

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 627**

51 Int. Cl.:

B32B 5/16 (2006.01)

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 15186477 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019** EP 3000594

54 Título: **Nanopartículas para mejorar la estabilidad dimensional de resinas**

30 Prioridad:

23.09.2014 US 201414493371

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

06.04.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 752 627 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 para mejorar la estabilidad dimensional de resinas

Campo

5 La presente divulgación se refiere en general a materiales compuestos y, más particularmente, al uso de nanopartículas en estructuras de material compuesto.

Antecedentes

10 La fabricación de una estructura de material compuesto puede incluir la aplicación de resina sin curar a las fibras de refuerzo de una disposición de material compuesto. La temperatura de la disposición de material compuesto puede aumentarse para reducir la viscosidad de la resina de modo que la resina pueda fluir e infundirse en las fibras. La disposición de material compuesto puede mantenerse 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 haya curado, la estructura de material compuesto puede enfriarse pasiva o activamente a temperatura ambiente.

15 En muchos sistemas de materiales compuestos, la resina puede tener un coeficiente de expansión térmica (CTE) que puede ser diferente al CTE de las fibras de refuerzo. Por ejemplo, las resinas epoxídicas pueden tener un CTE que puede ser un orden de magnitud mayor que el CTE de las fibras de carbono. La diferencia en el CTE puede hacer que la resina y las fibras se contraigan en diferentes cantidades a medida que la estructura de material compuesto se enfría desde la temperatura de curado. La diferencia en la contracción de la resina con respecto a las fibras puede dar como resultado tensiones inducidas térmicamente en la resina. Las tensiones inducidas térmicamente pueden provocar microgrietas indeseables en la resina. El microagrietamiento también puede ocurrir durante la vida útil de una estructura de material compuesto debido a cambios en la temperatura del entorno operativo de la estructura de material compuesto y/o durante la carga mecánica de la estructura de material compuesto.

20 Además, las resinas termoendurecibles pueden presentar contracción por curado volumétrico durante el curado de la resina termoendurecible. La contracción por curado puede ocurrir debido a la reacción de entrecruzamiento de la resina a medida que la resina cambia de líquido a sólido. La contracción por curado de la resina puede dar como resultado tensiones internas en la resina que pueden conducir a microgrietas en la resina bajo carga mecánica o durante el ciclo térmico. Las tensiones internas dentro de la resina también pueden dar como resultado una distorsión y/o deformación de la forma de la estructura de material compuesto curada. El calentamiento exotérmico en secciones gruesas de una disposición de material compuesto de curado también puede dar como resultado una distorsión en la forma de la estructura de material compuesto curada.

30 Los intentos de la técnica anterior para reducir o evitar el microagrietamiento incluyen la adición de endurecedores a la resina líquida. Las resinas termoestables convencionales pueden formarse usando polímeros líquidos para formar una resina líquida no curada. Alternativamente, los polímeros sólidos se pueden disolver en líquidos durante la mezcla para formar una resina líquida no curada. Se pueden agregar endurecedores en forma líquida o sólida a la resina líquida no curada para mejorar la resistencia de la resina al microagrietamiento. Desafortunadamente, agregar endurecedores a la resina puede resultar en una reducción en la temperatura final de transición vítrea de la resina durante el curado, o los endurecedores pueden aumentar la temperatura de curado requerida de la resina y/o causar una contracción por curado excesivo de la resina.

40 Además, los endurecedores a menudo aumentan la viscosidad de la resina, lo que puede afectar la facilidad de fabricación y, por lo tanto, limitar efectivamente la cantidad de endurecedor que se puede agregar a la resina. Las resinas termoestables avanzadas generalmente requieren temperaturas de curado relativamente altas (por ejemplo, 350-600°F) para curar completamente la resina/material compuesto termoestable. Tales altas temperaturas de curado pueden dar como resultado mayores tensiones y deformaciones inducidas térmicamente debido al diferencial CTE entre las fibras y la resina.

45 Como puede verse, existe una necesidad en la técnica de un sistema y método para mejorar las propiedades de una resina, tal como reducir la diferencia en CTE entre la resina y las fibras y reducir la contracción por curado de la resina. El resumen del documento EP2886590A1 dice "Para proporcionar un material preimpregnado y un material compuesto reforzado con fibra de carbono que sea excelente en la adhesión entre una resina de matriz y fibras de carbono y estabilidad de almacenamiento a largo plazo y también excelente en resistencia a microgrietas debido a la mayor tenacidad. La presente invención proporciona un 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 agente de encolado tienen forma de tejido o trenzado. 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 agente de encolado tienen una relación (a)/(b) en un cierto rango 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 unión asignada a C-O en un espectro central de C_{1s} de las superficies de las fibras de carbono recubiertas con agente de encolado analizadas por espectroscopía de fotoelectrones por rayos X". El resumen del documento US2008/0176987A1 menciona "Un sistema para resina modificada y material

compuesto y sus métodos en general comprenden una pluralidad de nanopartículas de arcilla dispersas en una resina de alta temperatura para proporcionar una resistencia mejorada a las microgrietas y el 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".

5 Resumen

Las necesidades mencionadas anteriormente asociadas con las resinas se abordan específicamente en la presente divulgación que proporciona una composición según la reivindicación 1 y un método según la reivindicación 6.

10 Las características, funciones y ventajas que se han discutido pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o pueden combinarse en otras realizaciones más, cuyos detalles adicionales pueden verse con referencia a la siguiente descripción y dibujos que siguen.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características de la presente divulgación serán más evidentes con referencia a los dibujos en los que números similares se refieren a partes similares en todo el texto y en los que:

15 La Figura 1 es un diagrama de bloques de una estructura de material compuesto que incluye fibras de refuerzo y una mezcla de resina que comprende nanopartículas poliméricas que contienen resina;

La Figura 2 es una vista en perspectiva de una estructura de material compuesto 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 porción de una estructura de material compuesto que muestra filamentos de refuerzo de las capas de material compuesto unidireccionales orientadas en diferentes ángulos;

20 La Figura 4 es una vista ampliada de una porción de la estructura de material compuesto 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 resina no modificada sin curar sin nanopartículas en la resina no modificada;

25 La Figura 5A es una ilustración esquemática de la contracción neta de la resina curada no modificada de la Figura 5 que ocurre como resultado de la contracción por curado de la resina (por ejemplo, durante la reacción de -entrecruzamiento) y/o debido a la contracción de la resina durante el curado de la resina no modificada;

La Figura 6 es una ilustración esquemática de una disposición de material compuesto no curada hecha de capas unidireccionales de fibras de refuerzo y que incluye resina no modificada;

30 La Figura 6A es una ilustración esquemática de la estructura de material compuesto curada de la Figura 6 que muestra la distorsión de la forma general que se extiende fuera del límite de tolerancia de la estructura de material compuesto como resultado de la contracción y/o contracción del curado de la estructura de material compuesto curada;

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina sin curar tomada a lo largo de la línea 7 de la Figura 4 y que ilustra una pluralidad de nanopartículas poliméricas formadas de un material diferente que la resina y que tienen una contracción por curado menor y/o un CTE menor que la resina;

35 La Figura 7A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina curada de la Figura 7 y muestra una reducción en la contracción neta de la mezcla de resina con respecto a la resina no modificada como resultado de la contracción por curado más baja y/o la menor contracción de las nanopartículas poliméricas;

La Figura 8 es una ilustración esquemática de una disposición de material compuesto no curada hecha de capas unidireccionales de fibras de refuerzo e incluye una mezcla de resina que contiene nanopartículas poliméricas;

40 La Figura 8A es una ilustración esquemática de la estructura de material compuesto curada de la Figura 8 que muestra una reducción en la distorsión de la forma general de la estructura de material compuesto como resultado de la menor contracción por curado y/o menor contracción de la estructura de material compuesto curada debido a la adición de las nanopartículas poliméricas;

45 La Figura 9 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas CTE-direccional, cada una de las cuales tiene un eje a lo largo del cual el CTE es más bajo (por ejemplo, el eje de CTE más bajo) que el CTE de la nanopartícula de polímero a lo largo de otro eje (por ejemplo, el eje de CTE superior), y en donde los ejes de CTE de las nanopartículas poliméricas están orientados en direcciones aleatorias;

La Figura 9A es una ilustración esquemática de la aplicación de un campo eléctrico o magnético a la mezcla de resina no curada que hace que el eje del CTE inferior de cada una de las nanopartículas poliméricas CTE direccional se alinee con las líneas del campo eléctrico o magnético;

5 La Figura 10 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina sin curar que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas CTE direccional con los ejes de CTE inferior alineados entre sí;

La Figura 10A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina curada de la Figura 10, en donde la contracción de la mezcla de resina a lo largo de una dirección paralela a los ejes de CTE inferior es menor que la contracción de la mezcla de resina a lo largo de una dirección paralela a los ejes de CTE superior;

10 La Figura 11 es una ilustración esquemática de una porción de la disposición de material compuesto tomada a lo largo de la línea 11 de la figura 4 y que muestra nanopartículas poliméricas CTE direccional orientadas de tal manera que el eje del CTE inferior es transversal a una dirección longitudinal de los filamentos o fibras de refuerzo;

La Figura 12 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina sin curar que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas curadas formadas del mismo material que la resina;

15 La Figura 12A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina curada de la Figura 12 y muestra una reducción en la contracción neta con respecto a una resina no modificada debido a la ausencia de contracción de las nanopartículas poliméricas curadas y/o debido a las nanopartículas poliméricas que limitan físicamente la contracción de curado de la resina y/o la contracción de la resina;

La Figura 13 es una ilustración esquemática de resina termoestable no modificada no curada (es decir, sin nanopartículas en la resina no modificada);

20 La Figura 13A es una ilustración esquemática de la resina termoestable no modificada curada de la Figura 13 y el calor de reacción de la resina termoestable no modificada curada;

La Figura 14 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina termoestable no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas formadas de un material diferente que la resina;

25 La Figura 14A es una ilustración esquemática de las nanopartículas poliméricas al menos parcialmente curado que liberan una cantidad menor de calor que el calor de reacción de la resina durante el curado de la mezcla de resina de la Figura 14;

La Figura 15 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina termoestable no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas poliméricas al menos parcialmente curado formadas del mismo material que la resina;

30 La Figura 15A es una ilustración esquemática de las nanopartículas poliméricas al menos parcialmente curado que absorben una porción del calor de reacción de la resina durante el curado de la mezcla de resina de la Figura 14;

La Figura 16 es un gráfico de tiempo y temperatura de un ciclo de curado de una disposición de material compuesto que incluye resina no modificada e ilustra un aumento de la temperatura de la resina no modificada por encima de la temperatura de combustión y que puede provocar daños en la disposición de material compuesto debido al sobrecalentamiento durante ciclos de curado rápidos;

35 La Figura 17 es un diagrama de tiempo y temperatura del ciclo de curado de una disposición de material compuesto que incluye una mezcla de resina que contiene nanopartículas poliméricas y que ilustra la temperatura restante por debajo de la temperatura de degradación y la temperatura de combustión y, por lo tanto, evita daños en la disposición de material compuesto por sobrecalentamiento durante los ciclos rápidos;

40 La Figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método de fabricación de una estructura de material compuesto.

Descripción detallada

45 Con referencia ahora a los dibujos en los que las presentaciones tienen el propósito de ilustrar diversas realizaciones de la divulgación, lo que se muestra en la Figura 1 es un diagrama de bloques de una estructura 100 de material compuesto. La estructura 100 de material compuesto puede incluir una composición 114 de una mezcla 128 de resina y fibras 150 de refuerzo incrustadas dentro de la mezcla 128 de resina. Las fibras 150 pueden estar formadas por una pluralidad de filamentos 152 de refuerzo (Figura 3). Las fibras 150 pueden tener un coeficiente 158 de expansión térmica (CTE). La mezcla 128 de resina puede tener un coeficiente 122 de expansión térmica (CTE) de resina, una contracción 120 por curado de resina y un calor de la reacción 126 de resina. El CTE 122 de resina puede describirse como el cambio en el volumen unitario de la resina 116 con el cambio en la temperatura de la resina 116. Por ejemplo, un aumento en la temperatura de la resina 116 puede dar como resultado un aumento en el volumen de la resina 116. Una disminución en la temperatura de la resina 116 puede dar como resultado una disminución en el volumen de la resina 116. La contracción 120 por curado de resina puede describirse como la contracción del volumen de resina durante la reacción de entrecruzamiento o polimerización de la resina 116 como la resina 116 cura y cambia de líquido

a sólido. La contracción por curado de la resina 116 puede ser una función lineal del grado de curado. El calor de la reacción 126 de resina puede describirse como la energía o calor que se libera de la resina 116 durante el entrecruzamiento o polimerización de la resina 116 durante el proceso de curado.

5 Como se indicó anteriormente, la contracción 120 por curado de resina y/o la falta de coincidencia de CTE de fibra de resina pueden provocar tensiones internas en la resina 116 (Figura 1) de una estructura 100 de material compuesto curada. Tales tensiones internas pueden dar lugar a efectos no deseados que incluyen, pero no se limitan a, microgrietas en la resina 116, distorsión 102 de forma (Figura 6A) o deformación de la estructura 100 de material compuesto curada, una reducción en las propiedades mecánicas de la estructura 100 de material compuesto, y otros efectos. En algunos ejemplos, la tensión interna en la resina 116 puede comprometer la integridad de la estructura 100 de material compuesto durante la carga mecánica y/o el ciclo térmico de la estructura 100 de material compuesto.

15 El calor excesivo de la resina de la reacción 126 durante el curado de la resina 116 puede aumentar la temperatura de la resina 116 más allá de los límites predeterminados de temperatura de la resina. Por ejemplo, la liberación excesiva de calor por parte de la resina 116 (Figura 1) durante el curado puede provocar que las secciones más gruesas de una disposición 106 de material compuesto se calienten más que la sección más delgada debido al mayor volumen de resina 116 en las secciones más gruesas. El calentamiento diferencial de la disposición 106 de material compuesto (Figura 2) puede provocar distorsión o deformación de la estructura 100 de material compuesto durante el enfriamiento desde una temperatura de curado elevada. Además, el calor excesivo de la resina de la reacción 126 (Figura 1) puede dar como resultado cambios en el grado de curado de la resina después del ciclo de curado. Además, el calor excesivo de la reacción de resina 126 puede causar un sobrecalentamiento de la resina 116 que puede dar como resultado una reducción en la resistencia mecánica y el rendimiento de la estructura 100 de material compuesto. En algunos ejemplos, el calor de reacción excesivo durante el curado de la resina puede dar como resultado la resina 116 que excede su temperatura de combustión, lo que puede provocar la combustión (por ejemplo, fuego) de la resina 116 o el material compuesto 106 y el equipo circundante, y que puede ir acompañada de la liberación de compuestos orgánicos no deseados.

25 Con referencia todavía a la Figura 1, la presente divulgación puede incluir ventajosamente la adición de una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas a la resina 116 para formar una mezcla 128 de resina. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden seleccionarse para alterar las propiedades de la resina y evitar uno o más efectos indeseables asociados con la resina no modificada. En la presente divulgación, la resina no modificada puede describirse como resina que no contiene nanopartículas 200 poliméricas. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar al menos parcialmente solidificadas y/o curadas previamente antes de curar la resina 116, lo que puede garantizar la estabilidad de las nanopartículas 200 poliméricas en la resina 116. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas se pueden solidificar completa o sustancialmente y/o curar sustancialmente antes de curar la resina 116. Las nanopartículas 200 poliméricas que están parcialmente curadas previamente antes de mezclarlas con la resina 116 pueden curarse posteriormente durante el ciclo de curado o solidificación de la resina. Se pueden añadir nanopartículas 200 poliméricas a las resinas termoendurecibles y a las resinas termoplásticas para adaptar las propiedades de las resinas. Ventajosamente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en un amplio espectro de materiales que pueden facilitar la capacidad de adaptar un amplio rango o propiedades de resina sobre un amplio rango de valores de propiedad.

40 En cualquiera de los ejemplos descritos aquí, una mezcla 128 de resina puede incluir nanopartículas 200 poliméricas que tienen una contracción 204 por curado de nanopartículas (por ejemplo, durante el ciclo de curado de resina) que es menor que la contracción 120 por curado de resina (Figura 1). Como se describe con mayor detalle a continuación, al agregar nanopartículas 200 poliméricas que tienen una contracción 204 por curado más baja que la contracción 120 por curado de resina, la contracción 132 por curado (Figura 7A) de la mezcla 128 de resina puede reducirse en relación con la contracción por curado de la resina no que contiene nanopartículas 200 poliméricas (por ejemplo, resina no modificada). La reducción en la contracción 132 por curado de la mezcla 128 de resina (Figura 1) puede deberse a una reducción en la contracción volumétrica acumulativa de la mezcla 128 de resina, y/o puede ser debido a las nanopartículas 200 poliméricas que restringen físicamente la resina 116 contra el curado contracción 120, como se describe con mayor detalle a continuación.

50 En cualquiera de los ejemplos descritos en este documento, una mezcla 128 de resina puede incluir nanopartículas 200 poliméricas que tienen una nanopartícula 206 CTE (Figura 1) que puede ser diferente de la resina 122 CTE. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden agregarse a la resina 116 en donde las nanopartículas 200 poliméricas tienen una nanopartícula 206 CTE que es más baja que la resina 122 CTE. La nanopartícula 206 CTE más baja puede reducir efectivamente la mezcla de resina 134 CTE (Figura 1), y por lo tanto puede reducir el desajuste de CTE entre la mezcla 128 de resina y las fibras 150 de refuerzo (Figura 1) de una disposición 106 de material compuesto. Como se mencionó anteriormente, una reducción en el desajuste de CTE de resina-fibra puede dar como resultado una reducción de las tensiones internas en la mezcla 128 de resina en relación con las tensiones internas en una resina que no contiene las nanopartículas 200 poliméricas, y por lo tanto puede reducir o prevenir el inicio de grietas crecimiento en la resina 116 (Figura 1). Además, una reducción en la falta de coincidencia de CTE de fibra de resina puede tener un efecto significativo en la reducción o prevención de la distorsión 102 de la forma de la estructura 100 de material compuesto curada. Cabe señalar que la presente divulgación no se limita a las nanopartículas 200 poliméricas que tienen un CTE 206 de nanopartículas que es inferior a la resina 122 CTE. Por ejemplo, en algunas

aplicaciones, puede ser deseable que la nanopartícula CTE 206 sea más alta que la resina 122 CTE (Figura 1) de modo que la mezcla de resina 134 CTE se incremente en relación con el CTE de resina modificada.

- En cualquiera de los ejemplos descritos aquí, una mezcla 128 de resina puede incluir nanopartículas 200 poliméricas que tienen un calor de reacción 210 de nanopartículas que puede ser menor que el calor de la reacción 126 de resina.
- 5 Ventajosamente, un calor 210 de reacción de nanopartículas bajo (Figura 14A) puede dar como resultado una reducción efectiva del calor de la reacción 138 (Figura 14A) de una mezcla 128 de resina que contiene las nanopartículas 200 poliméricas. El calor 210 de reacción reducido de las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 1) puede exhibirse durante el curado de la resina ciclo y, en particular, durante el tiempo de reacción máximo de la resina 116 (Figura 1) durante el ciclo de curado. El bajo calor 210 de reacción de nanopartículas puede dar como resultado
- 10 una reducción en la cantidad total de calor generado durante el curado de la mezcla 128 de resina (Figura 1) debido a una reducción en la cantidad de energía generada durante el curado de resina, y debido a las nanopartículas 200 poliméricas actuando como disipadores de calor. Ventajosamente, la reducción en el calor de la reacción 138 de la mezcla de resina puede dar como resultado una temperatura de curado reducida de una disposición 106 de material compuesto que puede reducir la distorsión 102 de forma (Figura 6) de la estructura 100 de material compuesto curada.
- 15 Además, la reducción en la mezcla de resina el calor de la reacción 138 (Figura 14) puede permitir que la temperatura de la mezcla 128 de resina se mantenga por debajo del límite 256 de temperatura de degradación (Figura 16) y/o por debajo del límite 254 de temperatura de combustión (Figura 16). Además, la reducción en el calor de reacción de la mezcla de resina 138 puede evitar comprometer la resistencia mecánica y el rendimiento de la estructura 100 de material compuesto final.
- 20 Como se analiza con mayor detalle a continuación, las nanopartículas 200 poliméricas se proporcionan en una anchura 202 de sección transversal (Figura 7) o un diámetro de partícula de 10-200 nanómetros. Además, las nanopartículas 200 poliméricas se proporcionan en forma esférica. Ventajosamente, el tamaño relativamente pequeño y/o la forma esférica de las nanopartículas 200 poliméricas pueden permitir que la mezcla 128 de resina (Figura 1) retenga una viscosidad relativamente baja a niveles de carga relativamente altos de nanopartículas 200 poliméricas en la resina
- 25 116. Una viscosidad relativamente baja de la mezcla 128 de resina puede facilitar el flujo de resina dentro y a través de las fibras 150 de refuerzo (Figura 1) para un procesamiento más rápido y más confiable. Aunque la presente divulgación describe la implementación de nanopartículas 200 poliméricas en una mezcla 128 de resina para una estructura 100 de material compuesto, una mezcla 128 de resina de nanopartículas 200 poliméricas y resina 116 puede implementarse en otras aplicaciones que incluyen, pero no se limitan a, adhesivos, recubrimientos, plásticos
- 30 moldeables por inyección, y cualquiera de una variedad de otras aplicaciones. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden añadirse a las resinas 116 termoendurecibles (Figura 1) y a las resinas 116 termoplásticas tanto para los sistemas de preimpregnación como para los sistemas de infusión de resina. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden añadirse para adaptar las propiedades de la resina 116 y mejorar el procesamiento, la capacidad de fabricación y el rendimiento de una estructura de material compuesto.
- 35 La Figura 2 muestra un ejemplo de una estructura 100 de material compuesto que tiene una forma curva o contorneada y formada como una pila laminada de capas 112 unidireccionales. Cada una de las capas 112 unidireccionales puede incluir una pluralidad de hilos 150 de fibra paralelos y continuos (por ejemplo, fibras de refuerzo) o cinta 154 unidireccional colocadas una al lado de la otra. Las fibras 150 de refuerzo o la cinta 154 unidireccional pueden estar formadas por una pluralidad de filamentos 152 de refuerzo. Un único cable de fibra 150 o cinta 154 unidireccional
- 40 puede incluir un paquete de varios miles de filamentos 152 de refuerzo (por ejemplo, 1000 a 100,000 o más filamentos 152 de refuerzo). En algunos ejemplos, un filamento de refuerzo puede tener un ancho de sección transversal de filamento o un diámetro de 5-30 micras. Por ejemplo, un filamento de refuerzo de carbono puede tener un ancho de sección transversal del filamento de aproximadamente 5-7 micras. Los filamentos de refuerzo de vidrio pueden tener una anchura de sección transversal del filamento de 10-25 micras. Aunque no se muestra, las fibras 150 de material
- 45 compuesto en la presente divulgación también pueden abarcar fibras picadas que se pueden incorporar en un tapete de fibra. En la presente divulgación, los términos fibra de refuerzo, cable de fibra y fibra de material compuesto pueden usarse indistintamente.
- En algunos ejemplos, una estructura 100 de material compuesto puede estar formada por capas 108 de material compuesto que pueden preimpregnarse con resina 116 (por ejemplo, capas 108 de material compuesto
- 50 preimpregnadas) que contienen nanopartículas 200 poliméricas (Figura 1). Por ejemplo, una o más capas 108 de material compuesto de una estructura 100 de material compuesto pueden estar formadas por hilos 150 de fibra preimpregnada (Figura 2), cinta 154 unidireccional preimpregnada (Figura 2), tela tejida preimpregnada, preimpregnados trenzados (no mostrados) y otras formas de preimpregnación. En otros ejemplos, la estructura 100 de material compuesto puede colocarse con capas 108 de material compuesto que pueden preimpregnarse con resina
- 55 116 no modificada, después de lo cual las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse a una o más ubicaciones de la disposición 106 de material compuesto.

Alternativamente, una estructura 100 de material compuesto puede formarse como una o más preformas 156 de fibra seca que pueden infundirse con resina 116. Por ejemplo, una estructura 100 de material compuesto puede formarse colocando cables de fibra 150 seca, cinta 154 unidireccional seca (Figura 2), láminas de fibra seca (no se muestran),

60 tela tejida seca (no se muestra) y/u otras formas de fibra seca. Las preformas 156 de fibra seca pueden disponerse en una pila de capas 108 de material compuesto en las que la resina 116 puede infundirse en un proceso de colocación en húmedo. En algunos ejemplos, la resina 116 no modificada se puede infundir en una preforma de fibra 156 seca

(Figura 2), después de lo cual las nanopartículas 200 poliméricas se pueden aplicar a una o más ubicaciones de la disposición 106 de material compuesto (Figura 2). Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas se pueden aplicar a bolsas ricas en resina (no mostradas) de una disposición 106 de material compuesto. En otros ejemplos, una mezcla 128 de resina que contiene nanopartículas 200 poliméricas se puede infundir en una preforma de fibra 156 seca dando como resultado las nanopartículas 200 poliméricas distribuidos a granel a lo largo de la disposición 106 de material compuesto.

En cualquiera de los ejemplos descritos aquí, la resina 116 (Figura 1) puede formarse a partir de material termoplástico o material termoendurecible. El material termoplástico puede incluir al menos uno de los siguientes: acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, polietilenos, poliésteres, polipropilenos, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetonas y polieterimidias. El material termoendurecible puede incluir al menos uno de los siguientes: poliuretanos, fenólicos, poliimidias, bismaleimidias, poliésteres, benzoxazinas, polímeros de condensación, ésteres de cianato, siloxanos, epoxis, tioles y fenólicos. En cualquiera de los ejemplos descritos aquí, los filamentos 152 de refuerzo o las fibras 150 (Figura 2) pueden formarse a partir de materiales tales como carbonos, carburo de silicio, boro, cerámica y material metálico. Los filamentos 152 de refuerzo o las fibras 150 también pueden formarse a partir de vidrio tal como vidrio E (vidrio de aluminio-borosilicato), Vidrio S (vidrio de silicato de aluminio), sílice pura, vidrio de borosilicato, vidrio óptico, y otras composiciones de vidrio.

Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden curarse previamente o solidificarse antes de curar la resina 116. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden curarse previamente al menos hasta un estado gelificado de manera que las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 1) puede conservar su forma geométrica antes y durante el curado de la resina 116. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden ser solubles o semisolubles en la resina 116. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden permanecer sólidas por debajo de la temperatura de vidrio de la resina 116 y/o por debajo de la temperatura de curado de la resina 116 (Figura 1). Las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en una configuración sólida y homogénea tal como en una forma redondeada o esférica. Las nanopartículas 200 poliméricas también se pueden proporcionar en una configuración hueca que tiene una forma esférica.

Las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 1) pueden estar formadas por cualquiera de los materiales termoendurecibles o materiales termoplásticos descritos anteriormente. En un ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar formadas por bismaleimidias, poliésteres, poliuretanos, poliimidias, benzoxazinas, polímeros de condensación, ésteres de cianato, siloxanos, epoxis, tioles y fenólicos. Las nanopartículas 200 poliméricas también pueden estar formadas por poliariletercetonas que incluyen, pero no se limitan a, polieteretercetona (PEEK), polietercetonaacetona (PEKK) y polietercetonaetercetona (PEKEK). En algunos ejemplos, al menos algunas de las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener un componente o material termoestable no elastomérico. En otros ejemplos, al menos algunas de las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar formadas de material termoplástico sin un componente o material elastomérico.

Algunas de las nanopartículas 200 poliméricas en una disposición 106 de material compuesto pueden tener una composición diferente que otras nanopartículas 200 poliméricas en la disposición 106 de material compuesto. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener la misma composición química que la resina 116 base, aunque las nanopartículas 200 poliméricas pueden curarse parcial o totalmente antes de curar la resina 116, lo que puede reducir ventajosamente la contracción por curado efectiva y el calor de reacción de la mezcla 128 de resina (Figura 1) en relación con la contracción por curado y el calor de reacción de la resina no modificada. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse como nanopartículas de núcleo-vaina (no mostradas) que comprenden una vaina que encapsula un núcleo. El núcleo puede tener una composición química diferente a la composición química de la vaina. La vaina puede tener una composición química (por ejemplo, material termoplástico) que puede disolverse o fundirse al menos parcialmente en la resina 116 durante el procesamiento (por ejemplo, curado) de la resina 116 para mejorar las propiedades de la resina, como para aumentar localmente dureza de resina.

Las nanopartículas 200 poliméricas se proporcionan en una anchura 202 de sección transversal (Figura 7) o un diámetro de partícula de 10-200 nanómetros. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener una anchura 202 de sección transversal de entre 10 y 100 nanómetros. Sin embargo, en un ejemplo de referencia, las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 3) pueden tener una anchura 202 de sección transversal de hasta 2 micras. Proporcionar las nanopartículas 200 poliméricas en una anchura 202 de sección transversal relativamente pequeña puede evitar 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 las fibras 150 de refuerzo adyacentes (Figura 2) o los hilos.

En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en diferentes tamaños de partículas. Por ejemplo, algunas de las nanopartículas 200 poliméricas en una disposición 106 de material compuesto (Figura 2) pueden tener un ancho de sección transversal mayor que otras nanopartículas 200 poliméricas en la misma disposición 106 de material compuesto. A este respecto, los diferentes anchos de sección transversal de partículas 202 de las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 2) puede proporcionar un medio para mejorar localmente la tenacidad de la resina. Además, el uso de diferentes anchuras de sección transversal de partículas 202 puede permitir diferentes

proporciones volumétricas de resina líquida 116 a nanopartículas dentro de una disposición 106 de material compuesto.

5 Las nanopartículas 200 poliméricas tienen una forma externa esférica para evitar aumentar la viscosidad de la resina 116 (Figura 1). En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse como una esfera sólida, una esfera hueca, y/o como una nanopartícula de núcleo-vaina (no mostrada). Las nanopartículas de la vaina del núcleo pueden incluir una vaina esférica que encapsula un núcleo que puede estar formado de un material diferente al de la vaina. Por ejemplo, la vaina puede estar formada de material termoplástico y el núcleo puede estar formado de sílice o el núcleo puede ser un nanotubo de carbono que tiene un CTE anisotrópico o un CTE direccional que puede estar orientado en una dirección específica similar a la que se muestra en Figuras 9-11 y se describen a continuación.

10 En un ejemplo de referencia, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse opcionalmente en formas no esféricas que pueden conformarse para minimizar el efecto sobre la resina 116. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en formas generalmente redondeadas tales como oblongas o elípticas formas, o como formas facetadas tridimensionales, incluidos, entre otros, cubos, rectángulos, pirámides y otras formas.

15 Ventajosamente, la anchura 202 de sección transversal relativamente pequeña (Figura 7) y/o la forma esférica de las nanopartículas 200 poliméricas pueden permitir una concentración relativamente alta de nanopartículas 200 poliméricas dentro de la resina 116 (Figura 1) con un aumento relativamente pequeño de viscosidad de resina. Las nanopartículas 200 poliméricas constituyen 10-75 por ciento en volumen de una mezcla 128 de resina que contiene resina 116 y nanopartículas 200 poliméricas. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden constituir no menos del 15 por ciento en volumen en el extremo inferior del intervalo.

20 En ciertas aplicaciones, puede ser deseable proporcionar las nanopartículas 200 poliméricas a un máximo del 65 por ciento en volumen de una mezcla 128 de resina como un extremo alto de un rango de porcentaje por volumen de nanopartículas 200 poliméricas. Sin embargo, en algunos ejemplos, el las nanopartículas 200 poliméricas pueden constituir no más del 50 por ciento en volumen como el extremo superior del rango. En ciertas aplicaciones, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en cualquier combinación de los extremos inferior y superior

25 mencionados anteriormente del intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 poliméricas de una mezcla 128 de resina. Ejemplos no limitativos de combinaciones de los extremos bajo y alto de un intervalo de porcentaje en volumen de nanopartículas 200 poliméricas mencionadas anteriormente incluyen una disposición en donde las nanopartículas 200 poliméricas constituyen del 10-75 por ciento en volumen de una mezcla 128 de resina. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden constituir 15-65 por ciento en volumen de una mezcla 128 de resina. En un ejemplo aún más, las nanopartículas 200 poliméricas pueden constituir del 20-50 por ciento en volumen de una mezcla 128 de resina.

30 Ventajosamente, la forma esférica de las nanopartículas 200 poliméricas permite mejoras lineales en las propiedades de la resina 116 con aumentos lineales en el nivel de concentración de las nanopartículas 200 poliméricas en la resina 116 con un efecto mínimo o insignificante sobre la viscosidad de la resina. Además, la forma esférica y la anchura 202 de sección transversal de partícula relativamente pequeña de las nanopartículas 200 poliméricas permite un amplio rango en los niveles de concentración de las nanopartículas 200 poliméricas dentro de la resina 116 para permitir así un amplio rango de mejoras en una o más propiedades (por ejemplo, reducción de la contracción por curado, CTE reducido, calor de reacción reducido, etc.) de la resina 116 con un efecto mínimo sobre la viscosidad y el flujo de la resina.

35 La Figura 3 muestra una sección transversal de una porción de la estructura 100 de material compuesto de la Figura 2 e ilustra los filamentos 152 de refuerzo que forman las capas 108 de material compuesto unidireccionales. En el ejemplo mostrado, una o más de las capas 108 de material compuesto pueden estar formadas por cinta 154 unidireccional. Las fibras 150 en una de las capas 108 de material compuesto pueden estar orientadas de forma no paralela a las fibras 150 en otras capas 108 de material compuesto. Sin embargo, una o más de las capas 108 de material compuesto pueden tener una orientación de fibra paralela a las fibras 150 en una capa 108 de material compuesto adyacente. En la Figura 3, los filamentos 152 de refuerzo en las capas de material compuesto superior e inferior 108 están orientadas a lo largo de una dirección perpendicular al plano del papel. Los filamentos 152 de refuerzo en las dos capas 108 de material compuesto centrales están orientados a lo largo de una dirección paralela al plano del papel. Los filamentos 152 de refuerzo en las capas 108 de material compuesto ubicadas entre la capa 108 de material compuesto media y superior, y entre la capa 108 de material compuesto media y más baja pueden estar orientadas no paralelas y no perpendiculares al plano de papel. Sin embargo, cualquiera de las capas 108 de material compuesto puede contener filamentos 152 de refuerzo que tengan cualquier orientación, sin limitación.

40 La Figura 4 es una vista ampliada de una porción de la capa de material compuesto de la Figura 3 e ilustra la resina 116 (Figura 1) que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas. En el ejemplo que se muestra, las nanopartículas 200 poliméricas pueden distribuirse uniformemente a lo largo de la disposición 106 de material compuesto. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden incluirse en una mezcla 128 de resina que puede usarse para preimpregnar una o más de las capas 108 de material compuesto (por ejemplo, preimpregnado) antes de colocar las capas 108 de material compuesto en una formación apilada. Por ejemplo, una mezcla 128 de resina (Figura 2) que contiene nanopartículas 200 poliméricas puede usarse para preimpregnar cualquiera de una variedad de formas de fibras diferentes que incluyen, pero no se limitan a, hilos de fibra, cinta unidireccional, lámina unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas y cualquiera de una variedad de otras formas de

5 fibras onduladas y no onduladas. Después del apilamiento de las capas 108 de material compuesto preimpregnado, la viscosidad de la resina 116 en las capas de material preimpregnado puede reducirse aplicando calor a la resina 116 y/o la disposición 106 de material compuesto y que puede permitir que la resina 116 de polímero con nanopartículas atrapadas las capas 108 de material compuesto fluyen y se entremezclan. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden distribuirse uniformemente a través de la disposición 106 de material compuesto, después de lo cual se puede aplicar calor y/o presión para consolidar y/o curar la disposición 106 de material compuesto para formar la estructura 100 de material compuesto final.

10 En otro ejemplo, se puede fabricar una disposición 106 de material compuesto usando preformas de fibra seca tales como cinta unidireccional seca, lámina unidireccional seca, tela tejida seca, fibras trenzadas secas, etc. Una mezcla de resina líquida 128 (Figura 2) que contiene nanopartículas 200 poliméricas puede ser infundido en una disposición 106 de material compuesto después de lo cual se puede aplicar calor y/o presión para consolidar y/o curar la disposición 106 de material compuesto. En otro ejemplo, una disposición 106 de material compuesto puede estar formada por capas 108 de material compuesto (Figura 4) que pueden ser preimpregnados con resina 116 no modificada. Durante y/o después de la colocación de las capas 108 de material compuesto preimpregnado, las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 4) se pueden aplicar selectivamente a las ubicaciones de destino en la disposición 106 de material compuesto, tal como mediante la aplicación y/o pulverización de una solución que contiene nanopartículas 200 poliméricas en cavidades ricas en resina (no mostradas) de la disposición 106 de material compuesto. En la presente divulgación, una bolsa rica en resina puede describirse como una ubicación de alto contenido de resina en la estructura de material compuesto 106 o estructura 100 de material compuesto, o una ubicación que tiene un gran volumen de resina 116 en relación con el volumen de fibras 150 (Figura 3) en la ubicación específica. Ejemplos no limitativos de bolsas ricas en resina incluyen las áreas entre los lados laterales opuestos de cintas 154 unidireccionales adyacentes en una capa 108 de material compuesto, regiones 110 interlaminares (Figura 4) entre las superficies superior e inferior de capas 108 de material compuesto superpuestas, en las ranuras y/o intersecciones de los hilos de fibra de tela tejida, y otras ubicaciones que tienen un alto contenido de resina 116 en relación con el contenido de fibras 150 en esa ubicación.

15 En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse selectivamente a lo largo de una estructura 100 de material compuesto. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse en o entre ciertas capas 108 de material compuesto (Figura 4) de una disposición 106 de material compuesto (por ejemplo, solo las capas medias, o solo las capas más extremas), mientras que otras capas 108 de material compuesto pueden estar desprovistas de nanopartículas 200 poliméricas (Figura 4). En otro ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse selectivamente en regiones relativamente gruesas (por ejemplo, que tienen una gran cantidad de capas) de una disposición 106 de material compuesto, y regiones más delgadas (por ejemplo, que tienen una cantidad relativamente menor de capas) de una disposición 106 de material compuesto puede estar desprovisto de nanopartículas 200 poliméricas. La colocación de nanopartículas 200 poliméricas en una o más ubicaciones de una disposición 106 de material compuesto (Figura 4) puede realizarse manualmente y/o utilizando un dispositivo robótico (no mostrado). Las nanopartículas 200 poliméricas se pueden aplicar sobre filamentos 152 de refuerzo y/o cables de fibra 150 durante la fabricación de los filamentos 152 de refuerzo y/o cables de fibra 150, y que luego se pueden formar en cinta unidireccional, lámina unidireccional, tela tejida y otras formas de fibra ondulada y no ondulada. Las nanopartículas 200 poliméricas también se pueden aplicar a una forma de fibra (por ejemplo, cinta unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas, etc.) durante las operaciones de preimpregnado.

20 La Figura 5 es una ilustración esquemática de una resina 116 sin modificar no curada convencional sin nanopartículas en la resina 116 sin modificar. La Figura 5A es una ilustración esquemática de la resina 116 sin modificar curada convencional de la Figura 5 y muestra la contracción 118 neta de resina que puede ocurrir durante y/o como resultado del curado de la resina 116 no modificada. Por ejemplo, la contracción neta de resina 118 puede ser el resultado de la contracción 120 por curado de resina de la resina 116, y/o el resultado de la contracción 124 de resina de la resina 116. La contracción por curado puede describirse como la contracción química de una resina durante el entrecruzamiento o polimerización de la resina a medida que la resina cambia de un líquido a un sólido. La contracción puede describirse como la contracción de una resina durante el enfriamiento de la estructura 100 de material compuesto endurecida o solidificada ahora después del curado.

25 La Figura 6 es una ilustración esquemática de una disposición 106 de material compuesto no curada convencional hecha de capas 112 unidireccionales (Figura 4) e incluye resina 116 no modificada. Las fibras 150 de refuerzo pueden incrustarse dentro de la resina 116 no modificada. En el ejemplo mostrado, la estructura 100 de material compuesto tiene una forma curva e incluye cambios en la dirección de las fibras 150 de refuerzo. En un ejemplo, las fibras 150 de refuerzo pueden estar hechas de carbono y la resina 116 no modificada puede ser una resina epoxídica. También se muestran las líneas fantasmas en la Figura 6 que representan un límite 104 de tolerancia geométrica de la estructura 100 de material compuesto. El límite 104 de tolerancia puede representar un límite externo de la geometría o la forma de la estructura 100 de material compuesto curada final como se requiera de manera que la estructura 100 de material compuesto puede encajar con componentes de acoplamiento.

30 La Figura 6A es una ilustración esquemática de la estructura 100 de material compuesto curada de la Figura 6 que muestra la distorsión 102 de forma en la forma general de la estructura 100 de material compuesto como resultado de la contracción 120 por curado de resina y/o la contracción 124 de resina (Figura 5A) de la resina 116. A este respecto, el curado de la resina 116 termoestable no modificada puede dar como resultado una contracción 120 por curado de

resina. Además, durante el enfriamiento de la estructura 100 de material compuesto curada a temperatura ambiente, la resina 116 puede contraerse térmicamente. Las fibras 150 de refuerzo de carbono pueden restringir físicamente la forma de la estructura 100 de material compuesto de una manera no isotrópica debido a la falta de coincidencia de CTE de fibra de resina. La curvatura de la estructura 100 de material compuesto y los cambios direccionales asociados de las fibras 150 de refuerzo, junto con cualquier cambio en la fracción de volumen de fibra que pueda existir a lo largo de la estructura 100 de material compuesto puede dar como resultado un cambio dimensional no homogéneo en la estructura 100 de material compuesto durante el curado con resina y el enfriamiento. A este respecto, el alto nivel de contracción por curado y/o contracción de la resina 116 epoxídica puede dar como resultado una distorsión 102 significativa de la forma global de la estructura 100 de material compuesto curada que puede exceder el límite 104 de tolerancia geométrica.

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina 128 termoestable no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas formadas de un material diferente que la resina 116. Además, las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener una contracción 204 por curado más baja que la contracción 120 por curado de resina. Durante el curado de la resina 116, las nanopartículas 200 poliméricas también pueden tener un CTE 206 más bajo que la resina 122 CTE (Figura 1). Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas se pueden curar o solidificar previamente antes del curado de la resina 116.

La Figura 7A es una ilustración esquemática de la mezcla 128 de resina curada de la Figura 7 y muestra una reducción en la contracción 130 neta de la mezcla 128 de resina en relación con la contracción 118 neta de la resina 116 no modificada como se muestra en la Figura 5. La reducción en la contracción 130 neta de la mezcla 128 de resina en la Figura 7A puede ser el resultado de la contracción 204 inferior por curado y/o la contracción 208 inferior de las nanopartículas 200 poliméricas. Por ejemplo, la reducción de la contracción 130 neta de la mezcla 128 de resina puede ser reducido como resultado de una reducción en el volumen total de resina 116 debido a que las nanopartículas 200 poliméricas ocupan una porción de la resina 116. Además, la reducción en la contracción 130 neta de la mezcla 128 de resina puede ser el resultado del polímero las nanopartículas 200 limitan isotrópicamente la contracción 118 por curado de la resina 116. La reducción en la contracción 130 neta de la mezcla 128 de resina también puede ser el resultado de una reducción efectiva en la mezcla de resina CTE 134 debido a la adición de nanopartículas 200 poliméricas con una nanopartícula inferior CTE 206 en relación con la resina CTE 122.

La Figura 8 es una ilustración esquemática de una disposición 106 de material compuesto no curada hecha de capas 112 unidireccionales similar a la disposición 106 de material compuesto (Figura 4) mostrada en la Figura 6, con la excepción de que la disposición 106 de material compuesto de la Figura 8 puede incluir una mezcla 128 de resina que contiene nanopartículas 200 poliméricas. En un ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar formadas por un material que no está hecho de los mismos constituyentes que la resina 116. Además, como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar previamente curadas y/o presolidificado y de ese modo puede evitar la contracción 204 de curado de nanopartículas (Figura 7A) durante el curado de la resina 116.

La Figura 8A es una ilustración esquemática de la estructura 100 de material compuesto curada de la Figura 8 que muestra una reducción en la distorsión 102 de forma (Figura 6A) de la forma general de la estructura 100 de material compuesto en relación con la distorsión de la estructura 100 de material compuesto mostrada en la Figura 6A. La reducción en la distorsión 102 de forma en la Figura 8A puede ser el resultado de la contracción 204 por curado de nanopartículas que es menor que la contracción 120 por curado de resina, y/o el resultado de la contracción 208 de nanopartículas (Figura 7A) que es menor que la contracción 124 de resina debida para que la nanopartícula 206 CTE sea más baja que la resina 122 CTE. A este respecto, la adición de las nanopartículas 200 poliméricas proporciona un medio para controlar la mezcla de resina 134 CTE de modo que se pueda fabricar una estructura 100 de material compuesto con una forma final que esté dentro el límite 104 de tolerancia geométrica (Figura 6A).

La Figura 9 es una ilustración esquemática de una mezcla 128 de resina no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional. Al menos algunas de las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional en la mezcla 128 de resina pueden tener un CTE a lo largo de al menos un eje que es diferente del CTE a lo largo de otro eje de la nanopartícula 214 polimérica. Por ejemplo, las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional pueden tener un eje a lo largo del cual el CTE es más bajo (por ejemplo, el eje de CTE 216 más bajo) que el CTE de la nanopartícula 200 polimérica a lo largo de otro eje (por ejemplo, el eje de CTE 218 superior). En la Figura 9, los ejes CTE de las nanopartículas 214 poliméricas están orientados en direcciones aleatorias. Las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional pueden estar formadas por un material anisotrópico tal como un material cristalino. En algunos ejemplos, los ejes CTE de una nanopartícula 214 pueden ser ortogonales entre sí. Por ejemplo, en la Figura 9, el eje del CTE 216 inferior puede ser ortogonal al eje del CTE 218 superior. Sin embargo, los ejes CTE de una nanopartícula 214 de polímero CTE direccional pueden estar orientados no ortogonales entre sí. Además, una nanopartícula 214 de polímero de CTE direccional puede tener más de dos ejes de CTE con diferentes niveles de CTE. Por ejemplo, una nanopartícula 214 polimérica de CTE direccional puede tener un eje de CTE 216 inferior, un eje de CTE 218 orientado ortogonal al eje de CTE 216 inferior y un eje de CTE medio (no mostrado) orientado ortogonal al eje de CTE 216 inferior y el eje de CTE 218 superior. En algunos ejemplos, puede ser ventajoso alinear dos o más de los ejes de CTE de una nanopartícula 214 de polímero de CTE direccional respectivamente a lo largo de dos o más direcciones asociadas con una disposición 106 de material compuesto (Figura 4).

La Figura 9A es una ilustración esquemática de un ejemplo no limitativo de un dispositivo para orientar los ejes CTE de nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional. El ejemplo incluye un par espaciado de elementos 220 tales como barras o placas a través de las cuales se puede aplicar una diferencia de potencial o carga para generar un campo eléctrico y/o magnético. En un ejemplo, las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional pueden configurarse de modo que los lados diametralmente opuestos de cada nanopartícula se carguen opuestamente a lo largo de un eje CTE seleccionado. Las líneas 222 de campo eléctrico o magnético pueden generarse aplicando una diferencia de potencial a través del par espaciado de elementos 220, y haciendo que los ejes CTE de las nanopartículas 214 poliméricas se alineen con las líneas 222 de campo magnético. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas pueden ser configuradas de manera que los ejes del CTE 216 inferior estén alineados con las líneas 222 de campo eléctrico y/o magnético.

La Figura 10 es una ilustración esquemática de una mezcla 128 de resina no curada con nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional en donde los ejes de CTE 216 inferior están alineados entre sí. Cada una de las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional también puede incluir un eje de CTE 218 superior que puede orientarse ortogonalmente a los ejes de CTE 214 inferior. La Figura 10A es una ilustración esquemática de la mezcla 128 de resina de la Figura 10 después del curado de la mezcla 128 de resina. Las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional pueden dar como resultado una contracción 224 inferior de la mezcla 128 de resina a lo largo de una dirección paralela a los ejes de CTE inferior y una contracción 226 mayor de la mezcla 128 de resina a lo largo de una dirección paralela a los ejes de CTE superior.

La Figura 11 es una ilustración esquemática de una porción de la disposición 106 de material compuesto de la Figura 4 que muestra nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional contenidas en la mezcla 128 de resina. Las nanopartículas 214 poliméricas de CTE direccional pueden orientarse para alinear los ejes de CTE 214 inferior a lo largo de una dirección común. Por ejemplo, se puede aplicar un campo eléctrico o magnético a una mezcla 128 de resina no curada (Figura 10) de modo que los ejes del CTE 216 inferior estén orientados transversalmente a una dirección longitudinal de los filamentos 152 de refuerzo o las fibras 150. Ventajosamente, una orientación transversal de los ejes del CTE 214 inferior puede reducir la contracción de la mezcla 128 de resina en relación con la contracción de la resina no modificada. La contracción reducida a lo largo de una dirección transversal a las fibras 150 de refuerzo puede reducir las tensiones inducidas térmicamente en la resina 116, lo que puede evitar o reducir el inicio de grietas o el crecimiento de grietas en la resina 116 durante el enfriamiento de la resina 116 de curado y/o durante la ciclización térmica de la estructura 100 de material compuesto durante el servicio.

La Figura 12 es una ilustración esquemática de una mezcla 128 de resina no curada que incluye una resina 116 termoestable que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas curadas formadas del mismo material que la resina 116 termoestable. Debido al curado previo de las nanopartículas 200 poliméricas, las nanopartículas 200 poliméricas pueden no tener contracción por curado durante el curado de la resina 116. La Figura 12A es una ilustración esquemática de la mezcla 128 de resina curada de la Figura 14 que muestra una reducción en la contracción 132 neta en relación con la contracción 118 neta de la resina 116 no modificada como se muestra en Figura 5A. La reducción en la contracción 132 neta de la mezcla 128 de resina puede deberse a la ausencia de contracción por curado de las nanopartículas 200 poliméricas curadas. Además, la reducción en la contracción neta de la mezcla 128 de resina también puede deberse a las nanopartículas 200 poliméricas restringir físicamente la contracción 120 por curado de resina y/o la contracción 124 de resina.

La Figura 13 es una ilustración esquemática de una resina 116 termoestable no modificada convencional no curada sin nanopartículas en la resina 116 no modificada. La Figura 13A es una ilustración esquemática de la resina 116 termoestable no modificada curada de la Figura 13 y muestra un calor de la reacción 126 significativo generado por la resina 116 no modificada termoestable durante el curado. Como se indicó anteriormente, una gran cantidad de liberación de calor 126 durante el curado de una resina 116 puede aumentar indeseablemente la temperatura de una disposición 106 de material compuesto durante el curado. La gran liberación de calor 126 puede dar como resultado una distorsión o deformación de la forma final de la estructura 100 de material compuesto (Figura 11), particularmente en secciones gruesas de la disposición 106 de material compuesto. Además, la gran liberación de calor 126 durante el curado de una resina 116 puede resultar en una reducción de las propiedades mecánicas de la resina 116 debido al sobrecalentamiento, y además puede provocar una combustión peligrosa de la resina 116, y/o cambios en el grado de curado de la resina 116 durante el ciclo de curado.

La Figura 14 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina 128 termoestable no curada que contiene ventajosamente una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas formadas de un material diferente que la resina 116 (ejemplo de referencia). Además, las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener un calor 210 de reacción de nanopartículas (Figura 14A) que puede ser inferior al calor de la reacción 126 de resina (Figura 13A) durante el curado de la resina. La Figura 14A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina 128 termoestable curada de la Figura 14 y muestra un calor de la reacción 138 reducido de la mezcla 128 de resina en relación con el calor de la reacción 126 de la resina 116 no modificada mostrada en la Figura 13A. La reducción en el calor de la reacción 138 de la mezcla 128 de resina en la Figura 14A puede dar como resultado una reducción neta en la temperatura de la parte que puede reducir ventajosamente la cantidad de distorsión de la parte causada de otra manera por temperaturas de la parte no uniformes en una disposición de material compuesto durante el curado de la resina y/o puede evitar exceder la temperatura de degradación de la resina durante el curado de la resina. Además, el uso de nanopartículas

200 con un CTE 206 de nanopartículas más bajo puede reducir aún más las tensiones internas causadas por el desajuste de CTE de -fibra de resina.

5 La Figura 15 es una ilustración esquemática de una mezcla de resina 128 termoestable no curada que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas curadas formadas del mismo material que la resina 116. Las nanopartículas 200 poliméricas curadas pueden exhibir ningún calor 210 de reacción de nanopartículas (por ejemplo, cero) durante cura de resina. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas formadas del mismo material (presente invención) o diferente (ejemplo de referencia) que la resina pueden tener una capacidad de calor de nanopartículas (Cp) que puede seleccionarse para reducir la temperatura máxima de la resina 116. Figura 15A es una ilustración esquemática de la mezcla de resina 128 termoestable curada de la Figura 15. Las nanopartículas 200 poliméricas curadas pueden funcionar como un disipador de calor no reactivo y pueden absorber una porción del calor de la reacción 126 de resina (Figura 13A) durante el curado de resina, y lo que puede dar como resultado una reducción en la temperatura parcial debido a la menor cantidad de calor generado por la resina de curado 116. Como se indicó anteriormente, una reducción en el calor de la reacción 138 puede reducir la temperatura parcial durante el curado de la resina que puede reducir ventajosamente la cantidad de distorsión de la parte causada de otro modo por temperaturas parciales no uniformes en la disposición de material compuesto. Además, una reducción en la temperatura de la estructura 100 de material compuesto puede evitar exceder la degradación o la temperatura de combustión de la resina 116.

20 La Figura 16 es un diagrama de un ciclo de curado lento y un ciclo de curado rápido de una disposición 106 de material compuesto convencional que puede estar formada por fibras 150 de refuerzo incrustadas en la resina 116 no modificada (Figura 8A). Por ejemplo, las fibras 150 de refuerzo pueden ser fibras de carbono incrustadas en resina epoxídica. El diagrama de la Figura 16 traza el tiempo 250 de curado de la resina a lo largo del eje horizontal, y la temperatura 252 de curado a lo largo del eje vertical. El gráfico incluye una línea horizontal discontinua que representa el límite 254 de temperatura de combustión de la resina 116, y una línea horizontal punteada que representa el límite 256 de temperatura de degradación de la resina 116. El gráfico ilustra una temperatura 258 de pieza de curado rápido y una temperatura de horno de curado rápido 260 como se puede usar en un ciclo de curado rápido de la disposición 106 de material compuesto (Figura 13A). El gráfico también ilustra una temperatura 262 de pieza de curado lento y una temperatura 264 de horno de curado lento como se puede usar en un ciclo de curado lento de la disposición 106 de material compuesto. Como se puede ver, durante el ciclo de curado lento y durante el ciclo de curado rápido, el calor de la reacción 126 de resina (Figura 13A) aumenta la temperatura del dispositivo 106 material compuesto por encima de la temperatura de curado establecida por un horno o autoclave.

35 Cuando se usa el ciclo de curado rápido, la temperatura de la disposición 106 de material compuesto puede exceder el límite 254 de temperatura de combustión (Figura 16) de la resina 116, lo que puede provocar daños en la disposición 106 de material compuesto (Figura 13A) debido al sobrecalentamiento. Como se indicó anteriormente, exceder el límite 256 de temperatura de degradación también puede dar como resultado una reducción en la resistencia mecánica y el rendimiento de la resina 116 (Figura 15A) que puede comprometer la integridad de la estructura 100 de material compuesto. Además, exceder el límite 254 de temperatura de combustión potencialmente puede provocar una combustión o incendio con el potencial de dañar la estructura 100 de material compuesto circundante y el equipo.

40 El uso del ciclo de curado lento puede mitigar el daño a la disposición 106 de material compuesto (Figura 13A) para evitar el sobrecalentamiento. El ciclo de curado lento puede proporcionar tiempo adicional para que el calor de la reacción 126 de resina (Figura 13A) se disipe de la disposición 106 de material compuesto durante el curado y que puede reducir el sobreimpulso de temperatura de modo que la temperatura máxima de la disposición 106 de material compuesto permanezca por debajo de la temperatura 256 de degradación límite de la resina 116 (Figura 15A). Sin embargo, el ciclo de curado lento aumenta el tiempo total de procesamiento para fabricar una estructura 100 de material compuesto.

45 La Figura 17 es un diagrama del ciclo de curado lento y el ciclo de curado rápido de una disposición 106 de material compuesto que incluye una mezcla 128 de resina que contiene nanopartículas 200 poliméricas. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden tener una contracción 204 por curado de nanopartículas (Figura 7A) que es menor que la contracción por curado con resina 120 (Figura 5A), un CTE 206 de nanopartículas que es más bajo o diferente que el CTE 122 de resina, y/o un calor 210 de reacción de nanopartículas que es menor que el calor de la reacción 126 de resina. Cuando el ciclo de curado lento o el ciclo de curado rápido se usan para curar una disposición 106 de material compuesto (Figura 13A), las nanopartículas 200 poliméricas dan como resultado una reducción neta en el calor de la reacción 138 de la mezcla 128 de resina (Figura 15A) durante el curado en comparación con el calor de la reacción 126 de una resina 116 no modificada como se muestra en la Figura 16. La reducción en el calor de la reacción 138 de la mezcla 128 de resina da como resultado una reducción en la temperatura de la disposición 106 de material compuesto lo que puede evitar daños por sobrecalentamiento.

60 La Figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden incluirse en un método 300 de fabricación de una estructura 100 de material compuesto. El paso 302 del método 300 puede incluir proporcionar una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas, y al menos curar o solidificar parcialmente las nanopartículas 200 poliméricas antes de curar la resina 116. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 4) pueden estar formadas por uno cualquiera de una variedad de diferentes materiales termoendurecibles o materiales termoplásticos. En algunos ejemplos, el método puede incluir fabricar las nanopartículas 200 poliméricas externamente

antes de mezclarlas con la resina 116 (Figura 5). Las nanopartículas 200 poliméricas se forman en un tamaño relativamente pequeño y tienen una forma esférica para evitar aumentar la viscosidad de la resina. El tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas 200 poliméricas puede reducir o minimizar el efecto de las nanopartículas 200 poliméricas sobre la capacidad de la resina 116 para fluir y/o infundirse en las fibras 150 de una disposición 106 de material compuesto. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas tienen una anchura 202 de sección transversal de partículas (Figura 7) de 10-200 nanómetros. En algunos ejemplos, la mezcla 128 de resina (Figura 3) puede incluir nanopartículas 200 poliméricas que tienen una anchura 202 de sección transversal de partículas que es diferente del ancho 202 de sección transversal de partículas de otras nanopartículas 200 poliméricas en la mezcla 128 de resina.

En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden formarse del mismo material que la resina 116 y pueden curarse o solidificarse parcial o totalmente antes de curar la resina 116. En los ejemplos de referencia, las nanopartículas 200 poliméricas pueden formarse de un material diferente que la resina 116 (Figura 7), y se puede curar o solidificar parcial o totalmente antes de curar la resina 116. En otros ejemplos adicionales, una mezcla 128 de resina (Figura 7) puede contener algunas nanopartículas 200 poliméricas formadas de un material, y otras nanopartículas 200 poliméricas en la mezcla 128 de resina pueden formarse de un material diferente. A este respecto, proporcionar nanopartículas 200 poliméricas (Figura 7) formadas por diferentes materiales y la misma mezcla 128 de resina puede proporcionar un medio para alterar diferentes propiedades de la resina 116. Por ejemplo, algunas de las nanopartículas 200 poliméricas en una mezcla 128 de resina pueden estar formado de un material que tenga una contracción 204 por curado de nanopartículas (Figura 7A) que sea menor (por ejemplo, durante el ciclo de curado de resina 116) que la contracción 120 por curado de resina como un medio para reducir la contracción 130 volumétrica acumulativa de la mezcla 128 de resina. La misma mezcla 128 de resina también puede incluir nanopartículas 200 poliméricas que pueden formarse de otro material que puede tener un calor 210 de reacción de nanopartículas menor que el calor de la reacción 126 de resina como un medio para reducir la cantidad total de calor generado durante el curado de resina y de ese modo mantener la temperatura de la resina 116 y la disposición 106 de material compuesto por debajo de los límites predeterminados, como por debajo de la temperatura 256 de degradación o por debajo de la temperatura 254 de combustión (Figura 16).

El paso 304 del método 300 puede incluir incorporar o mezclar la pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas dentro de la resina 116 (Figura 8A) para formar una mezcla 128 de resina. Ventajosamente, el tamaño relativamente pequeño y la forma esférica de las nanopartículas 200 poliméricas permiten altos niveles de carga de nanopartículas 200 poliméricas en la mezcla 128 de resina (Figura 8A) con un efecto mínimo sobre la viscosidad de la resina. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas constituyen 10-75 por ciento en volumen de la mezcla 128 de resina. Sin embargo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden proporcionarse en cualquier combinación de los extremos inferior y superior mencionados anteriormente del intervalo de porcentaje volumétrico de nanopartículas 200 poliméricas de una mezcla 128 de resina. Como también se indicó anteriormente, algunas de las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 8) en una mezcla 128 de resina puede tener una anchura 202 de sección transversal de partículas diferente que otras nanopartículas 200 poliméricas en la mezcla 128 de resina. Por ejemplo, una mezcla 128 de resina puede incluir nanopartículas 200 poliméricas de alta capacidad calorífica de un tamaño de diámetro relativamente grande con el fin de aumentar la capacidad de absorción de calor 212 (Figura 15A) de las nanopartículas 200 poliméricas. La misma mezcla 128 de resina también puede incluir nanopartículas 200 poliméricas de un diámetro más pequeño que se puede agregar con el fin de reducir la contracción 120 por curado de resina o reduciendo el calor de la resina de la reacción 126 (Figura 13A).

El paso 306 del método 300 puede incluir la inclusión de fibras 150 de refuerzo en la mezcla 128 de resina antes de curar o solidificar la mezcla 128 de resina. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas pueden agregarse a las resinas 116 termoendurecibles (Figura 10) y a las resinas 116 termoplásticas de sistemas de preimpregnación y sistemas de infusión de resina. Por ejemplo, el método puede incluir capas 108 de material compuesto preimpregnadas de diversas formas de fibra (por ejemplo, hilos de fibra, cinta unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas, etc.) con una mezcla 128 de resina (Figura 10) que contiene nanopartículas 200 poliméricas, y luego colocando las capas 108 de material compuesto preimpregnado para formar una disposición 106 de material compuesto (Figura 11). Alternativamente, el método puede incluir la colocación de capas 108 de material compuesto que pueden preimpregnarse con resina 116 no modificada, después de lo cual las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 12) pueden aplicarse a una o más ubicaciones de la disposición 106 de material compuesto. En otro ejemplo, el método puede incluir la colocación de preformas de fibra seca que pueden infundirse con resina 116 que puede contener nanopartículas 200 poliméricas, o la colocación de preformas de fibra seca seguidas de la infusión de resina 116 no modificada y luego aplicar nanopartículas 200 poliméricas a una o más ubicaciones de la disposición 106 de material compuesto.

El paso 308 del método 300 puede incluir curar o solidificar la mezcla 128 de resina, que puede incluir aplicar calor y/o presión a la disposición 106 de material compuesto. La incorporación de nanopartículas 200 poliméricas en la resina 116 (Figura 14A) puede mejorar las propiedades de curado de 116 resina y mejorar el rendimiento mecánico de la estructura de material compuesto. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 14A) que tienen una contracción 204 por curado de nanopartículas relativamente baja pueden reducir la contracción dimensional o volumétrica en relación con la contracción volumétrica exhibida por la resina 116 no modificada. Las nanopartículas 200 poliméricas con un bajo CTE pueden proporcionar un medio para controlar el CTE de la mezcla 128 de resina

(Figura 14A) para reducir la tensión interna en la estructura 100 de material compuesto durante el ciclo de curado y reducir la distorsión 102 de forma (Figura 6A) de la estructura 100 de material compuesto curada.

El método puede incluir además proporcionar en la resina 116 al menos algunas nanopartículas 200 poliméricas que tienen una capacidad de calor de nanopartículas predeterminada (C_p) seleccionada para reducir la temperatura máxima de la resina 116 (Figura 15A). El método puede incluir adicionalmente absorber una porción del calor de la reacción 126 de resina (Figura 13A) en las nanopartículas 200 poliméricas durante el curado de la mezcla 128 de resina. Como resultado de la capacidad de calor de nanopartículas, el método puede incluir reducir una temperatura máxima de la mezcla 128 de resina (Figura 15A) en respuesta a la absorción del calor de la reacción 126 de resina en las nanopartículas 200 poliméricas. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 poliméricas (Figura 15A) con un bajo calor de reacción pueden reducir la distorsión 102 de forma del material compuesto curado estructura 100 reduciendo la cantidad total de calor generado durante el curado y, por lo tanto, reduciendo la temperatura de la disposición 106 de material compuesto (Figura 13A) durante el curado, lo que puede reducir los cambios en la forma de la parte debido a que secciones más gruesas de la disposición 106 de material compuesto se curan antes y más calientes que secciones más delgadas.

En algunos ejemplos, el método puede incluir el acoplamiento de una pluralidad de nanopartículas 200 poliméricas a uno o más filamentos 152 de refuerzo para actuar como espaciadores para evitar que los filamentos 152 de refuerzo se toquen entre sí y controlar la permeabilidad de los filamentos 152. Las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse a los filamentos 152 de refuerzo ya que los filamentos 152 de refuerzo se extraen de un aparato de formación de fibras (no mostrado). En otros ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden aplicarse a los filamentos 152 de refuerzo a medida que los hilos 150 de fibra se forman en cinta unidireccional, lámina unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas y otras formas de fibra. Las nanopartículas 200 poliméricas también se pueden acoplar o aplicar a uno o más filamentos 152 de refuerzo durante las operaciones de preimpregnación en las que la resina 116 se aplica a los hilos de fibra, cinta unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas y otras formas de fibra.

En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 poliméricas pueden fundirse por fusión a los filamentos 152 de refuerzo. Por ejemplo, las nanopartículas 200 poliméricas pueden estar formadas por material termoplástico o las nanopartículas 200 poliméricas pueden configurarse como nanopartículas de núcleo-vaina (no mostradas), cada una de las cuales tiene una vaina termoplástica que rodea un núcleo. Los filamentos 152 de refuerzo y/o las vainas de las nanopartículas poliméricas pueden calentarse a una temperatura que hace que la porción externa de las nanopartículas de núcleo-vaina se unan o se fundan-fusionen a los filamentos 152 de refuerzo cuando las nanopartículas de núcleo-vaina entran en contacto con los filamentos 152 de refuerzo.

Las realizaciones ilustrativas de la divulgación pueden describirse en el contexto de un método (no mostrado) de fabricación y/o servicio a 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 del sistema de componentes aeroespaciales. A partir de entonces, la aeronave, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial puede pasar por certificación y entrega para 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. 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, se pueden aplicar diferentes realizaciones ilustrativas a otras industrias, tales como la industria automotriz.

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 de material compuesto (por ejemplo, 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 de material compuesto durante al menos uno de 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 de material compuesto puede usarse en una o más estructuras de componentes aeroespaciales. Por ejemplo, una estructura de material compuesto puede incluirse en una estructura de fuselaje, interior o alguna otra parte de una aeronave, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial.

Según un ejemplo de referencia, se proporciona una composición que comprende una resina que tiene al menos uno de un coeficiente de expansión térmica (CTE) de resina, una contracción por curado de resina y un calor de reacción de resina, una pluralidad de nanopartículas poliméricas que tienen al menos una de las siguientes propiedades: una contracción por curado de nanopartículas menor que la contracción por curado de resina; un CTE de nanopartículas diferente al CTE de resina; y un calor de reacción de nanopartículas menor que el calor de reacción de resina y una mezcla (128) de resina que incluye la adición de la pluralidad de nanopartículas poliméricas a la resina. Ventajosamente, la composición es una en donde las nanopartículas poliméricas se curan al menos parcialmente antes del curado de la resina. Ventajosamente, la composición es una en donde la resina y/o las nanopartículas poliméricas son de material compuesto de al menos uno de los siguientes: material termoplástico, acrílicos,

fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas, polietilenos, poliésteres, policarbonatos, polipropilenos, poliuretanos, poliariletercetonas, polieteroneimidas, polietersulfuros, polisulfona y polifenilsulfona; material termoestable, poliuretanos, fenólicos, poliimididas, polímero sulfonado (sulfuro de polifenileno), un polímero conductor (por ejemplo, polianilina), benzoxazinas, bismaleimididas, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis, tioles y silsesquioxanos.

- 5 Ventajosamente, la composición es una en donde: las nanopartículas poliméricas tienen al menos una de las siguientes configuraciones: una esfera homogénea sólida, una esfera homogénea hueca. Ventajosamente, la composición es una en donde: las nanopartículas poliméricas constituyen no menos del 10 por ciento en volumen de una mezcla de resina y las nanopartículas poliméricas constituyen hasta el 75 por ciento en volumen de una mezcla de resina. Ventajosamente, la composición es una en donde: se incluye una mezcla de resina de nanopartículas de resina y polímero en al menos uno de los siguientes: un recubrimiento, un adhesivo, un plástico moldeable por inyección, una matriz de resina de una estructura de material compuesto.
- 10

Según un ejemplo de referencia, se proporciona una estructura de material compuesto, que comprende: una resina que tiene al menos uno de un coeficiente de expansión térmica (CTE) de resina, una contracción por curado de resina y un calor de reacción de resina; una pluralidad de nanopartículas poliméricas que tienen al menos una de las siguientes propiedades: una contracción por curado de nanopartículas menor que la contracción por curado de resina; un CTE de nanopartículas diferente al CTE de resina; un calor de reacción de nanopartículas menor que el calor de reacción de la resina; y una pluralidad de fibras de refuerzo incrustadas dentro de una mezcla de resina. Ventajosamente, la estructura de material compuesto es una en donde: las fibras de refuerzo incluyen hilos de fibra, cinta unidireccional, tela tejida y /o fibra trenzada. Según un ejemplo de referencia, se proporciona un método para formar una composición, que comprende: incorporar una pluralidad de nanopartículas poliméricas dentro de una resina para formar una mezcla de resina; las nanopartículas poliméricas tienen al menos una de las siguientes propiedades: una contracción por curado de nanopartículas menor que una contracción por curado de resina; un CTE de nanopartículas diferente a un CTE de resina; y un calor de reacción de nanopartículas menor que un calor de reacción de resina. Ventajosamente, el método incluye además curar al menos parcialmente las nanopartículas poliméricas antes de mezclarlas con la resina. Ventajosamente, el método es uno en donde las nanopartículas poliméricas constituyen no menos del 20 por ciento en volumen de la mezcla de resina y las nanopartículas poliméricas constituyen hasta el 75 por ciento en volumen de la mezcla de resina.

15

20

25

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 (128) de resina que incluye la adición de una pluralidad de nanopartículas poliméricas a una resina (116) termoendurecible, constituyendo las nanopartículas poliméricas del 5 al 75 por ciento en volumen de la mezcla (128) de resina, en donde:
- 5 la resina (116) no está curada y tiene al menos uno de un coeficiente de expansión térmica (CTE) de resina, una contracción por curado de resina y un calor de reacción de resina;
- las nanopartículas (200) poliméricas tienen una forma esférica y un ancho de sección transversal de partículas de 10-200 nanómetros; y
- La pluralidad de nanopartículas (200) poliméricas tiene al menos una de las siguientes propiedades:
- 10 una contracción por curado de nanopartículas menor que la contracción por curado de resina, siendo la contracción por curado de resina la contracción del volumen de resina durante la reacción de entrecruzamiento o polimerización de la resina a medida que la resina se cura y cambia de líquido a sólido;
- un CTE de nanopartículas diferente al CTE de resina, siendo el CTE el cambio en el volumen de la unidad con el cambio de temperatura; y
- 15 un calor de reacción de nanopartículas menor que el calor de reacción de la resina, siendo el calor de reacción el calor que se libera durante el entrecruzamiento o la polimerización durante el proceso de curado,
- caracterizada porque las nanopartículas (200) poliméricas son curan y son formadas del mismo material que la resina (116).
- 20 2. La composición de la reivindicación 1, en donde al menos algunas de las nanopartículas (200) poliméricas comprenden:
- nanopartículas poliméricas que tienen un componente termoestable no elastomérico; y
- nanopartículas poliméricas formadas de material termoplástico sin un componente elastomérico.
3. La composición de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde: al menos algunas de las nanopartículas (200) poliméricas están formadas de un material diferente que otras nanopartículas poliméricas en la mezcla (128) de resina.
- 25 4. La composición de las reivindicaciones 1-3, en donde:
- al menos algunas de las nanopartículas (200) poliméricas tienen un ancho de sección transversal de partículas que es diferente del ancho de sección transversal de partículas de otras nanopartículas poliméricas en la mezcla (128) de resina.
5. La composición de las reivindicaciones 1-4, en donde:
- 30 las nanopartículas (200) poliméricas constituyen no menos del 10 por ciento en volumen de una mezcla (128) de resina y las nanopartículas poliméricas constituyen hasta el 75 por ciento en volumen de una mezcla de resina.
6. Un método para formar una composición, que comprende:
- 35 incorporar una pluralidad de nanopartículas (200) poliméricas dentro de una resina (116) termoestable no curada para formar una mezcla (128) de resina, constituyendo las nanopartículas poliméricas del 5 al 75 por ciento en volumen de la mezcla (128) de resina, las nanopartículas (200) poliméricas tienen una forma esférica y una anchura de sección transversal de partícula de 10-200 nanómetros; y
- teniendo las nanopartículas poliméricas al menos una de las siguientes propiedades:
- 40 una contracción por curado de nanopartículas menor que una contracción por curado de resina, siendo la contracción por curado de resina la contracción del volumen de resina durante la reacción de entrecruzamiento o polimerización de la resina a medida que la resina se cura y cambia de líquido a sólido;
- un CTE de nanopartículas diferente a un CTE de resina, siendo el CTE el cambio en el volumen unitario con el cambio de temperatura; y
- un calor de reacción de nanopartículas menor que un calor de reacción de resina, siendo el calor de reacción el calor que se libera durante el entrecruzamiento o la polimerización durante el proceso de curado,
- 45 caracterizado porque las nanopartículas (200) poliméricas son curadas y son formadas del mismo material que la resina (116).

7. El método de la reivindicación 6, en donde al menos algunas de las nanopartículas (200) poliméricas comprenden:
nanopartículas poliméricas que tienen un componente termoestable no elastomérico; y
nanopartículas poliméricas formadas de material termoplástico sin un componente elastomérico.
8. El método de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, que incluye además:
- 5 incrustar al menos parcialmente fibras de refuerzo en la mezcla (128) de resina antes de curar o solidificar la mezcla de resina.
9. El método de las reivindicaciones 6-8, en donde:
las nanopartículas (200) poliméricas constituyen no menos del 20 por ciento en volumen de la mezcla (128) de resina y las nanopartículas poliméricas constituyen hasta el 75 por ciento en volumen de la mezcla de resina.

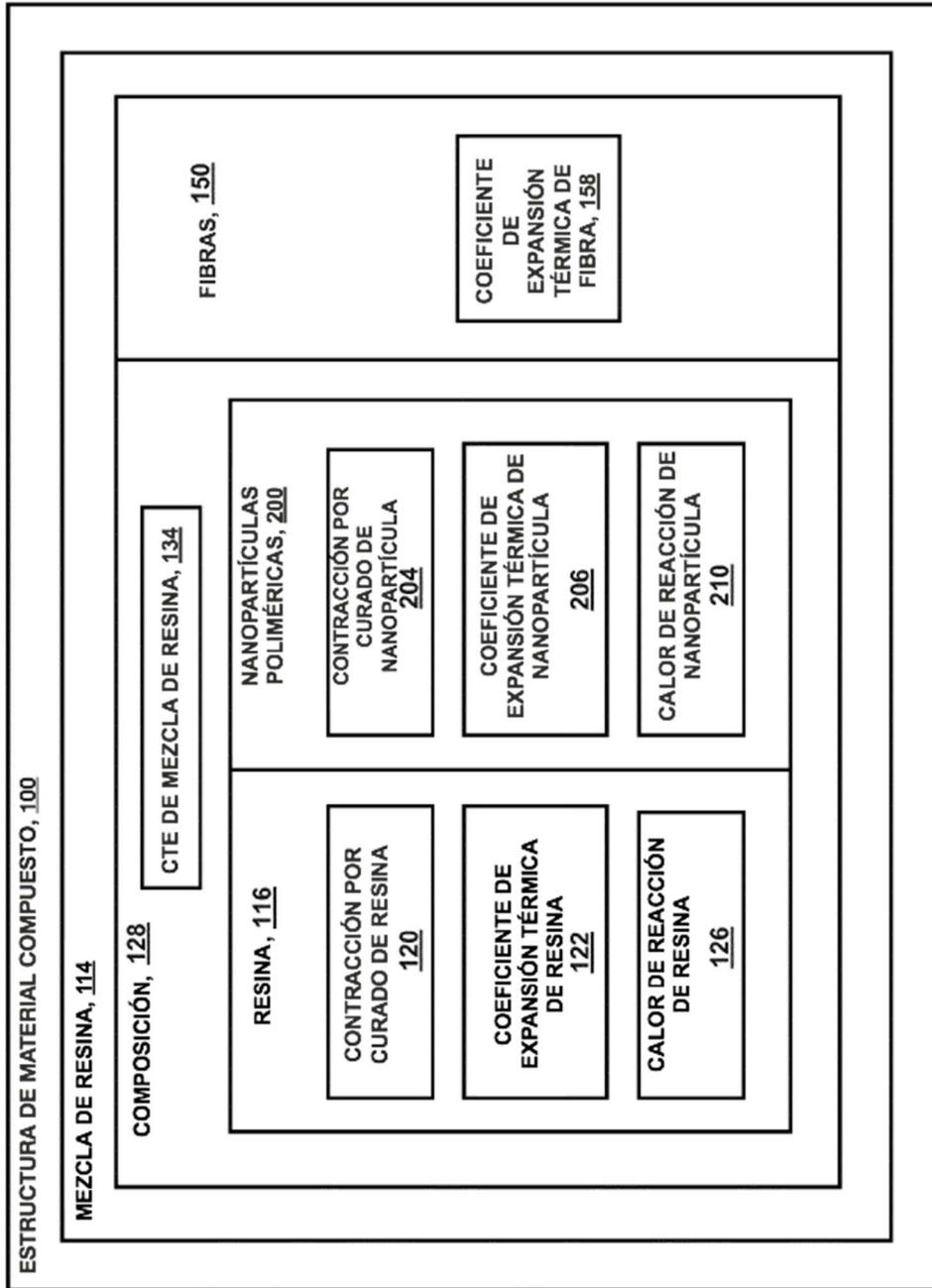


FIG. 1

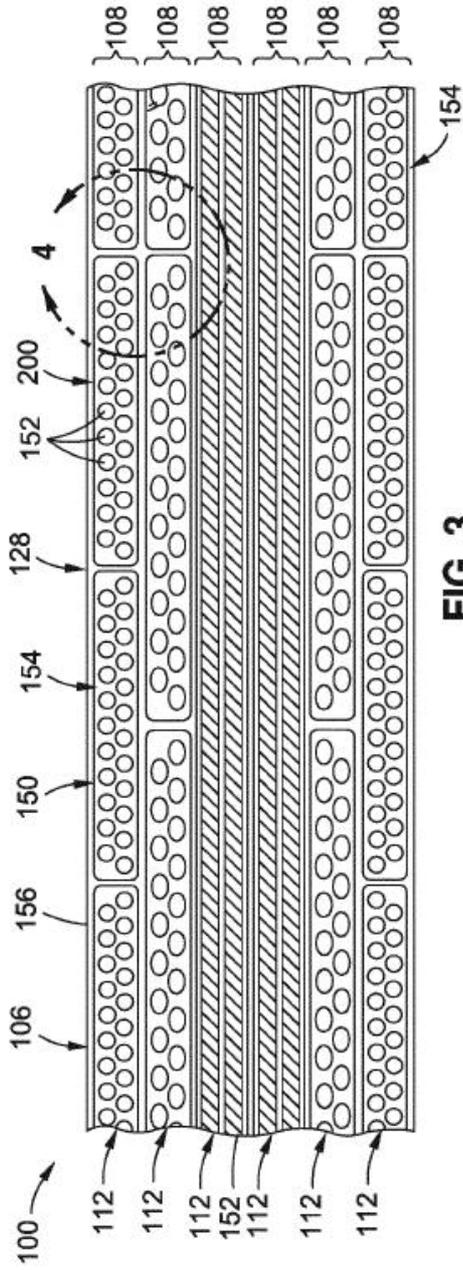


FIG. 3

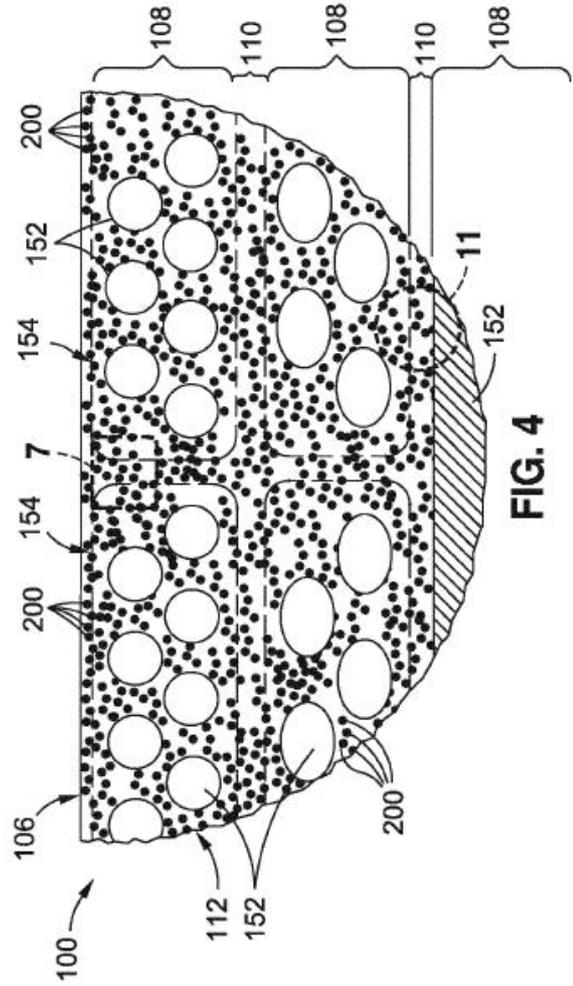


FIG. 4

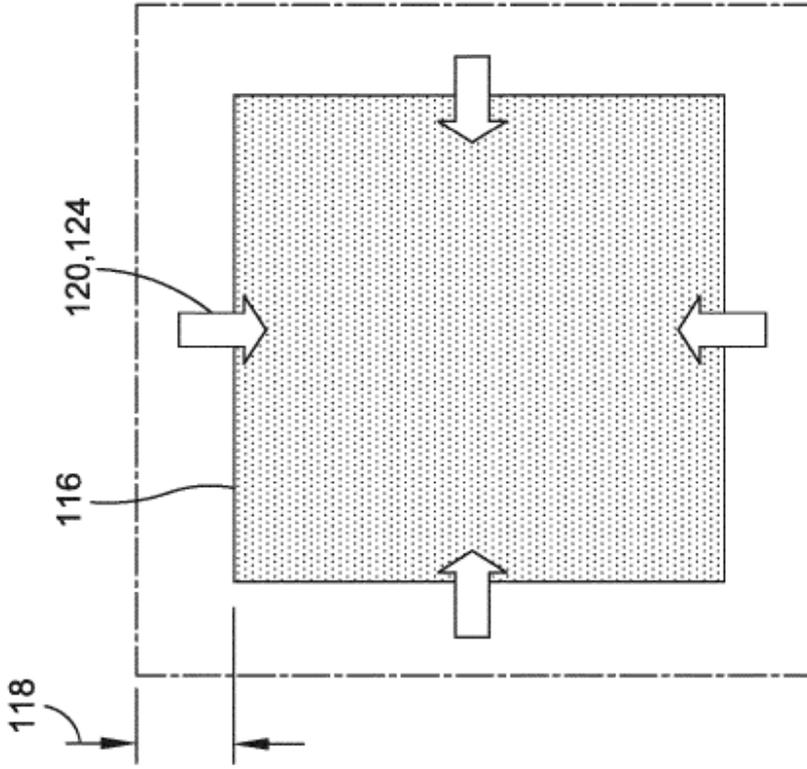


FIG. 5A

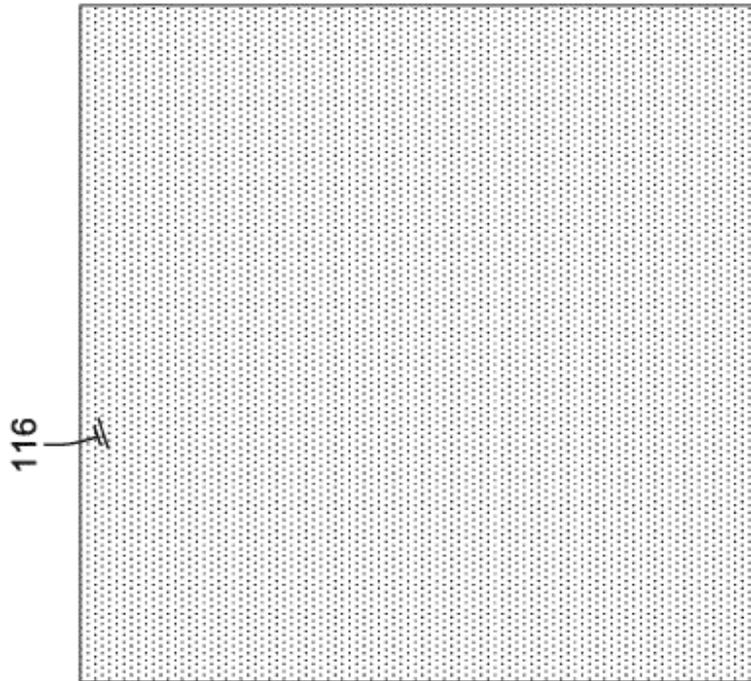


FIG. 5

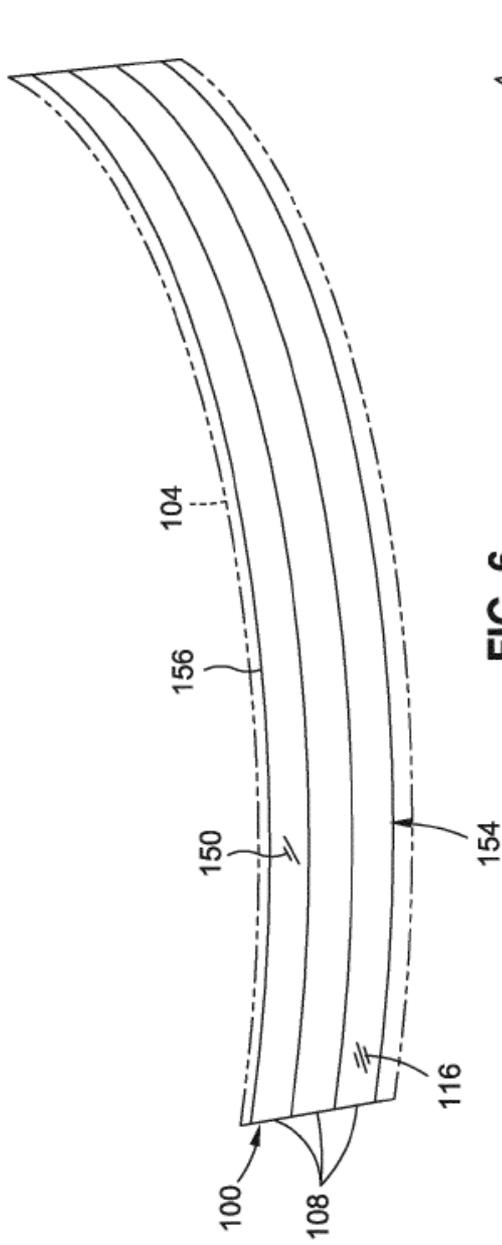


FIG. 6

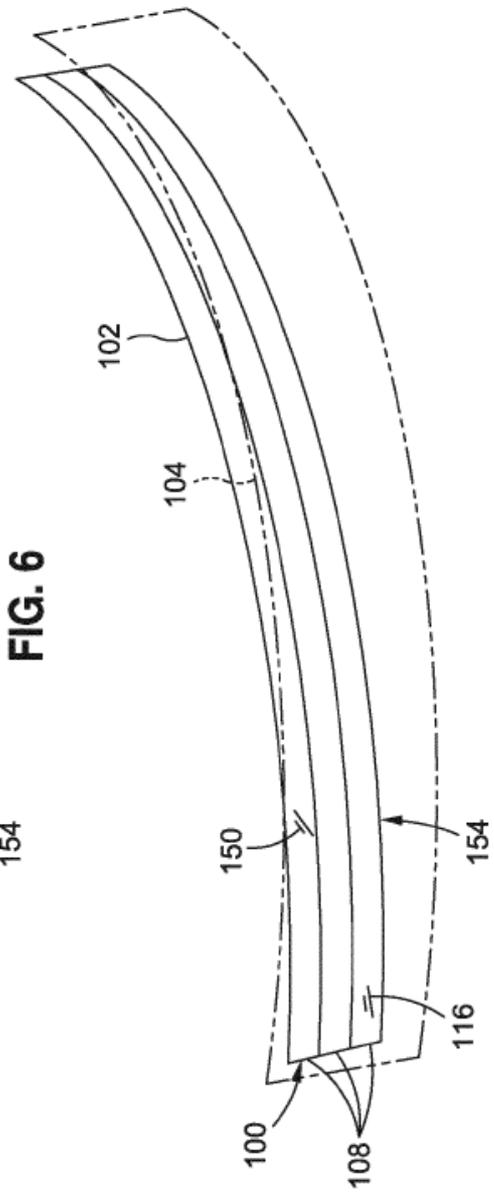


FIG. 6A

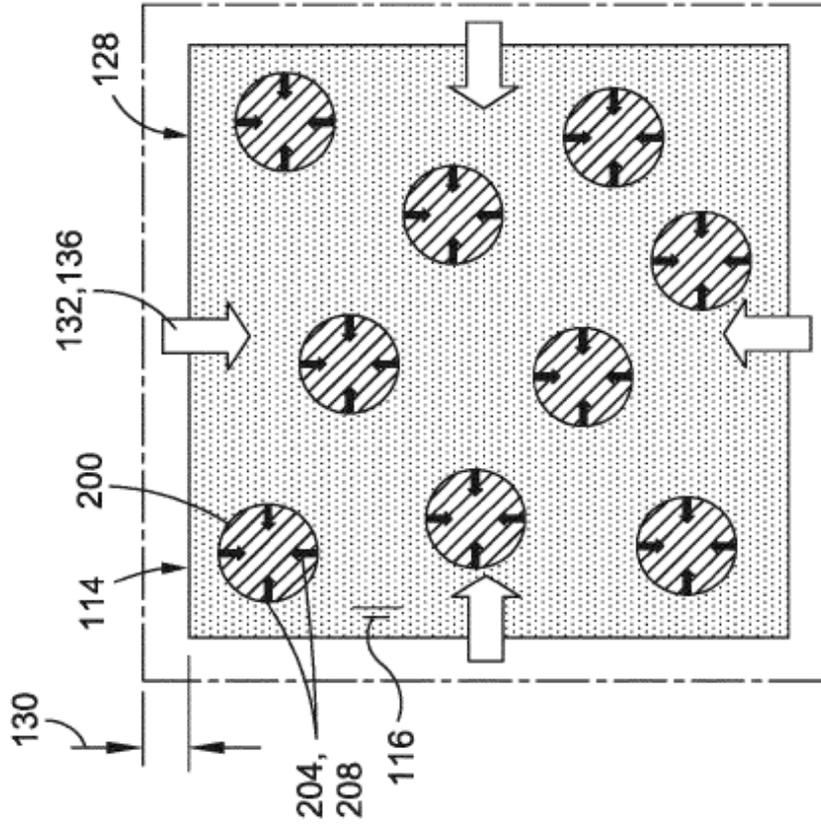


FIG. 7A

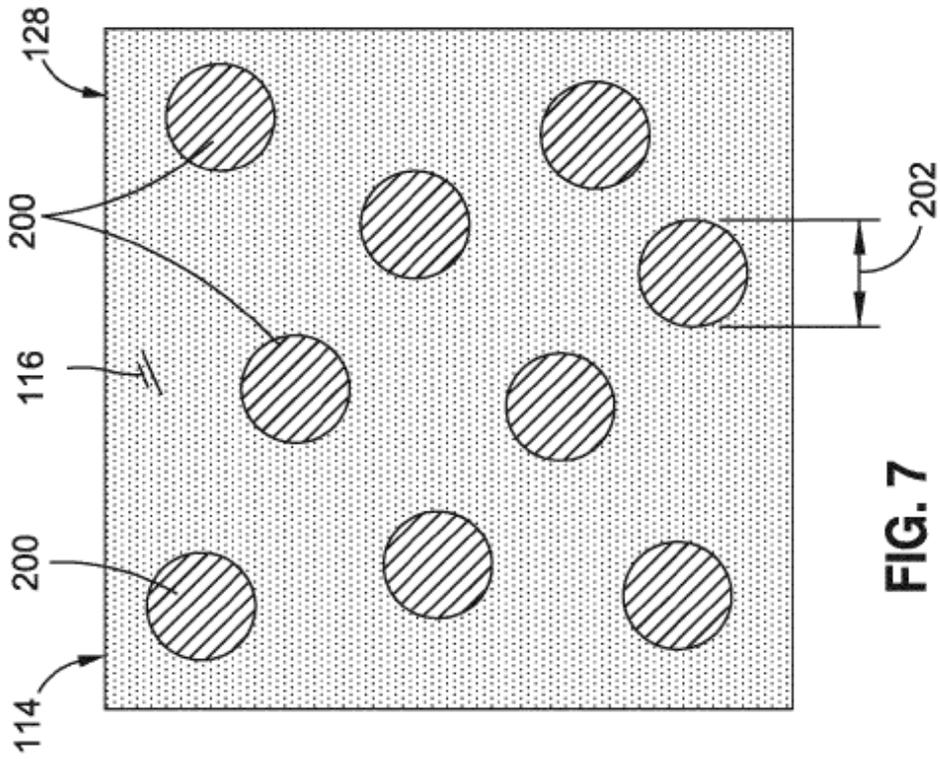


FIG. 7

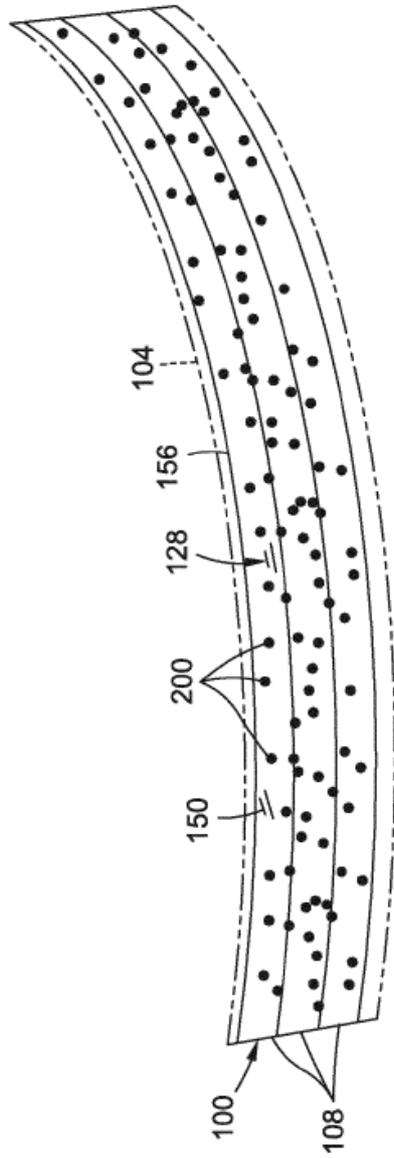


FIG. 8

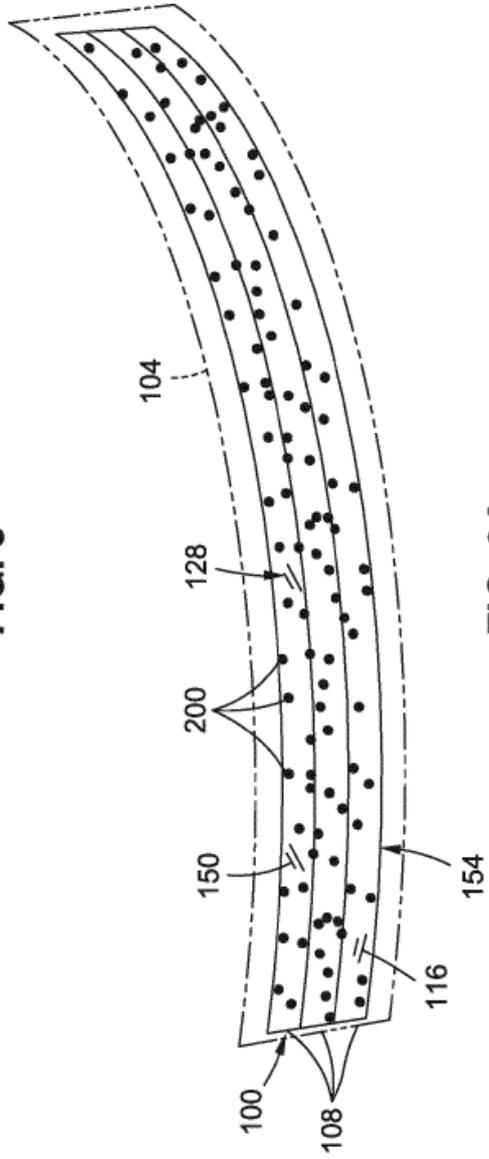


FIG. 8A

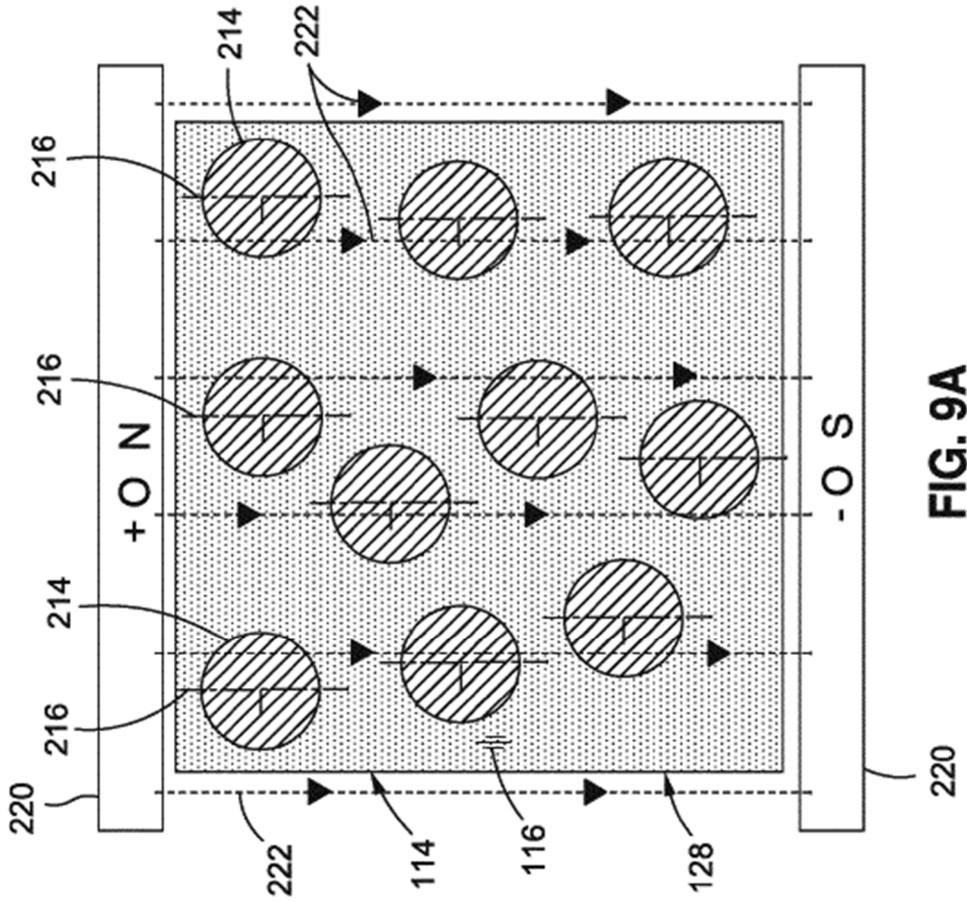


FIG. 9A

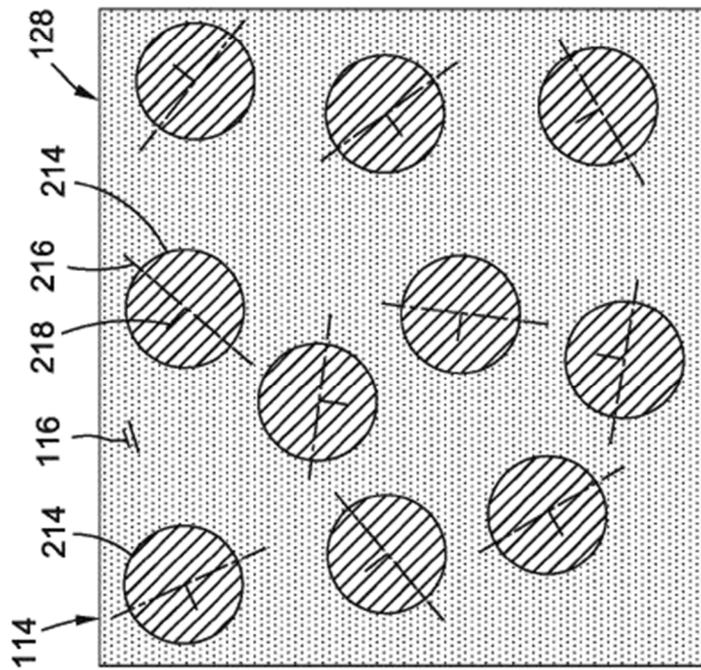


FIG. 9

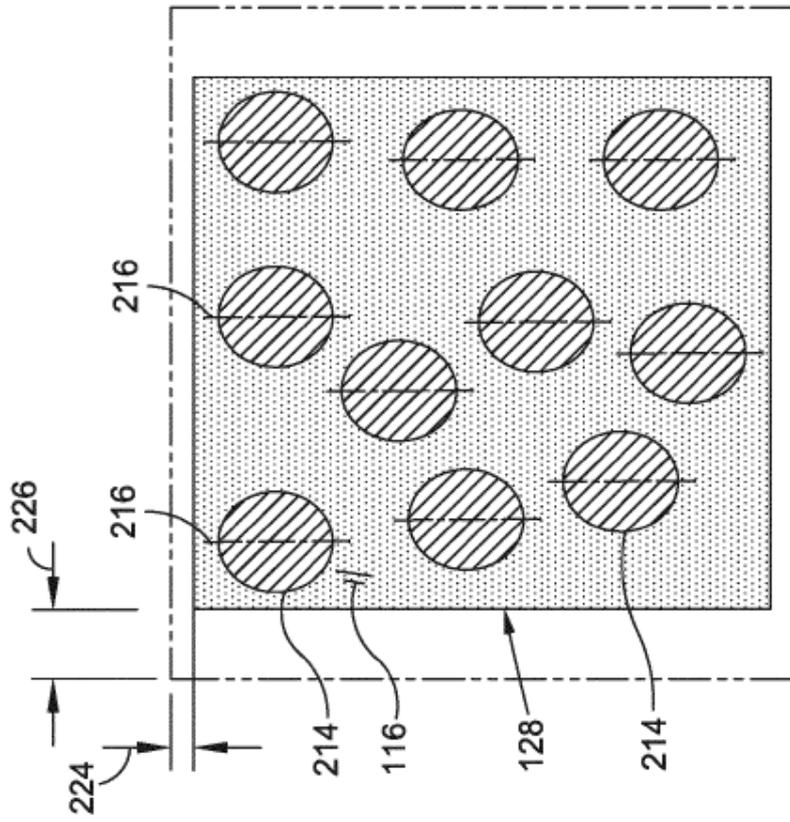


FIG. 10A

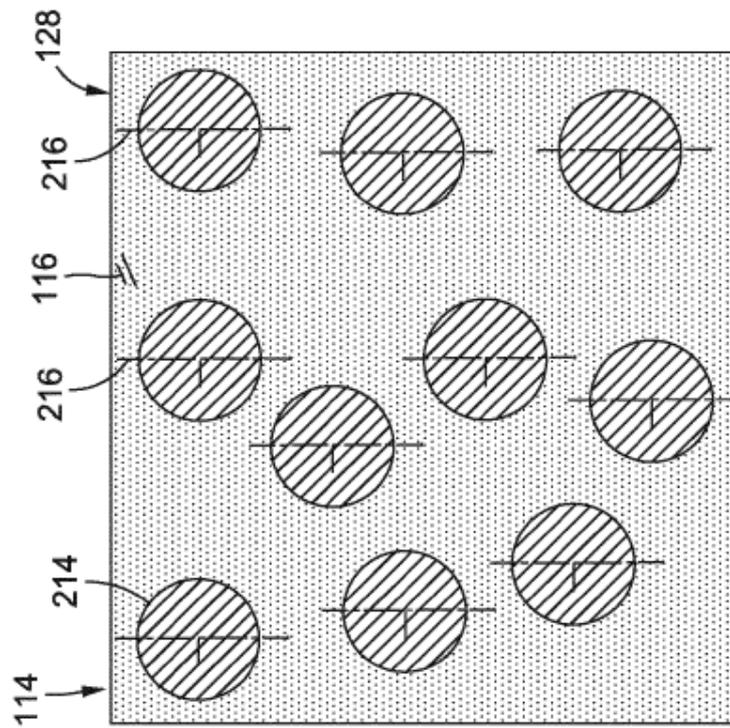


FIG. 10

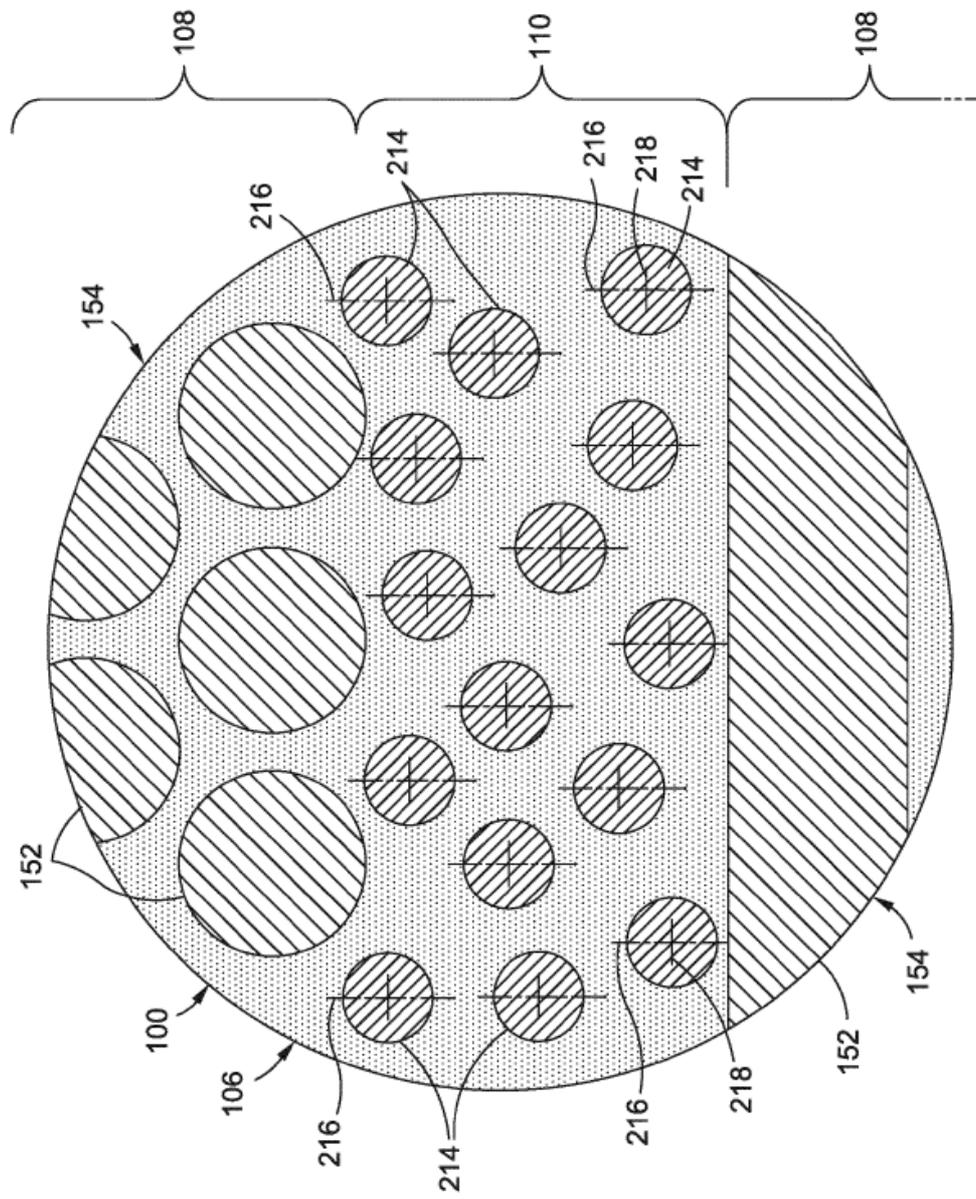


FIG. 11

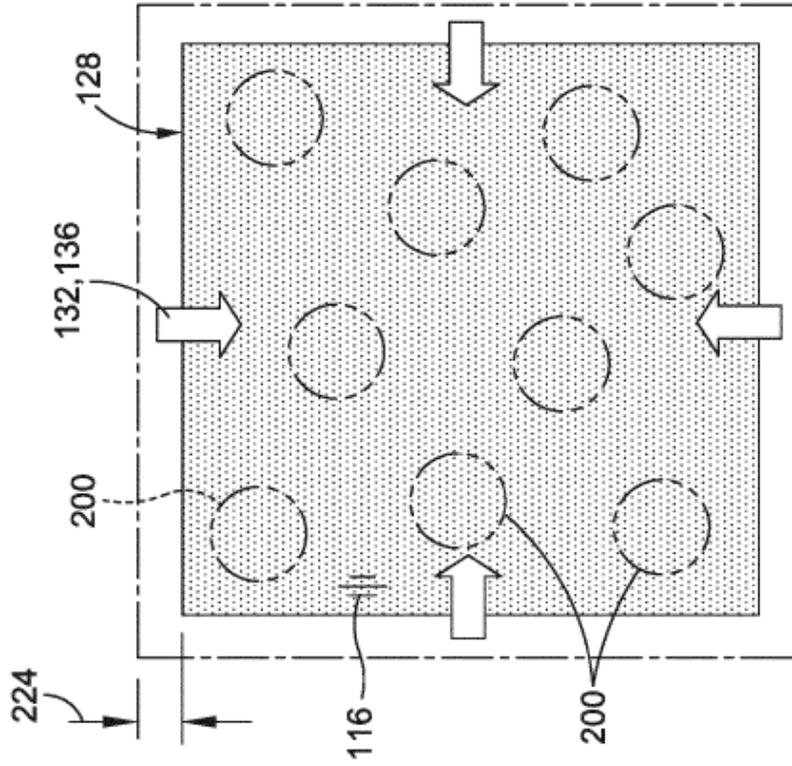


FIG. 12A

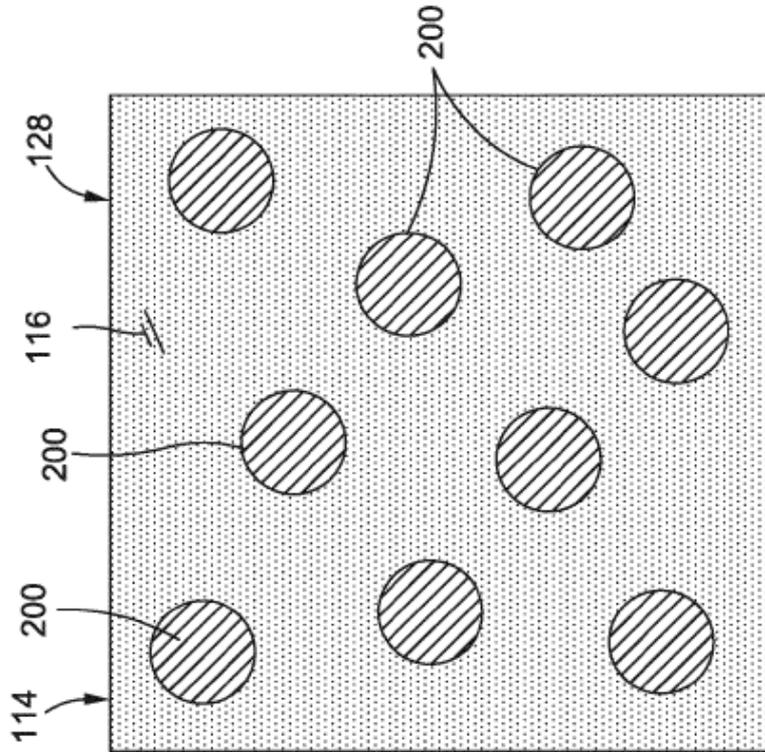


FIG. 12

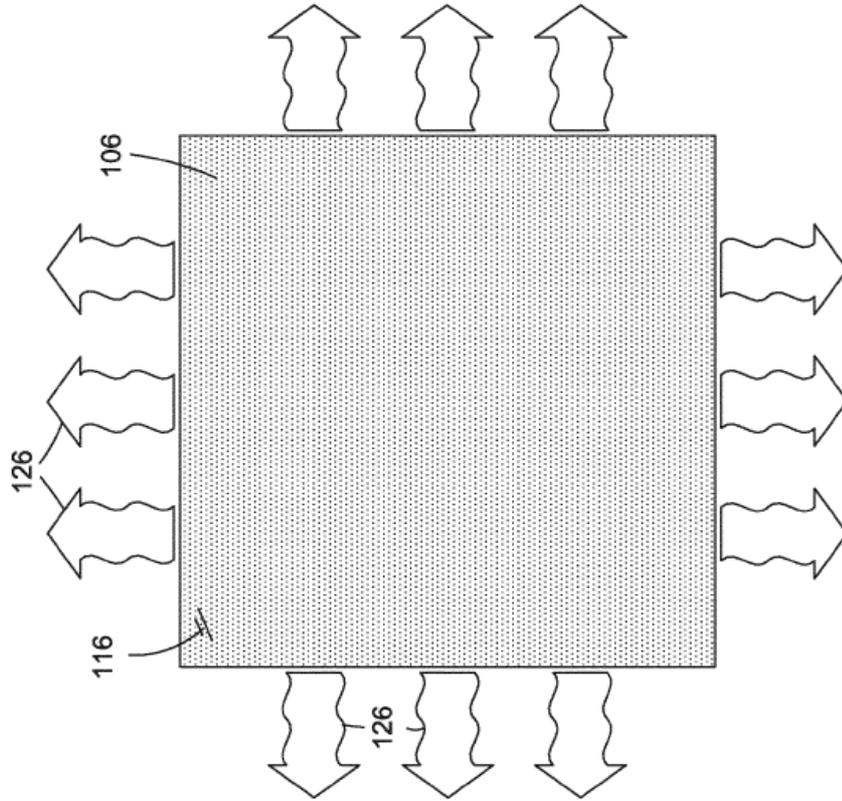


FIG. 13A

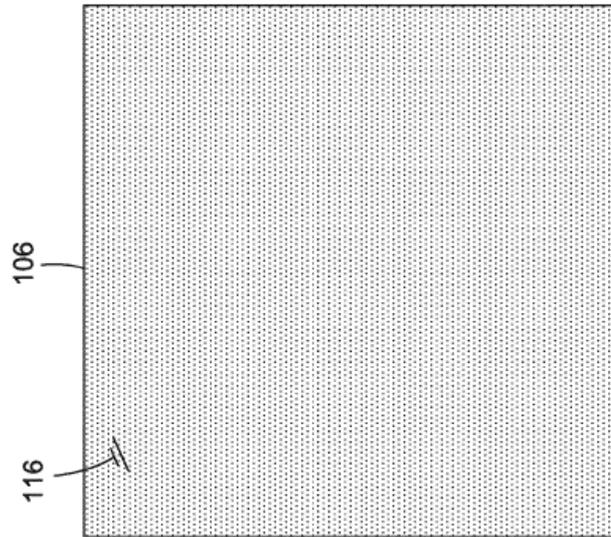


FIG. 13

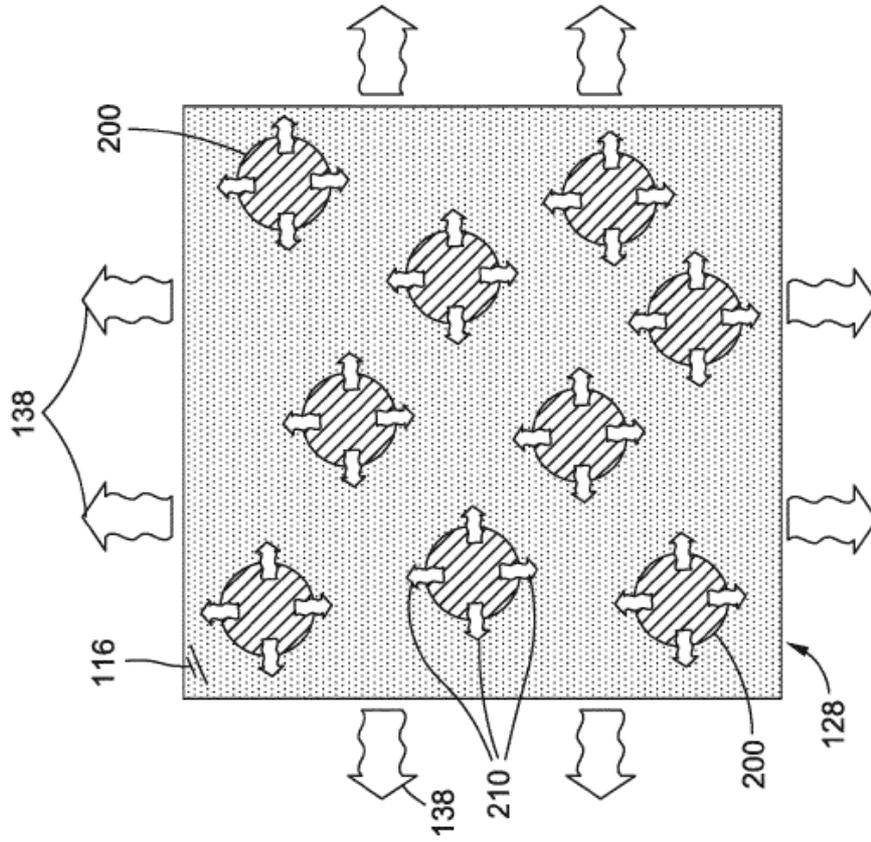


FIG. 14A

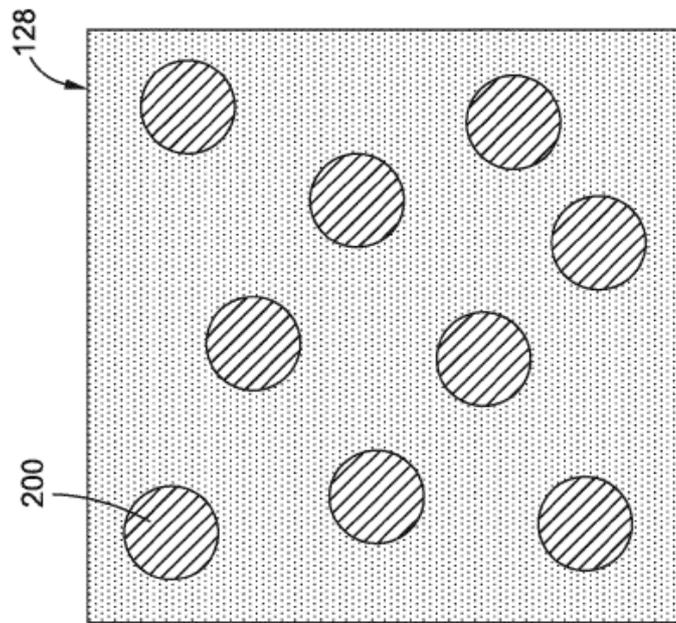


FIG. 14

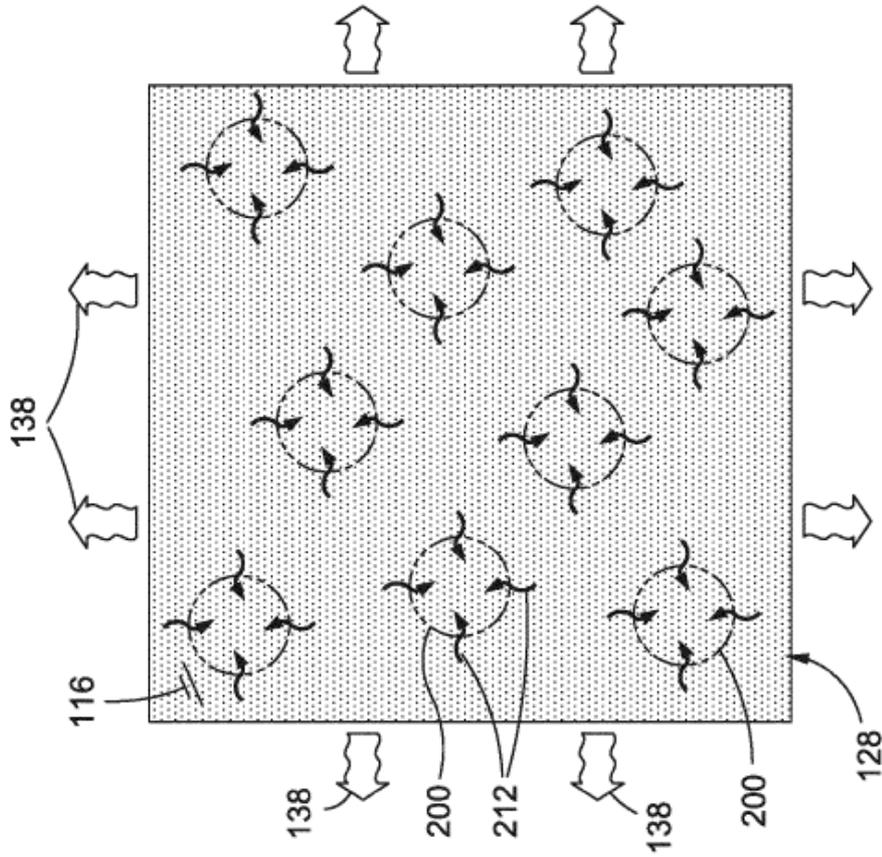


FIG. 15A

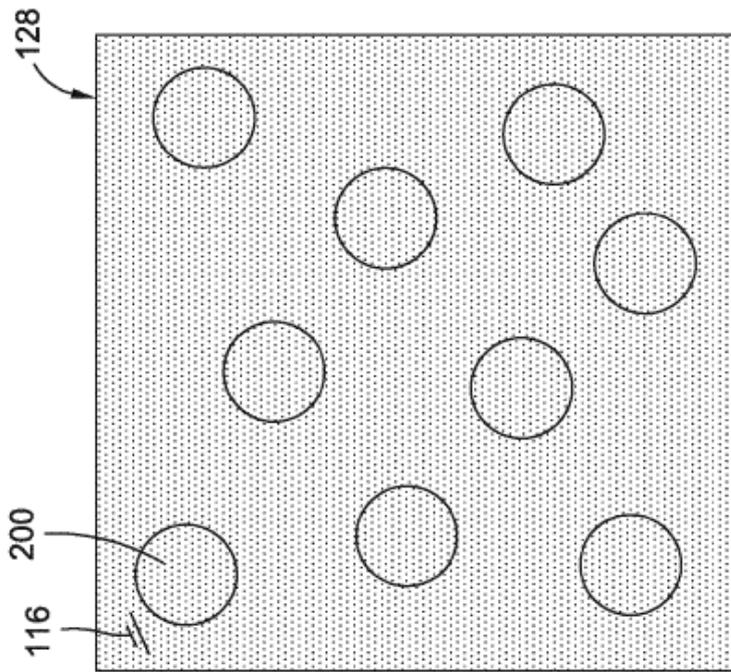


FIG. 15

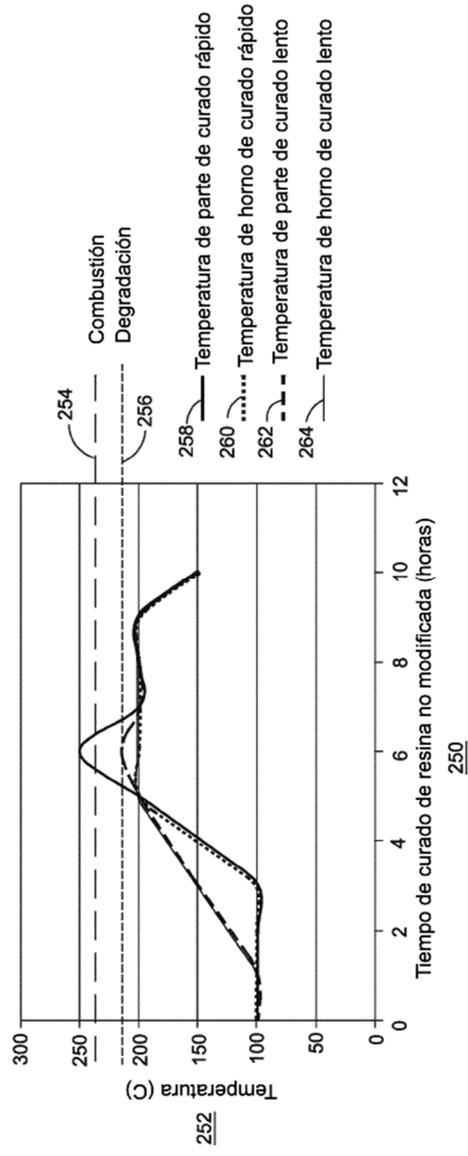


FIG. 16

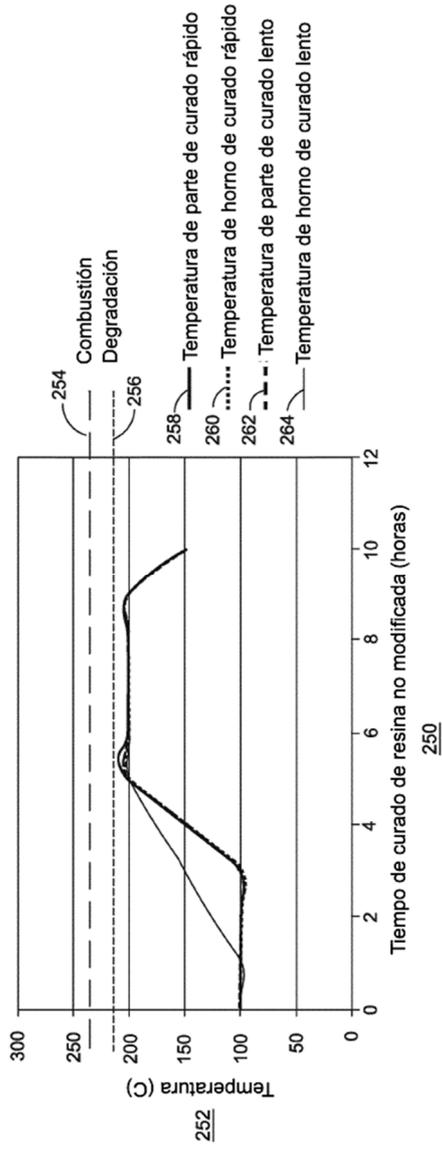


FIG. 17

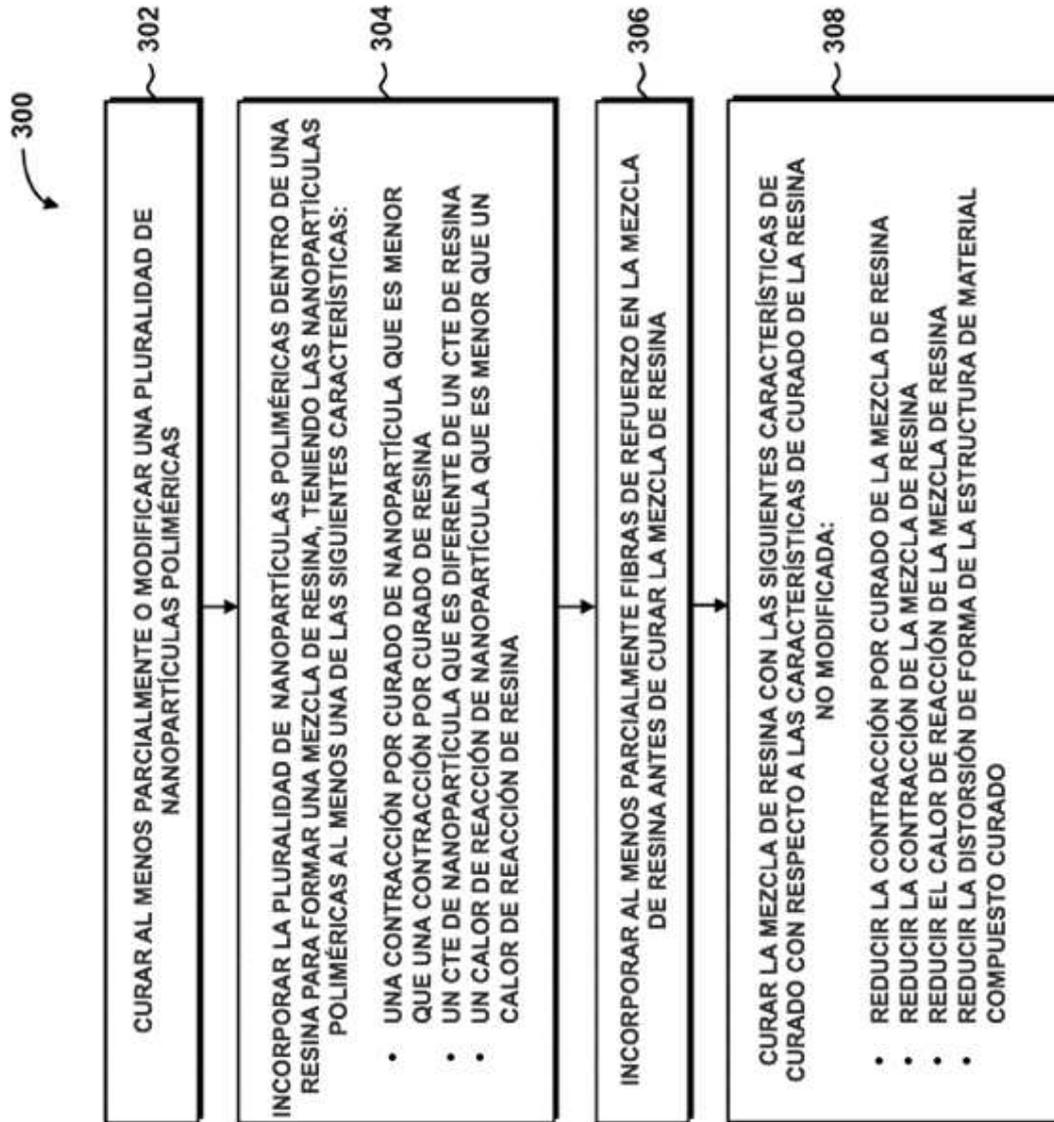


FIG. 18