

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 667**

51 Int. Cl.:

C08J 3/20 (2006.01)

C08J 5/24 (2006.01)

B29C 70/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2013 E 13181492 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.01.2015 EP 2703429**

54 Título: **Método y sistema para reducir la porosidad en estructuras compuestas**

30 Prioridad:

31.08.2012 US 201213602096

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

04.03.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

HUMFELD, KEITH DANIEL

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 530 667 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

Método y sistema para reducir la porosidad en estructuras compuestas

5 Antecedentes

Campo de la divulgación

10 La divulgación se refiere en general a estructuras compuestas, y más particularmente, a métodos y sistemas para la reducción de la porosidad en estructuras compuestas, tales como piezas compuestas para aeronaves.

Descripción de la técnica relacionada

15 Los materiales compuestos, tales como materiales de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP), se utilizan en la fabricación de una amplia variedad de estructuras y partes componentes debido a su alta resistencia y rigidez, bajo peso, resistencia a la corrosión y a su otras propiedades favorables. En particular, en la fabricación de aeronaves, las estructuras compuestas de CFRP y sus partes componentes se utilizan en cantidades crecientes para formar el fuselaje, las alas, las secciones de cola, los paneles de piel, y otras partes componentes de la aeronave.

20 Durante la fabricación de estructuras compuestas de CFRP, pueden crearse huecos no deseados, o áreas vacías, en el material compuesto debido a problemas en un proceso de fabricación o diseño de ingeniería. Por ejemplo, antes del ciclo de curado de una estructura compuesta de CFRP, tales huecos pueden crearse por el aire atrapado durante una operación de disposición. Además, por ejemplo, durante el ciclo de curado de la estructura compuesta de CFRP, tales huecos pueden crearse por la expansión de aire y/o volátiles atrapados, tales como la humedad absorbida y los productos de reacción gaseosos.

25 La porosidad es una medida, por ejemplo, un porcentaje, del contenido de huecos en un material y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total. La mitigación de huecos y bajos niveles de porosidad o bajo contenido de huecos, por ejemplo, menos del 1% al 1%, son deseables para lograr buenas propiedades mecánicas, tales como resistencia al corte, y para asegurar el rendimiento de las estructuras compuestas.

30 Además, durante la fabricación de grandes piezas compuestas, tales grandes piezas compuestas pueden típicamente someterse a muchas horas, por ejemplo, de 12 a 24 horas o más, de un mantenimiento de vacío previo al curado bajo presión de vacío, para retirar o retirar sustancialmente el aire que puede quedar atrapado entre las capas de material compuesto. Este mantenimiento del vacío previo al curado puede añadir un tiempo significativo al proceso global de fabricación, aumentando así el coste global de la fabricación de grandes piezas compuestas.

35 En consecuencia, hay una necesidad en la técnica de un método mejorado y de un sistema para la reducción de la porosidad en las estructuras compuestas, que proporcionan ventajas sobre los métodos y sistemas conocidos.

Sumario

40 Se satisface esta necesidad de un método y sistema mejorados para la reducción de la porosidad en estructuras compuestas. Como se describe en la siguiente descripción detallada, las realizaciones del método y sistema mejorados para la reducción de la porosidad en las estructuras compuestas pueden proporcionar ventajas significativas sobre los métodos y sistemas conocidos.

45 En una realización de la divulgación, se proporciona un método para reducir una porosidad en una estructura compuesta. El método comprende la adición de un aditivo a un material de resina para formar una mezcla de aditivo y resina. El aditivo comprende un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase aditiva mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina. El método comprende además la combinación de la mezcla de resina y aditivos con una pluralidad de fibras de refuerzo para formar un material preimpregnado compuesto. El método comprende además formar el material preimpregnado compuesto en una estructura compuesta. El método comprende además curar por calor la estructura compuesta en un aparato de calentamiento mediante un dispositivo de vacío a una presión de vacío eficaz durante un periodo de tiempo efectivo a la temperatura de curado de la resina, suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina. El método además comprende el calentamiento de la estructura compuesta a una temperatura mayor por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina, y mantener el aumento de temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase y forme un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases de la estructura compuesta. El método comprende además reducir el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo pase de una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de una porosidad de la estructura compuesta. El método comprende además el enfriamiento de la estructura compuesta.

En otra realización de la divulgación, se proporciona un método para reducir una porosidad en una pieza compuesta de una aeronave. El método comprende la adición de un aditivo a un material de resina para formar una mezcla de aditivo y resina. El aditivo comprende un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase del aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina. El método comprende además la combinación de la mezcla de aditivo y resina con una pluralidad de fibras de carbono de refuerzo para formar un material compuesto preimpregnado. El método comprende, además, la disposición del material compuesto preimpregnado a través de un proceso de formación que comprende una disposición manual o una disposición automatizada. El método comprende además rodear la pieza compuesta de la aeronave bajo una bolsa de vacío bajo una presión de vacío. El método comprende además el curado por calor en un aparato de calentamiento que comprende un autoclave o un horno, estando la pieza compuesta de la aeronave rodeada debajo de la bolsa de vacío a una presión de vacío efectiva, durante un periodo de tiempo efectivo para la temperatura de curado de la resina suficiente para disminuir una viscosidad del material de la resina. El método comprende además mantener la temperatura de curado de la resina durante un periodo de tiempo efectivo de curado de la resina. El método además comprende el calentamiento de la pieza compuesta de la aeronave a una temperatura mayor en un intervalo de aproximadamente 2,8 grados centígrados (5 grados Fahrenheit) a aproximadamente 11,1 grados centígrados (20 grados Fahrenheit) por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina. El método comprende además mantener el aumento de temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una fase de transición de líquido a gas y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases fuera de la pieza compuesta de la aeronave. El método comprende además la reducción de la temperatura aumentada de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, resultando en una presión de vacío reducida sustancialmente en la pieza compuesta de la aeronave, y que resulta en una reducción en una porosidad de la pieza compuesta de la aeronave en un intervalo de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % de la reducción de la porosidad. El método comprende además el enfriamiento de la pieza compuesta de la aeronave. El método comprende además la retirada de la pieza compuesta de la aeronave enfriada fuera de la autoclave.

En otra realización de la divulgación, se proporciona un sistema para reducir una porosidad en una estructura compuesta. El sistema comprende un material compuesto preimpregnado. El material compuesto preimpregnado comprende una pluralidad de fibras de refuerzo impregnadas previamente con una mezcla de aditivos y resina. Un aditivo de la mezcla de aditivo y resina comprende un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina. El sistema comprende además un aparato de formación que comprende una máquina de disposición adaptada para la disposición del material compuesto preimpregnado en una estructura compuesta. El sistema comprende además un dispositivo de vacío que comprende una bolsa de vacío. El dispositivo de vacío está adaptado para rodear la estructura compuesta bajo un vacío a una presión de vacío eficaz. El sistema comprende además un aparato de calentamiento que comprende un autoclave y un horno. El aparato de calentamiento está adaptado para calentar curar la estructura compuesta rodeada por el dispositivo de vacío a una temperatura efectiva de curado de la resina y para mantener la temperatura de curado de la resina durante un periodo de tiempo efectivo suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina. El aparato de calentamiento está adaptado además para calentar la estructura compuesta a una temperatura mayor por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina y para mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase de líquido a gas y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases de la estructura compuesta. El aparato de calentamiento está adaptado además para reducir el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de una porosidad de la estructura compuesta.

Según un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método para reducir la porosidad en una estructura compuesta, comprendiendo el método la adición de un aditivo a un material de resina para formar una mezcla de aditivo y resina, comprendiendo el aditivo un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina, la combinación de la mezcla de aditivo y resina con una pluralidad de fibras de refuerzo para formar un material compuesto preimpregnado, la formación del material compuesto preimpregnado en una estructura compuesta, el curado por calor de la estructura compuesta en un aparato de calentamiento bajo un dispositivo de vacío a una presión de vacío eficaz durante un periodo de tiempo efectivo a la temperatura de curado de la resina suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina, calentar la estructura compuesta a un aumento de temperatura por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina y mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases fuera de la estructura compuesta, reduciendo el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de la porosidad de la estructura compuesta, y el enfriamiento de la estructura compuesta.

- Ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición de un aditivo seleccionado del grupo que consiste en alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 121 °C (grados centígrados) (250 °F grados Fahrenheit) hasta aproximadamente 510 °C (950 °F); fenilpropanos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 200 °C (392 °F) a aproximadamente 260 °C (500 °F); y los hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 217 °C (422 °F) a aproximadamente 527 °C (980 °F); y triglicéridos. Ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición del aditivo en una cantidad del 0,01 por ciento en volumen a aproximadamente el 1,5 por ciento en volumen basado en el volumen total de la mezcla de aditivo y resina. También ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición del aditivo a un material de resina seleccionado entre el grupo que consiste en resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de los mismos.
- 15 Ventajosamente, la formación del material compuesto preimpregnado en la estructura compuesta comprende, además, la colocación del material compuesto preimpregnado a través de un proceso de formación que comprende una disposición manual o una disposición automatizada con una máquina de disposición.
- 20 Ventajosamente, el curado por calor de la estructura compuesta comprende además el curado por calor de la estructura compuesta en un aparato de calentamiento que comprende una autoclave o un horno. También ventajosamente, el curado por calor de la estructura compuesta comprende además el curado por calor de la estructura compuesta bajo un dispositivo de vacío que comprende una bolsa de vacío flexible herméticamente sellada.
- 25 Ventajosamente, el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura comprende además calentar la estructura compuesta a una temperatura aumentada en un intervalo de aproximadamente 2,8 °C (5 °F) a aproximadamente 11,1 °C (20 °F) por encima de la temperatura de curado de la resina y la temperatura de transición de fase del aditivo. También ventajosamente, el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo comprende además mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo en un intervalo de aproximadamente un minuto a aproximadamente quince minutos. Ventajosamente, el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo comprende además formar el gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases, comprendiendo los uno o más gases aire atrapado y sustancias volátiles, incluyendo humedad absorbida, agua disuelta, y gases de salida de resina .
- 35 Ventajosamente, la reducción del aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina resulta en un porcentaje de reducción en una porosidad de la estructura compuesta en un intervalo de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % de reducción de la porosidad.
- 40 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un método para reducir una porosidad en una pieza compuesta de aeronaves, el método comprende la adición de un aditivo a un material de resina para formar una mezcla de aditivo y resina, comprendiendo el aditivo un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina, la combinación de la mezcla de aditivo y resina con una pluralidad de fibras de carbono de refuerzo para formar un material compuesto preimpregnado, colocando el material compuesto preimpregnado a través de un proceso de formación que comprende una disposición manual o una disposición automatizada, que rodea la pieza compuesta de la aeronave bajo una bolsa de vacío bajo una presión de vacío, el curado por calor en un aparato de calentamiento que comprende una autoclave o un horno, estando rodeada la pieza compuesta de la aeronave debajo de la bolsa de vacío a una presión de vacío efectivo, durante un periodo de tiempo efectivo, a la temperatura de curado de la resina suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina, manteniendo la temperatura de curado de la resina durante un periodo de tiempo efectivo de curado de la resina, el calentamiento de la pieza compuesta de aeronaves a un aumento de la temperatura en un intervalo de aproximadamente 2,8 °C (5 °F) a 11,1 °C (20 °F) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina, manteniendo el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase de líquido a gas y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases fuera de la pieza compuesta de aeronave, reduciendo el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la pieza compuesta de aeronaves, y que resulta en una reducción de la porosidad de la pieza compuesta de aeronaves en un intervalo de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % de la reducción de la porosidad, el enfriamiento de la pieza compuesta de aeronaves; y, la retirada de la pieza compuesta de aeronaves enfriada fuera de la autoclave.
- 65 Ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición de un aditivo seleccionado del grupo que consiste en alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 260 °C (250 °F) a aproximadamente

510 °C (950 °F); fenilpropenos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 200 °C (392 °F) a aproximadamente 260 °C (500 °F); e hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 217 °C (422 °F) a aproximadamente 527 °C (980 °F); y triglicéridos. También ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición del aditivo a un material de resina seleccionado entre el grupo que consiste en resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de las mismas.

Según todavía un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un sistema para reducir una porosidad en una estructura compuesta, el sistema comprende un material compuesto preimpregnado que comprende una pluralidad de fibras de refuerzo impregnadas previamente con una mezcla de aditivo y resina, comprendiendo el aditivo una fase material de transición que tiene una temperatura de transición de fase aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina, un aparato de formación que comprende una máquina de disposición adaptada para colocar el material compuesto preimpregnado en una estructura compuesta, un dispositivo de vacío que comprende una bolsa de vacío, estando el dispositivo de vacío adaptado para rodear la estructura compuesta bajo un vacío a una presión de vacío eficaz; y un aparato de calentamiento que comprende una autoclave y un horno, estando el aparato de calentamiento adaptado para curar por calor la estructura compuesta rodeada por el dispositivo de vacío a una temperatura efectiva de curado de la resina y para mantener la temperatura de curado de la resina durante un periodo de tiempo efectivo suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina, estando el aparato de calentamiento adaptado, además, para calentar la estructura compuesta a una temperatura mayor por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina, y para mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a un líquido de transición de fase de gas y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases fuera de la estructura compuesta, estando el aparato de calentamiento adaptado además para reducir el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de la porosidad de la estructura compuesta.

Ventajosamente, la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición de un aditivo seleccionado del grupo que consiste en alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 121 °C (250 °F) a aproximadamente 510 °C (950 °F); fenilpropenos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 200 °C (392 °F) a aproximadamente 260 °C (500 °F); e hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 217 °C (422 °F) a aproximadamente 527 °C (980 °F); y triglicéridos.

Ventajosamente, se selecciona el material de resina también entre el grupo que consiste en resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de las mismas.

Ventajosamente, el aumento de la temperatura está en un intervalo de 2,8 °C (5 °F) a aproximadamente 11,1 °C (20 °F) por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y la temperatura de curado de la resina.

Ventajosamente, la reducción en la porosidad de la estructura compuesta está en un intervalo de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % de reducción de la porosidad.

Ventajosamente, el aditivo está en una cantidad del 0,01 por ciento en volumen a aproximadamente el 1,5 por ciento en volumen basado en el volumen total de la mezcla de aditivo y resina.

Las características, funciones y ventajas que se han descrito se pueden conseguir independientemente en diversas realizaciones de la divulgación o se pueden combinar en otras realizaciones, más detalles de las cuales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y a los dibujos.

55 Breve descripción de los dibujos

La divulgación se puede entender mejor con referencia a la siguiente descripción detallada tomada en conjunción con los dibujos adjuntos, que ilustran realizaciones preferidas y ejemplares, pero que no están necesariamente dibujados a escala, en los que:

La figura 1 es una ilustración de un diagrama de flujo de una de las realizaciones de un método de la divulgación; La figura 2A es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema de la divulgación, que muestra una parte del sistema en la forma de un ciclo de curado previo; La figura 2B es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema de la divulgación que muestra una porción del sistema en forma de un ciclo de curado; y

La figura 2C es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema de la divulgación, que muestra una parte del sistema en forma de un ciclo de curado posterior; y

La figura 3 es una ilustración de una vista en perspectiva de una aeronave de ejemplo que puede incorporar una estructura compuesta hecha por una de las realizaciones de un método de la divulgación.

5

Descripción detallada

Las realizaciones divulgadas se describirán ahora con más detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas realizaciones divulgadas, pero no todas. De hecho, varias realizaciones diferentes pueden proporcionarse y no deben interpretarse como limitadas a las realizaciones indicadas en el presente documento. Más bien, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación sea minuciosa y completa y transmita completamente el alcance de la divulgación para los expertos en la técnica.

10

Con referencia ahora a las figuras, la figura 1 es una ilustración de un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un método 30 para reducir la porosidad 134 (véase la figura 2B) en una estructura compuesta 26 (véase la figura 2A). La figura 2A es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema 50 de la divulgación que muestra una parte del sistema 50a en forma de un ciclo de curado previo 52. La figura 2B es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema 50 de la divulgación que muestra una parte del sistema 50b en forma de un ciclo de curado 84. La figura 2C es una ilustración de un diagrama de bloques de una de las realizaciones de un sistema 50 de la divulgación, que muestra una parte del sistema 50c en forma de un ciclo de curado posterior 140.

15

20

Como se muestra en la figura 1 y en la figura 2A, el método 30 comprende la etapa 32 de adición de un aditivo 54 (véase la figura 2A) a un material de resina 56 (véase la figura 2A) para formar una mezcla de aditivo y resina 58 (véase la figura 2A). Como se muestra en la figura 2A, el sistema 50 comprende la parte del sistema 50a de la forma del ciclo de curado previo 52. Como se muestra adicionalmente en la figura 2A, el ciclo de curado previo 52 comprende una parte de preparación de mezcla de aditivo y resina 53, donde la mezcla de aditivo y resina 58 se prepara mezclando el aditivo 54 y el material de resina 56 juntos. Como se muestra adicionalmente en la figura 2A, el aditivo 54 comprende un material de transición de fase 60 que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo 64. Para el sistema 50 y el método 30, la temperatura de transición de fase de aditivo 64 es mayor que una temperatura de curado de la resina 66 del material de resina 56.

25

30

Para los propósitos de esta solicitud, la "temperatura de transición de fase de aditivo" significa la temperatura a la que el aditivo cambia de una fase o estado de la materia a otra fase o estado de la materia, por ejemplo, la temperatura a la que el aditivo cambia de un líquido a un gas, un gas a un líquido, un sólido a un gas, o un gas a un sólido. Preferiblemente, el aditivo 54 comprende un material de transición de fase 60 que es reversible y se somete a un líquido aditivo a la transición de fase de gas 62 (véase la figura 2B) y un gas de aditivo para la transición de fase de líquido 126 (véase la figura 2B) durante el ciclo de curado 84 del método 30 y del sistema 50.

35

La etapa 32 del método 30 de adición del aditivo 54 (véase la figura 2A) para el material de resina 56 (véase la figura 2A) comprende además la adición de un aditivo 54 que incluye uno o más de los siguientes: alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición (bp) en 1 (una) atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 250 °F a 950 °F (grados Fahrenheit)/394K a 783K (Kelvin)/121 °C a 510 °C (grados centígrados), y más preferiblemente, a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 303 °F a 914 °F/424K a 763K/151 °C a 490 °C; fenilpropenos con un punto de ebullición (bp) a la una (1) atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 392 °F a 500 °F/473K a 533K/200 °C a 260 °C; hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición (bp) en una (1) atmósfera de presión en una temperatura en un intervalo de aproximadamente 422 °F a 980 °F/490K a 800K/217 °C a 527 °C; triglicéridos con grupos alqueno y alquilo, tales como triacilglicéridos (tres (3) ácidos grasos unidos a una base de glicerol), un tipo de glicerolípido, por ejemplo, (E)-4-hidroxifenetilo 4-formil-3-(2-oxoetil) hex-4-enoato (aceite de oliva), que tiene un punto de ebullición (bp) a 1 (una) atmósfera de presión de aproximadamente 355 °F/452K/179 °C; u otro aditivo adecuado.

40

45

50

La reducción de la presión disminuye el punto de ebullición, y el método 30 y el sistema 50 pueden estar operando preferentemente a presiones inferiores a 0,2 atmósferas y a temperaturas de cerca de 355 °F/453K/180 °C. El punto de ebullición significa la temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a la presión que rodea el líquido y el líquido se convierte en vapor. Un líquido en vacío tiene un punto de ebullición menor que cuando el líquido está a presión atmosférica. Un líquido a alta presión tiene un punto de ebullición más alto que cuando el líquido está a presión atmosférica. El punto de ebullición de un líquido varía dependiendo de la presión del entorno circundante. Para una presión dada, diferentes líquidos pueden hervir a diferentes temperaturas.

55

60

Alcanos preferidos que tienen nueve o más átomos de carbono pueden incluir nonano (C₉H₂₀), decano, undecano, dodecano, tridecano, tetradecano, pentadecano, hexadecano, heptadecano, octadecano, nonadecano, icosano, henicosano, docosano, tricosano, tetracosano, pentacosano, hexacosano, heptacosano, octacosano, nonacosano, triacontano, hentriacontano, dotriacontano, tritriacontano, tetratriacontano, pentatriacontano, hexatriacontano, heptatriacontano, octatriacontano, nonatriacontano, tetracontano, hentetracontano, y dotetracontano (C₄₂H₈₆). Por

65

ejemplo, tetradecano tiene un punto de ebullición a una (1) atmósfera de presión a una temperatura de aproximadamente 482 °F/523K/250 °C y tiene un punto de ebullición a 0,013 atmósferas de presión a una temperatura de aproximadamente 251 °F/395K/122 °C. Por lo tanto, el punto de ebullición preferido para tetradecano está a una temperatura en un intervalo de presión atmosférica de aproximadamente 0,013 atmósferas a aproximadamente 1 atmósfera.

Los fenilpropenos preferidos pueden incluir eugenol, que tiene un punto de ebullición a una (1) atmósfera de presión a una temperatura de aproximadamente 491 °F/528K/255 °C; chavicol que tiene un punto de ebullición a una (1) atmósfera de presión a una temperatura de aproximadamente 460 °F/511K/238 °C; safrol que tiene un punto de ebullición a una (1) atmósfera de presión a una temperatura de aproximadamente 451 °F/506K/233 °C; y estragol que tiene un punto de ebullición a una (1) atmósfera de presión a una temperatura de aproximadamente 421 °F/489K/216 °C. El fenilpropeno más preferido es eugenol.

Las hidrocarburos aromáticos policíclicos, como se describió anteriormente, tienen puntos de ebullición a una (1) atmósfera de presión en un intervalo de temperatura de aproximadamente 422 °F a 980 °F/490K a 800K/217 °C a 527 °C. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos preferidos, por lo tanto, pueden tener puntos de ebullición a temperaturas en este intervalo a 0,2 atmósferas de presión. Algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos preferidos pueden incluir pentaceno que sublima a 702 °F/605K/372 °C a una (1) atmósfera de presión; trifenileno que tiene un punto de ebullición de 820 °F/711K/438 °C a una (1) atmósfera de presión; y fenantreno que tiene un punto de ebullición de 630 °F/605K/332 °C a una (1) atmósfera de presión. Algunos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos pueden ser sólidos a temperatura ambiente, lo que puede afectar al procesamiento. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos preferidos son funcionales, sin embargo, no están diseñados para incorporarse en una estructura compuesta que podría exponer cualquier organismo vivo al posible detrimento.

Preferiblemente, se añade el aditivo utilizado en el método 30 y el sistema 50 divulgado en este documento en una cantidad de desde aproximadamente el 0,01 por ciento en volumen a aproximadamente el 1,5 por ciento en volumen, basado en un volumen total de la mezcla de aditivo y resina. Más preferiblemente, se añade el aditivo en una cantidad de aproximadamente un 1,0 por ciento en volumen, basado en un volumen total de la mezcla de aditivo y resina.

La etapa 32 del método 30 de adición del aditivo 54 (véase la figura 2A) al material de resina 56 (véase la figura 2A) comprende además la adición del aditivo 54 a un material de resina 56 que incluye una o más de resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, tales como resinas de bismaleimida u otras resinas de poliimida adecuadas, resinas fenólicas, resinas de silicona, una combinación de las mismas, u otro material de resina adecuado. Preferiblemente, el material de resina 56 es un material termoestable. Preferiblemente, el material de resina 56 tiene una temperatura de curado de la resina a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 212 °F a 950 °F/373K a 783K/100 °C a 510 °C. Más preferiblemente, el material de resina tiene una temperatura de curado de resina a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 248 °F a 410 °F/393K a 483K/120 °C a 210 °C. Más preferiblemente, el material de resina tiene una temperatura de curado de resina a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 248 °F a 356 °F/393K a 453K/120 °C a 180 °C.

Como se muestra en la figura 1, el método 30 comprende además la etapa 34 de combinación de la mezcla de aditivo y resina 58 (véase la figura 2A) con una pluralidad de fibras de refuerzo 68 (véase la figura 2A) para formar un material compuesto preimpregnado 70 (véase la figura 2A). Como se muestra en la figura 2A, el ciclo de curado previo 52 comprende además una porción de la preparación del material compuesto preimpregnado 59, donde el material compuesto preimpregnado 70 se prepara mediante la combinación de la mezcla de aditivo y resina 58 con la pluralidad de fibras de refuerzo 68. Preferiblemente, la pluralidad de fibras de refuerzo 68 no curadas se impregnan previamente con la mezcla de aditivo y resina 58 utilizando equipos y procesos conocidos en la técnica para la fabricación de materiales preimpregnados. Las fibras de refuerzo 68 pueden comprender preferiblemente fibras de carbono, fibras a base de carbono, tales como un fibras de grafito, fibras de aramida, fibras de fibra de vidrio, fibras de vidrio, fibras de Kevlar (KEVLAR es una marca comercial registrada de E. I. Du Pont de Nemours y Company Corporation de Wilmington, Delaware), una combinación de las mismas, u otras fibras de carbono adecuado o no de carbono. El material compuesto preimpregnado 70 puede comprender fibras de refuerzo 68 en forma unidireccional (alineadas) o tela (tejido), impregnado, una cantidad deseada con la mezcla de aditivo de resina 58 o matriz. Preferiblemente, el material compuesto preimpregnado 70 es en forma de un laminado 82 (véase la figura 2A), tal como una lámina laminada. Sin embargo, el material compuesto preimpregnado 70 también puede ser en forma de una cinta o de otra forma adecuada. La mezcla de aditivo y resina 58 o matriz transfiere preferentemente las tensiones entre las fibras de refuerzo 68 y, por lo tanto, protege las fibras de refuerzo 68 de tensiones mecánicas y/o ambientales.

Como se muestra en la figura 1, el método 30 comprende además la etapa 36 de formación del material compuesto preimpregnado 70 (véase la figura 2A) en una estructura compuesta 26 (véase la figura 2A). Como se muestra en la figura 2A, el ciclo de curado previo 52 comprende además una parte de formación de la estructura compuesta 71, donde la estructura compuesta 26 se forma o se prepara formando 72 el material compuesto preimpregnado 70. La formación 72 puede comprender formar o conformar el material compuesto preimpregnado 70 con un aparato de formación 74 (véase la figura 2A), tal como en forma de una máquina de disposición 76 (véase la figura 2A). Por

ejemplo, las máquinas de disposición de cinta automatizadas conocidas en la técnica pueden utilizarse durante un tiempo de montaje acortado. La formación 72 puede comprender formar o conformar el material compuesto preimpregnado no curado 70 con un proceso de conformación 78 (véase la figura 2A), tal como en forma de un proceso manual de disposición 80 (véase la figura 2A), o un proceso de disposición automatizado con la máquina de disposición 76. El proceso de disposición, ya sea mediante máquina o manualmente, consiste en colocar el material compuesto preimpregnado no curado 70, como en forma de hojas laminadas, sobre la superficie de un molde o herramienta conformada (no mostrada) que puede tratarse con un agente de liberación o película (no mostrada). Múltiples capas de material compuesto preimpregnado 70 se pueden aplicar una encima de la otra hasta que se alcanza un espesor deseado y se alcanza la orientación de las fibras de refuerzo deseado para una máxima resistencia y eficiencia.

A diferencia de diversos procesos de fabricación de compuestos conocidos, después de la formación del material compuesto preimpregnado 70 en la estructura compuesta 26, la estructura compuesta 26 preferiblemente no requiere una retención de vacío de curado previo bajo una presión de vacío y, en particular, no requiere un mantenimiento del vacío previo al curado bajo una presión de vacío de grandes estructuras compuestas 26, tales como grandes piezas compuestas 28 para aeronaves u otras estructuras compuestas adecuadas. Por lo tanto, el método 30 de la divulgación evita preferentemente unas 12 a 24 horas adicionales, o más, para el mantenimiento de la estructura compuesta 26 gracias al mantenimiento del vacío previo al curado. Esto, a su vez, puede disminuir el tiempo global y el coste para la fabricación de la estructura compuesta 26.

Como se muestra en la figura 1 y en la figura 2B, el método 30 comprende además la etapa 38 de curado por calor 86 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26 en un aparato de calentamiento 88 (véase la figura 2B) bajo un dispositivo de vacío 96 (véase la figura 2B) a una presión de vacío efectivo 94 (véase la figura 2B) durante un periodo de tiempo efectivo a la temperatura de curado de la resina 66 (véase la figura 2A) suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina 56 (véase la figura 2A). Como se muestra en la figura 2B, el sistema 50 comprende la parte del sistema 50b en forma de ciclo de curado 84. El ciclo de curado 84 comprende curado por calor 86 de la estructura compuesta 26.

Como se muestra adicionalmente en la figura 2B, el curado por calor 84 incluye el uso del aparato de calentamiento 88, preferiblemente en forma de una autoclave 90 o un horno 92. Como se muestra adicionalmente en la figura 2B, el curado por calor 84 incluye el dispositivo de vacío 96, preferiblemente en forma de una bolsa de vacío 98, y que tiene una presión de vacío eficaz 94. Preferiblemente, la estructura compuesta 26 está rodeada o cubierta por la bolsa de vacío 98, que es típicamente una bolsa de vacío flexible herméticamente sellada, y se aplica un vacío en la bolsa de vacío 98. El proceso de rodear la estructura compuesta 26 debajo de la bolsa de vacío 98 se conoce en la técnica como "embolsado de vacío". La bolsa de vacío 98 se puede someter a alta temperatura y presión de vacío mientras se mantiene un vacío para curar la estructura compuesta 26. Preferiblemente, es necesario una autoclave 90 (véase la figura 2B) o un horno 92 (véase la figura 2B), tal como un horno de convección, se puede utilizar para aplicar la temperatura y la presión para producir la estructura compuesta 26. La estructura compuesta 26 rodeada o cubierta por la bolsa de vacío 98 se puede colocar dentro de la autoclave 90 o el horno 92. El curado por calor 86 se realiza dentro de la autoclave 90 o el horno 92, obteniendo de este modo no sólo la presión de vacío 94 dentro de la autoclave 90 o el horno 92, sino también la obtención de una presión externa en el interior de la autoclave 90 o el horno 92. La presión de vacío y las fuerzas de presión externas juntan o consolidan las capas del material compuesto preimpregnado 70 que conforman la estructura compuesta 26.

Como se muestra adicionalmente en la figura 2B, el ciclo de curado 84 comprende una primera etapa de calentamiento 100. La primera etapa de calentamiento 100 comprende el calentamiento 102 de la estructura compuesta 26 a la temperatura de curado de la resina 66. La temperatura de curado de la resina 66 utilizada depende de material de resina 56 que se utilice. La temperatura puede aumentarse o elevarse, tal como desde la temperatura ambiente, o una temperatura más baja, hasta la temperatura de curado de la resina 66 deseada a una velocidad en un intervalo de aproximadamente -17 °C (1 °F) a aproximadamente -12 °C (10 °F) por minuto. Este aumento o incremento de la temperatura pueden realizarse preferiblemente en un periodo de tiempo en un intervalo de aproximadamente treinta (30) minutos a aproximadamente noventa (90) minutos o más, dependiendo de la temperatura de curado de la resina 66 que debe alcanzarse.

Una vez que la estructura compuesta 26 se calienta a la temperatura de curado de la resina 66, la primer etapa de calentamiento adicional 100 comprende mantener 104 o sostener la temperatura de curado de la resina 66 durante un periodo de tiempo efectivo. El periodo de tiempo efectivo puede estar preferiblemente en un intervalo de aproximadamente dos (2) horas a aproximadamente cuatro (4) horas, para que la ubicación más fría de la estructura compuesta 26 se pueda calentar a la temperatura de curado de la resina 66, ya que la estructura compuesta 26 puede tener lugares más calientes que se calientan más rápido que los lugares más fríos. Para estructuras compuestas 26 más grandes, pueden ser necesario mantener o sostener la temperatura de curado de la resina 66 más de cuatro (4) horas, dependiendo de la diferencia de temperatura entre los lugares más calientes en la estructura compuesta 26 y la ubicación más fría en la estructura compuesta 26.

Durante el mantenimiento 104 o sostenimiento de la temperatura de curado de la resina 66 durante el ciclo de curado 84, cuando el material de resina 56 tiene una menor viscosidad de resina 106 (véase la figura 2B) que está a una viscosidad de la resina 108 cerca del mínimo, de tal manera que el material de resina 56 aún no ha gelificado, el

ciclo de curado 84 comprende una segunda etapa de calentamiento 110. Como se muestra en la figura 1 y en la figura 2B, el método 30 comprende además la etapa 40 de calentamiento de la estructura compuesta 26 a la temperatura de transición de fase de aditivo 64 por encima de la temperatura de curado de la resina 66 durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo 54 se someta a una transición de fase, tal como una transición de fase de aditivo de líquido a gas 62, y para formar un gas de aditivo 116 (véase la figura 2B) que desplaza sustancialmente uno o más gases 118 (véase la figura 2B) fuera de la estructura compuesta 26.

Como se muestra también en la figura 2B, el ciclo de curado 84 comprende la segunda paso de calentamiento 110. La segunda etapa de calentamiento 110 comprende la etapa 112 de aumentar el calentamiento de la estructura compuesta 26 a una temperatura aumentada 113 (véase la figura 2B) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64. La temperatura de transición de fase de aditivo 64 utilizada depende de qué aditivo 54 se utilice. El aumento de la temperatura 113 puede comprender una temperatura en un intervalo de aproximadamente 2,1 °C (1 °F) a aproximadamente 11,1 °C (21 °F) por encima de la temperatura de curado de la resina 66, y preferiblemente, de aproximadamente 2,1 °C a 11,1 °C (1 °F a 11 °F), por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64, y más preferiblemente de aproximadamente 2,1 °C (1 °F) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64. La segunda etapa de calentamiento 110 comprende además la etapa 114 de mantener el aumento de la temperatura 113 durante un periodo de tiempo efectivo en un intervalo de aproximadamente un (1) minuto a aproximadamente quince (15) minutos, dependiendo del aditivo 54 y de la temperatura de transición de fase 64 del aditivo utilizado.

Como se muestra adicionalmente en la figura 1, el método 30 comprende además la etapa 40 de calentamiento de la estructura compuesta 26 (véase la figura 2A) a una temperatura aumentada 113 (véase la figura 2B) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 (véase la figura 2A) y por encima de la temperatura de curado de la resina 66 (véase la figura 2A), y mantener el incremento de la temperatura 113 durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo 54 se someta a una transición de fase, tal como un líquido aditivo a la transición de fase de gas 62 (véase la figura 2B), y para formar un gas de aditivo 116 (véase la figura 2B) que desplaza sustancialmente uno o más gases 118 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26. El uno o más gases 118 puede comprender aire y volátiles atrapados, incluyendo humedad absorbida, agua disuelta, gases de salida de resina u otro subproducto de resina, productos de reacción gaseosos, u otros gases adecuados existentes. Preferiblemente, el calentamiento de la estructura compuesta 26 para el aumento de la temperatura 113 por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 comprende además mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo 114 (véase la figura 2B) en un intervalo de aproximadamente un (1) minuto a aproximadamente quince (15) minutos. Preferiblemente, el calentamiento de la estructura compuesta 26 para el aumento de la temperatura 113 por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 comprende además calentar la estructura compuesta 26 a un aumento de la temperatura 113 en un intervalo de aproximadamente 5 grados Fahrenheit a aproximadamente 2,1 °C (21 °F) por encima de la temperatura de curado de la resina 66, y preferiblemente, de aproximadamente 2,1 °C a 5,1 °C (1 °F a 11 °F) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64, y más preferiblemente de aproximadamente 2,1 °C (1 °F) por encima la temperatura de transición de fase de aditivo 64.

Como se muestra adicionalmente en la figura 1, el método 30 comprende además la etapa 42 de reducir el aumento de la temperatura 113 (véase la figura 2B) de vuelta a la temperatura de curado de la resina 66 para permitir que el gas de aditivo 116 se someta a una transición de fase a una fase de condensación 127 (véase la figura 2B), resultando en una presión de vacío sustancialmente reducida 94 (véase la figura 2B) en la estructura compuesta 26, y que resulta en una reducción de la porosidad 134 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26. Preferiblemente, la reducción del aumento de la temperatura 113 a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo 116 se someta a una transición de fase a una fase de condensación 127 (véase la figura 2B), resultando en una reducción sustancial de la presión de vacío 94 en la estructura compuesta 26, resultando en una reducción de porcentaje de la porosidad 135 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26 en un intervalo de aproximadamente el 81 % a la reducción de la porosidad 135 aproximadamente del 91 %. Preferiblemente, el método 30 produce una estructura compuesta 26, tal como una pieza compuesta de aeronaves 28, que tiene una porosidad baja, tal como menos del 1 % de porosidad.

El método 30 comprende además la etapa 44 de enfriamiento de la estructura compuesta 26. Como se muestra en la figura 2C, el sistema 50 comprende una porción del sistema 50c que comprende un ciclo de curado posterior 140. Como se muestra en la figura 2C, el ciclo de curado posterior 140 comprende la etapa 142 de enfriado de la estructura compuesta 26 durante un periodo de tiempo efectivo. La estructura compuesta 26 podría enfriarse por sí misma o con un aparato de refrigeración 144 (véase la figura 2C), tal como una unidad refrigerada u otro aparato de refrigeración adecuado. El ciclo de curado posterior 140 comprende además la etapa 146 de retirar la estructura compuesta curada del aparato de calentamiento 88. La retirada de la estructura compuesta curada 26 se puede lograr con un aparato de retirada 148 (véase la figura 2C), tales como lengüetas de protección contra el calor o pinzas manuales de protección. Como se muestra en la figura 2C, el ciclo de curado posterior 140 puede comprender además la etapa 150 de operaciones de acabado, como mecanizado 152, unión 154, o recubrimiento 156 de la estructura compuesta curada 26.

Por lo tanto, el método 30 (véase la figura 1) y el sistema 50 (véase las figuras 2A-2C) proporcionan un aditivo 54

que se añade al material de resina 56 de la autoclave 90 o el horno 92 de material compuesto preimpregnado curado 70. El aditivo 54 se somete preferentemente a la transición de fase líquida a gas 62 (véase la figura 2B) por encima de la temperatura de curado de la resina 66 deseada del material de resina 56 de la estructura compuesta 26 a la presión de vacío de curado 94. Durante el ciclo de curado 84, cuando la estructura compuesta 26 se realiza normalmente a una temperatura durante un periodo significativo de tiempo, cuando una disminución de la viscosidad de la resina 106 (véase la figura 2B) está a una viscosidad de la resina casi mínima 108 (véase la figura 2B) y el material de resina 56 todavía no se ha gelificado, el calor de la estructura compuesta 26 se incrementa temporalmente a una temperatura aumentada 113 por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 y por encima de la temperatura de curado de la resina 66. El aditivo 54 se somete a una transición de aditivo líquido de fase de gas 62, aumentando su volumen cientos de veces. Este nuevo aditivo de gas 116 se desplaza o empuja uno o más gases 118 existentes (véase la figura 2B) que comprenden aire y volátiles atrapados, incluyendo humedad absorbida, agua disuelta, gases de salida de resina, u otros subproductos de resina, productos de reacción gaseosos, u otros gases adecuados fuera de la estructura compuesta 26. A una velocidad de disminución de masa 122 (véase la figura 2B) de la desgasificación de aditivo, la etapa de reducción de calor 120 reduce el calor y el aumento de temperatura 113 de vuelta a la temperatura de curado de la resina 66 para conducir un gas de aditivo 116 para someterse a una fase de transición a una fase de condensación 127 o un gas de aditivo para la transición de fase de líquido 126 (véase la figura 2B). Esto disminuye sustancialmente o reduce la presión de vacío 94 en los huecos 130 (véase la figura 2B) y los canales de gas 132 (véase la figura 2B), causando el colapso de los huecos 130 y los canales de gas 132, que se produce mucho más rápida y completamente, por lo tanto, a su vez, causando una reducción en el contenido de vacíos netos 136, o porosidad 134, en la estructura compuesta 26. Como un beneficio adicional, el aumento de la relación de la presión externa y la presión interna 138 (véase la figura 2B) proporciona el procesamiento de la estructura compuesta 26 de la autoclave 90, tal como en un horno 92.

En otra realización de la divulgación, el método 30 (véase la figura 1) reduce la porosidad 134 (véase la figura 2B) en una pieza compuesta de aeronaves 28 (véase la figura 2A). El método 30 comprende la etapa 32 de adición de un aditivo 54 (véase la figura 2A) a un material de resina 56 (véase la figura 2A) para formar una mezcla de aditivo y resina 58 (véase la figura 2A). El aditivo 54 comprende un material de transición de fase 60 (véase la figura 2A) que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo 64 (véase la figura 2A) mayor que una temperatura de curado de la resina 66 (véase la figura 2A) del material de resina 56. Preferiblemente, el aditivo 54 es un material de transición de fase 60 que incluye alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 121 °C (250 °F) a aproximadamente 510 °C (950 °F); fenilpropanos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 200 °C (392 °F) a aproximadamente 260 °C (500 °F); hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 217 °C (422 °F) a aproximadamente 527 °C (980 °F); y triacilglicéridos, como se describió anteriormente, u otro aditivo adecuado. Preferiblemente, el material de resina 56 incluye resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de las mismas.

El método 30 para la reducción de la porosidad 134 (véase la figura 2B) en la pieza compuesta de aeronaves 28 comprende además combinar la mezcla de aditivo y resina 58 con una pluralidad de fibras de refuerzo 68, preferiblemente una pluralidad de fibras de refuerzo de carbono, para formar un material compuesto preimpregnado 70 (véase la figura 2A). El método comprende además colocar el material compuesto preimpregnado 70 a través de un proceso de formación 78 que comprende una disposición manual 80 o una disposición automatizada, tal como con una máquina de disposición 76 (véase la figura 2A), y formar el material compuesto preimpregnado 70 en una pieza compuesta de aeronaves 28. El método comprende además rodear la pieza compuesta de aeronaves 28 bajo una bolsa de vacío 98 (véase la figura 2B) bajo una presión de vacío 94 (véase la figura 2B). El método 30 comprende además la etapa 38 de curado por calor en un aparato de calentamiento 88 que comprende una autoclave 90 o un horno 92, estando la pieza compuesta de aeronaves 28 rodeada debajo de la bolsa de vacío 98 a una presión de vacío efectiva 94, durante un periodo de tiempo efectivo, a la temperatura de curado de la resina 66 suficiente para lograr una viscosidad disminuida de la resina 106 (véase la figura 2B) del material de resina 56. El método 30 comprende además mantener 104 (véase la figura 2B) la temperatura de curado de la resina 66 durante un periodo de tiempo efectivo de curado de la resina. El método 30 comprende además la etapa 40 de calentamiento de la pieza compuesta de aeronaves 28 a una temperatura aumentada 113 (véase la figura 2B) en un intervalo de 2,1 °C (1 °F) a aproximadamente 11,1 °C (21 °F) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 y por encima de la temperatura de curado de la resina 66. El método comprende además la etapa 114 de mantener el aumento de la temperatura 113 durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo 54 se someta a una transición de fase y forme un gas de aditivo 116 (véase la figura 2B) que desplaza sustancialmente uno o más gases 118 (véase la figura 2B) de la pieza compuesta de aeronaves 28. El método 30 comprende además la etapa 42 de reducir el aumento de la temperatura 113 a la temperatura de curado de la resina 66 para permitir que el gas de aditivo 116 se someta a una transición de fase a una fase de condensación 127 (véase la figura 2B), lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida 94 en la pieza compuesta de aeronaves 28, y que resulta en una reducción de la porosidad 134 de la pieza compuesta de aeronaves 28 en un intervalo de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % de reducción en la porosidad. El método 30 comprende además la etapa 44 de enfriamiento de la estructura compuesta 26, preferiblemente, la pieza compuesta de aeronaves 28. El método comprende además la retirada de la pieza compuesta de aeronaves enfriada fuera de la

autoclave 90.

En otra realización de la divulgación, como se describió anteriormente, se proporciona un sistema 50 (véase las figuras 2A-2C) para reducir la porosidad 134 (véase la figura 2B) en una estructura compuesta 26 (véase la figura 2A). El sistema 50 comprende un material compuesto preimpregnado 70 (véase la figura 2A). El material compuesto preimpregnado 70 comprende una pluralidad de fibras de refuerzo 68 (véase la figura 2A), preferiblemente una pluralidad de fibras de carbono de refuerzo, preimpregnadas con una mezcla de aditivo y resina 58 (véase la figura 2A). El aditivo 54 (véase la figura 2A) de la mezcla de aditivo y resina 58 comprende un material de transición de fase 60 (véase la figura 2A) que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo 64 (véase la figura 2A) mayor que una temperatura de curado de la resina 66 (véase la figura 2A) del material de resina 58. Preferiblemente, el aditivo 54 comprende un material de transición de fase 60 que incluye los componentes y las composiciones descritas anteriormente en detalle en relación con el método 30. Preferiblemente, el material de resina 56 incluye resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, una combinación de las mismas, u otra resina adecuada.

El sistema 50 comprende además un aparato de formación 74 (véase la figura 2A) que comprende una máquina de disposición 76 (véase la figura 2A) adaptada para disposición del material compuesto preimpregnado 70 en una estructura compuesta 26 (véase la figura 2A). El sistema 50 comprende además un dispositivo de vacío 96 (véase la figura 2B) que comprende una bolsa de vacío 98 (véase la figura 2B). El dispositivo de vacío 96 está adaptado para rodear o abarcar la estructura compuesta 26 bajo vacío a una presión de vacío eficaz 94 (véase la figura 2B).

El sistema 50 comprende además un aparato de calentamiento 88 (véase la figura 2B) que comprende una autoclave 90 (véase la figura 2B) o un horno 92 (véase la figura 2B). El aparato de calentamiento 88 está adaptado para curar la estructura compuesta 26 rodeada por el dispositivo de vacío 96 a una temperatura de curado por calor de la resina efectiva 66 y mantener la temperatura de curado de la resina 66 durante un periodo de tiempo efectivo suficiente para conseguir una disminución de la viscosidad de la resina 106 (véase la figura 2B) del material de resina 58. El aparato de calentamiento 88 está adaptado además para calentar la estructura compuesta 26 a una temperatura aumentada 113 (véase la figura 2B) por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64 y por encima de la temperatura de curado de la resina 66 y para mantener el aumento de la temperatura 113 durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo 54 se someta a una transición de fase y para formar un gas de aditivo 116 (véase la figura 2B) que desplaza sustancialmente uno o más gases 118 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26. El aparato de calentamiento 88 está adaptado además para reducir el aumento de la temperatura 113 a la temperatura de curado de la resina 66 para permitir que el gas de aditivo 116 se someta a una transición de fase a una fase de condensación 127 (véase la figura 2B), lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida 94 en la estructura compuesta 26, y que resulta en una reducción de la porosidad 134 (véase la figura 2B) de la estructura compuesta 26. Preferentemente, el aumento de la temperatura 113 está en un intervalo de aproximadamente 2,1 °C (1 °F) hasta aproximadamente 11,1 °C (21 °F) sobre la temperatura de curado de la resina 66 y preferiblemente aproximadamente 5 grados Fahrenheit a aproximadamente 10 grados Fahrenheit por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64, y más preferiblemente, aproximadamente 5 grados Fahrenheit por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo 64. Preferiblemente, la reducción en la porosidad 134 de la estructura compuesta 26 está en un intervalo de reducción de la porosidad 135 de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 % (véase la figura 2B).

La figura 3 es una ilustración de una vista en perspectiva de una aeronave 10 a modo de ejemplo que puede incorporar una estructura compuesta 26 hecha por una de las realizaciones del método 30 (véase la figura 1) de la divulgación. Como se muestra en la figura 3, la aeronave 10 comprende un fuselaje 12, una nariz 14, una cabina 16, unas alas 18, una o más unidades de propulsión 20, una porción de cola vertical 22, y unas porciones de cola horizontales 24. Preferiblemente, la estructura compuesta 26 es una pieza compuesta de aeronaves 28. Aunque la aeronave 10 que se muestra en la figura 3 es generalmente representativa de una aeronave comercial de pasajeros que tiene una o más estructuras de material compuesto 26, las enseñanzas de las realizaciones descritas pueden aplicarse a otros aviones de pasajeros, aviones de carga, aviones militares, helicópteros, y otros tipos de aeronaves o vehículos aéreos, así como vehículos aeroespaciales, satélites, vehículos de lanzamiento espacial, cohetes y otros vehículos aeroespaciales, así como barcos y otras embarcaciones, trenes, automóviles, camiones, autobuses u otros vehículos adecuados o a artículos que tienen estructuras compuestas.

Como se apreciará por los expertos en la materia, la incorporación del aditivo 54 en el material compuesto preimpregnado 70 utilizado para formar la estructura compuesta 26 resulta en una serie de beneficios sustanciales. Las realizaciones descritas del método 30 (véase la figura 1) y el sistema 50 (véase las figuras 2A-2C) no requieren ningún cambio significativo en el proceso de fabricación de la estructura compuesta y, en particular, preferiblemente no requieren después de la formación de la estructura compuesta preimpregnado en la estructura compuesta, que la estructura compuesta, por ejemplo, una estructura compuesta grande, se someta a una larga (por ejemplo, de 12 a 24 o más horas) de curado previo en vacío mantenido bajo una presión de vacío. La eliminación de tal mantenimiento de curado previo al vacío puede disminuir el tiempo total del proceso de fabricación y, por lo tanto, puede reducir el coste global de fabricación y, en particular, puede disminuir el coste global de la fabricación de piezas grandes compuestas.

Además, no se añade tiempo adicional para el ciclo de curación global 84 con la segunda etapa de calentamiento 110 (véase la figura 2B) de aumentar el calor de la estructura compuesta 26 para aumentar la temperatura 113 y mantener el aumento de la temperatura 113 durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo 54 se someta a un líquido aditivo a la transición de fase de gas 62 y para formar un gas de aditivo 116 que desplaza sustancialmente uno o más gases 118 de la estructura compuesta 26. Además, las realizaciones divulgadas del método 30 (véase la figura 1) y del sistema 50 (ver Figs. 2A-2C) proporcionan un método 30 y un sistema 50 que reduce preferiblemente la porosidad 134, o el contenido de vacío 136 (véase la figura 2B), durante la fabricación de la estructura compuesta 26, en un intervalo de reducción de la porosidad 135 de aproximadamente el 81 % a aproximadamente el 91 %, o la reducción del contenido de vacío 137 (véase la figura 2B). Tal reducción o mitigación de la porosidad y de huecos puede resultar en niveles generales de baja porosidad o bajo contenido de huecos, por ejemplo, menores del 1 %, que a su vez, permite la fabricación de estructuras compuestas 26, tales como piezas compuestas para aeronaves 28, que tiene propiedades mecánicas mejoradas, tales como resistencia al corte, y un rendimiento mejorado. Esto puede resultar en un rechazo disminuido de estructuras o piezas compuestas no conformes, debido a problemas de procesamiento, descuidos o errores, y, a su vez, puede resultar en la disminución de los costes de fabricación y en la disminución de los costes asociados al tener que fabricar estructuras o piezas compuestas adicionales o de reemplazo.

Muchas modificaciones y otras realizaciones de la divulgación vendrán a la mente de un experto en la técnica a la que pertenece esta divulgación, que tengan el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y en los dibujos asociados. Las realizaciones descritas en este documento están destinadas a ser ilustrativas y no se pretende que sean limitativas o exhaustivas. Aunque se emplean términos específicos en el presente documento, se utilizan en un sentido genérico y descriptivo y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reducir la porosidad en una estructura compuesta, comprendiendo el método:

5 añadir un aditivo a un material de resina para formar una mezcla de aditivo y resina, comprendiendo el aditivo un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase de aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina;
 10 combinar la mezcla de aditivo y resina con una pluralidad de fibras de refuerzo para formar un material compuesto preimpregnado;
 15 formar el material compuesto preimpregnado en una estructura compuesta;
 20 curar por calor la estructura compuesta en un aparato de calentamiento mediante un dispositivo de vacío a una presión de vacío eficaz durante un periodo de tiempo efectivo a la temperatura de curado de la resina suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina;
 25 calentar la estructura compuesta a una temperatura aumentada por encima de la temperatura de transición de fase de aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina y mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más los gases fuera de la estructura compuesta;
 30 reducir el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de la porosidad de la estructura compuesta; y
 35 enfriar la estructura compuesta.

2. El método de la reivindicación 1, donde la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición de un aditivo seleccionado del grupo que consiste en alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de 121 °C (250 °F) a 510 °C (950 °F); fenilpropenos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de 200 °C (392 °F) a 260 °C (500 °F); e hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de 217 °C (422 °F) a 527 °C (980 °F); y triglicéridos.

3. El método de la reivindicación 1, donde la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición del aditivo en una cantidad del 0,01 por ciento en volumen al 1,5 por ciento en volumen basado en el volumen total de la mezcla de aditivo y resina.

35 4. El método de la reivindicación 1, donde la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición del aditivo a un material de resina seleccionado entre el grupo que consiste en resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de las mismas.

40 5. El método de la reivindicación 1, donde la formación del material compuesto preimpregnado en la estructura compuesta comprende, además, la disposición del material compuesto preimpregnado a través de un proceso de formación que comprende una disposición manual o una disposición automatizada con una máquina de disposición.

45 6. El método de la reivindicación 1, donde el curado por calor de la estructura compuesta comprende además el curado por calor la estructura compuesta en un aparato de calentamiento que comprende una autoclave o un horno.

50 7. El método de la reivindicación 1, donde el curado por calor de la estructura compuesta comprende además el curado por calor de la estructura compuesta bajo un dispositivo de vacío que comprende una bolsa flexible de vacío herméticamente sellada.

55 8. El método de la reivindicación 1, donde el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura comprende además el calentamiento de la estructura compuesta a una temperatura aumentada en un intervalo de 2,1 °C (1 °F) a 11,1 °C (21 °F) por encima de la temperatura de curado de la resina y la temperatura de transición de fase del aditivo.

9. El método de la reivindicación 1, donde el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo comprende además mantener el aumento de temperatura durante un periodo de tiempo en un intervalo desde un minuto a quince minutos.

60 10. El método de la reivindicación 1, donde el calentamiento de la estructura compuesta para el aumento de la temperatura por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo comprende además formar el gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases, comprendiendo los uno o más gases aire atrapado y sustancias volátiles, incluyendo humedad absorbida, agua disuelta y gases de salida de resina.

65 11. El método de la reivindicación 1, donde la reducción de la temperatura aumentada de vuelta a la temperatura de curado de la resina resulta en un porcentaje de reducción en una porosidad de la estructura compuesta en un

intervalo de reducción de la porosidad del 80 % al 99 %.

12. El método de la reivindicación 1, donde la estructura compuesta es una pieza compuesta de aeronaves.

5 13. Un sistema para reducir una porosidad en una estructura compuesta, comprendiendo el sistema:

un material compuesto preimpregnado que comprende una pluralidad de fibras de refuerzo preimpregnadas de una mezcla de aditivo y resina, comprendiendo el aditivo un material de transición de fase que tiene una temperatura de transición de fase del aditivo mayor que una temperatura de curado de la resina del material de resina;

10 un aparato de formación que comprende una máquina de disposición adaptada para colocar el material compuesto preimpregnado en una estructura compuesta;

un dispositivo de vacío que comprende una bolsa de vacío, estando el dispositivo de vacío adaptado para rodear la estructura compuesta bajo un vacío a una presión de vacío eficaz; y

15 un aparato de calentamiento que comprende una autoclave y un horno,

estando el aparato de calentamiento adaptado para curar por calor la estructura compuesta rodeada por el dispositivo de vacío a una temperatura efectiva de curado de la resina y para mantener la temperatura de curado de la resina durante un periodo de tiempo efectivo suficiente para disminuir una viscosidad del material de resina,

20 estando el aparato de calentamiento adaptado, además, para calentar la estructura compuesta a una temperatura aumentada por encima de la temperatura de transición de fase del aditivo y por encima de la temperatura de curado de la resina, y para mantener el aumento de la temperatura durante un periodo de tiempo suficiente para que el aditivo se someta a una transición de fase de líquido a gas y para formar un gas de aditivo que desplaza sustancialmente uno o más gases fuera de la estructura compuesta,

25 el aparato de calentamiento adaptado además para reducir el aumento de la temperatura de vuelta a la temperatura de curado de la resina para permitir que el gas de aditivo se someta a una transición de fase a una fase de condensación, lo que resulta en una presión de vacío sustancialmente reducida en la estructura compuesta, y que resulta en una reducción de una porosidad de la estructura compuesta.

30 14. El sistema de la reivindicación 13, donde la adición del aditivo al material de resina comprende además la adición de un aditivo seleccionado del grupo que consiste en alcanos que tienen nueve o más átomos de carbono con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de 121 °C (250 °F) a 510 °C (950 °F); fenilpropanos con un punto de ebullición a una atmósfera a una temperatura en un intervalo de 200 °C (392 °F) a 260 °C (500 °F); e hidrocarburos aromáticos policíclicos con un punto de ebullición a una atmósfera de presión a una temperatura en un intervalo de 217 °C (422 °F) a 527 °C (980 °F); y triglicéridos.

35 15. El sistema de la reivindicación 13, donde el material de resina adicional se selecciona entre el grupo que consiste en resinas epoxi, resinas de amina epoxi, resinas de poliimida, resinas de bismaleimida, resinas fenólicas, resinas de silicona, y una combinación de las mismas.

40

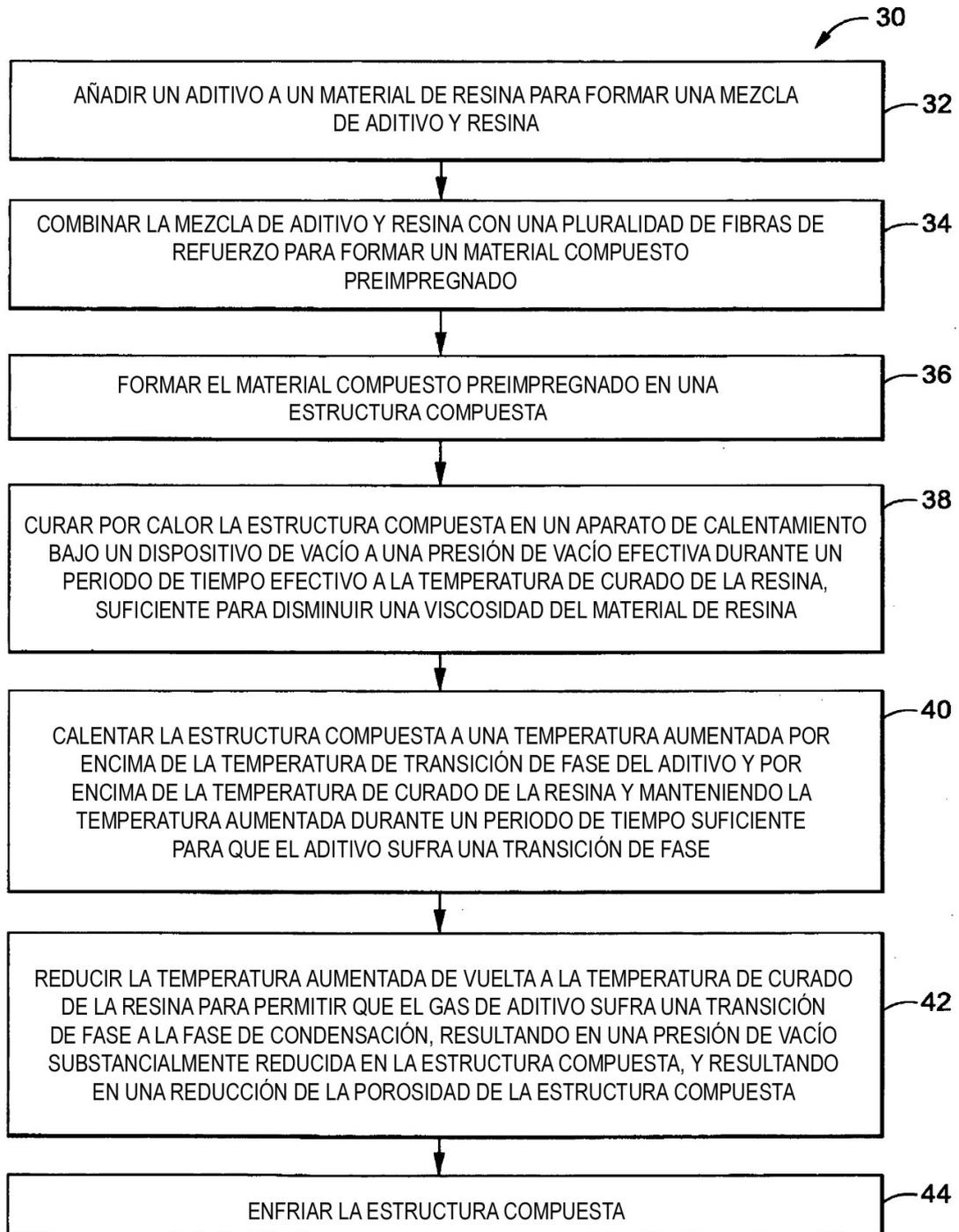


FIG. 1

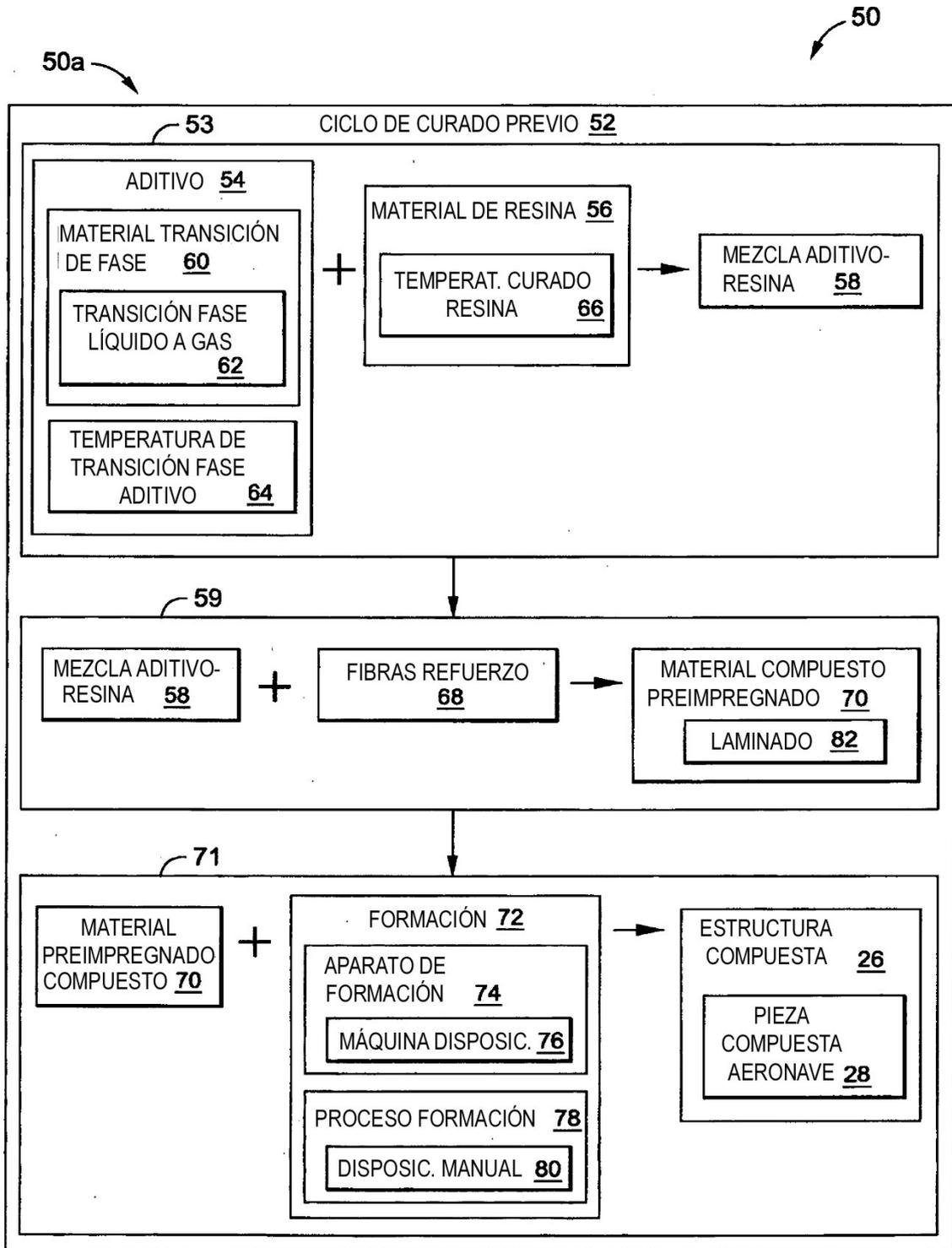


FIG. 2A

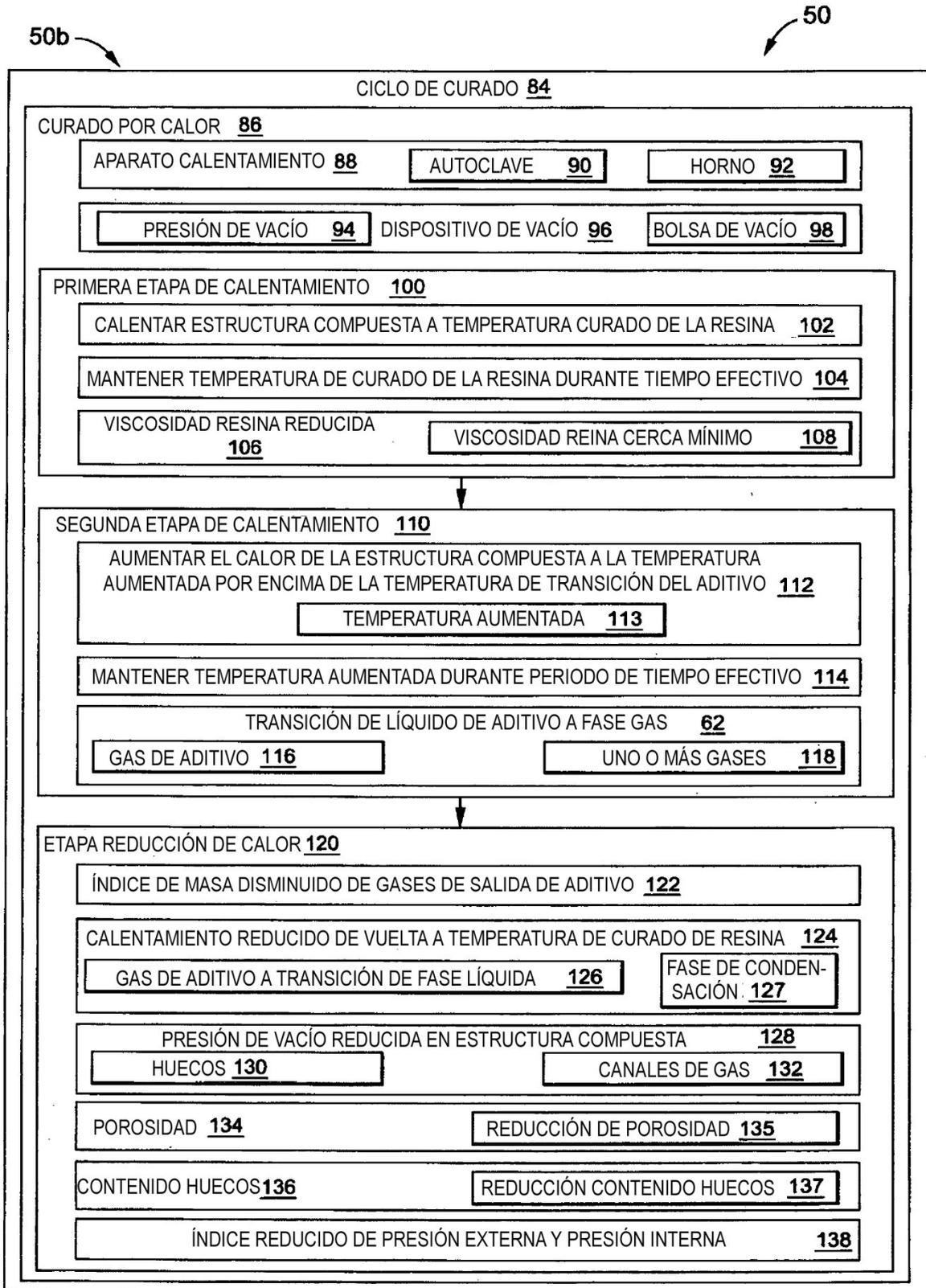


FIG. 2B

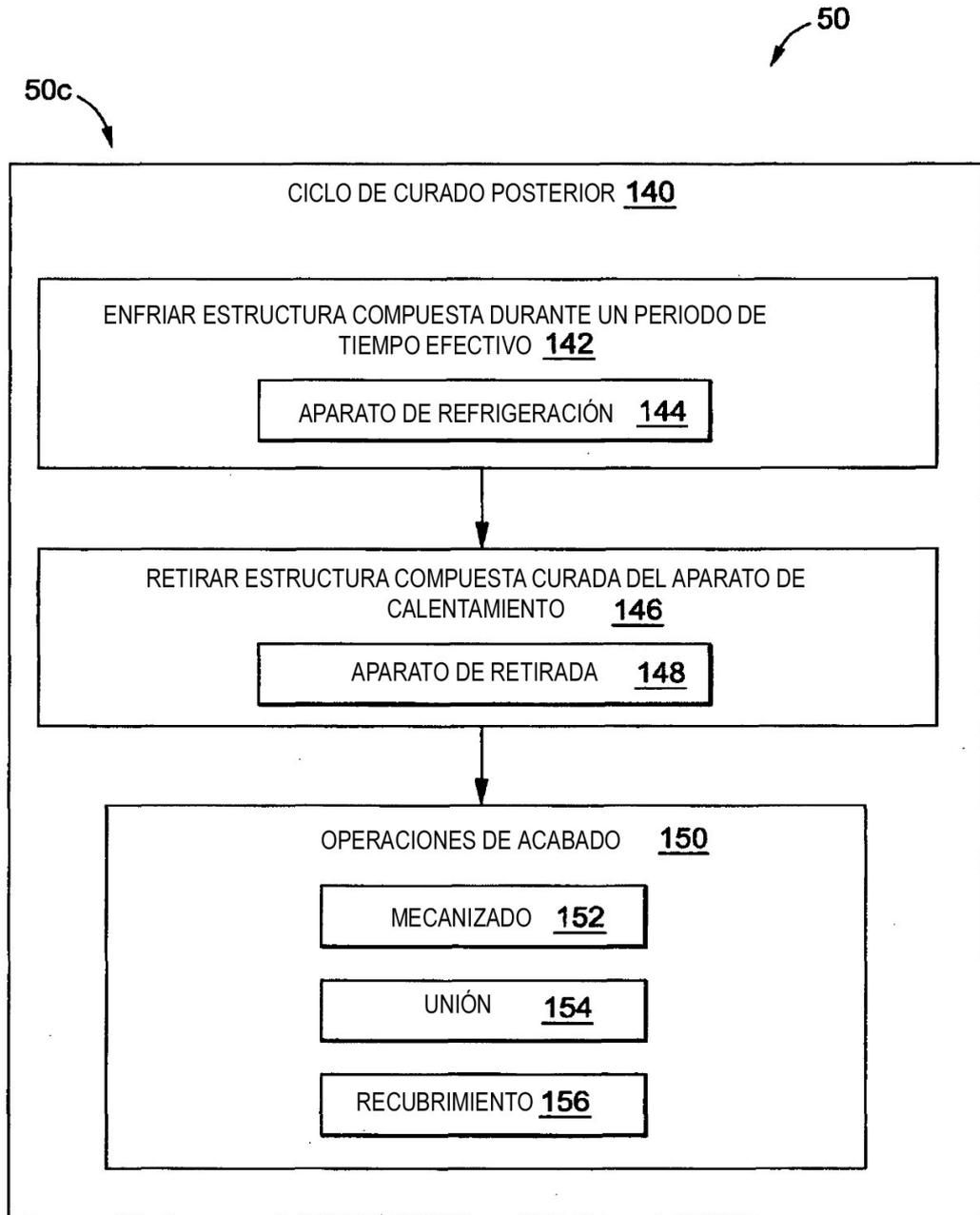


FIG. 2C

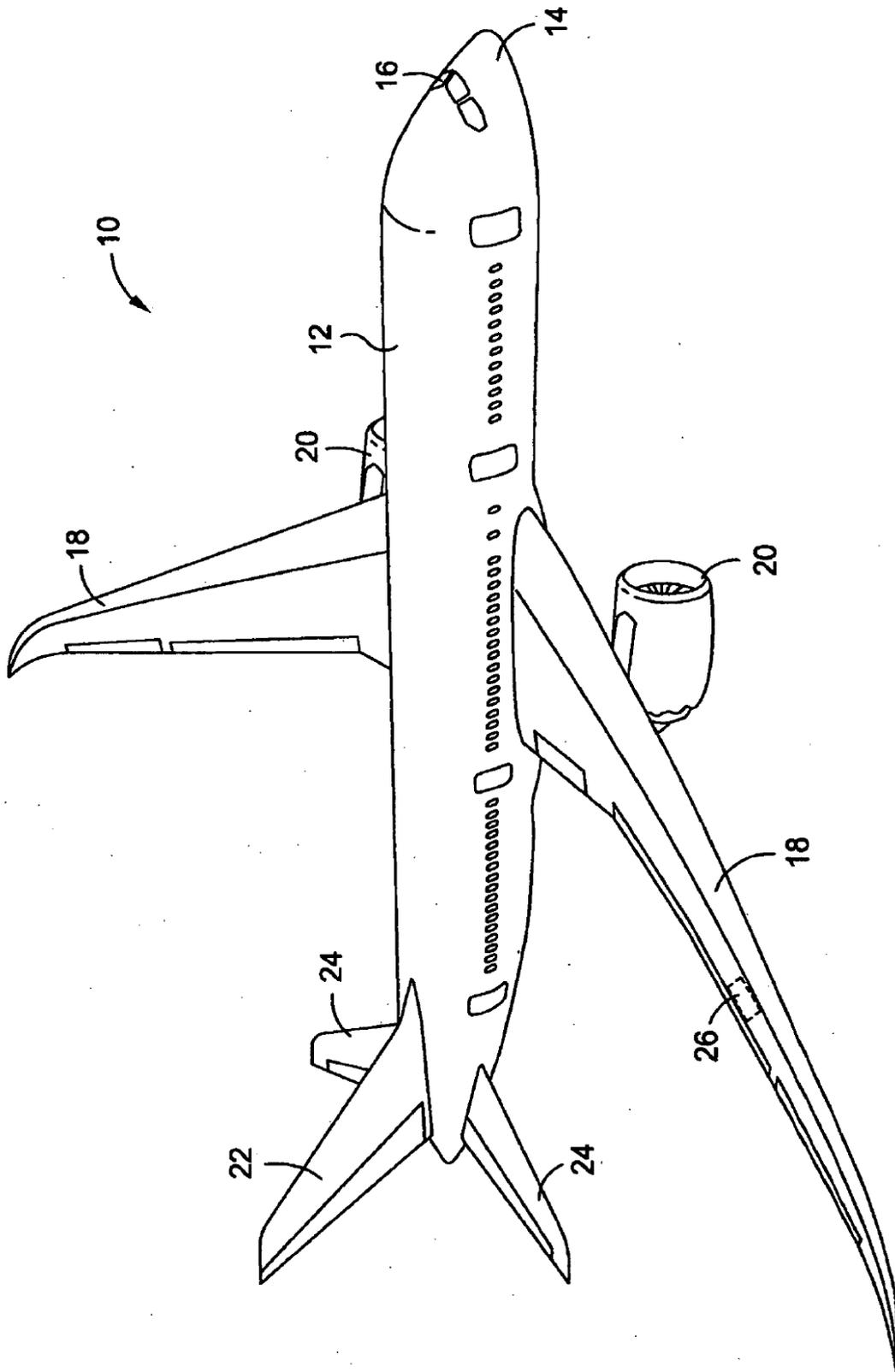


FIG. 3