

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 679**

51 Int. Cl.:

C08J 5/00 (2006.01)

C08J 5/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2015 E 15186490 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3000841**

54 Título: **Adiciones de nanopartículas de polímero para la modificación de resina**

30 Prioridad:

23.09.2014 US 201414493365

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 y
MEURE, SAMUEL J**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 742 679 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

Adiciones de nanopartículas de polímero para la modificación de resina

Campo

5 La presente divulgación se relaciona en general con materiales compuestos y más particularmente, a la incorporación de nanopartículas en un apilamiento compuesto para alterar las propiedades de la estructura compuesta.

Antecedentes

10 La fabricación de una estructura compuesta puede incluir la aplicación de resina sin curar a las fibras de refuerzo de una deposición compuesta. La temperatura de la mezcla de una deposición compuesta puede aumentarse para reducir la viscosidad de la resina de modo que la resina pueda fluir e infundir las fibras. La deposición compuesta se puede mantener a una temperatura elevada durante un período de tiempo predeterminado para curar la resina en un estado solidificado o endurecido. Después de que la resina se haya curado, la estructura compuesta puede enfriarse pasiva o activamente hasta una temperatura ambiente.

15 En muchos sistemas de material compuesto, la resina puede tener un coeficiente de expansión térmico (CTE) que puede ser diferente del CTE de las fibras de refuerzo. Por ejemplo, las resinas epoxi pueden tener un CTE que puede ser un orden de magnitud mayor que el CTE de las fibras de carbono. La diferencia en CTE puede hacer que la resina y las fibras se contraigan en diferentes cantidades a medida que la estructura compuesta se enfría a partir de la temperatura de curado. La diferencia en la contracción de la resina con respecto a las fibras puede dar como resultado esfuerzos inducidos térmicamente en la resina. Los esfuerzos inducidos térmicamente pueden dar lugar a grietas o microgrietas indeseables en la resina. Las microgrietas también pueden ocurrir durante la vida útil de una estructura compuesta debido a cambios en la temperatura del entorno operativo de la estructura compuesta.

20 Los intentos de la técnica anterior para reducir o prevenir microgrietas incluyen la adición de endurecedores a la resina líquida. Las resinas termoendurecidas convencionales se pueden formar utilizando polímeros líquidos para formar una resina líquida no curada. Alternativamente, los polímeros sólidos pueden disolverse y volverse líquidos durante la mezcla para formar una resina líquida no curada. Se pueden añadir endurecedores en forma líquida a la resina líquida no curada para mejorar la resistencia de la resina a las microgrietas. Desafortunadamente, la adición de endurecedores líquidos a la resina puede resultar en una reducción de la temperatura de transición del vidrio de la resina final durante el curado, o los endurecedores líquidos pueden aumentar la temperatura de curado de la resina y/o causar una contracción de curado excesivo de la resina. Además, los endurecedores a menudo aumentan la viscosidad de la resina, lo que puede perjudicar la capacidad de fabricación y por lo tanto, limitan efectivamente la cantidad de endurecedor que se puede agregar a la resina. Las resinas termoendurecidas avanzadas generalmente requieren temperaturas de curado relativamente altas (por ejemplo, 350-600° F) para curar completamente la resina/compuesto termoendurecida. Tales altas temperaturas de curado pueden dar como resultado un aumento de los esfuerzos y presiones inducidas térmicamente debido al CTE diferencial entre las fibras y la resina.

35 Como puede verse, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método para mejorar las propiedades de una resina tal como la resistencia de la resina y que evite una o más características indeseables que incluyen, pero no se limitan a, alto calor de reacción, altas temperaturas de curado y contracción excesiva de la resina. El resumen del documento EP2236549A1 describe "En un aspecto, la presente invención proporciona una composición compuesta curada que comprende (a) un componente de fibra; y (b) una composición orgánica. La composición orgánica comprende un epoxi curada de fase continua y un bloque termoplástico de nanopartículas copolimérico de fase discontinua. El bloque termoplástico de nanopartículas copolimérico de fase discontinua tiene una distribución de tamaño de dominio en un intervalo de aproximadamente 1 nanómetro a aproximadamente 500 nanómetros y la fase discontinua se distribuye de manera sustancialmente uniforme en toda la composición compuesta curada. Los artículos y el método para hacer las composiciones compuestas curadas también se proporciona".

Resumen

45 Las necesidades mencionadas anteriormente asociadas con estructuras compuestas se abordan específicamente en la presente divulgación que proporciona una composición de acuerdo con la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 9. Las nanopartículas de polímero pueden alterar las propiedades de la mezcla de resina y mejorar el procesamiento, producibilidad y rendimiento de un artículo fabricado con las nanopartículas de polímero.

50 Las características, funciones y ventajas que se han analizado se pueden lograr de manera independiente en diversas realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en otras realizaciones más, cuyos detalles adicionales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y 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 donde los números similares se refieren a partes similares de principio a fin y en donde:

- La Figura 1 es un diagrama de bloques de una estructura compuesta que incluye fibras de refuerzo y una mezcla de resina que comprende resina que contiene nanopartículas de polímero;
- 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;
- 5 La figura 3 muestra una sección transversal de una porción 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 porción de la estructura compuesta tomada a lo largo de la línea 4 de la figura 3 y que muestra una pluralidad de nanopartículas de polímero en la resina;
- 10 La figura 5 es una vista en perspectiva de una estructura compuesta que incluye una pila de capas compuestas de tela tejida;
- La figura 6 es una vista en sección de una porción de una estructura compuesta tomada a lo largo de la línea 6 de la figura 5 y que muestra nanopartículas de polímero colocadas en agujeros y/o intersecciones de los hilos de fibra de la tela tejida;
- La figura 7 es una ilustración esquemática de una resina no modificada sin nanopartículas en la resina no modificada;
- 15 La figura 7A es una ilustración esquemática de la contracción de curado de la resina no modificada de la figura 7;
- La figura 8 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que comprende resina que contiene una pluralidad de nanopartículas de polímero;
- La figura 8A es una ilustración esquemática de la reducción de la contracción de curado de la mezcla de resina de la figura 8 con respecto a la contracción de curado de la resina no modificada de la Figura 7A;
- 20 La figura 9 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas de vaina de núcleo, cada una con una vaina soluble que encapsula una partícula conformada;
- La figura 9A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina curada de la figura 9 después de la disolución de las vainas, de manera que las partículas conformadas permanecen en la resina;
- 25 La figura 10 es una ilustración esquemática de filamentos de refuerzo dentro de una mezcla de resina que contiene nanopartículas de vaina de núcleo fundido fusionadas a los filamentos de refuerzo y que muestra las nanopartículas de vaina de núcleo que tienen un ancho de sección transversal de partículas seleccionado para mantener un espacio de filamento mínimo entre los filamentos de refuerzo adyacentes;
- La figura 11 es una ilustración esquemática de una nanopartícula de vaina de núcleo que tiene una vaina de fusión fusible;
- 30 La figura 12 es una ilustración esquemática de la vaina de una nanopartícula de una vaina de núcleo fusionada por fusión a un filamento de refuerzo;
- La figura 13 es una ilustración esquemática de una resina no modificada curada sin nanopartículas de polímero en la resina no modificada;
- 35 La figura 13A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la resina no modificada curada y la tensión resultante distribuida uniformemente en toda la resina;
- La figura 14 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina curada que comprende resina que contiene una pluralidad de nanopartículas de polímero poroso;
- La figura 14A es una ilustración esquemática de la tensión biaxial aplicada a la mezcla de resina curada y que produce una distorsión de las nanopartículas de polímero poroso para reducir la presión en la resina;
- 40 La figura 15 es una ilustración esquemática de una resina no modificada no curada sin nanopartículas de polímero en la resina no modificada;
- La figura 15A es una ilustración esquemática del calor de reacción generado por la resina no modificada durante el curado;
- 45 La figura 16 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas de polímero al menos parcialmente curadas;
- La figura 16A es una ilustración esquemática de las nanopartículas de polímero parcialmente curadas que absorben una porción del calor de reacción de la resina durante el curado de la mezcla de resina de la figura 16;

La figura 17 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas de polímero solubles;

La figura 17A es una ilustración esquemática de la disolución de las nanopartículas de polímeros solubles en la resina, tal como durante el curado de la mezcla de resina de la figura 17;

5 La figura 18 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas parcialmente solubles;

La figura 18A es una ilustración esquemática de la disolución parcial de las nanopartículas de polímero parcialmente solubles durante el curado de la mezcla de resina de la figura 18;

10 La figura 19 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método para fabricar una estructura compuesta.

Descripción detallada

Haciendo referencia ahora a los dibujos, en donde las representaciones tienen el propósito de ilustrar diversas realizaciones de la divulgación, en la figura 1 se muestra un diagrama de bloques de una estructura 100 compuesta. La estructura 100 compuesta puede incluir una composición 112 (figura 2) de una mezcla 118 de resina y fibras 120 de refuerzo (figura 2) incrustadas dentro de la mezcla 118 de resina. La mezcla 118 de resina incluye resina 114 que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero. Las nanopartículas 200 de polímero pueden estar al menos parcialmente solidificadas y/o precuradas antes del curado de la resina 114 que puede asegurar la estabilidad de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 114. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero que están precuradas parcialmente antes de mezclarlas con la resina 114 pueden postcurarse durante el ciclo de curado o solidificación de la resina. Las nanopartículas 200 de polímero se pueden agregar a las resinas termoendurecidas y a las resinas termoplásticas para adaptarlas a las propiedades de la resina. Ventajosamente, las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionarse en un amplio espectro de materiales que pueden facilitar la capacidad de adaptarse a un amplio rango de propiedades de resina sobre un amplio rango de valores de propiedad.

Por ejemplo, la adición de nanopartículas 200 de polímero puede reducir el coeficiente del diferencial de expansión térmica (CTE) entre las fibras 120 de refuerzo y la resina 114. La adición de nanopartículas 200 de polímero (figura 1) también puede proporcionar mayor resistencia, mayor resistencia a la inflamabilidad, mayor conductividad eléctrica, reducción de la distorsión relacionada con la contracción por curado, reducción de la distorsión relacionada con el calor de la reacción, reducción de la degradación de la resina relacionada con el calor de la reacción y otras mejoras. Algunas mejoras pueden tener el efecto de reducir o prevenir los esfuerzos internos inducidos térmicamente en la resina 114 (figura 1) que de otro modo podrían resultar en microgrietas de la resina 114. En algunos ejemplos, la adición de nanopartículas 200 de polímero a la resina 114 puede alterar el módulo de elasticidad, mejora las propiedades de resistencia y/o presión, mejora la conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y las características de inflamabilidad, humo y/o toxicidad de una estructura 100 compuesta.

Ventajosamente, el tamaño relativamente pequeño y/o la forma esférica de las nanopartículas 200 de polímero pueden permitir que la mezcla de resina 118 retenga una viscosidad relativamente baja durante el procesamiento a niveles de carga relativamente altos de nanopartículas 200 de polímero en la resina 114. Una viscosidad relativamente baja de la mezcla 118 de resina (figura 1) puede facilitar el flujo de resina hacia y a través de las fibras 120 de refuerzo (figura 2) para un procesamiento más rápido y más confiable. Aunque la presente divulgación describe la implementación de nanopartículas 200 de polímero (figura 1) en una mezcla 118 de resina para una estructura 100 compuesta, la mezcla 118 de resina de nanopartículas 200 de polímero en la resina 114 puede implementarse en otras aplicaciones que incluyen, pero no se limitan a, adhesivos, recubrimientos y cualquiera de una variedad de otras aplicaciones. Las nanopartículas 200 de polímero se pueden agregar a las resinas termoendurecidas y a las resinas termoplásticas para los sistemas de preimpregnación y de infusión de resina. Las nanopartículas 200 de polímero se pueden agregar para adaptar las propiedades de la resina 114 y mejorar el procesamiento, producibilidad y el rendimiento de un artículo fabricado con resina que contiene nanopartículas 200 de polímero.

La figura 2 muestra un ejemplo de una estructura 100 compuesta formada como una pila laminada de capas 110 unidireccionales. Cada una de las capas 110 unidireccionales puede incluir una pluralidad de hilos 120 de fibras continuas paralelas (por ejemplo, fibras de refuerzo) o una cinta 124 unidireccional colocada una al lado de la otra. Las fibras 120 de refuerzo o la cinta 124 pueden estar formadas por una pluralidad de filamentos 122 de refuerzo. Un cable 120 de fibra simple o una cinta 124 unidireccional puede incluir un haz de varios miles de filamentos 122 de refuerzo (por ejemplo, 1.000 a 100.000 o más filamentos de refuerzo). En algunos ejemplos, un filamento de refuerzo puede tener un ancho o diámetro de sección transversal de filamento de 5 a 30 micras. Por ejemplo, un filamento de refuerzo de carbono puede tener un ancho de sección transversal de filamento de aproximadamente 5-7 micras. Los filamentos de refuerzo de vidrio pueden tener un ancho de sección transversal de filamento de 10-25 micras. Aunque no se muestra, las fibras 120 compuestas en la presente divulgación también pueden abarcar fibras cortadas como pueden incorporarse en una estera de fibra. En la presente divulgación, los términos fibra de refuerzo, cable de fibra y fibra compuesta se pueden usar de manera intercambiable.

5 En algunos ejemplos, una estructura 100 compuesta puede estar formada por capas 106 compuestas que pueden preimpregnarse con resina 114 (por ejemplo, capas compuestas preimpregnadas) que contienen nanopartículas 200 de polímero. Por ejemplo, una o más capas 106 compuestas (figura 2) de una estructura 100 compuesta (figura 2) puede estar formada por hilos 120 de fibra preimpregnada, (figura 2), cinta 124 preimpregnada unidireccional (figura 2), tela 126 tejida preimpregnada (figura 6), trenzados preimpregnados y otras formas de preimpregnación que incluyen formas de fibra de puntada y formas de fibra cortada (por ejemplo, estera de fibra cortada). En otros ejemplos, la estructura 100 compuesta puede apilarse con capas 106 compuestas que pueden preimpregnarse con resina 116 no modificada (figura 8), después de lo cual las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse a una o más ubicaciones del apilamiento 102 compuesta (figura 2).

10 Alternativamente, una estructura 100 compuesta puede formarse como una o más preformas 130 de fibra seca que pueden infundirse con resina 114. Por ejemplo, una estructura 100 compuesta (figura 2) puede formarse apilando cables de fibra seca, cinta unidireccional seca, láminas de fibra seca, tela tejida seca y/u otras formas de fibra seca. Las preformas 130 de fibra seca (figura 2) pueden disponerse en una pila de capas 106 compuestas (figura 2) en la que se puede infundir resina 114 (figura 2) en un proceso de apilamiento en húmedo. En algunos ejemplos, la resina 15 116 no modificada se puede infundir en una preforma 130 de fibra seca (figura 2), después de lo cual las nanopartículas 200 de polímero (figura 1) se pueden aplicar a una o más ubicaciones del apilamiento compuesto. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar a los bolsillos 132 ricos en resina (figura 6) de un apilamiento 102 compuesto. En otros ejemplos, una mezcla 118 de resina (figura 2) que contiene nanopartículas 200 de polímero puede infundirse en una preforma 130 de fibra seca dando como resultado las nanopartículas 200 de polímero 20 distribuidas a granel a lo largo del apilamiento 102 compuesto.

En uno cualquiera de los ejemplos divulgados aquí, la resina 114 (figura 2) se puede formar a partir de material termoplástico o material termoendurecido. El material termoplástico puede incluir al menos uno de los siguientes: acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas (por ejemplo, polietilenos, polipropilenos), poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliartertercetona, (por ejemplo, polieteretercetona PEEK, polietercetonaacetona (PEKK), polietercetonaacetona (PEKEK), etc.) y polieterimidias. El material termoendurecido puede incluir al menos uno de los siguientes: poliuretanos, fenólicos, poliimidias, polímeros sulfonados (sulfuro de polifenileno), un polímero 25 conductivo (por ejemplo, polianilina), benzoxazinas, bismaleimidias, ésteres de cianatos, poliésteres, epoxis y silsesquioxanos. Además, en uno cualquiera de los ejemplos divulgados aquí, los filamentos 122 de refuerzo o las fibras 120 (figura 2) se pueden formar a partir de materiales tales como carbonos, carburo de silicio, boro, cerámica y material metálico. Los filamentos 122 de refuerzo o las fibras 120 también se pueden formar a partir de vidrio tal como vidrio E (vidrio de aluminio y borosilicato), vidrio S (vidrio de silicato de aluminio), sílica pura, vidrio de borosilicato, vidrio óptico y otras composiciones de vidrio.

35 Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero pueden precurarse o solidificarse antes de curar la resina 114. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden precurarse hasta al menos un estado gelificado de manera tal que las nanopartículas 200 de polímero (figura 1) pueden conservar su forma geométrica antes del curado de la resina 114. Como se indica a continuación, en un ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser solubles o semisolubles en la resina 114 (figura 2). En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden permanecer sólidas por debajo de la temperatura del vidrio de la resina 114 y/o por debajo de la temperatura de curado de la resina 114. En otros ejemplos, las nanopartículas de 200 polímero pueden disolverse al 40 menos parcialmente dentro de la resina 114 por encima de la temperatura de transición de vidrio y/o superior a la temperatura de curado de la resina 114.

Las nanopartículas 200 de polímero pueden formarse a partir de uno cualquiera de los materiales termoplásticos y materiales termoendurecidos mencionados con anterioridad a partir de los cuales se puede formar la resina. Las nanopartículas 200 de polímero tienen un componente termoendurecido no elastomérico. En algunos ejemplos de 45 referencia, algunas de las nanopartículas 200 de polímero pueden formarse de material termoplástico sin un componente elastomérico. Además, algunas de las nanopartículas 200 de polímero en una mezcla 118 de resina pueden tener una composición 112 diferente que otras nanopartículas 200 de polímero en la mezcla 118 de resina (figura 2). En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener la misma composición 112 química que la resina 114 base, aunque las nanopartículas 200 de polímero pueden curarse parcial o totalmente antes del curado de la resina 114 (figura 2), lo que puede reducir de manera ventajosa la contracción de curado efectiva y el calor de reacción de la mezcla 118 de resina en relación con la contracción de curado y el calor de reacción de la resina 116 no modificada (figura 8). En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero (figura 4) pueden proporcionarse como nanopartículas 206 de vaina de núcleo que incluyen una vaina 208 (figura 9) que encapsula un núcleo 210. El núcleo 210 (figura 10) puede tener una composición química que es diferente a la composición química 55 de la vaina 208. Por ejemplo, la vaina 208 se puede formar de material termoplástico y el núcleo se puede formar de material termoendurecido. Antes de la introducción de la resina 114, la temperatura de la vaina 208 puede calentarse por encima de su temperatura de transición de vidrio, lo que puede permitir que la vaina 208 se adhiera o funda por fusión adhesivamente a un filamento 158 de refuerzo, mientras que la vaina 208 permanece en un estado sólido durante el procesamiento (por ejemplo, curado) de la resina 114, de manera que el núcleo 210 permanezca después 60 del curado de la resina 114.

Las nanopartículas de polímero 200 están provistas de un ancho 202 de sección transversal (figura 10) o un diámetro de partícula de 10-200 nanómetros. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho

202 de sección transversal de entre 10 y 100 nanómetros. Sin embargo, en ejemplos de referencia, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho 202 de sección transversal de hasta 2 micras. Proporcionar las nanopartículas 200 de polímero en un ancho 202 de sección transversal relativamente pequeño puede prevenir o reducir el filtrado de nanopartículas demasiado grandes durante las operaciones de preimpregnación o durante la infusión de resina. A este respecto, una nanopartícula demasiado grande puede evitar el paso de la nanopartícula entre fibras de refuerzo adyacentes o hilos 120 (figura 2).

En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionarse en diferentes tamaños de partículas. Por ejemplo, algunas de las nanopartículas 200 de polímero (figura 4) en un apilamiento 102 compuesto (figura 4) pueden tener un ancho de sección transversal más grande que otras nanopartículas 200 de polímero en la misma deposición 102 compuesta. A este respecto, los diferentes anchos de sección transversal de partículas de las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionar un medio para controlar localmente la viscosidad de la resina y/o mejorar localmente la tenacidad de la resina. Además, el uso de diferentes anchos de sección transversal de partículas puede permitir diferentes proporciones volumétricas de resina líquida a nanopartículas dentro de un apilamiento 102 compuesto.

Las nanopartículas 200 de polímero (figura 4) tienen una forma esférica para evitar aumentar la viscosidad de la resina. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero se pueden proporcionar como una esfera sólida, una esfera hueca y/o como una nanopartícula 206 de la vaina de núcleo (figura 9). Ventajosamente, el ancho 202 relativamente pequeño de la sección transversal (figura 10) y/o la forma esférica de las nanopartículas 200 de polímero pueden permitir una concentración relativamente alta de nanopartículas 200 de polímero (figura 4) dentro de la resina 114 (figura 4) con un aumento relativamente pequeño en la viscosidad de la resina. Las nanopartículas 200 de polímero constituyen 5-75 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina que contiene resina 114 y nanopartículas 200 de polímero. Preferiblemente, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir un mínimo de 10 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina como el extremo inferior de un intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 de polímero. En ejemplos adicionales, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir no menos del 15 por ciento en volumen en el extremo inferior del intervalo.

En ciertas aplicaciones, puede ser deseable proporcionar las nanopartículas 200 de polímero a un máximo del 65 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina como un extremo superior de un intervalo de porcentaje por volumen de nanopartículas 200 de polímero. Sin embargo, en algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir no más del 50 por ciento en volumen como el extremo superior del intervalo. En ciertas aplicaciones, las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionarse en cualquier combinación del extremo inferior y el extremo superior mencionados anteriormente del intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 de polímero de una mezcla de resina 114. Un ejemplo puede incluir nanopartículas 200 de polímero que constituyen 10-75 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina. En aún otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir de 15-65 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina. En un ejemplo adicional, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir de 20-50 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina. Ventajosamente, la forma esférica de las nanopartículas 200 de polímero permite mejoras lineales en las propiedades de la resina 114 con aumentos lineales en el nivel de concentración de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 114 con un efecto mínimo o insignificante en la viscosidad de la resina.

Las nanopartículas 200 de polímero pueden fabricarse externamente antes de la adición de las nanopartículas 200 de polímero a la resina 114. Sin embargo, en algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden formarse por crecimiento in situ dentro de la resina 114 (figura 2). La fabricación externa de las nanopartículas 200 de polímero (figura 2) se puede proporcionar mediante una o más técnicas que incluyen, pero no se limitan a, polimerización en emulsión, nanoprecipitación, rápida expansión del fluido supercrítico (RESS), rápida expansión del fluido supercrítico en disolvente (RESOLV), y autoensamblaje. La fabricación de nanopartículas de polímero también se puede proporcionar mediante nanoimpresión, nanolitografía u otras técnicas, incluido el cultivo de nanopartículas 200 de polímero en un sustrato o núcleo de un compuesto de silsesquioxano oligomérico poliédrico (POSS), o en otros sustratos funcionalizados muy pequeños, como en nanotubos de carbono, bolas de bucky y nanosílica.

La Figura 3 muestra una sección transversal de una porción de la estructura 100 compuesta de la figura 2. En el ejemplo que se muestra, cada una de las capas 106 compuestas de la estructura 100 compuesta está formada por una cinta 124 unidireccional. Sin embargo, una o más de las capas 106 compuestas pueden estar formadas de otras formas de fibra tales como una hoja unidireccional (no mostrada). Las fibras 120 en una capa 106 compuesta pueden estar orientadas no paralelas a las fibras 120 en una capa 106 compuesta adyacente (por ejemplo, por encima o por debajo) en la pila. Sin embargo, una o más de las capas 106 compuestas pueden incluir fibras 120 (figura 2) que están orientadas paralelas a las fibras 120 en una capa 106 compuesta adyacente. Por ejemplo, en la figura 2, las dos capas 106 compuestas del medio de la pila incluyen filamentos 122 orientados paralelos al plano del papel.

La Figura 4 es una vista ampliada de una porción de la estructura 100 compuesta de la figura 3 y muestra una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero en la resina 114. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas 200 de polímero pueden distribuirse uniformemente por toda la capa compuesta. Por ejemplo, un apilamiento 102 compuesto se puede formar de una cinta 124 unidireccional preimpregnada con la mezcla 118 de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero. Durante el procesamiento del apilamiento 102 compuesto, la viscosidad de la resina 114 se puede reducir permitiendo que las nanopartículas 200 de polímero se distribuyan uniformemente a lo largo del apilamiento 102

5 compuesto. Sin embargo, en otro ejemplo no mostrado, un apilamiento 102 compuesto se puede formar con una cinta 124 unidireccional preimpregnada con resina 116 no modificada (figura 8). Durante y/o después del apilamiento de la cinta 124 unidireccional, las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse selectivamente a los sitios objetivo en el apilamiento compuesto. Por ejemplo, una solución que contiene nanopartículas 200 de polímero se puede aplicar a los bolsillos 132 ricos en resina (figura 6) del apilamiento 102 compuesto. Un bolsillo 132 rico en resina se puede describir como un sitio con alto contenido de resina en el apilamiento 102 compuesto o la estructura 100 compuesta, o un sitio que tenga un gran volumen de resina 114 en relación con el volumen de las fibras 120 en la ubicación específica.

10 Las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar a los bolsillos 132 ricos en resina (figura 6) entre los lados laterales opuestos de un par adyacente de cintas 124 unidireccionales, y/o en la región 108 interlaminar entre las superficies superior e inferior de las capas 106 compuestas adyacentes. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse selectivamente a lo largo de una estructura 100 compuesta. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse en o entre ciertas capas 106 compuestas de un apilamiento 102 compuesto (por ejemplo, solo las capas intermedias, o solo las capas finales), mientras que otras capas 106 compuestas pueden estar desprovistas de nanopartículas 200 de polímero. Las nanopartículas 200 de polímero pueden colocarse en los bolsillos 132 ricos en resina (figura 6) mediante la colocación manual y/o utilizando un dispositivo robótico (no mostrado). Las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar a los filamentos 122 de refuerzo y/o a los hilos 120 de fibra (figura 2) durante la fabricación de los filamentos de refuerzo 122 y/o a los hilos 120 de fibra y que pueden formarse posteriormente en cinta unidireccional, lámina unidireccional, tela tejida y otras formas de fibra. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero también se pueden aplicar a una forma de fibra durante las operaciones de preimpregnación.

15 En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar de manera tal que las nanopartículas 200 se encuentren predominantemente dentro de un lecho de fibra, o las nanopartículas 200 de polímero (figura 4) se pueden aplicar solo a las fibras 120 (figura 2) antes de la infusión de resina 114 (figura 4) en un apilamiento 102 compuesto (figura 4). Las nanopartículas 200 de polímero también pueden aplicarse selectivamente a las superficies exteriores de una estructura 100 compuesta (figura 4) para proporcionar una funcionalidad objetivizada. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse a la superficie o porción externa de una estructura 100 compuesta que tiene un punto de contacto o se acopla con un componente metálico. En un ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar a sitios de una piel compuesta que se pueden colocar en contacto contiguo con un componente metálico, como un refuerzo metálico, largueros, mástiles, costillas, soporte u otro componente metálico. En un ejemplo adicional no mostrado, las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionarse en una película (no mostrada) en un patrón macroscópico. La película de nanopartículas 200 de polímero se puede aplicar a uno o más sitios de un apilamiento 102 compuesto para abordar necesidades de rendimiento específicas. Por ejemplo, una película de nanopartículas 200 de polímero se puede aplicar a un apilamiento de un laminado 104 compuesto para reducir o prevenir la propagación de microgrietas inducidas por fatiga.

20 La Figura 5 muestra una estructura 100 compuesta dispuesta como una pila de capas 106 compuestas de tela 126 tejida bidireccional (figura 6). Cada una de las capas de tela 126 tejida puede formarse tejiendo hilos 120 de fibra o fibra para hilar. En un ejemplo, las capas 106 compuestas se pueden preimpregnar con resina 116 no modificada (por ejemplo, preimpregnado). Sin embargo, en otros ejemplos, las capas 106 compuestas pueden preimpregnarse con una mezcla 118 de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero.

25 La figura 6 es una vista en sección de una porción de la estructura 100 compuesta de la figura 5 y muestra la colocación objetivizada de las nanopartículas 200 de polímero en bolsillos 132 ricos en resina en los agujeros 128 y/o intersecciones de los hilos 120 de fibra de la tela 126 tejida. En el ejemplo mostrado, la tela 126 tejida se puede reimpregnar con resina 116 no modificada (figura 6). Durante el proceso de apilamiento de las capas 106 compuestas, las nanopartículas 200 de polímero se pueden colocar en los bolsillos 132 ricos en resina, como en los agujeros 128 y/o intersecciones de los cables de fibra de la tela 126 tejida. Por ejemplo, una solución que contiene las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse por aspersion en los agujeros 128 de la tela 126 tejida de una o más de las capas. Como se describe con mayor detalle a continuación, las nanopartículas 200 de polímero pueden mitigar o prevenir el inicio de grietas y/o el crecimiento de grietas dentro de los bolsillos 132 ricos en resina al mejorar la tenacidad de la resina 114, reducir la temperatura de curado, reducir la contracción del curado o por otros mecanismos que pueden reducir o prevenir los esfuerzos internos inducidos térmicamente que pueden conducir a microgrietas o propagación de grietas en la resina 114.

30 Después del apilamiento de las capas 106 compuestas, la resina 114 en la tela 126 tejida preimpregnada (figura 6) puede calentarse para reducir la viscosidad de la resina 114 y permitir que la resina 114 fluya y se mezcle con la resina 114 (figura 6) de capas 126 adyacentes de tela tejida y con las nanopartículas 200 de polímero en los bolsillos 132 ricos en resina (figura 6). El apilamiento 102 compuesto (figura 6) se puede consolidar y curar para formar una estructura 100 compuesta. En otro ejemplo de fabricación de una estructura 100 compuesta, un apilamiento 102 compuesto (figura 6) de capas 126 de telas tejidas puede preimpregnarse con una mezcla 118 de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero. Se pueden colocar nanopartículas 200 de polímero adicionales (figura 6) en los bolsillos 132 ricos en resina en los agujeros 128 (figura 6) de una o más capas 126 de tela tejida. El apilamiento 102 compuesto se puede mantener a una temperatura elevada para curar la resina 114 en un estado solidificado o endurecido, después de lo cual el apilamiento 102 compuesto se puede enfriar de forma pasiva o activa hasta

temperatura ambiente. En un ejemplo de fabricación adicional, la tela 126 tejida puede proporcionarse como preformas 130 de fibra seca dispuestas en una pila y que puede infundirse con una mezcla 118 de resina (figura 6) que contiene nanopartículas 200 de polímero en un proceso de apilamiento en húmedo después de lo cual la resina 114 puede curarse para formar una estructura 100 compuesta (figura 6).

5 La Figura 7 es una ilustración esquemática de la resina 114 termoendurecida no modificada no curada (figura 6) sin nanopartículas en la resina 116 no modificada. La Figura 7A es una ilustración esquemática de la contracción 250 de curado volumétrica libre de la resina 116 no modificada de la figura 7 durante el curado de la resina 114 termoendurecida. Como se indicó anteriormente, la contracción 250 de curado de la resina 114 puede dar lugar a esfuerzos internos inducidos térmicamente que pueden provocar microgrietas en la resina 114 bajo carga mecánica o ciclo térmico. Los esfuerzos inducidos térmicamente dentro de la resina 114 también pueden dar como resultado distorsión y/o deformación de la forma de la estructura 100 compuesta curada.

10 La Figura 8 es una ilustración esquemática de una mezcla 118 de resina no curada de resina 114 termoendurecida (figura 6) que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero pueden fabricarse antes de la incorporación en la resina 114. Las nanopartículas 200 de polímero pueden o no pueden estar hechas del mismo material que la resina 114 base y pueden estar al menos parcialmente curadas y/o solidificadas antes de mezclar con y/o curar la resina 114.

15 La Figura 8A es una ilustración esquemática de la contracción 250 de curado reducida de la mezcla 118 de resina de la figura 8 en relación con la contracción 250 de curado de la resina 116 no modificada de la figura 7A. Ventajosamente, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener una menor contracción de curado que la resina 114 (figura 6) o una contracción de curado inexistente durante el ciclo de curado de la resina, tal como después del punto de gel de la resina 114. La contracción menor de curado de las nanopartículas 200 de polímero puede reducir la contracción de curado volumétrica global de la mezcla 118 de resina debido a una reducción en la contracción de curado acumulativa de la resina 114 desnuda y también debido a las nanopartículas 200 de polímero solidificadas que restringen físicamente la contracción de la resina 114 desnuda. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un coeficiente de partículas de expansión térmica (CTE) que puede reducir el CTE total de la mezcla 118 de resina y por lo tanto, reducir los esfuerzos internos inducidos térmicamente que pueden de otra manera desarrollarse con posibles microgrietas de la resina. Una reducción en la contracción del curado y/o un CTE favorable como es proporcionado por las nanopartículas 200 de polímero también puede reducir la distorsión en la forma de la estructura 100 compuesta curada (figura 6).

20 La Figura 9 es una ilustración esquemática de una mezcla 118 de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas 206 de vaina de núcleo. Cada una de las nanopartículas 206 de vaina de núcleo puede incluir una vaina 208 soluble que encapsula una partícula 212 conformada. La vaina 208 es esférica para mejorar la dispersión de las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo dentro de la resina 114 y para minimizar los efectos sobre la viscosidad de la resina. Las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo pueden implementarse en resinas termoendurecidas y en resinas termoplásticas, como se puede usar en laminados compuestos, adhesivos, recubrimientos y plástico moldeado por inyección. El tamaño, la forma y la configuración de las partículas 212 con forma pueden seleccionarse para proporcionar funcionalidades específicas que incluyen, pero no se limitan a, propiedades asimétricas, como la rigidez, resistencia y tenacidad de la estructura 100 compuesta. En algunos ejemplos, las partículas 212 conformadas pueden ser eléctricamente conductoras para mejorar la capacidad de distribución de carga eléctrica de una estructura 100 compuesta (figura 6), como en el caso de la caída de un relámpago en la estructura 100 compuesta.

25 La Figura 9A es una ilustración esquemática de la mezcla 118 de resina curada de la figura 9 después de la disolución de las vainas 208 durante el curado de la resina 114, de manera que solo quedan las partículas 212 conformadas. En algunos ejemplos, la disolución de la vaina 208 soluble dentro de la resina 114 puede mejorar la tenacidad de la mezcla de resina 118. Ventajosamente, al usar vainas 208 esféricas, las partículas 212 conformadas pueden dispersarse uniformemente dentro de la resina 114 sin aglomeración durante el flujo de resina. En algunos ejemplos, se puede aplicar un campo eléctrico o campo magnético (no mostrado) a la resina 114 antes del curado para alinear las partículas 212 conformadas a lo largo de una o más direcciones comunes. Por ejemplo, las partículas 212 conformadas pueden alinearse a lo largo de una dirección para influir favorablemente en la dirección de propagación de grietas dentro de la resina 114. Aunque las partículas 212 conformadas se muestran en una configuración de corbata de lazo, las partículas 212 conformadas pueden estar provistas de cualquier número de formas deseadas que incluyen, pero no se limitan a, un cilindro, un toroide, un cubo, una pirámide, un polígono con facetas tridimensionales y otras formas. Las partículas 212 conformadas pueden estar formadas de material metálico, material polimérico, cerámica, vidrio y/o cualquier combinación de estos.

30 La Figura 10 es una ilustración en sección de una pluralidad de filamentos 122 de refuerzo dentro de una mezcla 118 de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero. Las nanopartículas 200 de polímero pueden actuar como espaciadores para evitar que los filamentos 122 de refuerzo se toquen entre sí y para controlar la permeabilidad de las fibras 120 (figura 6). Las nanopartículas 200 de polímero de núcleo pueden formarse con un ancho 202 de sección transversal de partículas predeterminado que puede seleccionarse para mantener una separación 204 mínima de filamentos entre los filamentos 122 de refuerzo adyacentes. De esta manera, las nanopartículas 200 de polímero proporcionan un camino claro para la resina 114 para que fluya entre los filamentos 122 de refuerzo y permita una humectación uniforme de los filamentos 122 de refuerzo y/o fibras 120 durante la infusión de resina. Además, al evitar

el contacto directo entre los filamentos 122 o fibras 120, las nanopartículas 200 de polímero pueden evitar o prevenir concentraciones de esfuerzo y microgrietas que, de lo contrario, podrían iniciarse en lugares de contacto fibra a fibra. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden configurarse como nanopartículas sin vaina del núcleo (por ejemplo, la figura 8) formadas por una sola fase homogénea. Una porción externa de dichas nanopartículas sin vaina del núcleo puede fundirse por fusión a los filamentos 122 de refuerzo. En otros ejemplos, las nanopartículas de polímero 200 pueden estar configuradas como nanopartículas 206 de vaina de núcleo que tienen una vaina 208 que rodea un núcleo 210. La vaina 208 de tales nanopartículas 206 de vaina de núcleo puede fundirse por fusión a los filamentos de refuerzo 122 de manera que las nanopartículas 206 de vaina de núcleo actúen como espaciadores.

La Figura 11 es una ilustración esquemática de una nanopartícula 206 con vaina de núcleo que tiene una vaina fundible por fusión. Como se indicó anteriormente, el núcleo 210 puede estar formado por un material diferente al de la vaina 208. Por ejemplo, el núcleo 210 puede estar formado por un material termoendurecido o puede tener una temperatura de transición vítrea relativamente alta, y la vaina 208 puede tener una temperatura relativamente baja de transición vítrea. La figura 12 es una ilustración esquemática de la vaina 208 de una nanopartícula 206 de vaina de núcleo fusionada por fusión a un filamento 122 de refuerzo. El núcleo 210 puede configurarse para resistir la deformación durante el proceso de aplicación de las nanopartículas 200 de polímero (Figura 9) a los filamentos 122 de refuerzo. Las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo se pueden aplicar a los filamentos 122 de refuerzo y los hilos 120 de fibra (figura 6) después de la fabricación de los filamentos 122 y las fibras 120 y antes de la infusión de la resina 114 (figura 6) en un apilamiento 102 compuesto (figura 6). En algunos ejemplos, las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo se pueden aplicar a los filamentos 122 de refuerzo y a los hilos 120 de fibra antes de o durante la preimpregnación.

La Figura 13 es una ilustración esquemática de una resina 116 no modificada curada sin nanopartículas 200 de polímero en la resina 116 no modificada. La Figura 13A es una ilustración esquemática de la tensión 252 biaxial aplicada a la resina 116 no modificada curada e ilustra la presión resultante distribuida uniformemente a lo largo de la resina 116 curada no modificada. La distribución de la presión dentro de la resina 116 no modificada representa un inconveniente potencial para las estructuras 100 compuestas (figura 4). Por ejemplo, cuando una carga (no mostrada) se coloca en una estructura 100 compuesta, los filamentos 122 de refuerzo típicamente restringen la resina contra la contracción. La capacidad reducida de la resina 116 no modificada para contraerse limita la capacidad de deformación por tracción de la resina 116 no modificada. Como resultado del límite en la capacidad de presión de la resina 116 no modificada, el rendimiento de la estructura 100 compuesta puede ser limitado. Por ejemplo, cuando una estructura 100 compuesta se carga en tensión, la presión de falla relativamente baja de la resina 116 no modificada puede dar como resultado la falla de la resina 116 no modificada (por ejemplo, microgrietas) antes de que los filamentos 122 de refuerzo alcancen su presión de falla.

La figura 14 es una ilustración esquemática de una mezcla 118 de resina curada que comprende resina 114 que contiene una pluralidad de nanopartículas 214 de polímero altamente capaces de distorsión. Las nanopartículas 214 de polímero altamente capaces de distorsión pueden ser inherentemente altamente capaces de distorsión debido a la naturaleza del esqueleto del polímero, o debido a una porosidad de las nanopartículas 214 de polímero. En un ejemplo adicional, las nanopartículas 214 de polímero pueden tener un volumen libre relativamente alto que puede proporcionar una capacidad de distorsión relativamente alta. La figura 14A es una ilustración esquemática de la tensión 252 biaxial aplicada a la mezcla de resina 118 curada y que muestra la distorsión 216 mecánica de las nanopartículas 214 de polímero altamente capaces de distorsión. Ventajosamente, la distorsión de las nanopartículas 214 de polímero proporciona la mezcla 118 de resina curada con una capacidad de presión 254 a lo largo de al menos una dirección que es mayor que la capacidad de presión de una resina 116 no modificada (figura 8) que carece de nanopartículas 200 de polímero (figura 8).

La figura 15 es una ilustración esquemática de una resina 116 termoendurecida no curada, no modificada. La figura 15A es una ilustración esquemática del calor de reacción 256 liberado o generado por la resina 116 no modificada durante el curado. El calor que se libera durante el curado de la resina 116 no modificada puede resultar en el calentamiento de la resina 116 por encima del límite de temperatura de degradación de la resina 116 y/o puede dar lugar a ratas de curado no homogéneas en la resina 116. Ratas de curado no homogéneas o no uniformes, pueden resultar en distorsión de la forma de la estructura 100 compuesta (figura 6) debido a la formación de esfuerzos internos en diferentes regiones de la estructura 100 compuesta final. La distorsión de la forma de la estructura 100 compuesta y/o la degradación de la resina 116 puede resultar en una reducción en el rendimiento mecánico de la estructura 100 compuesta.

La Figura 16 es una ilustración esquemática de una mezcla 118 de resina termoendurecida sin curar que contiene una pluralidad de nanopartículas 218 de polímero al menos parcialmente curadas. Las nanopartículas 218 de polímero pueden incorporarse en la resina 114 durante la fabricación de la resina 114. La figura 16A es una ilustración esquemática de la absorción 224 de calor por las nanopartículas 218 de polímero de al menos una porción del calor de reacción 256 generado por la resina 114 durante el curado. Ventajosamente, las nanopartículas 218 de polímero pueden tener una menor cantidad de liberación de calor que la resina 114 durante el ciclo de curado de la resina. La reducción en la liberación de calor de las nanopartículas 200 de polímero puede reducir la cantidad total de calor generado durante el curado de la mezcla 118 de resina debido a una reducción en la cantidad de energía generada durante el curado de la resina, y debido a las nanopartículas 218 de polímero que actúan como disipadores de calor. Ventajosamente, la reducción neta en la liberación de calor de la mezcla de resina 118 puede reducir la distorsión de

la forma de la estructura 100 compuesta, y/o puede reducir o prevenir una degradación de las propiedades mecánicas de la resina 114.

5 La Figura 17 es una ilustración esquemática de una mezcla 118 de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas 220 de polímero completamente solubles. En un ejemplo de referencia, las nanopartículas 220 de polímero pueden estar formadas de material termoplástico para endurecer una resina 114. Las nanopartículas 220 de polímero pueden ser dispersadas de manera relativamente uniforme en toda la resina 114 con un efecto mínimo en la viscosidad de la resina 114. La figura 17A es una ilustración esquemática de la disolución de las nanopartículas 220 de polímero solubles en la resina 114 de la figura 17, tal como durante el curado de la mezcla 118 de resina. La disolución de las nanopartículas 220 de polímero puede alterar las propiedades de la mezcla 118 de resina. Por ejemplo, las nanopartículas 220 de polímero pueden aumentar la tenacidad de la resina 114. La composición de las nanopartículas 220 de polímero puede seleccionarse de manera que las nanopartículas 220 de polímero se disuelven en un punto específico durante el ciclo de curado. Por ejemplo, las nanopartículas 220 de polímero pueden configurarse para disolverse completamente después de la infusión de resina o el flujo de resina a través de un apilamiento 102 compuesto.

15 La figura 18 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada 118 que contiene una pluralidad de nanopartículas 222 de polímero parcialmente solubles. La figura 18A es una ilustración esquemática de la disolución parcial de las nanopartículas 222 de polímero parcialmente solubles durante el curado de la mezcla 118 de resina de la figura 18. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas 222 de polímero pueden configurarse para disolverse parcialmente durante o después del curado de la resina para proporcionar un gradiente de tenacidad que se extiende desde el centro de cada nanopartícula 222 de polímero hacia el exterior hacia la resina base 114. Las nanopartículas 222 de polímero parcialmente solubles pueden dispersarse de manera relativamente uniforme en toda la resina 114 y puede proporcionar regiones localmente endurecidas dentro de la mezcla 118 de resina a distancias controladas entre sí.

25 En un ejemplo no mostrado, las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo se pueden agregar a la resina 114 (figura 18), en donde cada nanopartícula 206 de la vaina de núcleo (figura 12) tiene una vaina 208 o soluble o semisoluble (figura 12) que encapsula un núcleo 210 insoluble (figura 12). La vaina 208 semisoluble o soluble puede proporcionar un enlace adhesivo entre el núcleo 210 insoluble y la resina base 114. De esta manera, las nanopartículas 206 de la vaina de núcleo pueden enlazar íntimamente el núcleo 210 a la resina 114 base sin una reacción que genere calor. En otros ejemplos, 2 o más tipos diferentes de nanopartículas 222 de polímero al menos parcialmente solubles pueden incluirse en una mezcla 118 de resina para proporcionar 2 o más puntos diferentes durante el ciclo de curado donde las diferentes nanopartículas 200 de polímero pueden disolverse al menos parcialmente en la resina 114.

35 En otro ejemplo no mostrado, se puede preparar una mezcla 118 de resina (figura 17) que contiene una pluralidad de nanopartículas 220 (figura 17), 222 (Figura 18) de polímero solubles o semisolubles configuradas para liberar un catalizador o un endurecedor en una la resina 114 termoendurecida (figura 17) para modificar las características de curado de la resina 114. Alternativamente, una nanopartícula 206 de la vaina de núcleo (figura 12) puede incluir una vaina 208 (figura 12) configurada para disolverse de manera controlada a una temperatura predeterminada para liberar un catalizador o un endurecedor en una resina 114 termoendurecida. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 206, 220, 222 de polímero pueden estar formadas de cualquier material termoendurecido adecuado. El material de las nanopartículas 206, 220, 222 de polímero puede incluir una versión parcial o totalmente curada del material de resina. Las nanopartículas 206, 220, 222 de polímero pueden configurarse para disolver y liberar el catalizador o endurecedor progresivamente en varios puntos distintos durante el ciclo de curado de la resina como un medio para aumentar el tiempo de salida de la resina 114 y/o disminuir la temperatura de curado de la resina 114.

45 La Figura 19 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método 300 para fabricar una estructura 100 compuesta. La etapa 302 del método puede incluir proporcionar una resina 114. La resina 114 (figura 2) puede ser una resina termoendurecida 114 o una resina termoplástica 114 de una cualquiera de las composiciones descritas anteriormente.

50 La etapa 304 del método 300 puede incluir al menos parcialmente curar o solidificar una pluralidad de partículas tales como nanopartículas 200 de polímero (figura 4) para incluir en la resina 114 (figura 4). Las nanopartículas 200 de polímero tienen un ancho 202 de sección transversal de partículas (figura 10) de 10-200 nanómetros. Las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho de sección transversal de partículas de aproximadamente 10 a 100 nm. En algunos ejemplos, el método puede incluir fabricar las nanopartículas 200 de polímero externamente antes de mezclarlas con la resina 114. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden formarse en la resina 114 utilizando al menos una de las técnicas de formación descritas anteriormente. Las nanopartículas 200 de polímero pueden ser una esfera sólida, una esfera hueca o una nanopartícula 206 de vaina de núcleo que incluye una vaina 208 que encapsula un núcleo 210.

60 La etapa 306 del método 300 puede incluir mezclar la pluralidad de nanopartículas 200 de polímero con la resina 114 para formar una mezcla 118 de resina. Ventajosamente, debido al tamaño relativamente pequeño (por ejemplo, 10-200 nanómetros) de las nanopartículas 200 de polímero (figura 6) y la forma esférica, las nanopartículas 200 de polímero se pueden mezclar en la resina 114 (figura 6) a niveles de carga relativamente altos con un impacto mínimo en la viscosidad de la resina o el flujo de resina. Las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir 5-75 por ciento

5 en volumen de una mezcla 118 de resina (figura 6) que contiene resina 114 y nanopartículas 200 de polímero. Preferiblemente, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir un mínimo de 10 por ciento en volumen de una mezcla 118 de resina como el extremo inferior de un intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 de polímero. Sin embargo, las nanopartículas 200 de polímero pueden proporcionarse en cualquier combinación del extremo inferior y el extremo superior mencionados anteriormente del intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 de polímero de una mezcla 118 de resina. Para algunas aplicaciones, las nanopartículas 200 de polímero pueden distribuirse de manera substancial uniformemente a lo largo de la resina 114. En otras aplicaciones, las nanopartículas 200 de polímero pueden colocarse específicamente en sitios objetivizados dentro de un apilamiento 102 compuesto. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden incluirse en bolsillos ricos en resina 132 (figura 6) asociadas con una estructura 100 compuesta (figura 6), como se indicó anteriormente. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden limitarse a las regiones 108 interlaminares (figura 4) entre una o más capas 106 compuestas (figura 4), o en otros sitios de un apilamiento 102 compuesto (figura 4).

15 La etapa 308 del método 300 puede incluir al menos parcialmente incrustar fibras 120 de refuerzo (figura 6) en la mezcla 118 de resina (figura 6) antes de curar la mezcla 118 de resina. Las fibras 120 pueden proporcionarse como hilos 120 de fibra, cinta 124 unidireccional (figura 4), tela 126 tejida, fibras trenzadas o cualquiera de una variedad de otras formas de fibra. En algunos ejemplos, las formas de fibra pueden preimpregnarse con resina 114 (figura 6) antes de formar y curar un apilamiento 102 compuesto para formar una estructura 100 compuesta. En otros ejemplos, las fibras 120 pueden proporcionarse como preformas 130 de fibra seca (figura 5) en la que se puede infundir o aplicar una mezcla 118 de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero (figura 6) antes de curar el apilamiento 102 compuesto (figura 6).

25 En algunos ejemplos, el método puede incluir la aplicación de nanopartículas 200 de polímero a bolsillos ricos en resina 132 (figura 6) de un apilamiento 102 compuesto. Por ejemplo, durante el proceso de apilamiento de capas 106 compuestas formadas de tela 126 tejida, las nanopartículas de polímero pueden ser aplicadas selectivamente a bolsillos 132 ricos en resina en los agujeros 128 y/o intersecciones de los cables de fibra de la tela 126 tejida. En una realización, una solución que contiene nanopartículas 200 de polímero puede aplicarse por aspersión en bolsillos 132 ricos en resina de una o más capas 106 compuestas. Además, las nanopartículas 200 de polímero pueden agregarse sistemáticamente en un patrón impreso (no se muestra) en los filamentos 158 de refuerzo de manera que el contenido de las nanopartículas 200 de polímero varía a través de una superficie de los filamentos 158 de refuerzo. El patrón impreso puede tener efecto de alterar una o más propiedades de una estructura 100 compuesta que contiene los filamentos 158 de refuerzo.

35 La etapa 310 del método 300 puede incluir el curado de la mezcla 118 de resina (figura 10) en un apilamiento 102 compuesto. El curado del apilamiento 102 compuesto (figura 4) puede incluir la aplicación de calor y/o presión para reducir la viscosidad de la resina 114 (figura 10) y permitir que la resina 114 infunda las fibras 120 (figura 5) del apilamiento 102 compuesto (figura 4). La adición de las nanopartículas 200 de polímero (figura 9) puede mejorar las propiedades de la resina 114 y/o mejorar la capacidad de producibilidad y/o el rendimiento de la estructura 100 compuesta (figura 6), como se describió anteriormente.

40 En algunos ejemplos, el método puede incluir el acoplamiento de una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero a uno o más filamentos 122 de refuerzo (figura 10) para que actúen como espaciadores para evitar que los filamentos 122 de refuerzo se toquen entre sí y para controlar la permeabilidad de las fibras 120 (figura 6). Las nanopartículas 200 de polímero pueden aplicarse a los filamentos 122 de refuerzo en cuanto los filamentos 122 de refuerzo se extraen de un aparato de formación de fibra (no mostrado). En otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero se pueden aplicar a los filamentos 122 de refuerzo cuando los hilos 120 de fibra se forman en cinta unidireccional, lámina unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas y otras formas de fibra. Las nanopartículas 200 de polímero también pueden acoplarse o aplicarse a uno o más filamentos de refuerzo 122 durante las operaciones de preimpregnación en donde la resina 114 se aplica a cables de fibra, cinta unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas y otras formas de fibra.

45 En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden fundirse por fusión con los filamentos 122 de refuerzo. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar formadas de material termoplástico o las nanopartículas 200 de polímero pueden configurarse como nanopartículas 206 de vaina de núcleo, cada una con una vaina 208 termoplástica rodeando un núcleo 210. Los filamentos 122 de refuerzo y/o las vainas 208 de las nanopartículas de polímero pueden calentarse a una temperatura que provoque que la porción exterior de las nanopartículas 206 de la vaina del núcleo se enlace o se funda por fusión a los filamentos 122 de refuerzo cuando las nanopartículas 206 de la vaina del núcleo entran en contacto con los filamentos 122 de refuerzo.

50 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, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial. La preproducción, la fabricación de componentes y/o el servicio 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. A partir de entonces, la aeronave, la nave espacial, el satélite u otro componente aeroespacial pueden pasar por la certificación y la entrega para ser puestos en servicio.

- 5 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, diferentes realizaciones ilustrativas pueden aplicarse a otras industrias, como la industria automotriz.
- 10 Los aparatos y métodos incorporados aquí 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 estructura 100 compuesta (por ejemplo, la figura 1), un recubrimiento, un plástico moldeado por inyección y/o un adhesivo durante cualquiera de las etapas del método de fabricación y servicio de componentes aeroespaciales. Por ejemplo, sin limitación, se puede fabricar una estructura compuesta durante al menos uno de los componentes y fabricación de subconjuntos, integración del sistema, mantenimiento y servicio de rutina, o alguna otra etapa de fabricación y servicio de la aeronave. Aún más, una estructura compuesta puede usarse en una o más estructuras de componentes aeroespaciales. Por ejemplo, una estructura compuesta puede incluirse en una estructura de un fuselaje, un interior o alguna otra parte de una aeronave, una nave espacial, un satélite u otro componente aeroespacial.
- 15 Las modificaciones y mejoras adicionales de la presente divulgación pueden ser evidentes para las personas experimentadas en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Una composición, que comprende:
una resina (114); y
una pluralidad de nanopartículas (200) de polímero incluidas en la resina y que forman una mezcla (118) de resina,
- 5 en donde las nanopartículas (200) de polímero tienen una forma esférica y un ancho de sección transversal de 10 a 200 nanómetros y constituyen de 5 a 75 por ciento en volumen de la mezcla (118) de resina,
caracterizado porque las nanopartículas (200) de polímero comprenden un componente termoestable no elastomérico.
2. La composición de la reivindicación 1, en donde las nanopartículas (200) de polímero constituyen del 10 al 75 por ciento en volumen de la mezcla (118) de resina.
- 10 3. La composición de la reivindicación 0 de la reivindicación 2, en donde al menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero comprenden:
nanopartículas (200) de polímero que tienen un componente termoendurecido no elastomérico; y
nanopartículas (200) de polímero formadas de material termoplástico sin un componente elastomérico.
- 15 4. La composición de cualquier reivindicación precedente, en donde la resina y/o las nanopartículas (200) de polímero están compuestas de al menos uno de los siguientes:
material termoplástico, acrílicos, fluorocarburos, poliamidas, poliolefinas, poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliarietercetonas, polieterimidias, polietersulfona, polisulfona y polifenilsulfona;
material termoendurecido, poliuretanos, fenólicos, poliimidias, polímeros sulfonados (sulfuro de polifenileno), un
20 polímero conductor (por ejemplo, polianilina), benzoxazinas, bismaleimidias, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis y silsesquioxanos.
5. La composición de las reivindicaciones 1-4, en donde:
algunas de las nanopartículas (200) de polímero están formadas de un material diferente al de otras nanopartículas de polímero.
6. La composición de las reivindicaciones 1-5, en donde:
- 25 las nanopartículas (200) de polímero tienen diferentes tamaños de partícula.
7. La composición de las reivindicaciones 1-6, en donde:
al menos una de las nanopartículas (200) de polímero tiene al menos una de las siguientes configuraciones: una esfera sólida, una esfera hueca y una nanopartícula de vaina de núcleo que incluye una vaina que encapsula un núcleo (210).
8. La composición de la reivindicación 7, en donde:
- 30 el núcleo (210) está formado por un material diferente al de la vaina.
9. Un método para formar una composición, que comprende:
proporcionar una resina (114);
curar o solidificar al menos parcialmente una pluralidad de nanopartículas (200) de polímero;
mezclar la pluralidad de partículas con la resina para formar una mezcla (118) de resina; y
- 35 curar la mezcla (118) de resina,
en donde las nanopartículas (200) de polímero tienen una forma esférica y un ancho de sección transversal de 10 a 200 nanómetros y constituyen de 5 a 75 por ciento en volumen de la mezcla (118) de resina,
caracterizado porque las nanopartículas (200) de polímero comprenden un componente termoestable no elastomérico.
10. La composición de la reivindicación 9, en donde las nanopartículas (200) poliméricas constituyen del 10 al 75 por ciento en volumen de la mezcla (118) de resina.
- 40 11. El método de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en donde al menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero comprenden:

nanopartículas (200) de polímero que tienen un componente termoestable no elastomérico; y nanopartículas (200) de polímero formadas de material termoplástico sin un componente elastomérico.

12. El método de las reivindicaciones 9-11, que incluye, además:

formar las nanopartículas (200) de polímero externamente antes de mezclarlas con la resina (114).

- 5 13. El método de las reivindicaciones 9-12, que incluye, además: incrustar al menos parcialmente fibras de refuerzo en la mezcla (118) de resina antes de curar la mezcla (118) de resina.

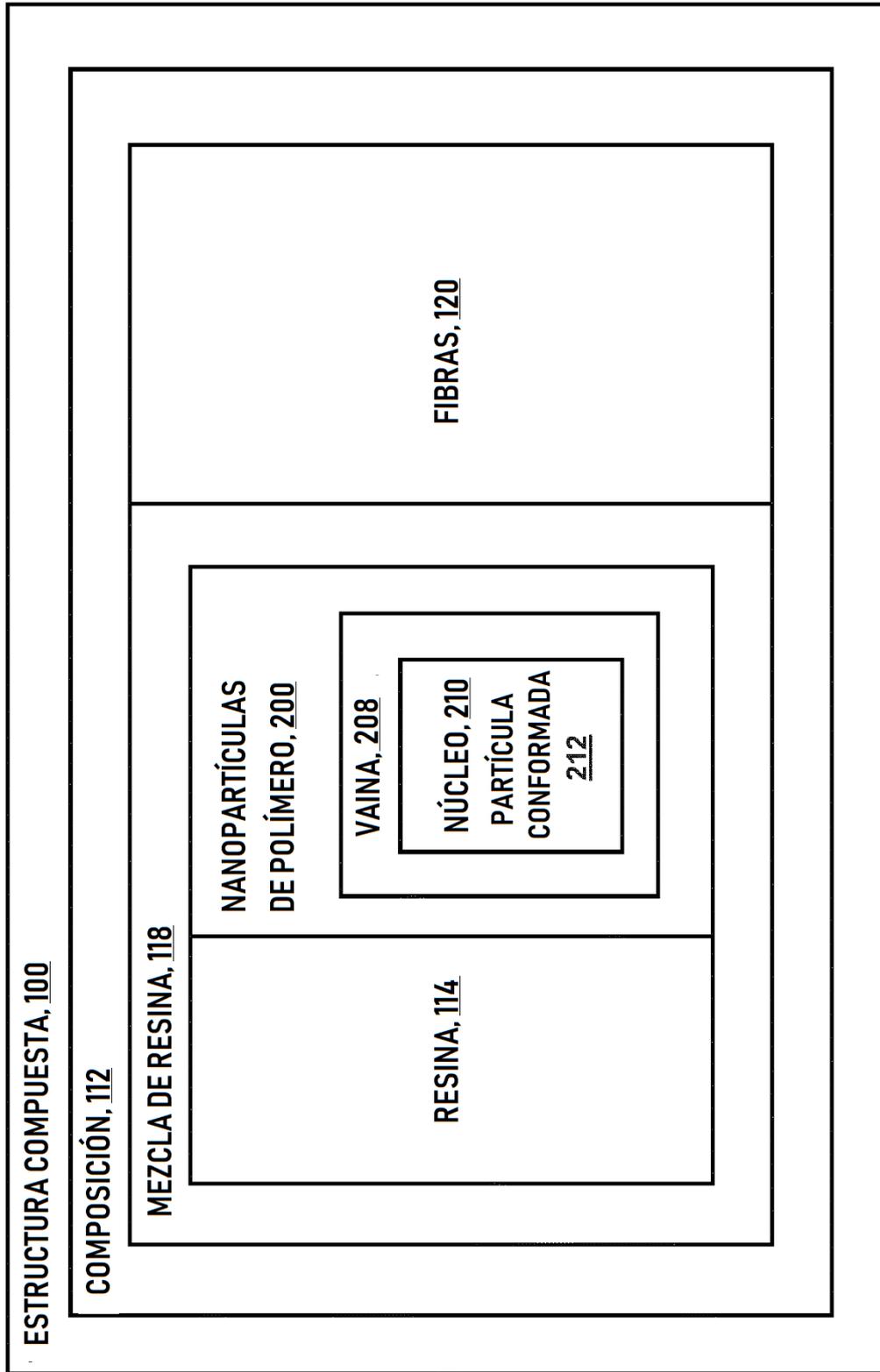


FIG. 1

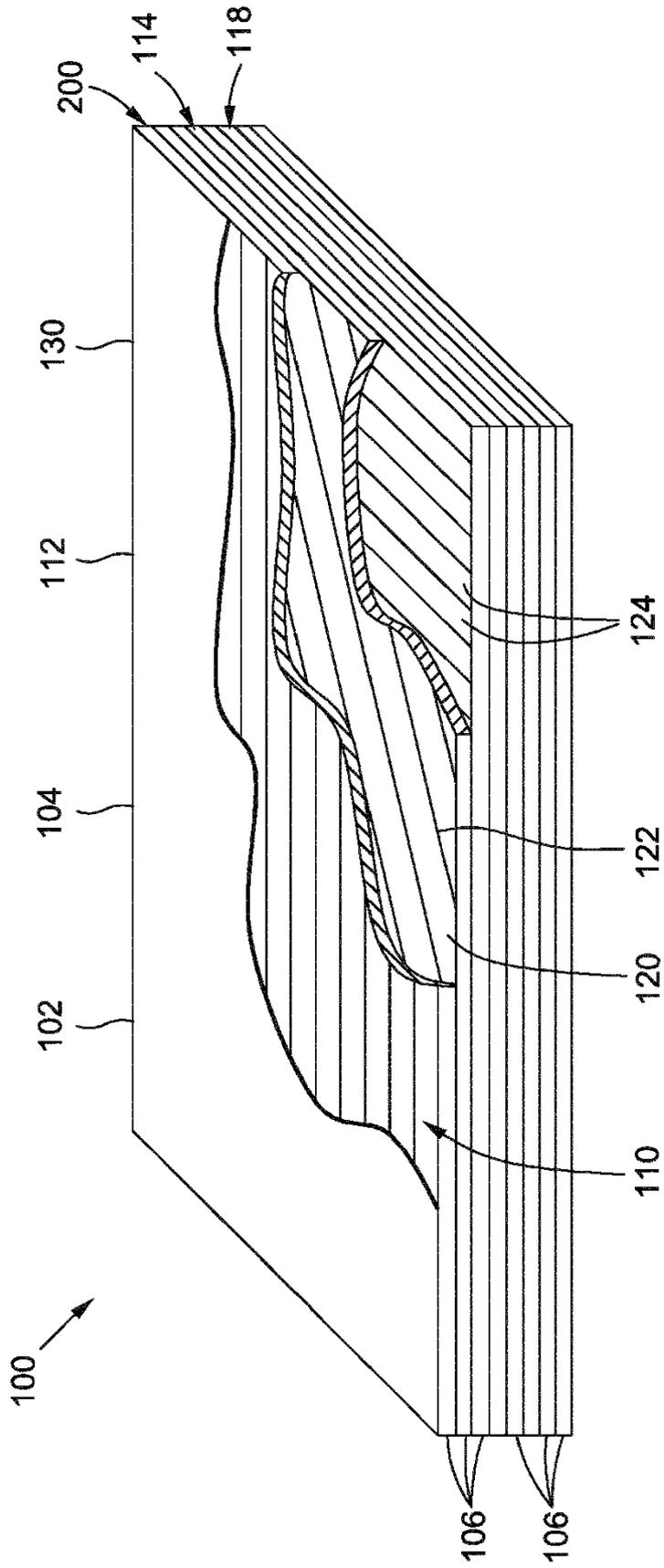


FIG. 2

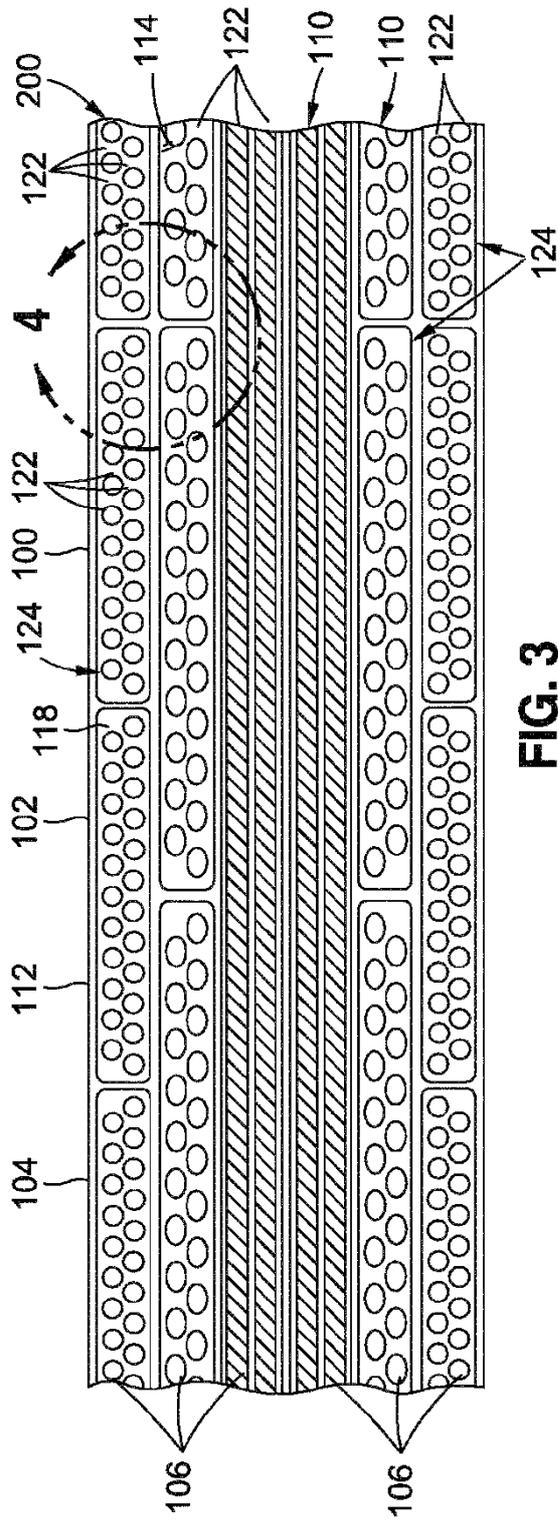


FIG. 3

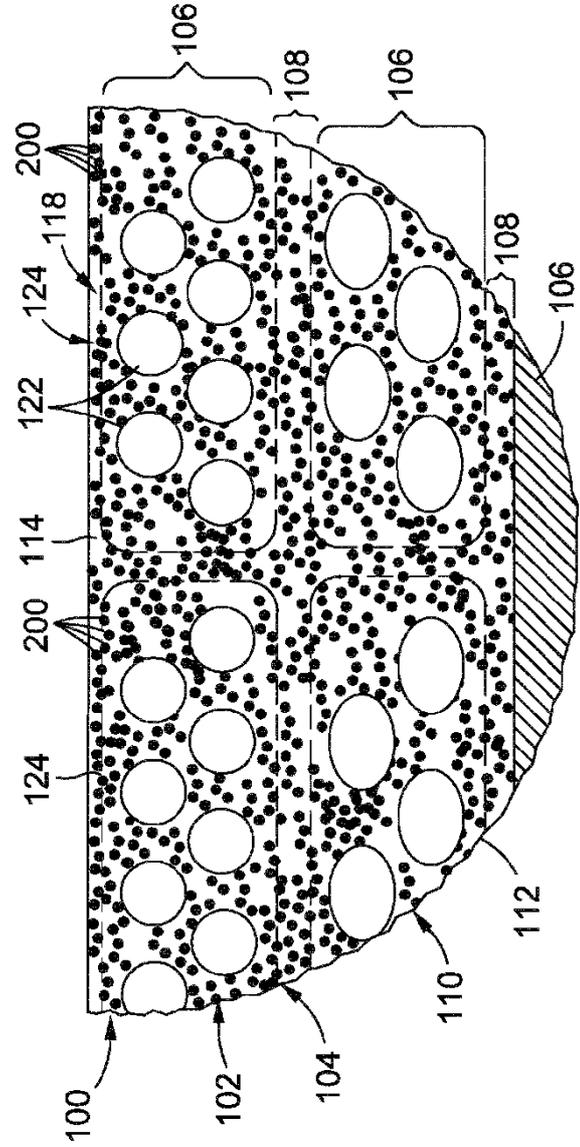


FIG. 4

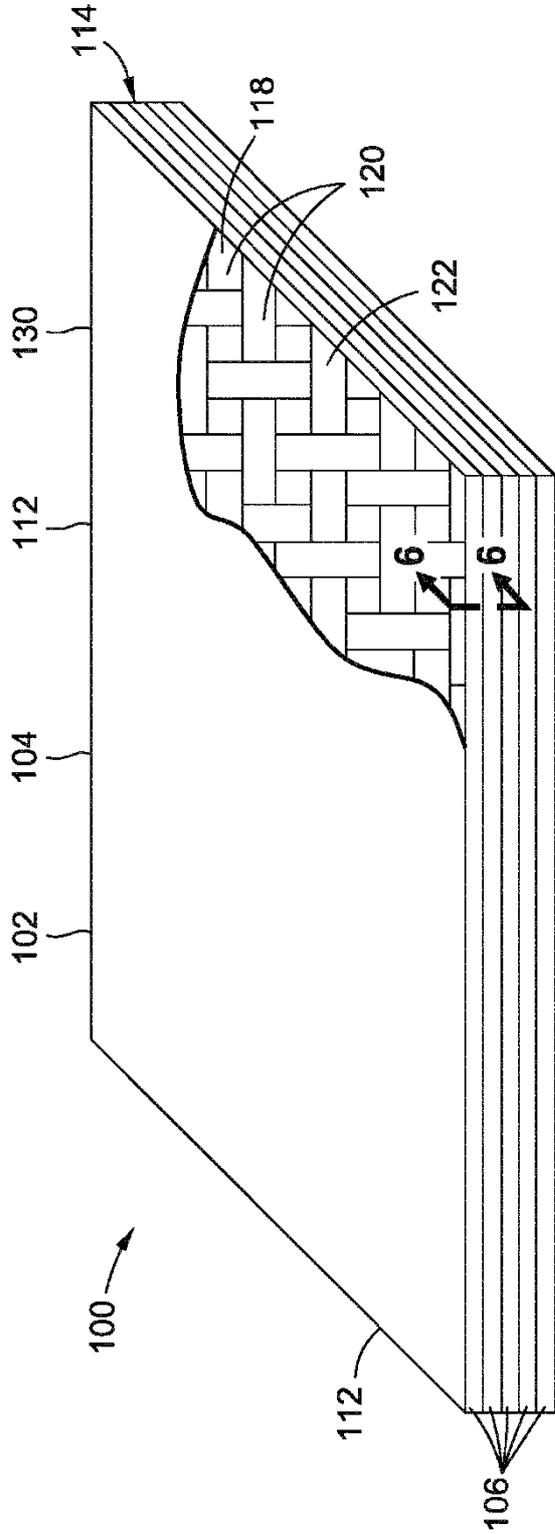


FIG. 5

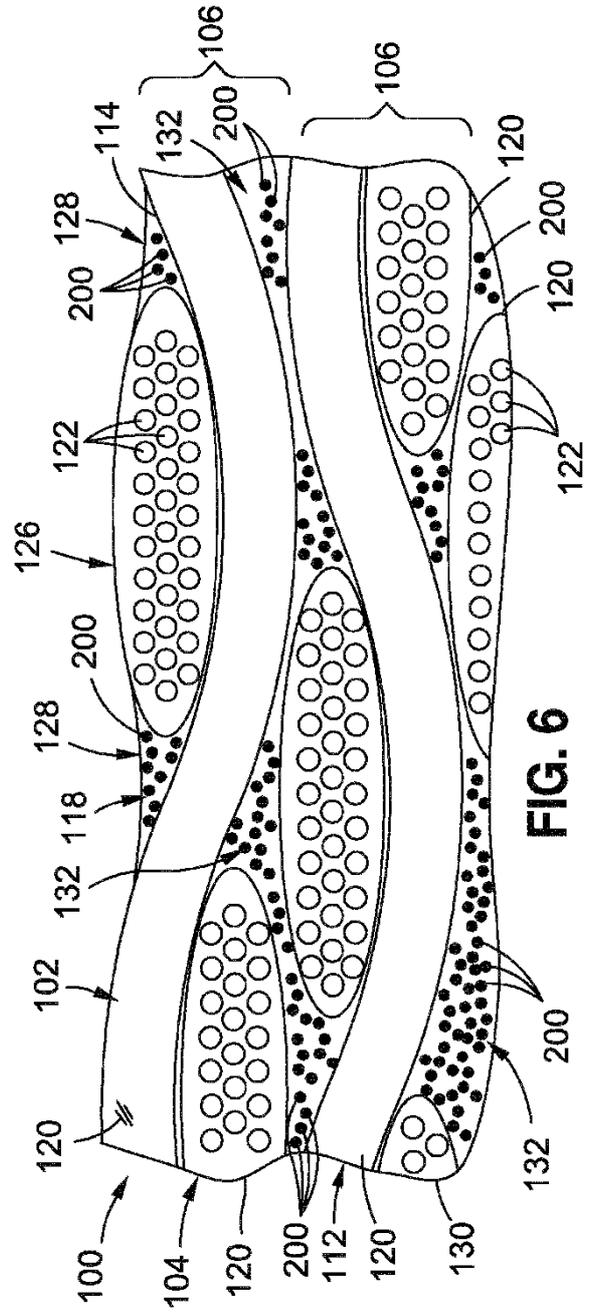


FIG. 6

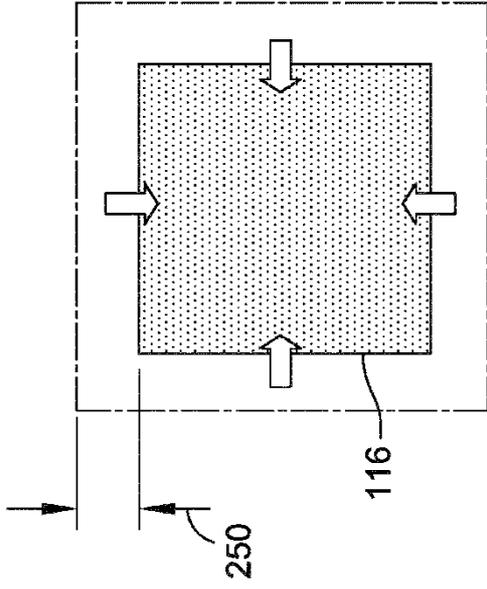


FIG. 7A

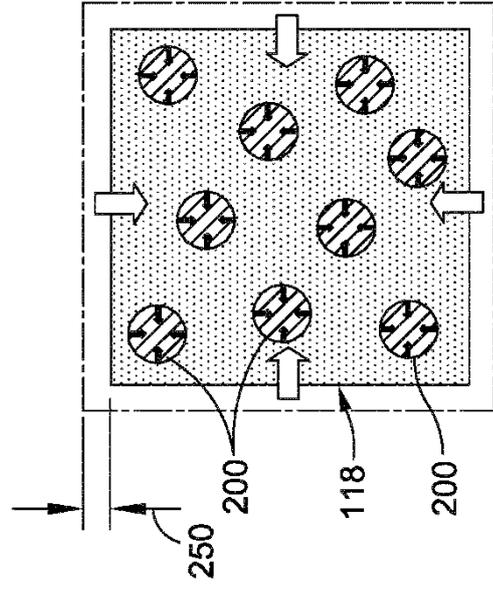


FIG. 8A

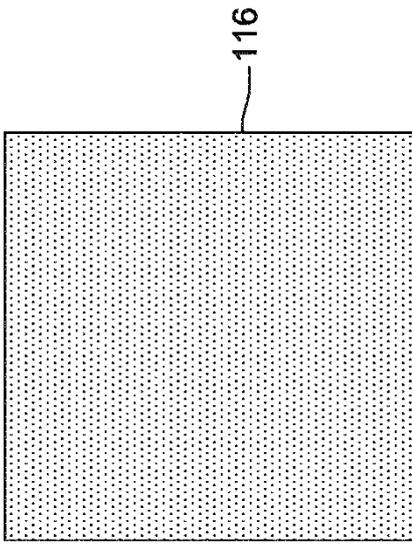


FIG. 7

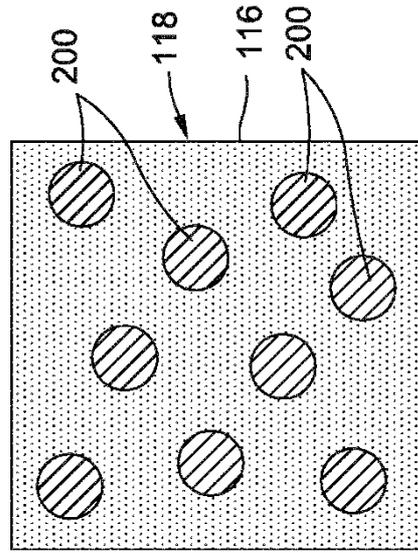


FIG. 8

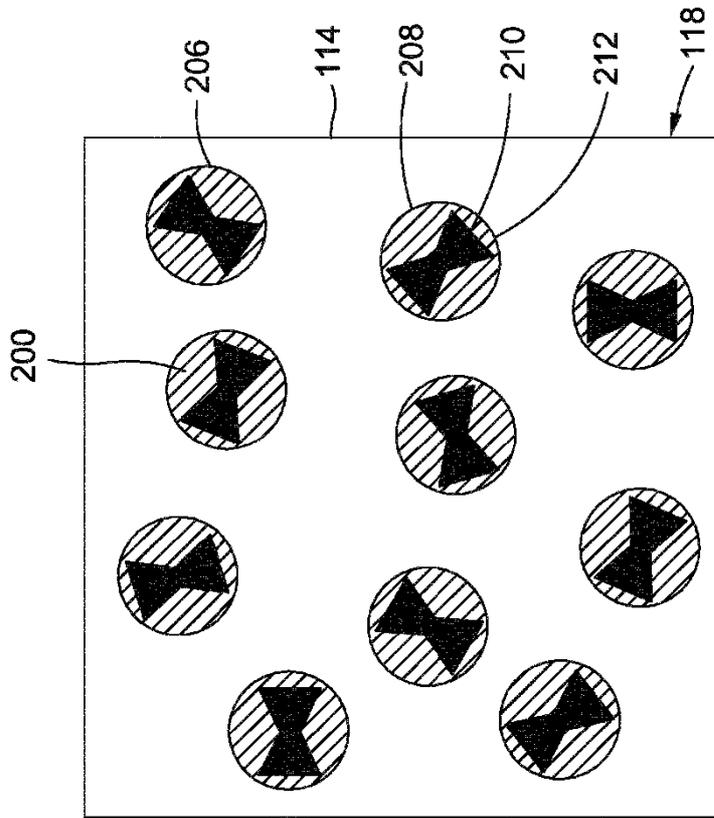


FIG. 9

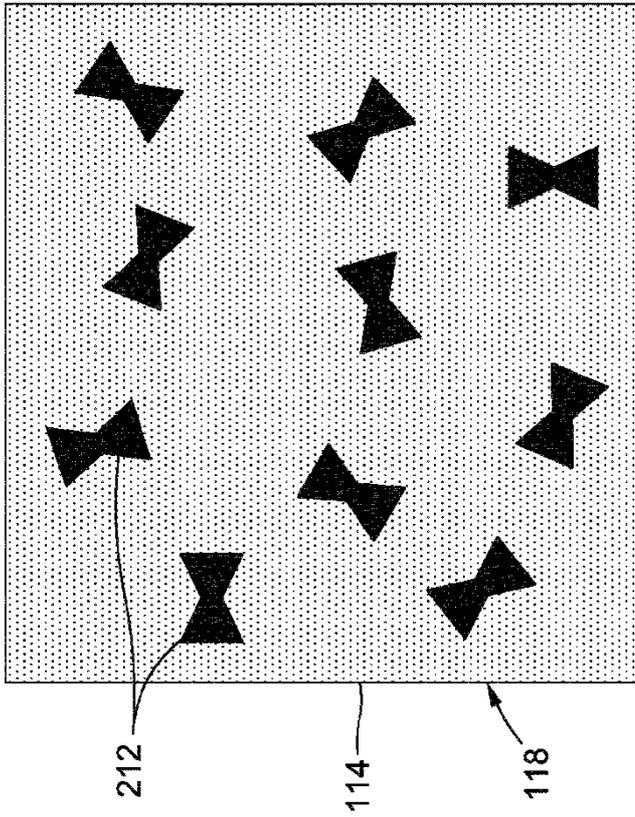


FIG. 9A

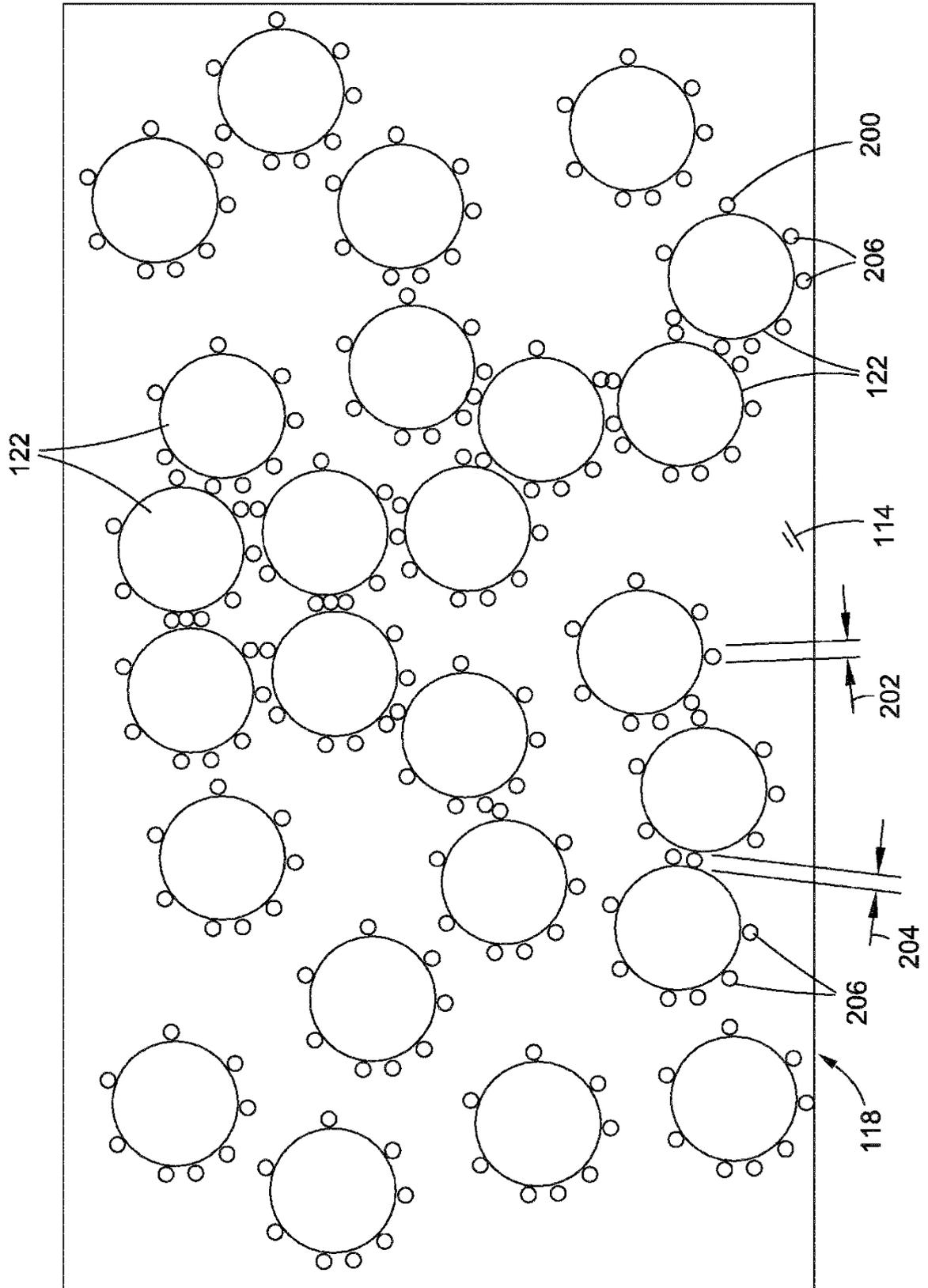


FIG. 10

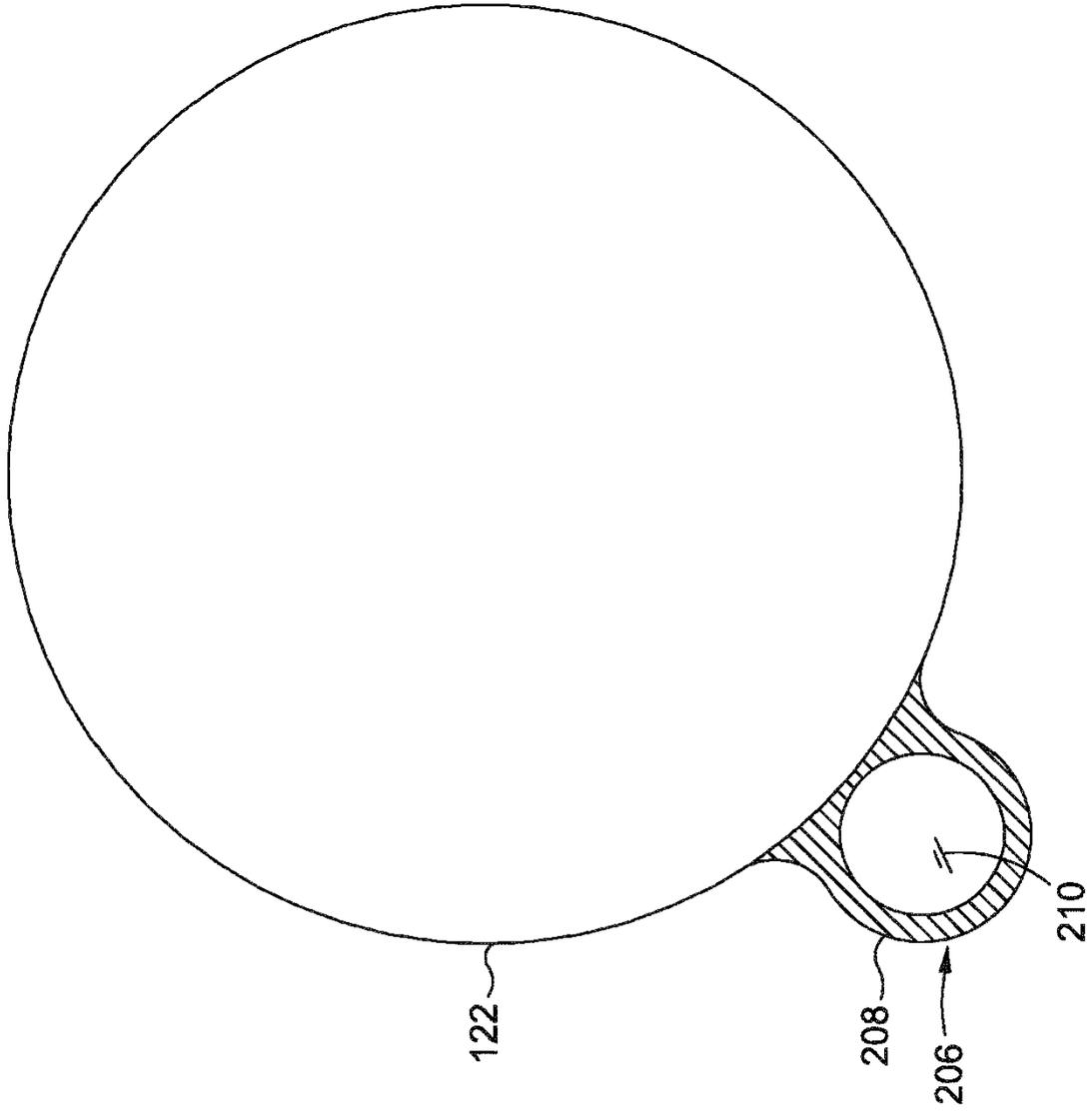


FIG. 12

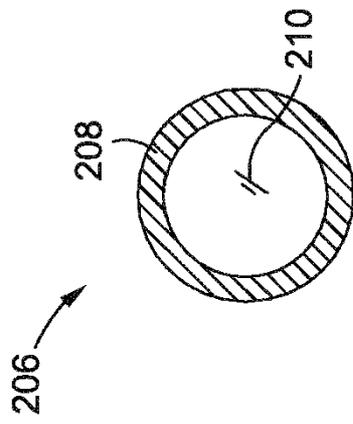


FIG. 11

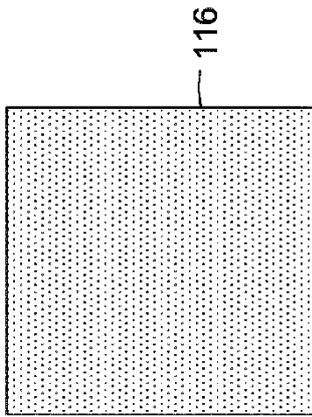


FIG. 13

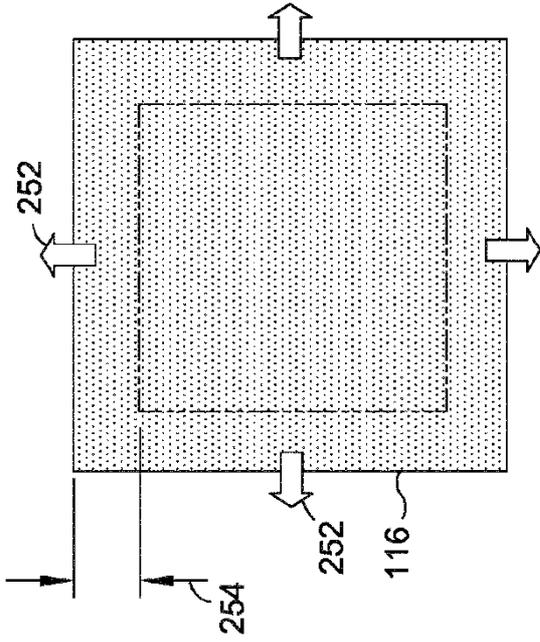


FIG. 13A

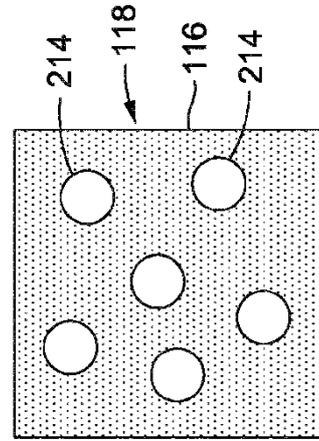


FIG. 14

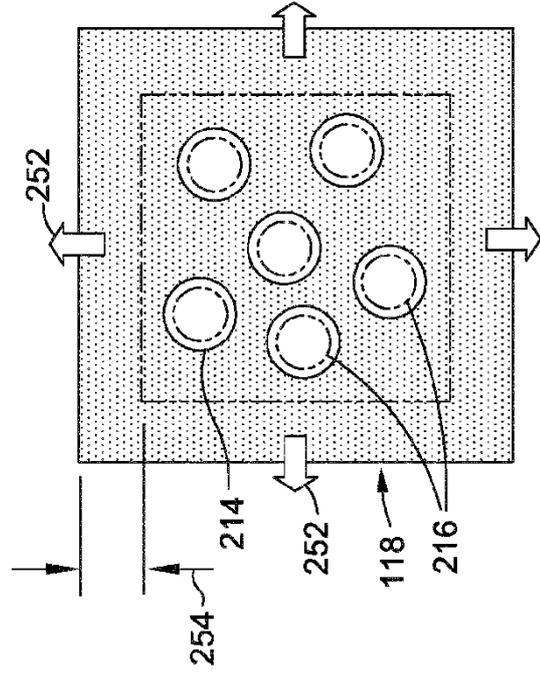
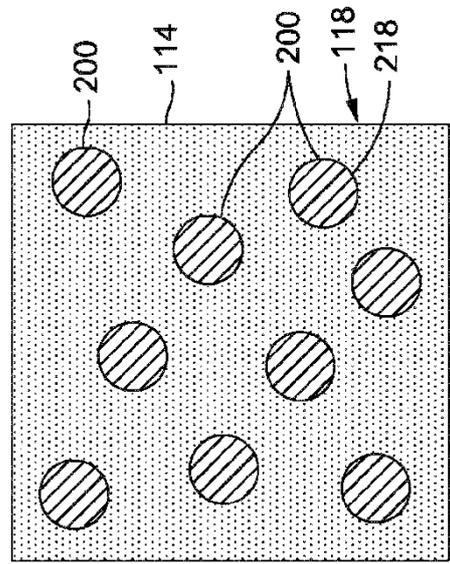
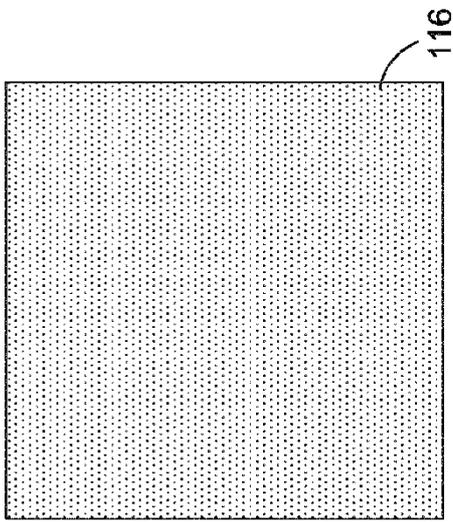
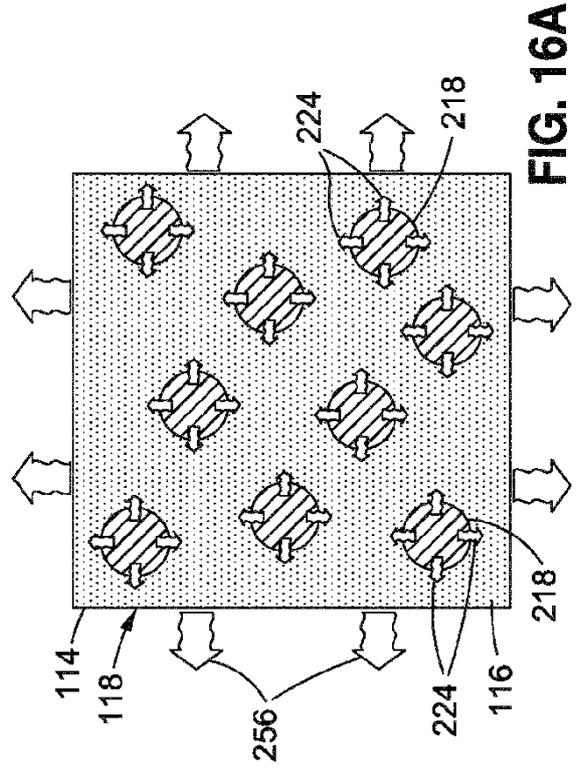
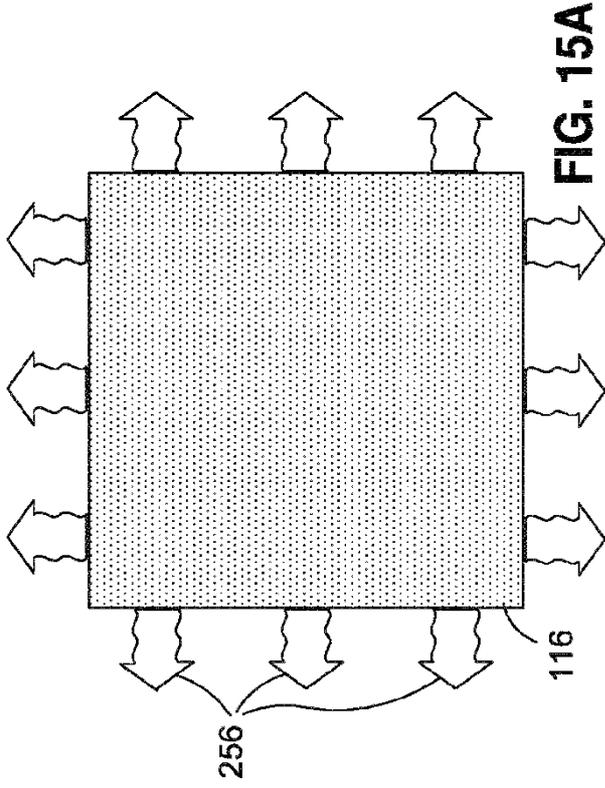


FIG. 14A



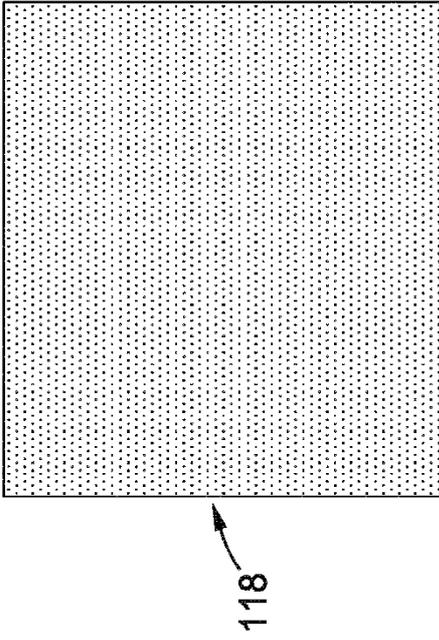


FIG. 17A

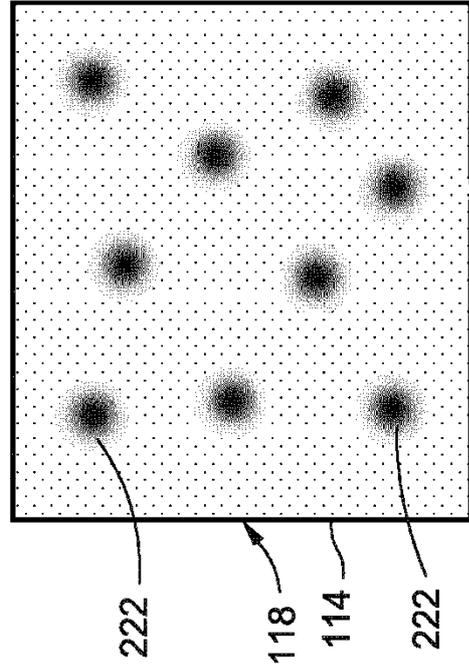


FIG. 18A

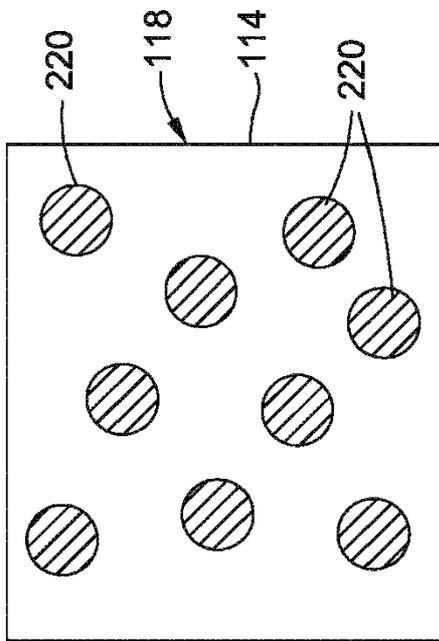


FIG. 17

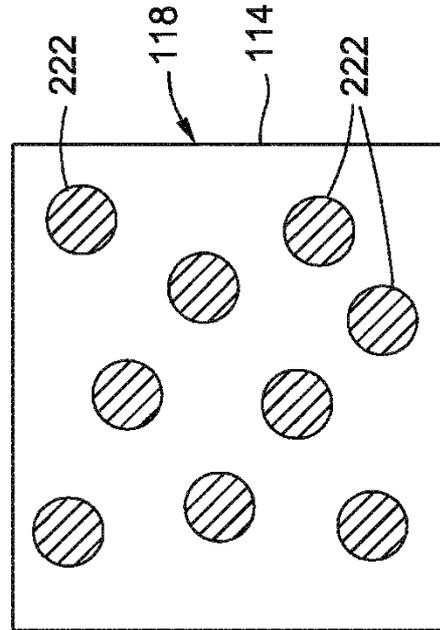


FIG. 18

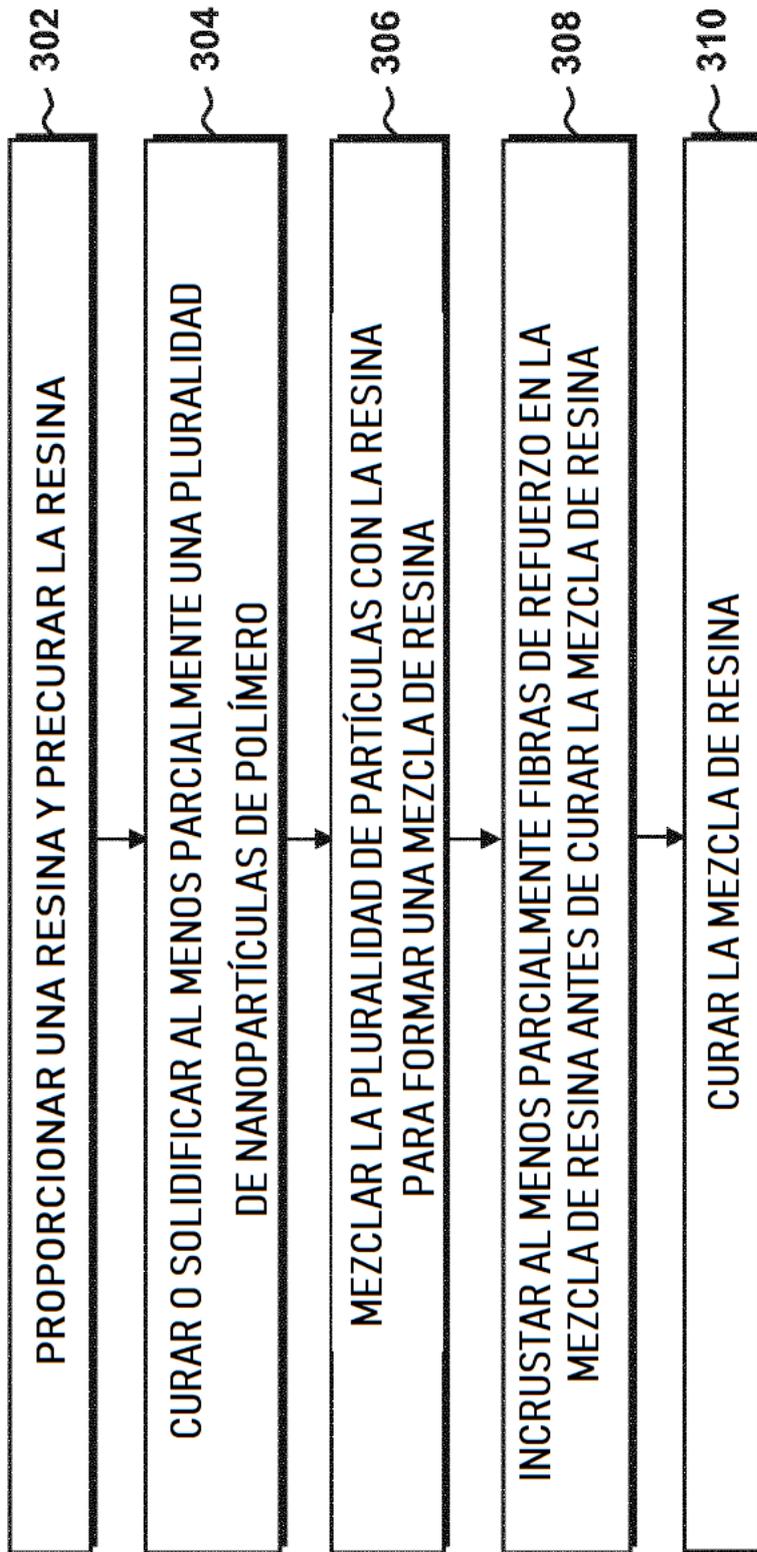


FIG. 19