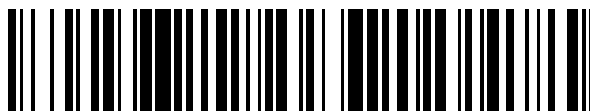


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 692**

51 Int. Cl.:

C08J 5/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2015** **E 15186480 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019** **EP 3000839**

54 Título: **Nanopartículas poliméricas para mejorar la capacidad de distorsión en materiales compuestos**

30 Prioridad:

23.09.2014 US 201414493369

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WILENSKI, MARK S;
MEURE, SAMUEL J y
KOZAR, MICHAEL P**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 742 692 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

Nanopartículas poliméricas para mejorar la capacidad de distorsión en materiales compuestos

Campo

- 5 La presente divulgación se refiere en general a materiales compuestos y, más particularmente, al uso de nanopartículas en estructuras compuestas para mejorar la capacidad de deformación de las estructuras compuestas.

Antecedentes

- 10 Las estructuras compuestas suelen incluir fibras de refuerzo incrustadas en una matriz de resina. Las estructuras compuestas están diseñadas para transmitir cargas a lo largo de las fibras. La matriz de resina mantiene las fibras en posición y también puede transferir cargas de fibra a fibra al pasar las cargas a través de la matriz de resina. Durante la carga de una estructura compuesta, la matriz de resina se carga típicamente en múltiples direcciones. Por ejemplo, cuando una carga se coloca en una estructura compuesta, la matriz de resina puede cargarse a lo largo de una dirección paralela a las fibras y también a lo largo de una o más direcciones transversales a las fibras. La matriz de resina puede fallar cuando una cierta combinación de deformaciones excede un valor predeterminado.

- 15 La teoría del fallo invariable de la deformación es un criterio que puede usarse para predecir la combinación de deformaciones que resultará en el fallo de la matriz de resina en una estructura compuesta. En la teoría del fallo invariable de la deformación, el fallo se produce cuando se supera una primera deformación invariable J_1 . La primera deformación invariable J_1 es la suma de las tres deformaciones principales ($\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$) que están orientadas ortogonalmente entre sí.

- 20 Cuando una muestra de prueba estándar se carga en tensión uniaxial, la principal deformación ϵ_1 aumenta en la dirección de tracción mientras que las principales deformaciones $\epsilon_2 + \epsilon_3$ son negativas o de compresión, ya que la sección transversal de la muestra se contrae debido al coeficiente de Poisson. Como resultado de la capacidad de la sección transversal de la muestra para contraerse cuando la muestra se estira bajo la carga de tensión, la principal deformación ϵ_1 puede aumentar hasta un valor significativamente mayor que si la muestra no se pudiera contraer. Por el contrario, un material cargado en tensión hidrostática (es decir, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$) fallará con una deformación relativamente baja en las tres direcciones principales.

- 30 Cuando una carga se coloca en una estructura compuesta, los filamentos de refuerzo típicamente restringen la matriz de resina contra la contracción. La capacidad reducida de la matriz para contraerse limita la capacidad de deformación por tracción de la matriz. Como resultado del límite en la capacidad de deformación de la matriz, el rendimiento de la estructura compuesta puede ser limitado. Por ejemplo, cuando una estructura compuesta se carga en tensión, la deformación por fallo relativamente baja de la resina puede dar como resultado el fallo de la resina (por ejemplo, microfisura) antes de que las fibras alcancen su deformación por fallo.

- 35 Como se puede observar, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método para aumentar la capacidad de deformación de la resina en una estructura compuesta como un medio para mejorar el rendimiento de la estructura compuesta. El resumen del documento EP2886590A1 dice "Proporción de un material preimpregnado y un material compuesto reforzado con fibra de carbono que son excelentes en adherencia entre una resina de matriz y las fibras de carbono y una estabilidad de almacenamiento a largo plazo y también excelentes en la resistencia a las microfisuras debido a la tenacidad aumentada. La presente invención proporciona un material preimpregnado que incluye; fibras de carbono recubiertas con agente recubiertas con un agente de encolado; y una composición de resina termoestable impregnada en las fibras de carbono recubiertas con agente de encolado. El agente de encolado incluye un compuesto epoxi alifático (A) y un compuesto epoxi aromático (B1). Las fibras de carbono recubiertas con el agente de encolado están en forma de material tejido o trenza. La composición de resina termoendurecible incluye una resina termoendurecible (D), una resina termoplástica (F) y un endurecedor latente (G). Las fibras de carbono recubiertas con el agente de encolado tienen una relación (a)/(b) en un cierto intervalo donde (a) es la altura de un componente a una energía de unión asignada a CH_x , C-C , y C=C y (b) es la altura de un componente en una energía de enlace asignada a C-O en un espectro del núcleo C_{1s} de las superficies de las fibras de carbono recubiertas con agente de encolado analizadas mediante espectroscopia fotoelectrónica de rayos X". El resumen del documento US2010/0298468A1 dice "Composiciones de resina epoxi que incluyen un componente de resina epoxi y un polvo curativo que contiene partículas de 4,4'-diaminobenzanilida (DABA) en donde el tamaño de las partículas de DABA es inferior a 100 micrómetros y en donde el tamaño medio de partícula es inferior a 20 micrómetros". El resumen del documento US2008/0176987A1 dice "Un sistema para resina modificada y material compuesto y los métodos correspondientes generalmente comprenden una pluralidad de nanopartículas de arcilla dispersas en una resina de alta temperatura para proporcionar una mayor resistencia a las microfisuras y un mantenimiento y/o mejora de las propiedades térmicas y mecánicas. En una realización, la invención comprende además un refuerzo dispuesto en la resina modificada, en donde el refuerzo y la resina modificada juntos comprenden un material compuesto".

Sumario

- Se proporciona un compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, y un método de acuerdo con la reivindicación 7. Las necesidades mencionadas anteriormente asociadas con la capacidad de distorsión de la resina en una estructura compuesta se abordan específicamente en la presente divulgación que proporciona una composición de acuerdo con la reivindicación 1. Las nanopartículas poliméricas tienen una capacidad de distorsión mayor que la resina debido a que la porosidad de las nanopartículas es mayor que una porosidad de resina. Las nanopartículas poliméricas pueden dar como resultado una mejora en la capacidad de deformación y/o distorsión de la mezcla de resina que puede mejorar el rendimiento de la estructura compuesta.
- En un ejemplo de referencia, se describe una estructura compuesta que puede incluir una resina que contiene nanopartículas poliméricas que tienen una alta capacidad de distorsión. La estructura compuesta puede incluir además una pluralidad de fibras de refuerzo incrustadas dentro de la mezcla de resina. La alta capacidad de distorsión de las nanopartículas poliméricas puede deberse a la naturaleza de la estructura principal del polímero, el volumen libre de las nanopartículas y/o la porosidad de las nanopartículas.
- También se describe un método para formar una composición de acuerdo con un ejemplo de referencia. El método puede incluir proporcionar una resina y mezclar una pluralidad de nanopartículas poliméricas en la resina para formar una mezcla de resina. Las nanopartículas poliméricas pueden tener una alta capacidad de dilatación como se mencionó anteriormente.
- En una realización adicional, se describe un método para resistir una carga aplicada a una estructura compuesta de acuerdo con la reivindicación 7. El método puede incluir además resistir la carga con una capacidad de deformación volumétrica de la mezcla de resina mayor que la capacidad de deformación volumétrica de la resina que carece de nanopartículas poliméricas.
- Las características, las funciones y ventajas que se han discutido se pueden lograr independientemente en varias realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en otras realizaciones más, de las cuales se pueden ver más detalles con referencia a la siguiente descripción y los dibujos a continuación.
- Breve descripción de los dibujos**
- Estas y otras características de la presente divulgación se harán más evidentes si se hace referencia a los dibujos, en los que los números similares se refieren a partes similares en todo el documento y en donde:
- la Figura 1 es un diagrama de bloques de una estructura compuesta que incluye resina y haces de fibras formados por filamentos de refuerzo y que incluye nanopartículas poliméricas que proporcionan un aumento en la capacidad de distorsión de la estructura compuesta;
- la figura 2 es una vista en perspectiva de una estructura compuesta que incluye una pila de capas unidireccionales, cada una formada por una pluralidad de fibras de refuerzo continuas; la figura 3 muestra una sección transversal de una parte de una estructura compuesta que muestra filamentos de refuerzo de las capas compuestas unidireccionales orientadas en diferentes ángulos;
- la figura 4 es una vista ampliada de una parte de la estructura compuesta tomada a lo largo de la línea 4 de la figura 3 y que muestra una pluralidad de nanopartículas poliméricas en la resina;
- la figura 5 es una ilustración esquemática de una resina no modificada curada e ilustra la resina no modificada sin nanopartículas poliméricas;
- la Figura 5A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la resina no modificada curada y la deformación de la resina resultante distribuida uniformemente en toda la resina;
- la figura 6 es una ilustración en perspectiva esquemática de una estructura compuesta que contiene filamentos de refuerzo incrustados en la resina no modificada;
- la Figura 6A es una ilustración en perspectiva esquemática de una carga de tensión aplicada a lo largo de una primera dirección paralela a la longitud de los filamentos de refuerzo y que ilustra la deformación por tracción resultante a lo largo de la primera dirección y la deformación por compresión insignificante o inexistente de la resina a lo largo de una segunda y tercera direcciones transversales a los filamentos de refuerzo;
- la figura 7 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina curada tomada a lo largo de la línea 7 de la figura 4 y que ilustra la resina que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas que tienen una alta capacidad de

distorsión;

la Figura 7A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la mezcla de resina curada en la misma magnitud que la tensión biaxial aplicada en la Figura 5A, y que ilustra la deformación de nanopartículas y la deformación incrementada de la mezcla de resina con respecto a la deformación de resina no modificada mostrada en la Figura 5A; la figura 8 es una ilustración en perspectiva esquemática de una estructura compuesta tomada a lo largo de la línea 8 de la figura 4 y que ilustra los filamentos de refuerzo incrustados en la mezcla de resina que contiene nanopartículas poliméricas que tienen una alta capacidad de distorsión;

la Figura 8A es una ilustración en perspectiva esquemática de una carga de tensión aplicada a lo largo de una primera dirección paralela a la longitud de los filamentos de refuerzo y que ilustra la deformación compresiva resultante de la resina a lo largo de la segunda y tercera direcciones transversales a los filamentos de refuerzo, y que muestra además la deformación por tracción aumentada en la mezcla de resina a lo largo de la primera dirección en relación con una deformación por tracción inferior de la resina no modificada que se muestra en la Figura 6A;

la Figura 9 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina curada que comprende resina que contiene nanopartículas poliméricas que tienen un alto volumen libre;

la figura 9A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la mezcla de resina curada de la figura 9A y que ilustra la deformación de partículas resultante y la deformación de la mezcla de resina;

la Figura 10 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina curada que comprende resina que contiene nanopartículas poliméricas, cada una con una pluralidad de poros;

la Figura 10A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la mezcla de resina curada de la Figura 10A y que ilustra la deformación de partículas resultante y la deformación de la mezcla de resina;

la figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método de fabricación de una estructura compuesta;

la Figura 12 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método para aplicar una carga a una estructura compuesta.

Descripción detallada

Con referencia ahora a los dibujos, en los que las presentaciones son con el propósito de ilustrar diversas realizaciones de la divulgación, en la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques de una estructura compuesta 100 que incluye una mezcla de resina 122 que comprende resina 118 y nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión. En algunos ejemplos, la estructura compuesta 100 puede formarse como una superposición compuesta 102 que contiene una o más capas compuestas 104 (Figura 2). Una superposición compuesta 102 puede incluir haces de fibras 110 incrustados en la mezcla de resina 122. Cada uno de los haces de fibras 110 puede estar formado por filamentos de refuerzo 112. La resina 118 se puede aplicar a las fibras 110 tal como durante la preimpregnación de las fibras 110 y/o durante la infusión de resina de las fibras 110.

De manera ventajosa, las nanopartículas poliméricas 150 pueden tener una capacidad de distorsión y/o capacidad de dilatación relativamente altas. Por ejemplo, la composición del material 116 de las nanopartículas poliméricas 150 puede tener una mayor capacidad de distorsión volumétrica y/o una mayor deformación por fallo que la resina no modificada curada 118. En la presente divulgación, la resina no modificada 118 se puede describir como resina 118 que no contiene nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión. En un ejemplo de referencia, la capacidad de distorsión relativamente alta de las nanopartículas poliméricas 150 puede deberse a la naturaleza de la estructura principal polimérica 154 del material de nanopartículas poliméricas. En otro ejemplo de referencia, la capacidad de distorsión relativamente alta de las nanopartículas poliméricas 150 puede deberse a un volumen libre de nanopartículas que puede ser mayor que el volumen libre de la resina 118 no modificada.

En la presente invención, la capacidad de distorsión relativamente alta de las nanopartículas poliméricas 150 puede deberse a una porosidad de las nanopartículas de las nanopartículas poliméricas 150 que puede ser mayor que la porosidad de la resina no modificada 118. La capacidad de distorsión y/o dilatación relativamente alta de las nanopartículas poliméricas 150 puede dar como resultado una mejora en la capacidad de distorsión de la mezcla de resina 122 con respecto a la deformación y/o capacidad de distorsión de la resina no modificada 118. La mejora de la deformación y/o de la capacidad de distorsión de la mezcla de resina 122 puede dar como resultado una mejora en el rendimiento de la estructura compuesta 100, como la capacidad de llevar la carga o las características de rigidez de la estructura compuesta 100.

De manera ventajosa, las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión pueden proporcionarse en una anchura de sección transversal 152 de partículas relativamente pequeñas con respecto a la anchura de sección transversal de filamentos de los filamentos de refuerzo 112. Las nanopartículas poliméricas 150 tienen una anchura de sección transversal 152 de partículas de 10-200 nanómetros, y los filamentos de refuerzo 112 pueden tener una anchura de sección transversal de filamentos de 5 a 30 micrómetros. Asimismo, Las nanopartículas poliméricas 150 se proporcionan en forma esférica. El tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas poliméricas 150 y/o la forma esférica puede permitir que las nanopartículas poliméricas 150 se agreguen a la resina 118 a niveles de carga relativamente alta con un aumento mínimo en la viscosidad de la mezcla de resina 122 en relación con la viscosidad de la resina no modificada 118. Una viscosidad relativamente baja de la mezcla de resina 122 puede facilitar el procesamiento de la superposición compuesta 102 y puede facilitar el flujo de resina a través del lecho de fibra.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una estructura compuesta 100 hecha de una pila de capas compuestas 104 que incluye fibras 110 y una pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión incrustadas en la resina 118. En el ejemplo mostrado, las capas compuestas 104 están configuradas como capas unidireccionales 108. Cada una de las capas unidireccionales 108 puede incluir fibras de refuerzo 110 continuas, generalmente paralelas, o haces de fibras 110. En un ejemplo, una capa unidireccional 108 puede estar formada por una pluralidad de cintas unidireccionales 114 o haces de fibras 110 dispuestos uno al lado del otro. Cada uno de los haces de fibras 110 puede estar formado por un conjunto de unos 1000 filamentos de refuerzo 112. Por ejemplo, un solo haz de fibras 110 puede incluir hasta 100.000 o más filamentos de refuerzo 112. En algunos ejemplos, un filamento de refuerzo puede tener una anchura o diámetro de sección transversal de filamento de 5 a 30 micrómetros. Por ejemplo, un filamento de refuerzo de carbono puede tener una anchura de sección transversal de filamento de aproximadamente 5-7 micrómetros. Los filamentos de refuerzo de vidrio pueden tener una anchura de sección transversal de filamento de 10-25 micrómetros. En la presente divulgación, los términos fibra, fibra compuesta, fibra de refuerzo y haz de fibras pueden usarse indistintamente.

Aunque la Figura 2 ilustra una superposición compuesta 102 formada por capas unidireccionales 108, una superposición compuesta 102 puede proporcionarse utilizando capas compuestas 104 de una cualquiera de una variedad diferente de formas de fibra que incluyen, pero sin limitación, cinta unidireccional, material tejido, fibras trenzadas, formas de fibra cosida, formas de fibra cortada, y cualquier otro tipo de formas de fibra rizada y no rizada. Independientemente de la configuración de las fibras 110 en una superposición compuesta 102, la resina 118 puede incluir ventajosamente una pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión que pueden mejorar la capacidad de deformación de la mezcla de resina 122. Además, las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión pueden incluirse en la mezcla de resina 122 para aplicaciones que no incluyen fibras de refuerzo 110 o filamentos de refuerzo 112. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión pueden incluirse en resinas utilizadas como adhesivos, recubrimientos, plástico moldeable por inyección y otras aplicaciones.

La figura 3 muestra una sección transversal de una parte de la estructura compuesta 100 de la figura 2 y que ilustra los filamentos de refuerzo 112 de las capas unidireccionales 108 orientadas en diferentes ángulos. Por ejemplo, las dos capas compuestas 104 intermedias pueden incluir filamentos de refuerzo 112 que pueden estar orientados en paralelo al plano del papel. Las capas compuestas 104 superior e inferior pueden estar orientadas a lo largo de una dirección en el plano perpendicular del papel. Las capas compuestas 104 situadas entre la capa compuesta 104 intermedia y superior y entre la capa compuesta 104 intermedia e inferior pueden contener filamentos de refuerzo 112 que pueden estar orientados no paralelos y no perpendiculares al plano del papel. Sin embargo, cualquiera de las capas compuestas 104 puede incluir fibras de refuerzo 110 orientadas en cualquier ángulo en relación con los filamentos de refuerzo 112 de otras capas compuestas 104 en la superposición compuesta 102. Asimismo, cualquiera de las capas compuestas 104 puede proporcionarse en una forma de fibra distinta de la cinta unidireccional.

Una estructura compuesta 100 tal como la que se ilustra en la Figura 2 puede formarse colocando una pila de capas compuestas 104. En un ejemplo, las capas compuestas 104 pueden impregnarse previamente con una mezcla de resina 122 (por ejemplo, capas compuestas preimpregnadas). La mezcla de resina 122 puede contener nanopartículas poliméricas con capacidad de alta distorsión 150. Se puede aplicar calor a la pila de capas compuestas preimpregnadas 104 para reducir la viscosidad de la mezcla de resina 122 y, por lo tanto, permitir que la mezcla de resina 122 fluya y se mezcle con la mezcla de resina 122 de capas compuestas 104 adyacentes. Se puede aplicar calor y/o presión para curar y/o solidificar la mezcla de resina 122 de las capas compuestas preimpregnadas 104. La superposición compuesta 102 puede enfriarse activa o pasivamente para dar como resultado una estructura compuesta 100.

Las nanopartículas poliméricas 150 que tienen una alta capacidad de distorsión se pueden aplicar a las capas compuestas 104 antes o durante las operaciones de preimpregnación. En algunos ejemplos, las nanopartículas poliméricas 150 se pueden aplicar a los haces de fibras 110, cinta unidireccional, material tejido u otras formas de fibra de una manera tal que las nanopartículas poliméricas están incrustadas dentro o entre los filamentos de refuerzo 112 que forman cada haz de fibras 110. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas 150 pueden rociarse sobre los filamentos de refuerzo 112 de un haz de fibras 110 en movimiento antes de formar el haz de fibras 110 en

una forma de fibra preimpregnada tal como una cinta unidireccional preimpregnada, lámina unidireccional preimpregnada, material tejido preimpregnado, fibras trenzadas preimpregnadas 110 y otras formas de fibras preimpregnadas.

Alternativamente, una superposición compuesta 102 se puede formar apilando capas compuestas 104 de fibra seca.

- 5 Las capas compuestas 104 de fibra seca se pueden infundir con una mezcla de resina 122 que contiene nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión. La mezcla de resina 122 puede infundirse en las capas compuestas 104 de fibra seca usando un proceso de infusión de resina adecuado. Por ejemplo, una mezcla de resina 122 que contiene nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión puede infundirse en capas compuestas 104 de fibra seca utilizando moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM),
10 infusión de resina a presión atmosférica controlada (CAPRI) o cualquiera de una variedad de otros procesos de transferencia de resina. Después de la infusión de la mezcla de resina 122, la superposición compuesta 102 puede ser consolidada. Se puede aplicar calor y/o presión a la superposición compuesta 102 para curar y/o solidificar la mezcla de resina 122 para formar una estructura compuesta 100.

- 15 En cualquiera de los ejemplos descritos en el presente documento, la resina 118 y/o las nanopartículas poliméricas pueden estar formadas de material termoplástico y/o material termoendurecible. El material termoplástico puede incluir acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas (por ejemplo, polietilenos, polipropilenos), poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetona (por ejemplo, polieteretercetona (PEEK), polietercetonaacetona (PEKK), polieterceteretercetona (PEKEK)), etc.), polieterimidias, polietersulfona, polisulfona y/o polifenilsulfona. El material termoendurecible puede incluir poliuretanos, fenólicos, poliimidias, polímero sulfonado (sulfuro de polifenileno), un polímero conductor (p. ej., polianilina), benzoxazinas, bismaleimidias, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis y/o silsesquioxanos. Los filamentos de refuerzo 112 pueden estar formados de materiales tales como carbonos, carburo de silicio, boro, cerámica y material metálico. Los filamentos de refuerzo 112 también pueden formarse a partir de vidrio tal como vidrio E (vidrio de aluminoborosilicato), vidrio S (vidrio de aluminosilicato), sílice pura, vidrio de borosilicato, vidrio óptico y otras composiciones de vidrio.

- 25 La Figura 4 muestra una parte de la estructura compuesta 100 de la Figura 3 e ilustra una pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión en la mezcla de resina 122. Como se puede observar, las nanopartículas poliméricas 150 pueden tener una anchura de la sección transversal 152 de partículas relativamente pequeñas en relación con la anchura de la sección transversal del filamento de los filamentos de refuerzo 112. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas poliméricas 150 pueden distribuirse uniformemente a lo largo de la
30 superposición compuesta 102. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas 150 pueden incluirse entre los filamentos de refuerzo 112 de cada una de las cintas unidireccionales 114. Asimismo, las nanopartículas poliméricas 150 pueden incluirse en las regiones interlaminares 106 entre capas compuestas 104 adyacentes. Aún más, las nanopartículas poliméricas 150 pueden incluirse en los espacios entre los bordes laterales opuestos de pares adyacentes de cintas unidireccionales 114 en una capa compuesta 104.

- 35 En este sentido, una superposición compuesta 102 puede estar formada por una cinta unidireccional 114 preimpregnada que contiene nanopartículas poliméricas 150 que rodean los filamentos de refuerzo 112 y/o están incrustadas entre los filamentos de refuerzo 112 de la cinta unidireccional. Durante el procesamiento de la superposición compuesta 102, se puede aplicar calor a la mezcla de resina 122 para reducir la viscosidad de la resina 118 permitiendo que la mezcla de resina 122 de cada una de las cintas unidireccionales 114 preimpregnadas
40 fluya y se mezcle con la mezcla de resina 122 de las cintas unidireccionales 114 en la misma capa compuesta 104 y en capas compuestas 104 adyacentes. La entremezcla de la mezcla de resina 122 puede dar como resultado que las nanopartículas poliméricas 150 se distribuyan generalmente de manera uniforme en toda la superposición compuesta 102.

- 45 Sin embargo, en otros ejemplos, las nanopartículas poliméricas 150 pueden aplicarse selectivamente a ubicaciones objetivo durante y/o después de la superposición de las capas unidireccionales 108 de una superposición compuesta 102. Las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión se pueden aplicar a bolsas ricas en resina de la superposición compuesta 102. Una bolsa rica en resina puede contener un volumen relativamente alto de resina 118 en relación con el volumen de fibras 110 en esa ubicación de la superposición compuesta 102. En otros ejemplos, las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión se pueden aplicar predominantemente dentro de un lecho de fibra tal como dentro o entre los filamentos de refuerzo 112 que forman un haz de fibras 110 o una capa compuesta 104. Aún más, las nanopartículas poliméricas pueden aplicarse selectivamente a ciertas regiones de una superposición compuesta 102, mientras que otras regiones de la superposición compuesta 102 pueden estar desprovistas de nanopartículas poliméricas 150. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas 150 se pueden aplicar a una o más de las regiones interlaminares 106 de una superposición compuesta 102, y las regiones restantes de la
50 superposición compuesta 102 pueden estar desprovistas de nanopartículas poliméricas 150.

La Figura 5 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 118 no modificada curada e ilustra la resina 118 no modificada que está desprovista de nanopartículas poliméricas. La resina 118 no modificada puede estar formada por material termoendurecible que puede tener una deformación de fallo menor o puede ser más frágil que la resina 118 termoplástica. La Figura 5A es una ilustración esquemática de la aplicación de la tensión biaxial

168 a la resina 118 no modificada curada y muestra la deformación 120 de la resina distribuida uniformemente en todas las direcciones a lo largo de la resina no modificada 118.

La Figura 6 es una ilustración en perspectiva esquemática de un bloque representativo 200 de una estructura compuesta 100 que contiene filamentos de refuerzo 112 incrustados en la resina 118 no modificada. Los filamentos de refuerzo 112 se muestran orientados a lo largo de una primera dirección 202 del bloque 200 representativo. También se muestra en la Figura 6 una segunda dirección 204 orientada ortogonal a la primera dirección 202, y una tercera dirección 206 orientada ortogonal a la primera y segunda dirección 204s. La Figura 6A es una ilustración en perspectiva esquemática de una carga 208 de tensión uniaxial aplicada al bloque 200 representativo de la Figura 6 a lo largo de la primera dirección 202 paralela a los filamentos de refuerzo 112, e ilustra la deformación por tracción resultante 210 a lo largo de la primera dirección 202. Debido a los filamentos de refuerzo 112 que restringen la resina 118 no modificada contra la contracción a lo largo de la segunda dirección 204 y la tercera dirección 206, el bloque 200 representativo de la estructura compuesta 100 exhibe una deformación relativamente pequeña a lo largo de la segunda y tercera direcciones 204, 206. Como se ha indicado anteriormente, la capacidad reducida de la resina no modificada 118 para contraerse o tensarse a lo largo de las direcciones transversales a la dirección de la carga de tracción limita la deformación de los filamentos de refuerzo 112 que se detrae del rendimiento de la estructura compuesta 100.

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de la mezcla de resina curada 122 tomada a lo largo de la línea 7 de la Figura 4 y que ilustra una pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 que tienen una alta capacidad de distorsión en la mezcla de resina 122. En este sentido, la mezcla de resina curada 122 puede tener una capacidad de deformación en al menos una dirección que sea mayor que la capacidad de deformación de la resina 118 no modificada. Como se ha indicado anteriormente, las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión pueden caracterizarse por tener una capacidad de distorsión mayor que la resina no modificada 118. En un ejemplo de referencia, las nanopartículas poliméricas 150 pueden tener una capacidad de distorsión inherentemente alta debido a la naturaleza de la estructura principal polimérica 154 de la composición de material 116 (por ejemplo, poliuretano, caucho etileno-propileno) de las nanopartículas poliméricas 150.

Como se ha indicado anteriormente, las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión se proporcionan en una anchura o diámetro de sección transversal 152 de partículas relativamente pequeñas de aproximadamente 10-200 nanómetros. En algunos ejemplos, las nanopartículas poliméricas pueden tener una anchura de sección transversal de entre 10 y 100 nanómetros. De manera ventajosa, una anchura de sección transversal 152 de partículas relativamente pequeñas de las nanopartículas poliméricas 150 puede prevenir ventajosamente el filtrado de nanopartículas demasiado grandes que de lo contrario puede ocurrir durante las operaciones de preimpregnación o la infusión de resina. En este sentido, se puede evitar que las nanopartículas demasiado grandes pasen entre los filamentos de refuerzo 112 durante el flujo de resina.

En algunos ejemplos, una mezcla de resina 122 puede contener nanopartículas poliméricas 150 que pueden tener todas sustancialmente la misma anchura de sección transversal 152 de las partículas. Sin embargo, en otros ejemplos, puede ser deseable que algunas de las nanopartículas poliméricas 150 tengan una anchura de sección transversal 152 de partículas que sea diferente a la anchura de sección transversal 152 de las partículas de otras nanopartículas poliméricas 150 en la mezcla de resina 122. Asimismo, además de las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión, una mezcla de resina 122 puede incluir nanopartículas poliméricas que pueden tener una funcionalidad diferente a la de proporcionar una alta capacidad de distorsión. Por ejemplo, al menos algunas de las nanopartículas poliméricas en una mezcla de resina 122 pueden formarse de material termoplástico que puede tener una mayor tenacidad que la tenacidad de la resina 118 no modificada.

Por ejemplo, además de las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión, una mezcla de resina 122 también puede contener nanopartículas poliméricas termoplásticas (no mostradas) que pueden ser al menos parcialmente solubles en la resina 118, de manera que antes o durante el curado de la resina y después de la mayoría del flujo de resina a través de una superposición compuesta 102, las nanopartículas poliméricas termoplásticas pueden disolverse total o parcialmente en la mezcla de resina 122. Como resultado de la disolución de las nanopartículas poliméricas termoplásticas, la mezcla de resina 122 puede tener una mayor tenacidad en relación con la tenacidad de la resina 118 curada no modificada. El aumento de la tenacidad de la mezcla de resina 122 puede reducir o prevenir el inicio de grietas o el crecimiento de grietas dentro de la estructura compuesta 100, tal como durante el ciclo térmico y/o durante la carga mecánica de la estructura compuesta 100 durante su vida útil. En una realización, al menos algunas de las nanopartículas poliméricas 150 pueden estar contenidas dentro de una funda (no mostrada) que puede transferir carga entre la resina 118 y la nanopartícula polimérica 150. En otros ejemplos, la funda puede ser al menos parcialmente soluble en la resina 118. Por ejemplo, la funda puede ser termoplástica de modo que la disolución de la funda dé como resultado una mejora en la tenacidad de la resina 118 curada.

Las nanopartículas poliméricas capaces de alta distorsión 150 y/u otros tipos de nanopartículas poliméricas se proporcionan en forma esférica como un medio para reducir el efecto de las nanopartículas poliméricas sobre la viscosidad de la mezcla de resina 122. Una forma esférica de las nanopartículas poliméricas puede permitir que las

nanopartículas se deslicen entre los filamentos de refuerzo 112 durante la infusión de resina o el flujo de resina, y puede evitar el interbloqueo de las nanopartículas poliméricas con los filamentos de refuerzo 112 o con otras nanopartículas poliméricas, como puede ocurrir de lo contrario con nanopartículas no esféricas o de forma compleja que tienen bordes o esquinas afiladas. En un ejemplo de referencia, las nanopartículas poliméricas también pueden

5 proporcionarse en formas no esféricas. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas pueden proporcionarse en formas generalmente redondeadas, tales como formas oblongas o elípticas, o como formas facetadas tridimensionales que incluyen, pero sin limitación, cubos, rectángulos, pirámides y otras formas.

La forma esférica de las nanopartículas poliméricas y/o la anchura de sección transversal 152 de las partículas relativamente pequeñas puede permitir concentraciones relativamente altas de nanopartículas poliméricas dentro de la mezcla de resina 122 con efectos relativamente pequeños sobre la viscosidad de la resina. Las nanopartículas poliméricas 200 constituyen un 5-75 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122 que contiene resina 118 y nanopartículas poliméricas 200. Preferentemente, las nanopartículas poliméricas 200 pueden constituir un mínimo del 10 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122 como el límite inferior de un intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas poliméricas 200. En otros ejemplos más, las nanopartículas poliméricas 200 pueden

10 constituir no menos del 10 por ciento en volumen de la mezcla de resina 122 en el extremo inferior del intervalo. En ejemplos adicionales, las nanopartículas poliméricas 200 pueden constituir no menos del 15 por ciento en volumen en el límite inferior del intervalo.

En determinadas aplicaciones, puede ser deseable proporcionar las nanopartículas poliméricas 200 a un máximo del 65 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122 como un límite superior de un intervalo de porcentaje en volumen de nanopartículas poliméricas 200. Sin embargo, en algunos ejemplos, las nanopartículas poliméricas 200 pueden constituir no más del 50 por ciento en volumen como el límite superior del intervalo. En determinadas aplicaciones, las nanopartículas poliméricas 200 pueden proporcionarse en cualquier combinación del límite inferior y el límite superior mencionados anteriormente del intervalo del porcentaje volumétrico de nanopartículas poliméricas 200 de una mezcla de resina 122. Los ejemplos no limitantes de combinaciones del límite inferior y el límite superior

20 mencionados anteriormente de un intervalo de porcentaje en volumen de nanopartículas poliméricas 200 incluyen una disposición en la que las nanopartículas poliméricas 200 constituyen un 5-75 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122. Otro ejemplo puede incluir nanopartículas poliméricas 200 que constituyen un 10-75 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122. En otros ejemplos más, las nanopartículas poliméricas 200 pueden constituir un 15-65 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122. En otro ejemplo más, las nanopartículas poliméricas 200 pueden constituir un 20-50 por ciento en volumen de una mezcla de resina 122. De manera ventajosa, la forma esférica de las nanopartículas poliméricas 200 permite mejoras lineales en las propiedades de la resina 118 con aumentos lineales en el nivel de concentración de las nanopartículas poliméricas 200 en la resina 118 con un efecto mínimo o insignificante sobre la viscosidad de la resina.

La Figura 7A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial 168 aplicada a la mezcla de resina curada 122 de la Figura 7 en la misma magnitud que la tensión biaxial 168 aplicada a la resina 118 no modificada de la Figura 5A. En respuesta a la aplicación de la carga de tensión biaxial 168, las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión pueden exhibir dilatación de nanopartículas 162. En este sentido, la dilatación o expansión de las nanopartículas poliméricas 150 puede permitir un aumento de la deformación de la matriz de resina 118 con respecto a la deformación de la resina 118 no modificada que se muestra en la Figura 5A. En la Figura 7A, la deformación de la mezcla de resina 122 se muestra extendiéndose uniformemente en todas las direcciones. Las regiones de la resina 118 entre las nanopartículas poliméricas pueden distorsionarse debido al coeficiente de Poisson y dar como resultado un aumento de la capacidad de deformación de la matriz de resina 118.

La Figura 8 es una ilustración en perspectiva esquemática de un bloque representativo 200 de una estructura compuesta 100 que contiene filamentos de refuerzo 112 incrustados en una mezcla de resina 122 que contiene nanopartículas poliméricas 150 que tienen una alta capacidad de distorsión como se describió anteriormente. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas poliméricas 150 pueden distribuirse de manera sustancialmente uniforme a lo largo de la matriz de la resina 118 y pueden ubicarse entre los filamentos de refuerzo 112 de los haces de fibras 110 individuales (Figura 2) y/o entre los haces de fibras 110 dispuestos de forma adyacente de una superposición compuesta 102. La Figura 8A es una ilustración en perspectiva esquemática de una carga de tensión uniaxial 208 aplicada al bloque 200 representativo a lo largo de una primera dirección 202 paralela a la longitud de los filamentos de refuerzo 112. También se muestra la deformación por compresión 212, 214 resultante de la mezcla de resina 122 a lo largo de la segunda y de la tercera direcciones 204, 206. De manera ventajosa, el efecto de la distorsión de las nanopartículas de la pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 permite la distorsión de las regiones de la mezcla de resina 122 entre las nanopartículas poliméricas 150 debido al coeficiente de Poisson. El resultado es un aumento en la deformación por tracción 210 del bloque 200 representativo de la estructura compuesta 100 a lo largo de la primera dirección 202 en relación con una cantidad menor de deformación por tracción 210 del bloque 200 representativo mostrado en la Figura 6A. La capacidad de deformación aumentada como resultado de la distorsión de las nanopartículas puede dar como resultado un aumento en el rendimiento de la estructura compuesta 100.

La Figura 9 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de la mezcla de resina curada 122 que contiene nanopartículas poliméricas 156 de alto volumen libre que tienen un volumen libre de nanopartículas que puede ser

mayor que el volumen libre de resina 118 curada modificada. En la presente divulgación, una nanopartícula polimérica 156 de alto volumen libre puede describirse como teniendo porosidad a nivel del Angstrom. Una nanopartícula polimérica 156 de alto volumen libre también puede describirse como formada por un material que tiene una composición polimérica que incluye un volumen sin rellenar en los extremos de las cadenas poliméricas que forman la composición polimérica. En una nanopartícula polimérica 156 de alto volumen libre, hasta el 95 por ciento del volumen de la nanopartícula polimérica 156 puede ser un sólido no consolidado (no mostrado) y que puede permitir la expansión volumétrica libre de la nanopartícula polimérica de alto volumen libre 156. Un sólido no consolidado se puede describir como una composición que tiene una única fase no sólida que presenta una tensión mínima durante la expansión volumétrica de la composición. La Figura 9A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial 168 aplicada a la mezcla de resina 122 curada de la Figura 9A e ilustra la deformación 160 de nanopartículas resultante y la deformación 124 de la mezcla de resina que puede ser mayor que la capacidad de deformación de la resina 118 no modificada (Figura 5A). La deformación de la mezcla de resina 122 se puede proporcionar por la capacidad de dilatación relativamente alta de las nanopartículas poliméricas 156 de alto volumen libre.

La Figura 10 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de la mezcla de resina 122 curada que incluye la resina 118 que contiene nanopartículas poliméricas porosas 158 cada una con una pluralidad de poros 170. Las nanopartículas poliméricas porosas 158 también pueden estar hechas al menos parcialmente de un material hidrofóbico o superhidrofóbico para minimizar la intrusión de agua. Independientemente del nivel de porosidad, las nanopartículas poliméricas porosas 158 tienen preferentemente una mayor capacidad de distorsión que la resina no modificada 118. La Figura 10A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial 168 aplicada a la mezcla de resina curada 122 de la Figura 10A e ilustra la deformación 160 de las nanopartículas y la deformación 124 de la mezcla de resina, que puede ser mayor que la capacidad de deformación de la resina 118 no modificada (Figura 5A).

La Figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método 300 para fabricar una estructura compuesta 100. La etapa 302 del método puede incluir proporcionar una resina 118 que puede estar formada por uno cualquiera de los materiales termoplásticos o materiales termoendurecibles descritos anteriormente.

La etapa 304 del método puede incluir mezclar una pluralidad de nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión en la resina 118 para formar una mezcla de resina 122 con características de deformación mejoradas. Como se ha indicado anteriormente, la capacidad de distorsión de las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión se proporciona por nanopartículas poliméricas porosas 158 que tienen uno o más poros 170 y opcionalmente una o más características que incluyen, pero sin limitación, la naturaleza de la estructura principal polimérica 154 de las nanopartículas poliméricas 150, por nanopartículas poliméricas 156 de alto volumen libre. Las nanopartículas poliméricas 150 capaces de alta distorsión pueden tener una capacidad de distorsión volumétrica mayor que la capacidad de distorsión volumétrica de la resina 118 no modificada.

Las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión se pueden agregar a la resina 118 antes o durante las operaciones de preimpregnación. Alternativamente, las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión pueden mezclarse con la resina 118 líquida antes de la infusión de la resina 118 en una superposición compuesta 102 durante un proceso de infusión de resina líquida. Aún más, las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión pueden incluirse en una película de resina (no mostrada) que se puede colocar entre una o más capas compuestas 104 de una superposición compuesta 102. En un ejemplo adicional, las nanopartículas poliméricas 150 con capacidad de alta distorsión se pueden agregar a las regiones seleccionadas de una superposición compuesta 102 para mejorar la capacidad de distorsión de la matriz de resina. En un aspecto adicional, las nanopartículas poliméricas que tienen otras funcionalidades pueden incluirse con las nanopartículas poliméricas 150 de alta capacidad de distorsión. Por ejemplo, se pueden agregar nanopartículas poliméricas a la resina 118 para mejorar la resistencia de la resina, módulo, resistencia, coeficiente de expansión térmica (CTE), resistencia a la inflamabilidad, niveles de humo y de toxicidad, conductividad eléctrica y/o resistencia a la corrosión. Además, se pueden agregar nanopartículas poliméricas para reducir la contracción del curado, calor de reacción y/o para mejorar otras propiedades de una superposición compuesta 102 y/o estructura compuesta 100.

La etapa 306 del método puede incluir incrustar fibras de refuerzo 110 en la mezcla de resina 122 antes de curar la mezcla de resina 122. Como se ha indicado anteriormente, las fibras de refuerzo 110 pueden impregnarse previamente con una mezcla de resina 122 que contiene nanopartículas poliméricas 150 de alta capacidad de distorsión. Las fibras 110 preimpregnadas pueden estar dispuestas en una cualquiera de una variedad de formas de fibras que incluyen una cinta unidireccional, material tejido, fibras trenzadas u otras formas de fibra. Como alternativa, una mezcla de resina 122 que contiene nanopartículas poliméricas 150 puede infundirse en una superposición de fibra seca 110 utilizando uno cualquiera de una variedad de procesos de infusión de resina.

La etapa 308 del método puede incluir curar la mezcla de resina 122. En algunos ejemplos, se puede aplicar presión para consolidar la capa de material compuesto 102 para mejorar la fracción de volumen de fibra y/o eliminar los volátiles y/o vacíos de la superposición compuesta 102 antes o durante el curado. Después de la consolidación, se

puede aplicar calor y/o presión para curar o solidificar la mezcla de resina 122 para formar la estructura compuesta 100.

La Figura 12 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método 400 para resistir una carga aplicada a una estructura compuesta 100. La etapa 402 del método puede incluir aplicar una carga a una estructura compuesta 100 que tiene una mezcla de resina 122 curada que contiene nanopartículas poliméricas 150 que tienen una alta capacidad de distorsión. Como se ha indicado anteriormente, la adición de las nanopartículas poliméricas 150 de alta capacidad de distorsión puede mejorar directamente el rendimiento de la resina 118 al mejorar la capacidad de la mezcla de resina 122 y/o la estructura compuesta 100 para contraerse debido al coeficiente de Poisson, y que puede aumentar la capacidad de deformación de la resina y por lo tanto, mejorar el rendimiento de la estructura compuesta 100. De manera ventajosa, la adición de las nanopartículas poliméricas de alta capacidad de distorsión evita la necesidad de alterar la química de la resina 118 de base de manera que las propiedades de la resina, incluida la resistencia a los disolventes y otras propiedades, no se vean afectadas.

La etapa 404 del método puede incluir resistir la carga en la estructura compuesta 100 con una capacidad de deformación volumétrica de la mezcla de resina 122 mayor que la capacidad de deformación volumétrica de la resina 118 no modificada. En un ejemplo, el método puede incluir aplicar una carga a lo largo de un primer eje o primera dirección 202 de la estructura compuesta 100, y resistir la carga con una capacidad de deformación de la mezcla de resina curada 122 mayor que la capacidad de deformación de una estructura compuesta 100 que contiene la resina 118 no modificada. Por ejemplo, una estructura compuesta 100 puede cargarse en tensión uniaxial. Como resultado de la capacidad de distorsión de las nanopartículas poliméricas 150, la carga de tensión uniaxial puede dar como resultado una deformación por tracción de la estructura compuesta 100 a lo largo del primer eje o la primera dirección 202 mayor que la deformación por tracción de una estructura compuesta 100 que contiene resina 118 no modificada. El método puede incluir además resistir la carga de tensión uniaxial con una deformación por compresión a lo largo de un segundo eje o segunda dirección 204 orientada transversalmente a la primera dirección 202. La deformación por compresión a lo largo de la segunda dirección 204 de una estructura compuesta 100 que contiene nanopartículas poliméricas puede ser mayor que la deformación por compresión de una estructura compuesta 100 que contiene resina 118 no modificada.

En algunos ejemplos, el método puede incluir el acoplamiento de una pluralidad de nanopartículas poliméricas 200 a uno o más filamentos de refuerzo 112 para actuar como espaciadores para evitar que los filamentos de refuerzo 112 se toquen entre sí y para controlar la permeabilidad de las fibras 120 (Figura 4). Las nanopartículas poliméricas 200 pueden aplicarse a los filamentos de refuerzo 112, ya que los filamentos de refuerzo 112 se extraen de un aparato de formación de fibras (no mostrado). En otros ejemplos, las nanopartículas poliméricas 200 se pueden aplicar a los filamentos de refuerzo 112 cuando los haces de fibras 110 se forman en una cinta unidireccional, lámina unidireccional, material tejido, fibras trenzadas y otras formas de fibra. Las nanopartículas poliméricas 200 también pueden acoplarse o aplicarse a uno o más filamentos de refuerzo 112 durante las operaciones de preimpregnación en las que la resina 118 se aplica a los haces de fibras, cinta unidireccional, material tejido, fibras trenzadas y otras formas de fibra.

En algunos ejemplos, las nanopartículas poliméricas 200 pueden fusionarse por fusión con los filamentos de refuerzo 112. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas 200 pueden formarse por material termoplástico o las nanopartículas poliméricas 200 pueden configurarse como nanopartículas de núcleo-funda (no mostradas), cada una con una funda termoplástica que rodea un núcleo. Los filamentos de refuerzo 112 y/o las fundas de las nanopartículas poliméricas pueden calentarse a una temperatura que provoque que la porción exterior de las nanopartículas de la funda del núcleo se adhiera o se fusione por fusión con los filamentos de refuerzo 112 cuando las nanopartículas de la funda del núcleo entren en contacto con los filamentos de refuerzo 112.

Las realizaciones ilustrativas de la divulgación se pueden describir en el contexto de un método (no mostrado) de fabricación y/o mantenimiento de una aeronave, vehículos espaciales, satélite u otro componente aeroespacial. La preproducción, la fabricación de componentes y/o el mantenimiento pueden incluir especificaciones y diseño de componentes aeroespaciales y adquisición de materiales. Durante la producción, se lleva a cabo la fabricación de componentes y subconjuntos, y la integración de sistemas de componentes aeroespaciales. Después de ello, la aeronave, vehículos espaciales, el satélite u otro componente aeroespacial puede pasar por la certificación y la entrega para poder ser puesto en servicio.

En un ejemplo, los componentes aeroespaciales producidos por el método de fabricación y servicio pueden incluir un fuselaje con una pluralidad de sistemas y un interior. Los ejemplos de la pluralidad de sistemas pueden incluir uno o más de un sistema de propulsión, un sistema eléctrico, un sistema hidráulico y un sistema ambiental. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, pueden aplicarse diferentes realizaciones ilustrativas a otras industrias, como la industria automotriz.

Los aparatos y métodos incorporados en este documento pueden emplearse durante al menos una de las etapas de un método de fabricación y/o mantenimiento de componentes aeroespaciales. En particular, se puede fabricar una

5 estructura compuesta 100 (por ejemplo, Figura 1), un revestimiento, un plástico moldeado por inyección y/o un adhesivo durante cualquiera de las etapas del método de fabricación y servicio de los componentes aeroespaciales. Por ejemplo, sin limitación, una estructura compuesta puede fabricarse durante al menos uno de la fabricación de componentes y subconjuntos, integración de sistemas, mantenimiento y servicio de rutina, o alguna otra etapa de fabricación y servicio de aeronaves. Aún más, una estructura compuesta puede usarse en una o más estructuras de componentes aeroespaciales. Por ejemplo, una estructura compuesta puede incluirse en la estructura de un fuselaje, un interior, o alguna otra parte de un avión, vehículos espaciales, satélite u otro componente aeroespacial.

Las modificaciones y mejoras adicionales de la presente divulgación pueden ser evidentes para los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Una composición, que comprende una mezcla de resina que comprende:

una resina (118); y

una pluralidad de nanopartículas poliméricas (150),

5 en donde la pluralidad de nanopartículas poliméricas (150) constituye del 5 al 75 por ciento en volumen de la mezcla de resina, en donde:

las nanopartículas poliméricas (150) son esféricas;

las nanopartículas poliméricas (150) tienen una anchura de sección transversal de partícula de 10 a 200 nanómetros; y

10 las nanopartículas poliméricas (150) tienen una capacidad de distorsión mayor que la resina (118) curada no modificada debido a una porosidad de nanopartículas que es mayor que una porosidad de la resina (118) curada no modificada, **caracterizada por que** las nanopartículas poliméricas (150) tienen una porosidad de nanopartículas provista por un solo poro (170) que ocupa más del 50 por ciento de un volumen total de nanopartículas.

15 2. La composición de la reivindicación 1, en donde:

las nanopartículas poliméricas (150) constituyen no menos del 10 por ciento en volumen de la mezcla de resina (122) y las nanopartículas poliméricas (150) constituyen hasta el 75 por ciento en volumen de la mezcla de resina (118).

3. La composición de la reivindicación 1 o reivindicación 2, en donde:

20 la mezcla de resina (122) se incluye en al menos uno de los siguientes: un revestimiento, un adhesivo, un plástico moldeable por inyección, una mezcla de resina de una estructura compuesta.

4. La composición de las reivindicaciones 1-3, en donde la resina (118) y/o las nanopartículas poliméricas (150) están compuestas por al menos uno de los siguientes:

25 material termoplástico, acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas, poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetonas, polieterimidias, polietersulfona, polisulfona y polifenilsulfona; material termoendurecible, poliuretanos, fenólicos, poliimidias, polímero sulfonado, un polímero conductor, benzoxazinas, bismaleimidias, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis y silsesquioxanos.

5. La composición de las reivindicaciones 1-4, en donde:

30 al menos algunas de las nanopartículas poliméricas (150) están formadas de material termoplástico y son solubles en la resina (118); y la mezcla de resina (122) cuando se cura tiene una mayor resistencia respecto a la resistencia de una resina (118) curada que carece de las nanopartículas poliméricas (150).

6. La composición de cualquier reivindicación anterior, que comprende además filamentos de refuerzo (112).

7. Un método para resistir una carga aplicada a una estructura compuesta, que comprende las etapas de:

35 aplicar una carga a una estructura compuesta que tiene una resina (118) que incluye una pluralidad de nanopartículas poliméricas (150), las nanopartículas poliméricas (150) tienen una capacidad de distorsión mayor que la resina (118) curada no modificada debido a una porosidad de nanopartículas que es mayor que una porosidad de la resina (118) curada no modificada, las nanopartículas poliméricas (150) son esféricas y tienen una anchura de sección transversal de partículas de 10 a 200 nanómetros, la pluralidad de nanopartículas poliméricas (150) que constituyen del 5 al 75 por ciento en volumen de la resina, incluida la pluralidad de nanopartículas poliméricas; y

40 resistir la carga con una capacidad de deformación volumétrica de la resina (118) mayor que la capacidad de deformación volumétrica de una resina (118) que carece de las nanopartículas poliméricas,

45 **caracterizado por que** las nanopartículas poliméricas (150) tienen una porosidad de nanopartículas provista por un solo poro (170) que ocupa más del 50 por ciento de un volumen total de nanopartículas.

8. El método de la reivindicación 7, en donde las etapas de aplicar la carga y resistir la carga incluyen:

aplicar la carga a lo largo de un primer eje de la estructura compuesta; y

resistir la carga con una capacidad de deformación de la resina (118) curada a lo largo del primer eje mayor que la capacidad de deformación de una estructura compuesta que carece de las nanopartículas poliméricas (150).

9. El método de las reivindicaciones 7 y 8, en donde la etapa de aplicar la carga y resistir la carga incluye:

aplicar una carga de tensión a lo largo del primer eje; y resistir la carga con una deformación por tracción a lo largo del primer eje mayor que la deformación por tracción de una estructura compuesta que carece de las nanopartículas poliméricas (150).

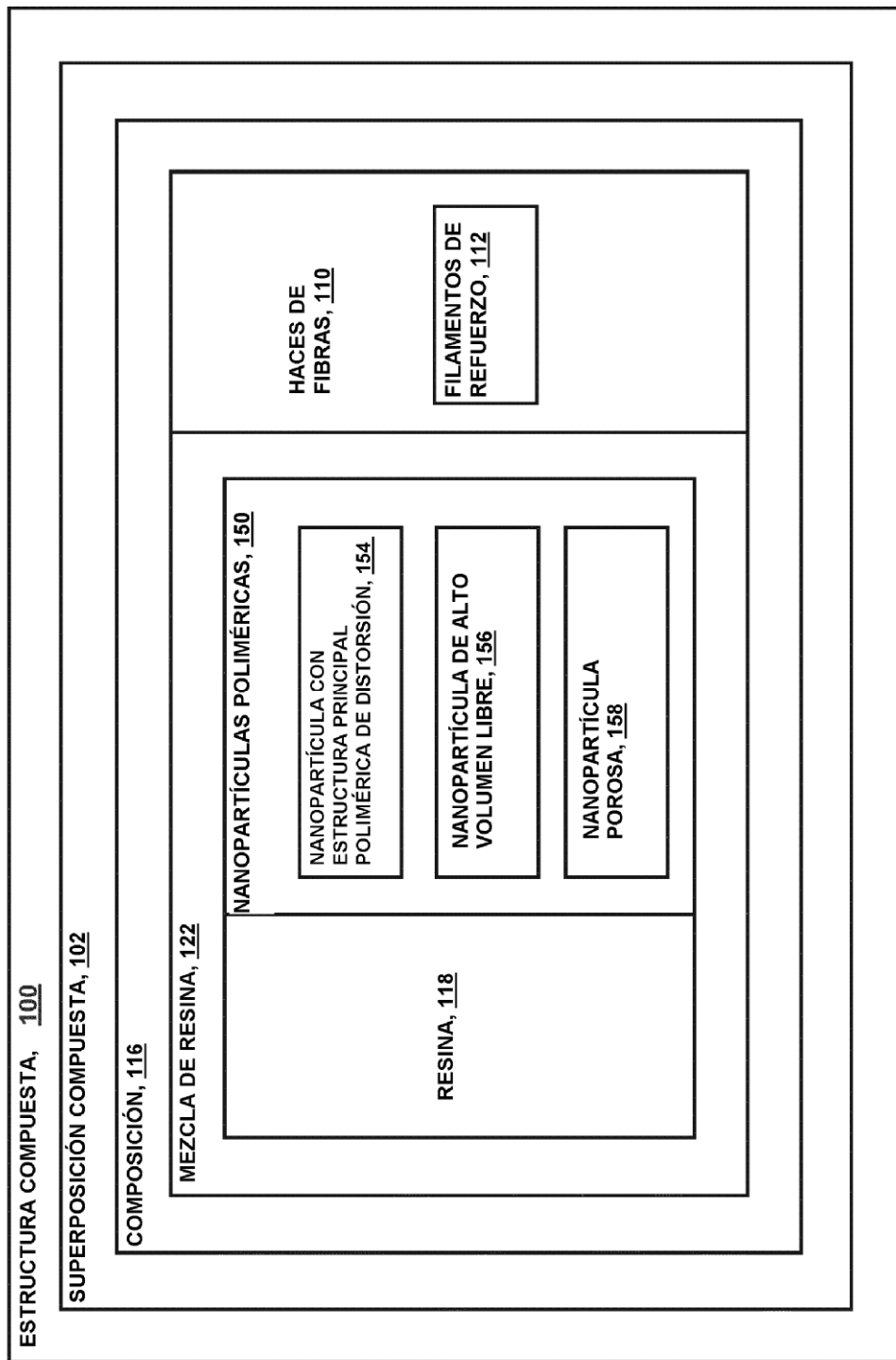


FIG. 1

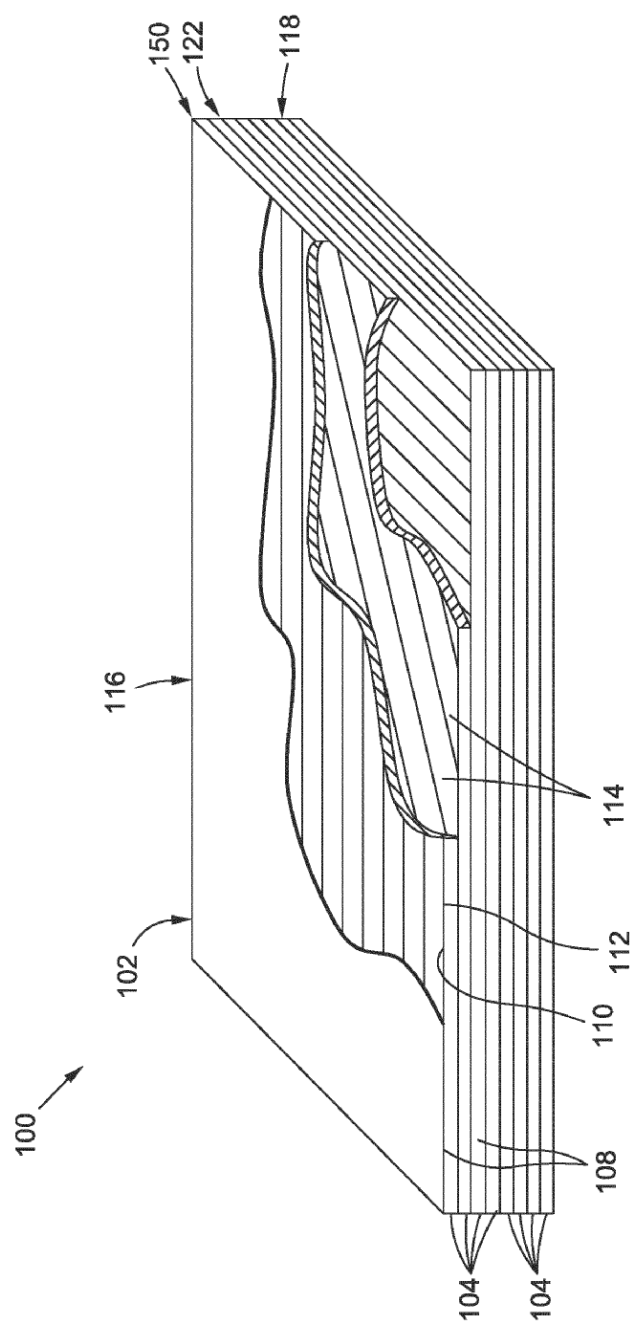


FIG. 2

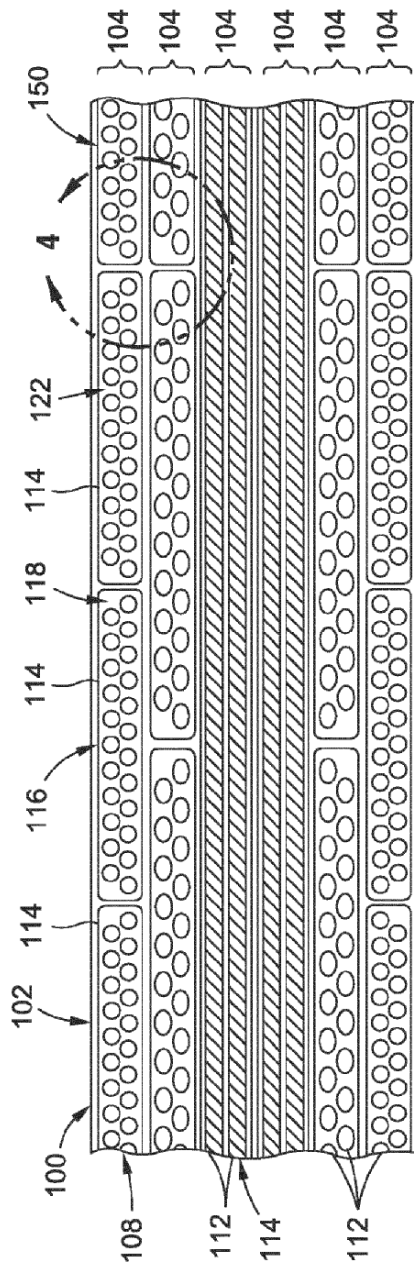


FIG. 3

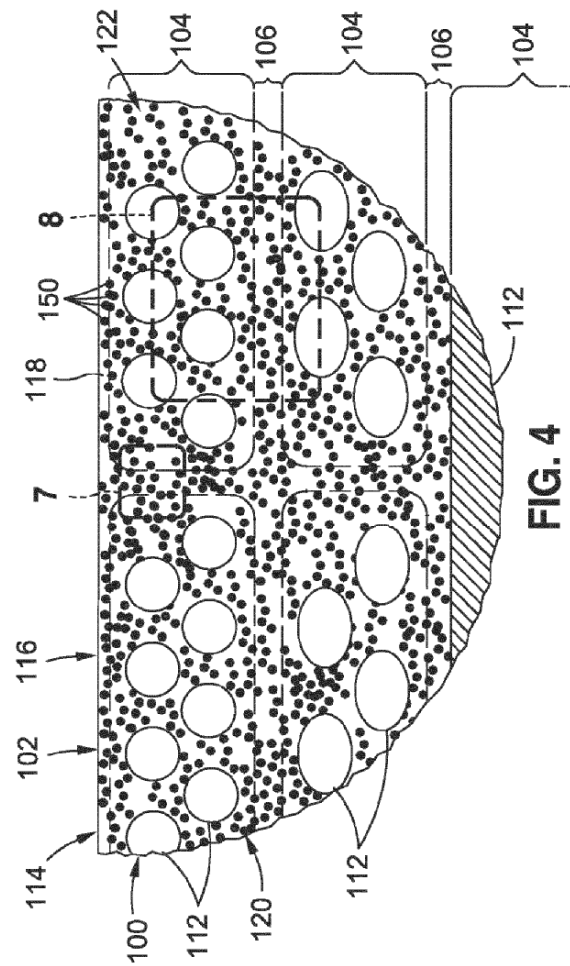


FIG. 4

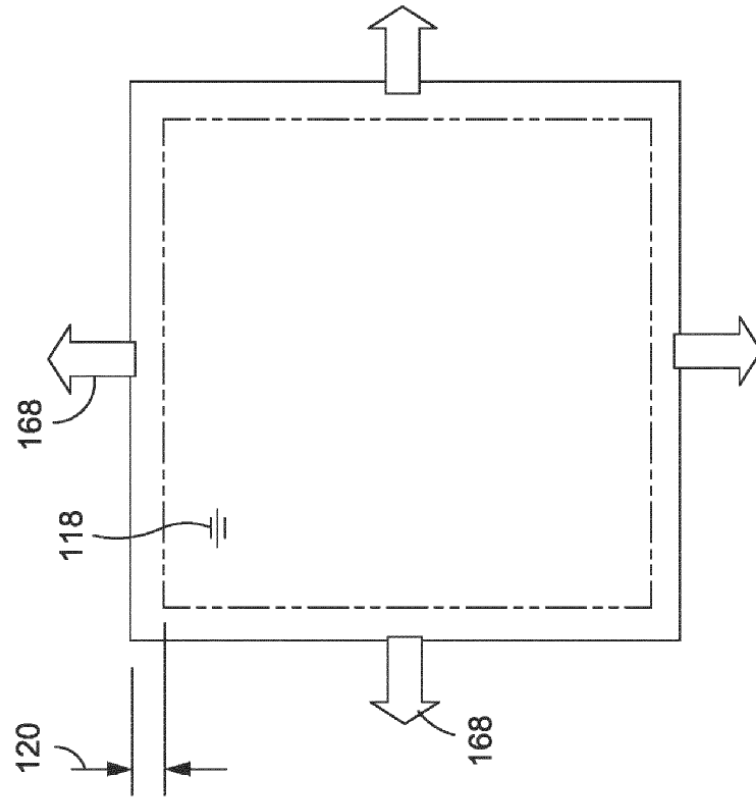


FIG. 5A

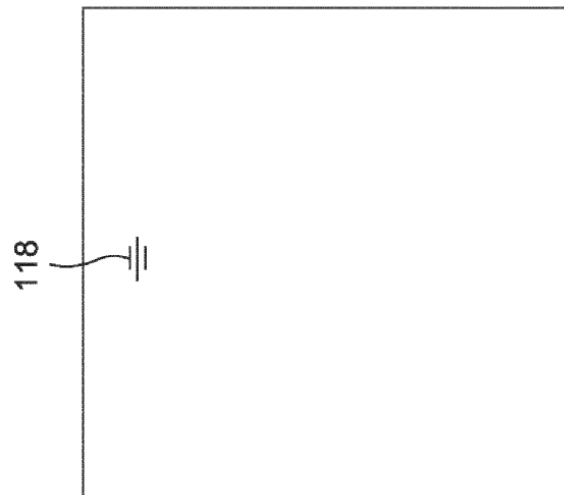


FIG. 5

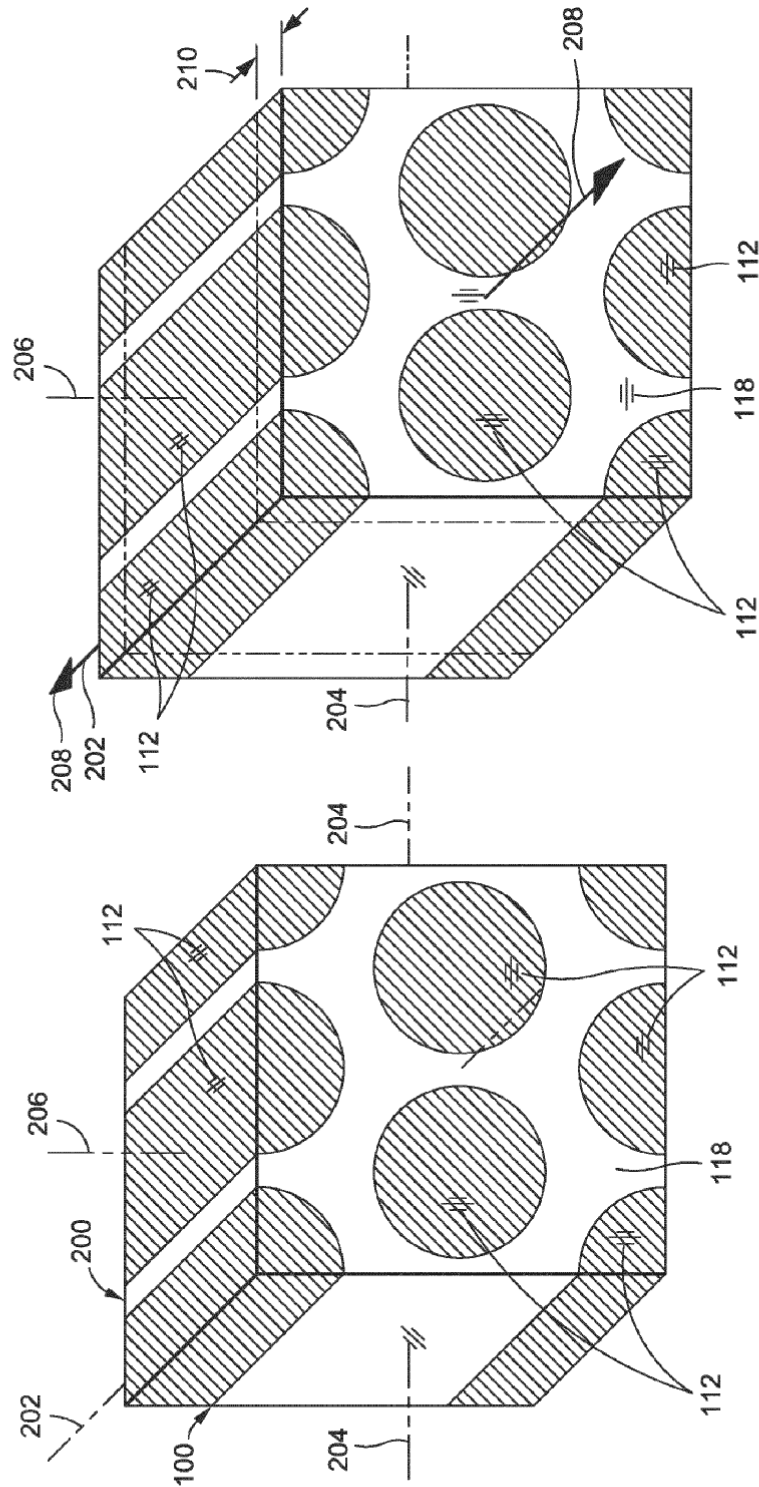


FIG. 6

FIG. 6A

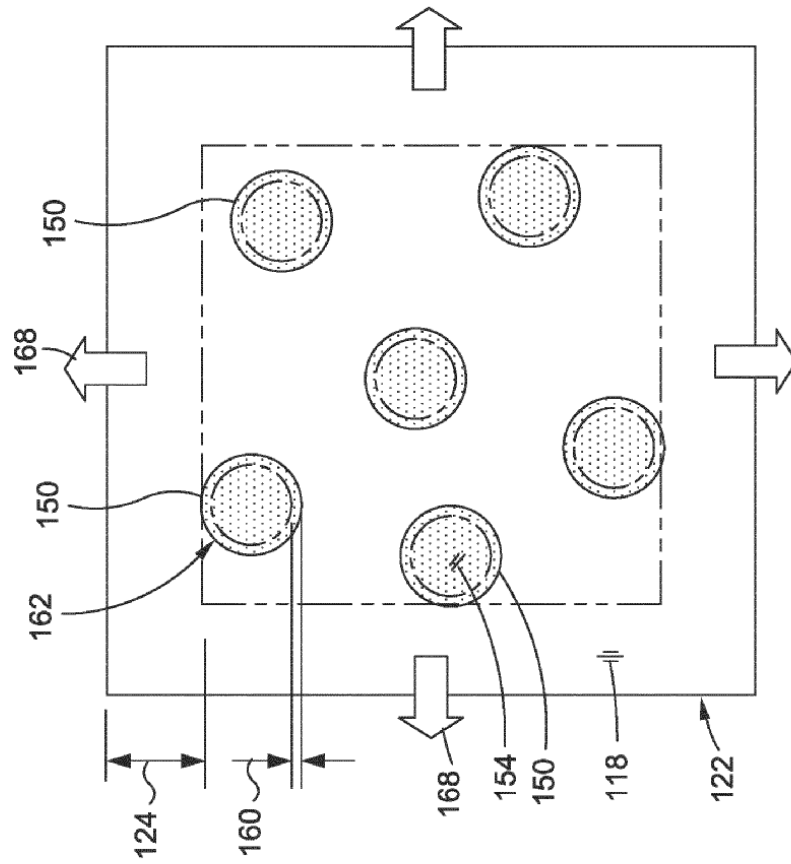


FIG. 7A

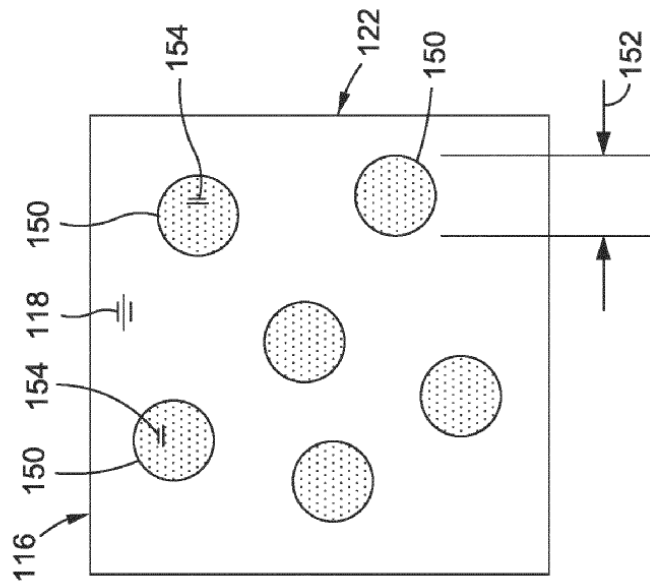


FIG. 7

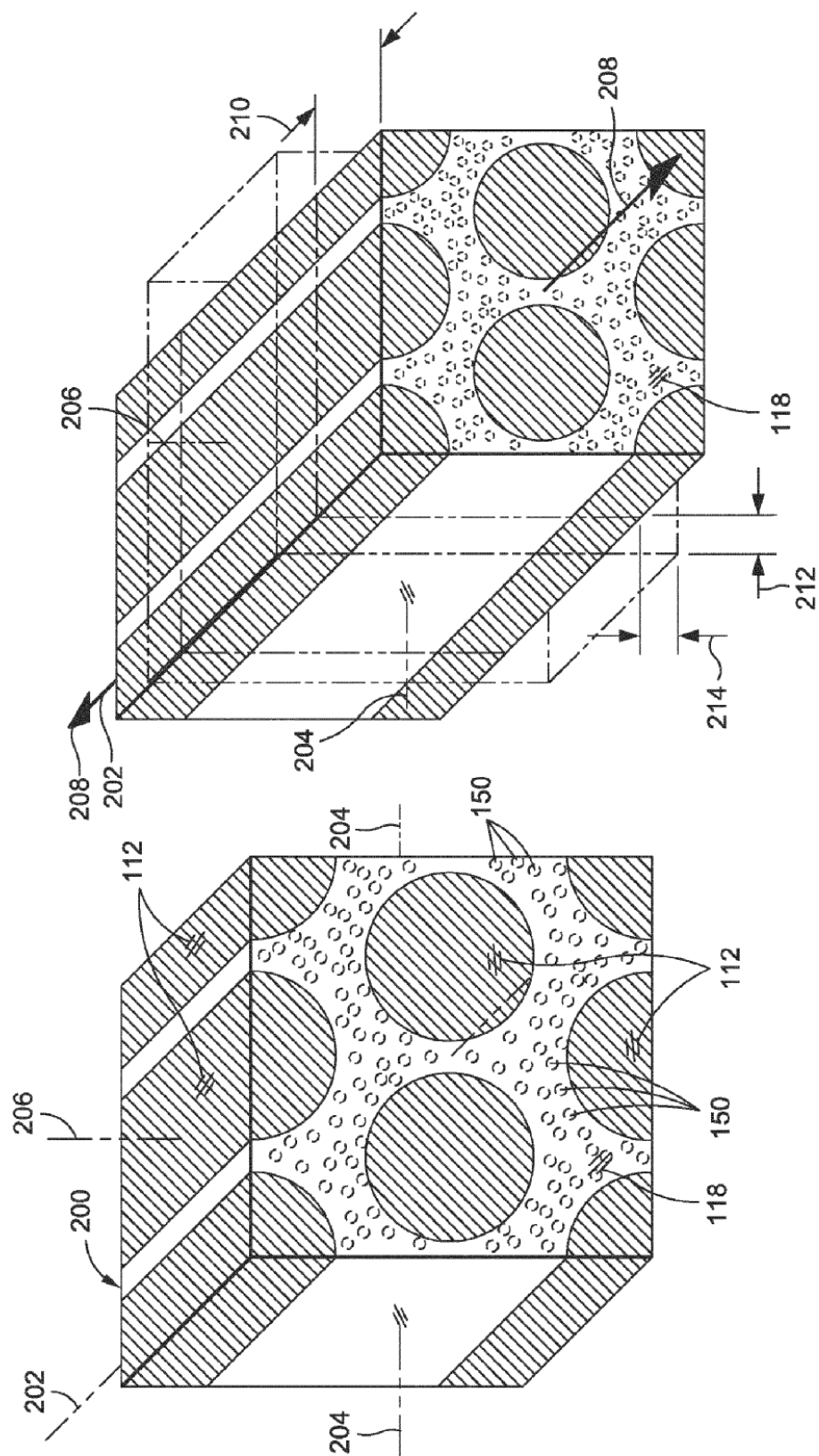


FIG. 8A

FIG. 8

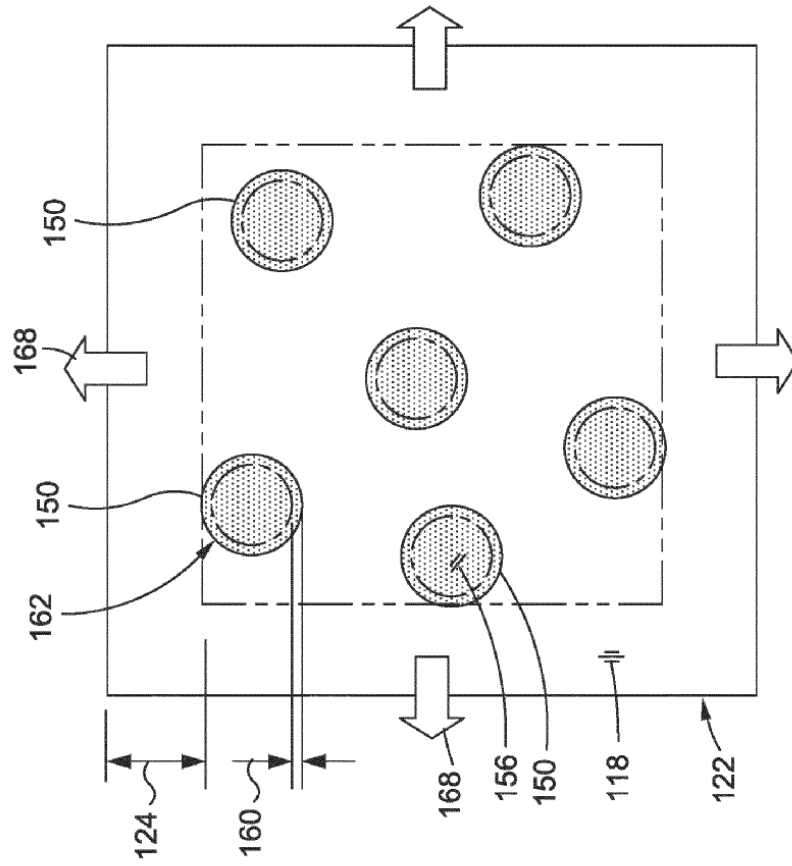


FIG. 9A

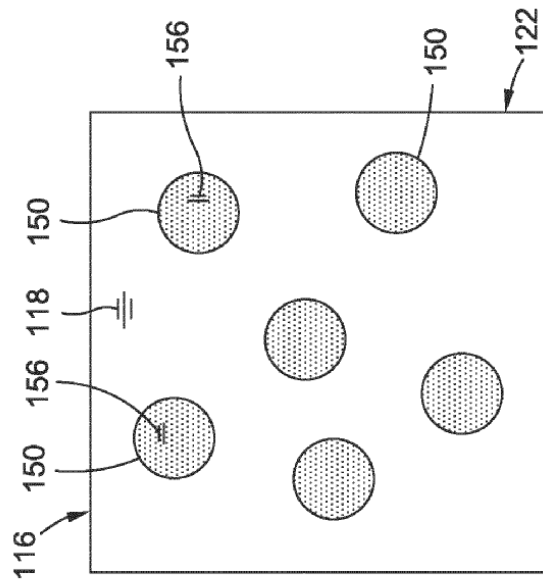


FIG. 9

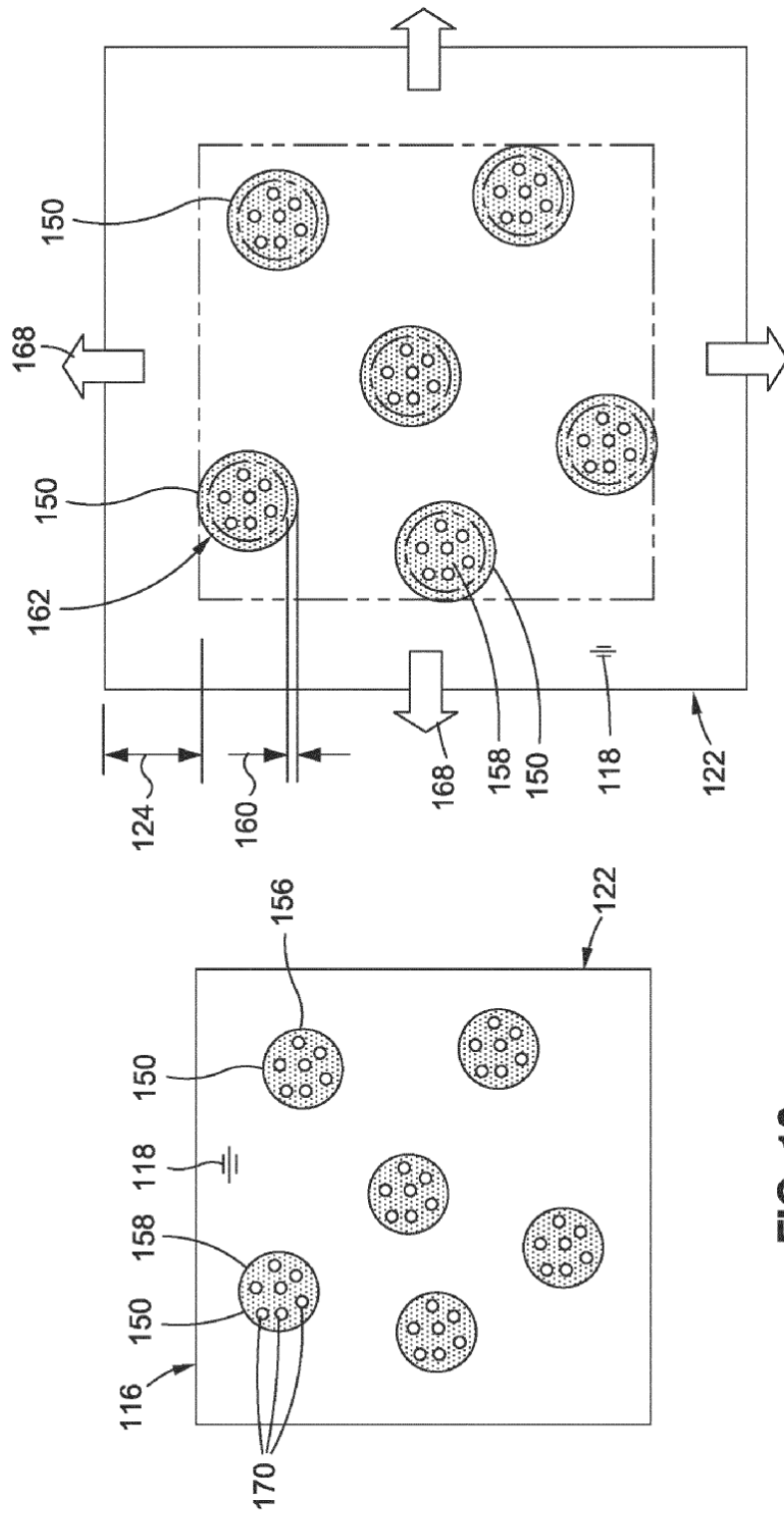


FIG. 10A

FIG. 10

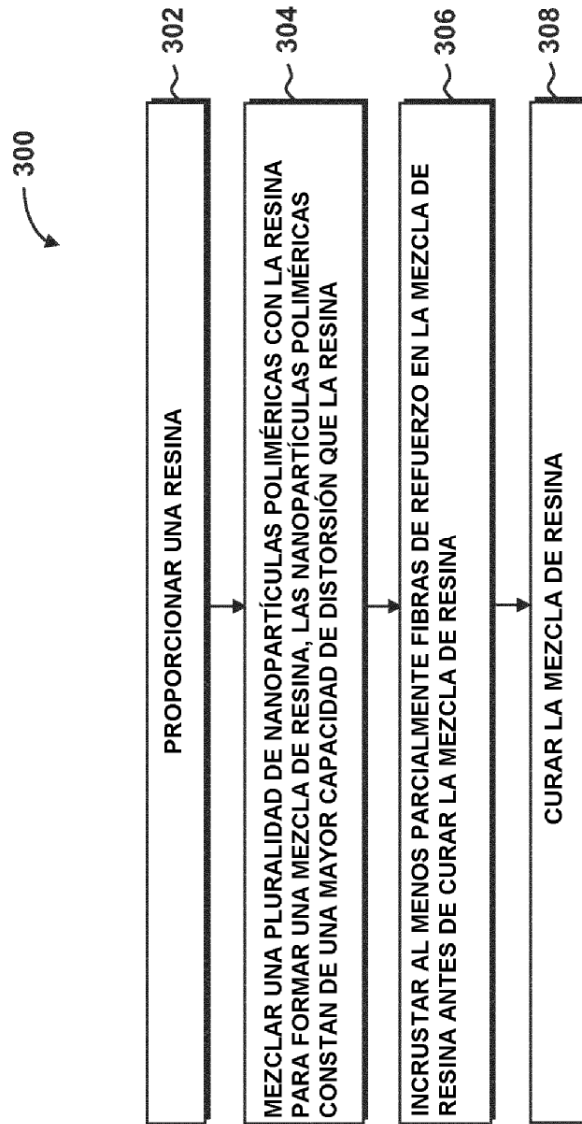


FIG. 11

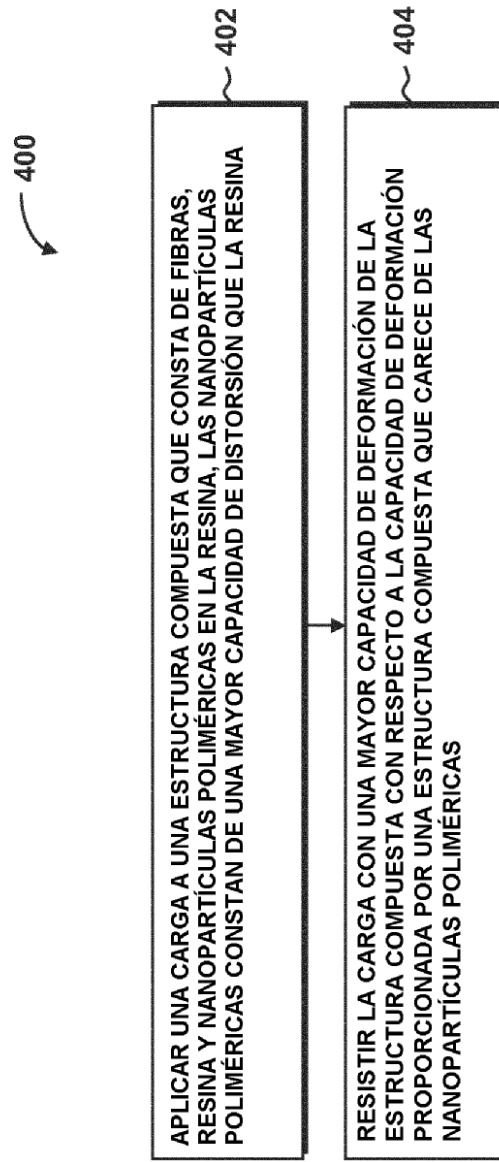


FIG. 12