(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 722 626**

(51) Int. CI.:

C09J 1/00	(2006.01)	***B32B 15/14***	(2006.01)
C09J 9/02	(2006.01)		
C08J 7/04	(2006.01)		
C08K 3/00	(2008.01)		
C08K 3/10	(2008.01)		
F41H 5/04	(2006.01)		
C22F 1/00	(2006.01)		
B32B 5/16	(2006.01)		
B32B 5/28	(2006.01)		
B32B 7/10	(2006.01)		

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.11.2003 PCT/US2003/035160**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2004 WO04041951**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2003 E 03786580 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 1565535**

(54) Título: **Estructura compuesta polimérica reforzada con aleación con memoria de forma y método de fabricación de la misma**

(30) Prioridad:

04.11.2002 US 287561

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.08.2019

(73) Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US

(72) Inventor/es:

SCHNEIDER, TERRY, L.

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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

Estructura compuesta polimérica reforzada con aleación con memoria de forma y método de fabricación de la misma

La presente invención se refiere a estructuras compuestas poliméricas, y más particularmente a una estructura compuesta polimérica que tiene una capa intermedia de matriz de resina infundida con partículas de aleación con memoria de forma para mejorar significativamente la resistencia a daños, la tolerancia a daños (por ejemplo, la resistencia a la compresión después del impacto) y el rendimiento de la estructura a temperatura elevada.

Los materiales compuestos poliméricos seleccionados y cualificados para diversas aplicaciones, como las aplicaciones de estructura primaria en la fabricación de aeronaves, se evalúan por dos propiedades mecánicas clave: resistencia a la compresión después del impacto (CAI) y resistencia a la compresión en caliente y húmedo, y más específicamente la resistencia a la compresión en orificio abierto (OHC). Sin embargo, los medios para aumentar la resistencia a la CAI de un material compuesto y la resistencia a la OHC en caliente y húmedo han sido típicamente contraproducentes entre sí. Más específicamente, los métodos tradicionales de endurecimiento de la capa intermedia de partículas que utilizan partículas de polímero de base termoplástica o elastomérica han sido efectivos para aumentar la resistencia a CAI de un compuesto, pero no son en general efectivos para aumentar simultáneamente la resistencia a la compresión en caliente y húmedo (por ejemplo, OHC en caliente y húmedo) y, más normalmente, dan lugar a una relación de compensación entre sí.

Los métodos convencionales utilizados para aumentar las propiedades de resistencia a la compresión en caliente y húmedo de un compuesto de polímero generalmente han involucrado el aumento de la densidad de entrecruzamiento de la matriz de la resina para aumentar el módulo de elasticidad de la resina o al reducir las características de absorción de agua de la matriz mediante una formulación adecuada de la química específica de la resina. Esfuerzos *asociados con el aumento de la densidad de entrecruzamiento de la matriz para aumentar la resistencia a la compresión en caliente y húmedo, dan generalmente como resultado un compuesto que tiene propiedades CAI reducidas.

Por consiguiente, sería altamente deseable proporcionar un material compuesto de polímero que tenga una estructura de capa intermedia que mejore significativamente la tenacidad del material de capa intermedia y, por lo tanto, aumente su resistencia a CAI, sin la característica negativa de degradar la resistencia de compresión en caliente y húmedo de la capa intermedia.

Con el fin de endurecer la capa intermedia de matriz compuesta lo suficiente para mejorar su resistencia a CAI, se apreciará que se sabe que las aleaciones con memoria de forma (SMA) tienen propiedades únicas, "superelásticas". Una SMA común disponible en el mercado es Nitinol®, una aleación de titanio y níquel. Esta aleación particular, así como otros materiales SMA, pueden experimentar un cambio de fase atómica desde una fase austenítica de módulo más alto, cuando está en un estado de tensión cero, a un fase martensítica de “módulo más suave", después de la aplicación de una carga o tensión. Una vez que se elimina la carga o la tensión, la aleación puede volver a su estado austenítico de módulo superior, libre de tensión y original. En el proceso de absorción de la energía de la tensión inducida, el metal se deforma temporalmente de manera similar a un elastómero. Este cambio de fase inducido por la tensión para la aleación Nitinol® es reversible y repetible sin deformación permanente del metal hasta aproximadamente 8-10% de niveles de deformación. La aleación Nitinol® también puede absorber (es decir, almacenar) cinco veces la energía del acero y aproximadamente tres veces la energía del titanio. A continuación, se muestra una comparación de la capacidad superior de la aleación de Nitinol® (NITI) para absorber energía en relación con otros materiales:

Material	Tensión Máxima de Recuperación*	Energía almacenada
Acero	0.8%	8 Julios/cc
Titanio	1.7%	14 Julios/cc
Nitinol®	10.0%	42 Julios/cc
* recuperación elástica máxima reversible sin deformación permanente de compensación por deformación.		

En vista de lo anterior, sería altamente deseable proporcionar una estructura compuesta polimérica que tenga una capa intermedia de matriz que proporcione las propiedades superelásticas de un SMA, pero que no aumente significativamente el peso de la estructura general, y también que no afecte negativamente la resistencia de compresión caliente-húmeda de la capa intermedia de matriz.

DATABASE WPI Section Ch, Week 199411 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class A85, AN 1994-086773 XP002277652 & JP 06036613 A (ROHM CO LTD), 10 de febrero de 1994 (1994-02-10), proporcionan un material de

junta electrónica que tiene la capacidad de garantizar la ausencia de un defecto de conductividad debido a la ocurrencia de una brecha entre los conductores, incluso en un entorno de servicio tal que genera un ciclo térmico, y además asegura la resistencia a la vibración mejorada de una sección de unión dispersando las partículas de una capa de memoria de forma conductora en un material de base de resina aislante. Con respecto a un material de unión de pieza electrónica que comprende partículas conductoras dispersas y contenidas en un material de base de resina aislante, las partículas de una aleación con memoria de forma conductora se utilizan como partículas conductoras. La resina epoxi, poliéster, polietileno o similares se pueden enumerar como el material base de resina de aislamiento. Además, una aleación de Ti-Ni, Ag-Cd, Au-Cd, In-Tl, Ti-Ni-Cu o similares se puede enumerar, por ejemplo, como la aleación con memoria de forma conductora. Documento de la Patente de Estados Unidos 5,804,276, publicado el 8 de septiembre de 1998, describe una estructura compuesta y un método de fabricación relacionado que tiene una pluralidad de capas de material compuesto y al menos un componente de aleación con memoria de forma integrado para proporcionar una deformación estructural controlada. El componente de aleación con memoria de forma incluye un tendón de aleación con memoria de forma que tiene una forma relajada a temperaturas por debajo de una temperatura de transición predeterminada y una forma contraída a temperaturas por encima de la temperatura de transición predeterminada. El componente de aleación con memoria de forma también comprende un par de láminas de cara opuesta eléctricamente aislantes adheridas a lados opuestos del tendón de aleación con memoria de forma para aislar eléctricamente el tendón de aleación con memoria de forma de las capas de material compuesto que lo rodean. El componente de aleación con memoria de forma está incrustado dentro de la pluralidad de capas de material compuesto, de manera que el aumento de la temperatura del tendón de aleación con memoria de forma por encima de la temperatura de transición crea una deformación estructural controlada tanto del componente de aleación con memoria de forma como de las capas de material compuesto circundantes.

DATABASE WPI Section Ch, Week 199237 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class A 18, AN 1992-302639 XP002277653 and JP 04207100 A, publicadas el 29 de julio de 1992, divulgan una composición que contiene una matriz de resina y una carga electroconductora dispersa en la matriz de resina. La carga electroconductora consiste en fibra de metal compuesta de una aleación con memoria de forma que tiene la propiedad de recuperar la forma memorizada inicial por calentamiento. La aleación con memoria de forma es, por ejemplo, la base de Ti-Ni, la base de Cu-Zn-Al o la aleación de base de Cu-Al-Ni, y puede tener la forma de una placa, alambre o varilla, etc. Tiene la longitud de decenas de micras a varios mm y diámetro de varios micrones a varios cientos de micrones. La matriz de resina es, por ejemplo, polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliestireno, resina ABS, resina de óxido de polifenileno modificado o resina de fenol, etc. USO/VENTAJA: La composición de resina electroconductora con electroconductividad se puede obtener incluso cuando la cantidad de adición de la carga electroconductora es pequeña, y la composición de resina electroconductora se puede producir económicamente con una cantidad de adición pequeña de las cargas electroconductoras.

El documento de Patente de Estados Unidos 5,614,305, publicado el 25 de marzo de 1997, describe un material polimérico reforzado con fibra que tiene una resistencia al impacto y una resistencia a la deslaminación y perforación mejoradas cuando las fibras que presentan transformaciones de fase de martensita se incorporan al material compuesto. Al incrustar o "hibridar" un laminado compuesto quebradizo con fibras que exhiben transformaciones de fase de martensita, la resistencia al impacto del compuesto se puede mejorar más allá de lo que es actualmente posible. Durante un evento de impacto, se forman altas tensiones localizadas en el punto de contacto del objeto y del laminado. Al sufrir una transformación de la fase de martensita inducida por el estrés, las fibras que presentan transformaciones de la fase de martensita disipan una gran cantidad de energía de tensión. La transformación de fase permite a las fibras acomodar hasta un 8% de tensión reversible y hasta un 20% de tensión final. La energía de impacto se disipa más fácilmente por las fibras que exhiben transformaciones de fase de martensita que por el material compuesto huésped o por otros materiales de hibridación. La energía de deformación por impacto disipada por las fibras que exhiben la transformación de la fase de martensita no está disponible para iniciar el daño al material compuesto del huésped. Además, las fibras que presentan transformaciones de fase de martensita tienen propiedades de rigidez y resistencia superiores a las de los agentes endurecedores compuestos convencionales, como los elastómeros y los polímeros simples.

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas. Se proporciona una estructura compuesta que tiene una capa intermedia que está reforzada con partículas de aleación con memoria de forma (SMA). El uso de partículas SMA en la capa intermedia mejora significativamente la resistencia al daño y la tolerancia al daño (por ejemplo, la resistencia a la compresión después del impacto (CAI)) de la capa intermedia sin afectar negativamente su resistencia a la compresión caliente-húmeda.

En una forma preferida, la estructura compuesta polimérica comprende partículas de aleación de titanio-níquel, y más preferiblemente partículas formadas a partir de aleación de Nitinol®. Las partículas de aleación de titanio y níquel tienen propiedades de deformación reversibles y superelásticas similares a las partículas termoplásticas elastoméricas o poliméricas más tradicionalmente utilizadas en la capa intermedia de una estructura compuesta polimérica, pero no afectan negativamente la resistencia a la compresión en caliente-húmeda de la capa intermedia. El resultado es un material compuesto de polímero que tiene una capa intermedia que es capaz de absorber aún más efectivamente las tensiones de impacto, endureciendo así el material compuesto, sin afectar negativamente su resistencia a la compresión caliente-húmeda.

En una realización preferida, las partículas de aleación de Nitinol® se dispersan generalmente de manera uniforme a lo largo de una capa de matriz de resina de la estructura compuesta polimérica. En una forma preferida, las partículas de aleación Nitinol® comprenden partículas que tienen un diámetro de sección transversal no mayor que aproximadamente 50 micrones y tan pequeñas como nanómetros en el diámetro de sección transversal. Las partículas pueden formarse en formas cilíndricas, ovales o esféricas, o virtualmente cualquier otra forma.

En una realización preferida, todas las distintas capas intermedias de resina incluyen partículas de SMA en una fase austenítica. En una realización preferida alternativa, se proporciona una pluralidad de capas intermedias de matriz distintas en una estructura compuesta polimérica. Al menos una de las capas intermedias incluye partículas de SMA proporcionadas en una fase austenítica y al menos una capa incluye partículas de SMA proporcionadas en una fase martensítica a la misma temperatura, dependiendo de la temperatura de transformación intrínseca de las partículas de SMA.

En otra forma preferida alternativa, se proporciona una estructura compuesta avanzada de material laminado híbrido de fibra-metal en donde se proporcionan una o más capas intermedias que tienen partículas de SMA para unir una o más capas de metal y capas de fibra para formar una estructura compuesta unitaria.

En otra forma preferida alternativa, las distintas capas intermedias de resina y partícula incluyen partículas de SMA en baja concentración con respecto a una matriz de capa intermedia "rica en resina". En una forma preferida alternativa, las distintas capas intermedias de resina y partícula incluyen partículas SMA en alta concentración como una capa intermedia SMA "rica en partículas", relativa a la matriz de la capa intermedia de resina, abordando la morfología de una capa intermedia continua de metal similar a los laminados de fibra de metal. Se entenderá que es posible un rango de concentraciones de partículas de SMA dentro de la capa intermedia de la matriz de resina de baja a alta, proporcional al volumen de la matriz de resina, dependiendo de las propiedades deseadas del laminado compuesto resultante.

Otras áreas de aplicabilidad de la presente invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada que se proporciona a continuación. Debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos tienen el propósito de ilustrar solamente y no pretenden limitar el alcance de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se comprenderá más completamente a partir de la descripción detallada y los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una vista lateral en sección transversal de una parte de una estructura compuesta polimérica de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;

La Figura 2 es una vista en perspectiva de una partícula de SMA cilíndrica (es decir, en forma de filamento) utilizada en la capa intermedia de matriz de resina de la estructura compuesta que se muestra en la Figura 1;

La Figura 3 es una vista en perspectiva de una partícula de SMA de forma ovalada que puede usarse en la capa intermedia de matriz de resina de la estructura mostrada en la Figura 1;

La Figura 4 es una vista en planta de una partícula esférica de SMA que puede usarse en la capa intermedia de matriz de resina de la estructura de la Figura 1;

La Figura 5 es una vista lateral en sección transversal de una forma preferida alternativa de la estructura compuesta polimérica de la presente invención que ilustra el uso de capas intermedias distintas que tienen partículas de SMA en fase austenítica y martensítica; y

La Figura 6 es una vista lateral en sección transversal de una estructura compuesta avanzada, laminada, de fibra de metal, laminada de acuerdo con una realización alternativa preferida de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La siguiente descripción de la(s) realización(es) preferida(s) tiene meramente naturaleza de ejemplo y de ninguna manera pretende limitar la invención, su aplicación o usos.

Con referencia a la Figura 1, se muestra una estructura 10 compuesta polimérica de acuerdo con una realización preferida de la presente invención. La estructura 10 compuesta incluye una primera capa 12 de fibra (es decir, una capa), una segunda capa 14 de fibra (capa) y una capa o compuesto 16 de matriz de resina para unir las capas 12 y 14 entre sí para formar una única estructura o material compuesto unitario. Cada una de las capas 12 y 14 está compuesta típicamente por una pluralidad de elementos de fibra o filamentos. La capa 12 se muestra con fibras de 0º y la capa 14 con fibras de 90º (es decir, fibras orientadas a 90º de las de la capa 12). Sin embargo, se apreciará que la disposición particular de las fibras de cada capa 12 y 14 podría variarse para satisfacer las necesidades de una aplicación particular, y que la disposición de las fibras de las capas 12 y 14 en un ángulo de 90º entre sí es solo para fines de ejemplo.

La capa 16 de matriz de resina está compuesta por un material 18 de resina dentro del cual se dispersa una pluralidad de partículas 20 de aleación con memoria de forma (SMA). El material 18 de resina puede comprender varias matrices de polímeros termoestables o termoplásticos o cualquier otra resina adecuada para formar un polímero estructura compuesta. Las partículas 20 de SMA preferiblemente se dispersan generalmente de manera uniforme a través de la capa 16 intermedia de matriz de resina y pueden variar desde una concentración de partículas muy baja a muy alta con respecto a la capa intermedia de matriz de resina. Las partículas 20 de SMA pueden comprender uno cualquiera de una pluralidad de materiales que generalmente se reconoce que caen dentro de la clase de "aleaciones con memoria de forma", pero en una forma preferida las partículas 20 comprenden partículas de aleación de níquel-titanio conocidas con el nombre comercial "Nitinol®". " Las partículas 20 de SMA tienen propiedades de deformación superelástica y reversible sin deformación permanente en el estado austenítico que sirven efectivamente para reforzar la capa 16 intermedia y mejorar significativamente la resistencia al daño y la tolerancia al daño (por ejemplo, la resistencia a la compresión después del impacto (CAI)) de la capa intermedia 16 sin afectar negativamente a la resistencia a la compresión caliente-húmeda de la capa intermedia. Esto es importante porque el aumento de la resistencia a CAI de la capa intermedia sirve para endurecer la capa intermedia contra la microrruptura y la deslaminación, pero sin el impacto negativo de reducir la resistencia a la compresión en caliente-humedo de la estructura 10 compuesta polimérica completa. Esto se debe en parte al hecho de que el uso de las partículas 20 de SMA elimina la necesidad de usar partículas elastoméricas tales como caucho o partículas termoplásticas como el nylon, que se usan más típicamente para fortalecer la capa intermedia de laminado compuesto, pero que se sabe que absorben agua en la resina 18, y por lo tanto el resultado es una reducción de la resistencia a la compresión en caliente-húmeda de la capa 16 intermedia. Las partículas de SMA, y en particular la aleación Nitinol®, no absorben agua y, por lo tanto, no afectan negativamente la resistencia a la compresión en caliente-húmeda de la capa 16 intermedia.

También se apreciará que el uso de partículas metálicas de SMA como aditivo de resina proporciona el beneficio adicional de servir para dispersar la energía de una carga eléctrica, tal como por ejemplo un impacto de rayo, más uniformemente en toda la estructura 10 compuesta. Esto es particularmente importante en aplicaciones aeroespaciales donde la estructura 10 compuesta se utilizará para formar una parte de una aeronave que podría experimentar un impacto de rayo durante la operación. Las partículas 20 de SMA sirven efectivamente para dispersar o disipar la carga eléctrica en un área mayor de la estructura 10 compuesta, reduciendo así la posibilidad de daños en una parte localizada de la estructura.

Otra ventaja significativa de las partículas 20 de SMA es que no aumentan tangiblemente el peso total de la estructura 10 compuesta debido a las ganancias resultantes en la resistencia total del compuesto en condiciones de calor/humedad que típicamente limitan la envolvente de rendimiento para estructuras compuestas de polímeros. De nuevo, esto es particularmente importante en aplicaciones aeroespaciales donde los componentes ligeros, pero estructuralmente fuertes, son muy importantes. Además, el uso de partículas 20 de SMA en la capa intermedia de matriz no requiere una modificación significativa de los procesos de fabricación de piezas compuestas existentes donde las estructuras compuestas se forman utilizando materiales preimpregnados y se incorporan fácilmente a procesos de fabricación de piezas compuestas avanzadas que no involucran formas de materiales preimpregnados (por ejemplo, moldeado por transferencia de resina (RTM), moldeado por transferencia de resina asistido por vacío (VARJM), infusión de resina, etc.).

Con referencia a las Figuras 2-4, se ilustran diversas formas representativas de las partículas 20 de SMA. La Figura 2 ilustra una partícula 20a de SMA de forma cilíndrica, la Figura 3 ilustra una partícula 20b de forma ovalada, y la Figura 4 ilustra una partícula 20c de SMA de forma esférica. Se apreciará que otras variaciones de estas formas podrían usarse con la misma facilidad, y también podrían emplearse mezclas de partículas 20 de SMA con formas diferentes. El diámetro de la sección transversal de las partículas 20 de SMA puede variar considerablemente, pero en una forma preferida está en el rango de alrededor de 50 micras (50×10^{-6} metros) y 0.005 micras (5×10^{-9} metros).

El uso de la aleación Nitinol® como material SMA proporciona una resistencia significativa al daño por impacto de la estructura 10 compuesta. Esto se debe a que la aleación Nitinol® es capaz de absorber un grado significativo de impacto y deformación debido a sus altas propiedades de elongación. La aleación Nitinol® proporciona propiedades de deformación reversibles de hasta un 8-10% de deformación sin deformación permanente (o compensación de deformación) cuando se encuentra en su fase austenítica. Esto proporciona una resistencia significativa al impacto de velocidad de carga. La aleación Nitinol® también proporciona una propiedad de deformación no reversible que permite hasta 20-25% de alargamiento a falla, para una resistencia al impacto a alta velocidad. La aleación Nitinol® también tiene importantes propiedades de amortiguación de vibraciones, mientras que en el estado martensítico ayuda a mejorar la vida de fatiga de la estructura 10 compuesta, que es una característica especialmente deseable para las estructuras de aviones y naves espaciales.

Con referencia ahora a la Figura 5, se muestra una estructura 100 compuesta polimérica que incorpora capas de fibra o capas 102, 104, 106, 108 y 110, representando la capa 102 de fibra una capa más externa y representando la capa 110 una capa más interna. Estas capas 102-110 están separadas por capas 112, 114, 116 y 118 intermedias de matriz de resina. Mientras que las capas 102, 104, 106, 108 y 110 de fibra se muestran con fibras dispuestas en ángulos de 90º con respecto a cada capa, se apreciará que se podrían emplear diversos otros arreglos. En esta realización, las capas 112 y 114 intermedias de matriz de resina están compuestas por partículas SMA 120, tales como partículas de aleación Nitinol®, en la fase austenítica. Sin embargo, las capas 116 y 118 intermedias de matriz de resina están

compuestas por partículas 122 de SMA en la fase martensítica. La aleación Nitinol® en la fase austenítica tiene propiedades superelásticas (es decir, reversibles, propiedades de deformación) y puede resistir impactos sin deformación permanente (por ejemplo, hasta un 10% de niveles de deformación). La aleación Nitinol® también puede absorber vibraciones y golpes significativos y, por lo tanto, evita la deformación permanente de las capas 112 y 114. La aleación Nitinol® en la fase martensítica, sin embargo, tiene una capacidad de amortiguación específica (SDC) extremadamente alta y es capaz de amortiguar las energías de impacto (es decir, choque) para proteger contra la deslaminación de las capas independientes de la estructura 100 compuesta. Efectivamente, la aleación Nitinol® en la fase martensítica actúa como un amortiguador de energía de vibración/choque (es decir, sumidero) para ayudar a disipar significativamente las energías de impacto experimentadas por la estructura 100 compuesta. Dependiendo de la aplicación de la estructura compuesta, la temperatura de transformación de las partículas de Nitinol® utilizadas puede seleccionarse de modo que la SMA esté en el estado atómico deseado (austenítico o martensítico) para obtener las propiedades y el rendimiento deseados del material.

Con referencia ahora a la Figura 6, se muestra una estructura 200 compuesta de acuerdo con otra realización preferida alternativa de la presente invención. La estructura 200 compuesta forma una estructura compuesta híbrida, avanzada, de laminado de fibra de metal. La estructura 200 incluye una capa 202 metálica, una capa 204 de fibra y otra capa 206 metálica. La capa 204 de fibra está intercalada entre las capas 202 metálicas a través de un par de capas 208 y 210 intermedias de matriz de resina. Cada una de las capas 208 y 210 intermedias de matriz de resina incluye una pluralidad de partículas 212 SMA formadas dentro de una resina 214 adecuada. De nuevo, las partículas SMA pueden comprender partículas de aleación Nitinol® en los estados austenítico o martensítico, dependiendo del uso previsto de la aplicación.

En cada una de las realizaciones descritas anteriormente, se apreciará que la cantidad de partículas de SMA por volumen en una capa intermedia de matriz de resina dada puede variar significativamente para adaptarse a las necesidades de una aplicación específica. Típicamente, sin embargo, la capa intermedia de la matriz de resina comprenderá aproximadamente del 3% al 30% de partículas de SMA en volumen, pero estas partículas pueden utilizarse en concentraciones significativamente más altas como una capa discontinua y rica en partículas que se aproxima a la morfología similar a una capa metálica discreta y continua. como en laminados de fibra de metal. Alternativamente, una concentración menor de las partículas 20 de SMA podría usarse tan fácilmente como para adaptarse a una aplicación específica. Si bien la aleación Nitinol® es una SMA particularmente deseable, se apreciará que otras SMA como Ni-Ti-Cu, Cu-Al-Ni-Mn y una aleación de titanio beta pseudoelástica libre de níquel desarrollada recientemente también se pueden usar con la presente invención.

El uso de la aleación Nitinol® como material SMA también proporciona una serie de ventajas adicionales. La aleación Nitinol® tiene una excelente resistencia a la corrosión y alta resistencia al desgaste (es decir, a la erosión), en relación con el acero. La resistencia al desgaste de la aleación Nitinol® es 10 veces mayor que la del acero. Cuando se agrega Nitinol® a un material compuesto de polímero termoestable, puede mejorar las propiedades G_{1c}/G_{11c} (es decir, las propiedades mecánicas que reflejan la resistencia a la fractura) del material compuesto. La aleación Nitinol®., como se mencionó anteriormente, también proporciona una conductividad eléctrica significativamente mejorada para la estructura compuesta para así mejorar su durabilidad con respecto a los rayos repetidos. La durabilidad general de la superficie exterior del compuesto también se mejora (es decir, con respecto al desgaste y la resistencia a la erosión).

Otras ventajas adicionales del uso de la aleación Nitinol® para las partículas de SMA es que el uso de la aleación Nitinol® tiene poco impacto en los procesos de fabricación actuales. Más específicamente, la aleación Nitinol® no requiere modificaciones significativas a ATLM (Mecanizado automatizado de colocación de cintas), formación de cortinas en caliente, colocación avanzada de fibra (AFP) y operaciones de colocación manual. El uso de la aleación Nitinol® también es fácilmente aplicable al moldeo por transferencia de resina (RTM), al moldeo por transferencia de resina asistido por vacío (VARTM) y al proceso de moldeo por inyección de resina del compuesto de Seamann (SCRIMP), donde las partículas de aleación de Nitinol® se agregan a la superficie de las fibras preformadas o particiones entre las capas de las capas de la preforma antes de los procesos de impregnación de resina. Otro beneficio único del uso de una estructura compuesta endurecida por partículas SMA sería su capacidad para ser utilizada en una forma equivalente a los materiales preimpregnados que se usan actualmente (es decir, La cinta unidireccional y los materiales preimpregnados de tela) sin afectar los procesos actuales de la máquina. El compuesto endurecido por partículas SMA también podría actuar como un reemplazo “directo” de los materiales actuales utilizados en procesos como el mecanizado automatizado de colocación de cintas (ATLM), colocación avanzada de fibra. (AFP), conformación de cortinas calientes y disposición manual convencional. Como se apreciará, el uso de partículas SMA dentro de las capas intermedias de una estructura compuesta tiene ventajas específicas significativas para las estructuras de aeronaves. Las características de amortiguación de la vibración de las partículas de aleación Nitinol® mejorarán significativamente la vida útil de la fatiga de las estructuras de las aeronaves. En aplicaciones espaciales, donde típicamente se someten estructuras compuestas rígidas para las vibraciones acústicas y estructurales extremas durante el lanzamiento, las partículas de aleación Nitinol® proporcionarán una protección adicional contra la deslaminación y la fractura de las capas intermedias.

También se apreciará que el uso de partículas de aleación Nitinol® proporciona importantes ventajas de fabricación adicionales. Actualmente, no es práctico (o posible) utilizar fibras de aleación Nitinol® alargadas (es decir, "cables"), o cualquier cable SMA, para la fabricación de piezas compuestas con contornos reales para endurecer dichas piezas. Debido a la naturaleza misma del cable SMA, el cable no se ajustará y permanecerá conforme a la forma de un molde

de parte no plano (es decir, contorneado) durante la fabricación de la parte debido a sus propiedades superelásticas. Esto se debe a que el cable SMA se endereza inmediatamente después de doblarse, una vez que se elimina la presión.

En segundo lugar, actualmente no existe una fuente comercial conocida de alambre de aleación de Nitinol® superelástico suministrado en forma de cinta, similar a la cinta preimpregnada de fibra de carbono unidireccional. Esto se debe probablemente a la dificultad de proporcionar un producto de este tipo, ya que el material se desprendería como un resorte suelto debido a las propiedades de SMA de los cables. Además, los filamentos de SMA probablemente no se mantendrían uniformemente colimados en tal forma material. Se apreciará que el material preimpregnado de fibra de carbono se fabrica con filamentos de carbono que están altamente colimados de forma unidireccional en forma de cinta y se mantienen con tolerancias dimensionales ajustadas en grosor a lo ancho y largo del material. Antes del curado, las fibras de carbono impregnadas con resina son flexibles y drapeadas, lo que permite que la cinta se ajuste a los moldes de piezas. Estas características son prácticamente imposibles de obtener con el cable SMA debido a su rigidez y características de resorte.

La utilización de partículas de SMA como un aditivo de matriz de resina proporciona el beneficio de endurecer el laminado compuesto, así como también proporciona beneficios de rendimiento adicionales a la estructura como se mencionó anteriormente. De manera más significativa, el SMA como aditivo para partículas permite el uso práctico de las aleaciones con memoria de forma en materiales compuestos y además permite que el material compuesto sirva como material “directo", como se menciona aquí, para los procesos de producción actuales y avanzados en la fabricación de piezas compuestas de diversa complejidad de diseño.

La descripción tiene meramente naturaleza de ejemplo y, por lo tanto, las variaciones que no se apartan de las reivindicaciones están previstas para mantenerse dentro de su alcance.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura compuesta, que comprende:

una pluralidad de capas de material;

una pluralidad de capas intermedias de resina dispuestas entre dichas capas de material para unir dichas capas entre sí para formar una estructura unitaria; y

una pluralidad de partículas de aleación con memoria de forma (SMA) dispersas a lo largo de al menos una porción de cada una de dichas capas intermedias de resina para endurecer dicha estructura unitaria;

en donde, a la misma temperatura, al menos una de las capas intermedias incluye partículas de SMA provistas en una fase austenítica y al menos otra capa intermedia incluye partículas de SMA provistas en una fase martensítica.

2. La estructura compuesta de la reivindicación 1, en donde dichas partículas de SMA comprenden partículas de aleación de Ti-Ni.

3. La estructura compuesta de la reivindicación 1 o 2, en donde dichas partículas de SMA comprenden partículas de SMA de forma cilíndrica.

4. La estructura compuesta de la reivindicación 1, 2 o 3, en donde dichas partículas de SMA comprenden partículas de SMA de forma ovalada.

5. La estructura compuesta de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde dichas partículas de SMA comprenden partículas de SMA de forma en general esférica.

6. La estructura compuesta de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde dichas partículas de SMA comprenden un diámetro de sección transversal no mayor que aproximadamente 50 µm.

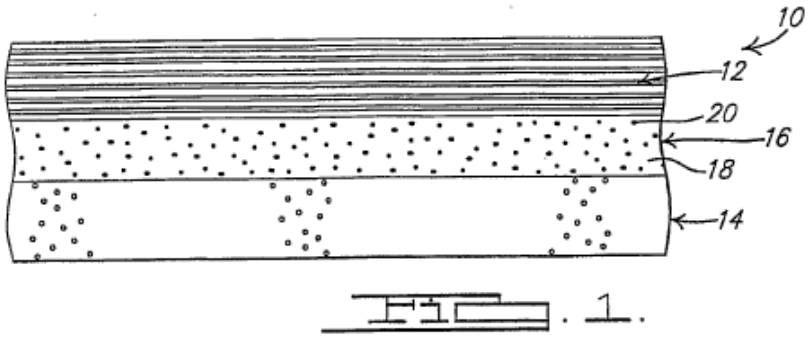

FIG. 1.

FIG. 2.

FIG. 3.

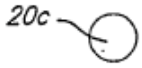

FIG. 4.

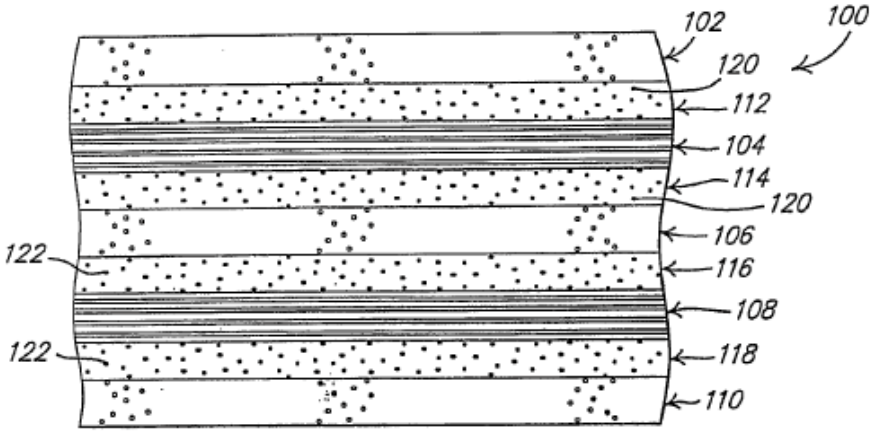

FIG. 5.

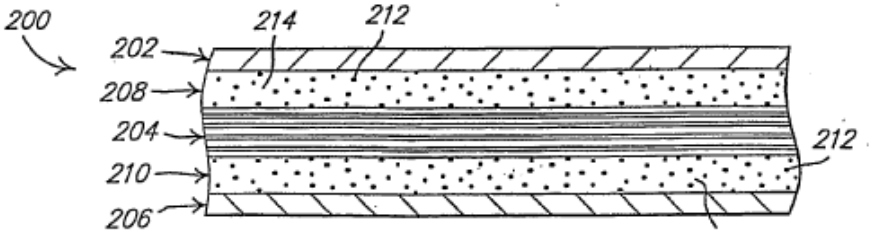

FIG. 6.