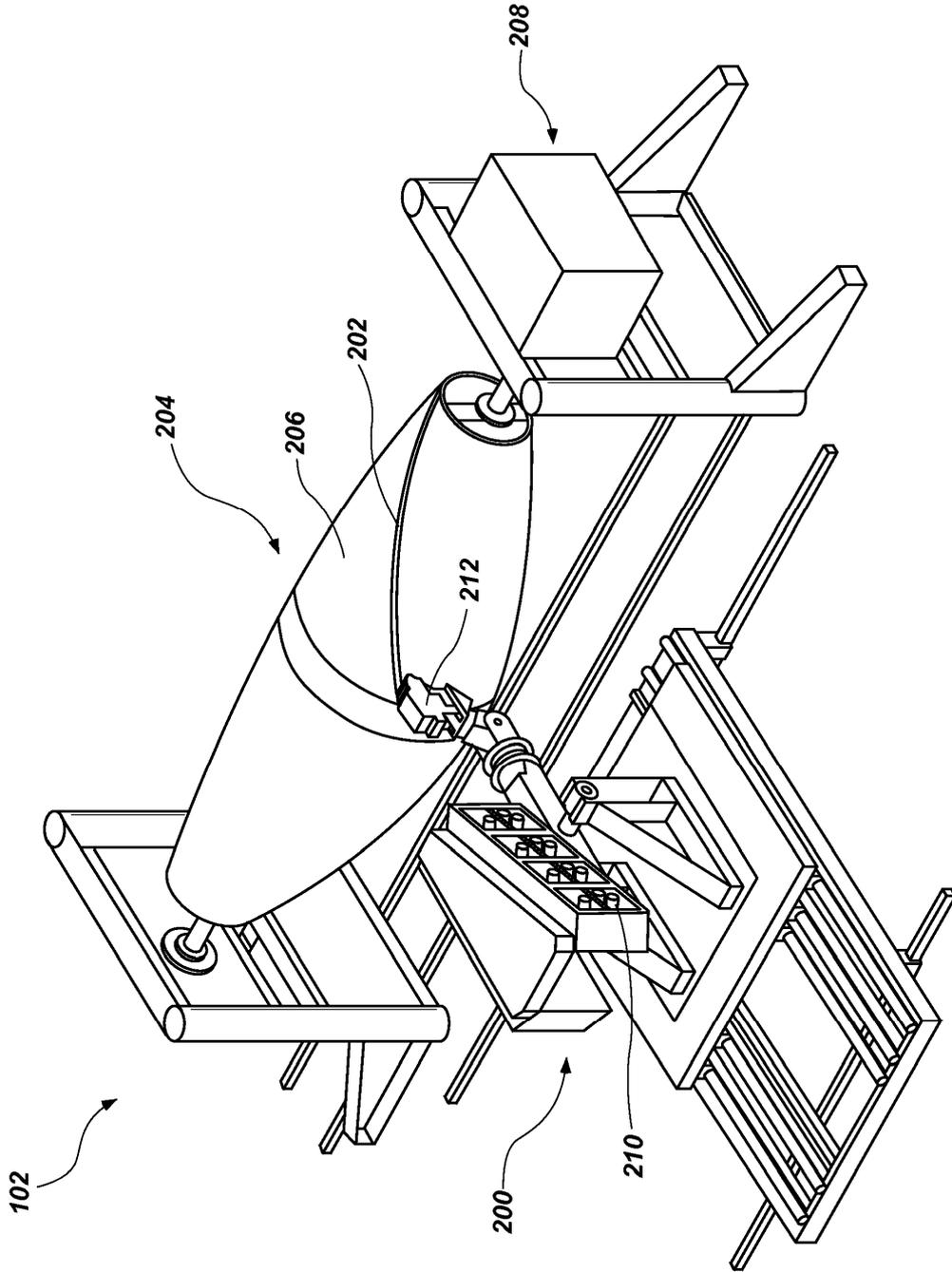


FIG. 2

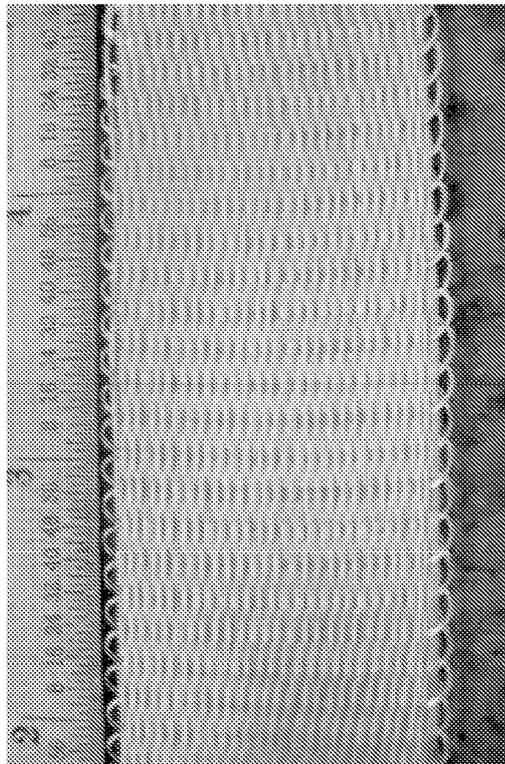


FIG. 3A

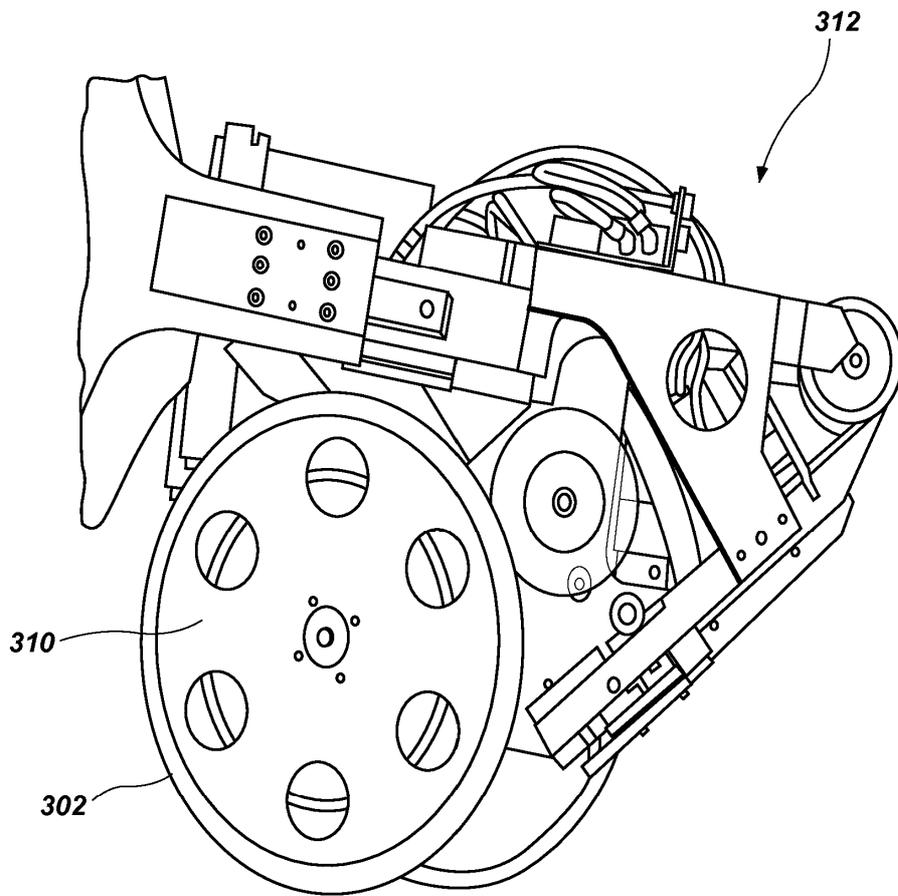


FIG. 3B

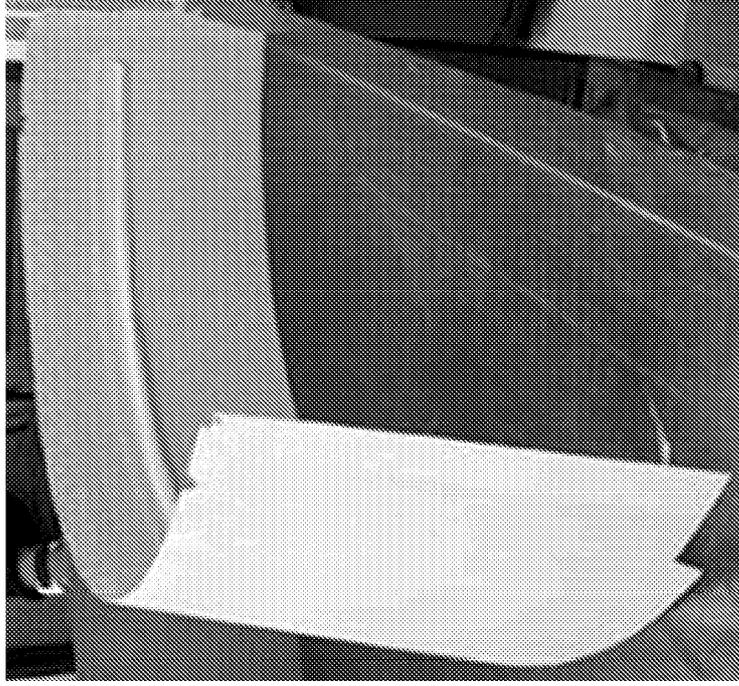


FIG. 3D

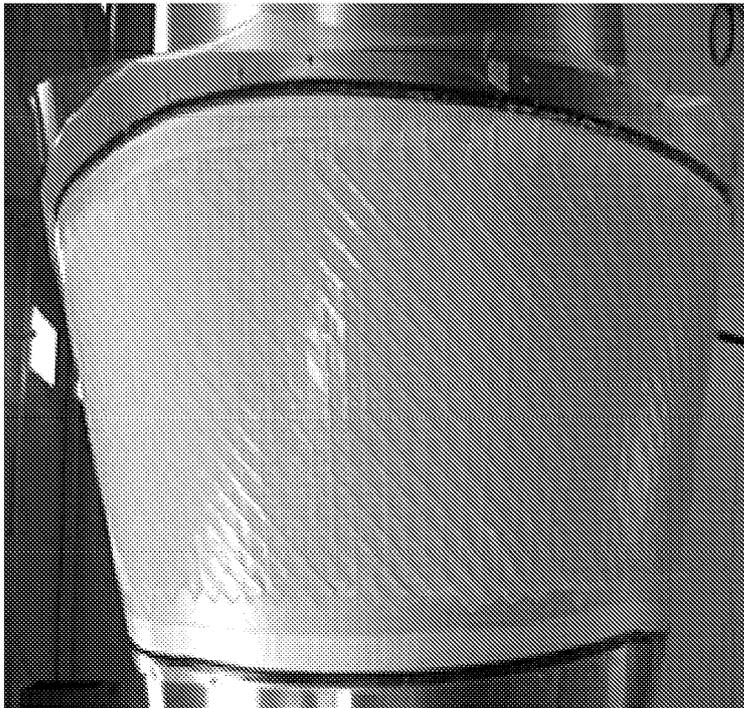


FIG. 3C

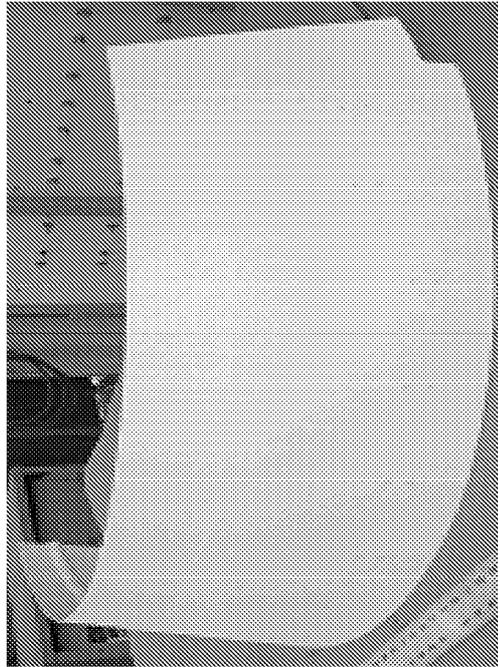


FIG. 3E