

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 647**

51 Int. Cl.:

**B23K 20/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2017 E 17186613 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3284556**

54 Título: **Aparatos y métodos para fabricar estructuras compuestas de matriz metálica**

30 Prioridad:

**17.08.2016 US 201615239386**

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

**13.04.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VERMA, RAVI**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 753 647 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**

Aparatos y métodos para fabricar estructuras compuestas de matriz metálica

**Campo de las realizaciones de la divulgación**

5 Las realizaciones de la presente divulgación se refieren, generalmente, a la fabricación de estructuras compuestas de matriz metálica (MMC), tales como láminas o placas.

**Antecedentes de la divulgación**

10 Los elementos compuestos de matriz metálica pueden producirse dispersando un polvo de segunda fase en un metal fundido durante la colada. El dispersado de un polvo en un metal fundido, sin embargo, puede resultar difícil. Por ejemplo, el polvo tiende a flotar o a hundirse y agruparse, lo que puede dar como resultado una distribución poco uniforme. Las agrupaciones de polvo pueden ser difíciles de romper, incluso con violentas acciones de agitado. El problema puede verse acentuado en el caso de grandes lingotes tales como colada en coquilla directa de lingotes para procedimientos de laminado de aluminio.

15 En su resumen, el documento CN102319954B afirma que 'la invención da a conocer un método de procesamiento de agitación-fricción sin pasador de múltiples pasos de gran diámetro para fabricar estructuras compuestas de matriz metálica con fibra reforzada. En primer lugar, las láminas de matriz metálica se triturar y se limpian de antemano; en segundo lugar, una red de fibra procesada de manera previa o manojo de fibras unidireccionales se sujeta mediante abrazaderas entre las dos láminas de matriz metálica de una manera predispuesta, y necesita estar completamente cubierta y suficientemente protegida por las láminas de cubierta; mientras tanto, una herramienta de agitación-fricción sin pasador se inclina ligeramente y se monta; se activa la herramienta sin pasador para rotar para frotar la superficie de la lámina de cubierta y moverse, se utiliza un campo de gradiente de deformación de plástico generado por los efectos de forja y de torsión del reborde, por consiguiente, no solo puede romperse la superficie de óxido de la superficie de contacto de matriz metálica, sino también la matriz metálica que se calienta para ablandarse puede fluir de manera plástica alrededor de las fibras para envolver las fibras, y de ese modo, las superficies de contacto de fibra/matriz y de matriz/matriz pueden combinarse de manera compacta. Un cabezal de agitación-fricción sin pasador con un gran diámetro de 40mm a 50mm se adopta para llevar a cabo el procedimiento de agitación-fricción de múltiples capas de múltiples pasos, y de ese modo, puede producirse una placa compuesta de matriz metálica de fibra reforzada, grande y gruesa. La adición de material de aportación de soldadura fuerte puede resolver la contradicción entre el dañado de las fibras y la mejora de la unión de la superficie de contacto.

**Sumario**

30 En un primer aspecto se proporciona un método para formar una estructura compuesta de matriz metálica (MMC), el método se define en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. En un segundo aspecto, se proporciona un conjunto de agitación-fricción tal como se define en la reivindicación adjunta 9.

Por consiguiente, se proporciona una mejora en la formación de estructuras o componentes de MMC en diversas realizaciones dadas a conocer en el presente documento.

35 Determinadas realizaciones de la presente divulgación proporcionan un método para formar una estructura compuesta de matriz metálica (MMC). El método incluye formar un conjunto que incluye al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase. El conjunto tiene una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor. El método también incluye sujetar mediante abrazaderas el conjunto para al menos uno de llevar al menos dos bloques uno hacia el otro o mantener los al menos dos bloques en una posición predeterminada. Asimismo, el método incluye pasar un pasador de agitación-fricción rotatorio a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal hasta el borde trasero. El pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se extiende al menos por la anchura del conjunto, y el paso del pasador de agitación-fricción rotatorio a lo largo de la longitud del conjunto dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto.

40 Determinadas realizaciones de la presente divulgación proporcionan un conjunto de agitación-fricción. El conjunto de agitación-fricción incluye una primera platina y una segunda platina, mandriles primero y segundo, y un pasador de agitación-fricción. La primera platina y la segunda platina están configuradas para retener un conjunto. El conjunto incluye al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase. El conjunto tiene una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor. Los mandriles primero y segundo se disponen en lados opuestos de la anchura del conjunto y se configuran para pasar a lo largo de la longitud del conjunto. El pasador de agitación-fricción tiene extremos primero y segundo soportados en los mandriles primero y segundo, respectivamente, y tiene una longitud de mezclado que se extiende al menos por la anchura del conjunto. El paso del pasador de agitación-fricción rotatorio dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda al menos esos dos bloques en conjunto.

5 Determinadas realizaciones de la presente divulgación proporcionan una estructura soldada de agitación-fricción. La estructura se forma mediante la formación de un conjunto que incluye al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se  
 10 extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor; la sujeción mediante abrazaderas del conjunto para al menos uno de llevar al menos dos bloques uno hacia el otro o mantener los al menos dos bloques en una posición predeterminada; y el paso de un pasador de agitación-fricción a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal hasta el borde trasero, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se  
 extiende al menos por la anchura del conjunto, en el que el paso del pasador de agitación-fricción dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto para formar la estructura.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 proporciona un diagrama de flujo de un método según una realización de la presente divulgación.

15 La figura 2 proporciona una vista esquemática lateral de un conjunto que va a someterse a soldadura por agitación-fricción según diversas realizaciones.

La figura 3 proporciona una vista en perspectiva esquemática de un conjunto que va a someterse a soldadura por agitación-fricción según diversas realizaciones.

La figura 4 proporciona una vista esquemática en sección lateral de un bloque que tiene una cavidad según diversas realizaciones.

20 La figura 5 representa una vista esquemática lateral del conjunto de la figura 2 en una posición de sujeción mediante abrazaderas.

La figura 6 representa una vista esquemática lateral de un pasador de agitación-fricción según diversas realizaciones.

La figura 7 representa una vista esquemática lateral del conjunto de la figura 2 sometido a soldadura por agitación-fricción.

25 La figura 8 representa una vista esquemática lateral del conjunto de la figura 2 tras la soldadura por agitación-fricción.

La figura 9 representa un conjunto sometido a soldadura por agitación-fricción que incluye tres bloques y dos superficies de contacto según diversas realizaciones.

30 La figura 10 proporciona una vista de extremo esquemática de un conjunto de agitación-fricción formado según diversas realizaciones.

La figura 11 proporciona una vista esquemática lateral del conjunto de agitación-fricción de la figura 10.

La figura 12 es un diagrama de bloques de la producción de una aeronave y metodología de mantenimiento.

La figura 13 es una ilustración esquemática de una aeronave.

**35 Descripción detallada de la divulgación**

El sumario anterior, así como la siguiente descripción detallada de determinadas realizaciones se comprenderán mejor cuando se lean junto con los dibujos adjuntos. Tal como se usa en el presente documento, un elemento o etapa mencionado en singular y precedido por la palabra “un” o “una” debe comprenderse como que no necesariamente excluye el plural de los elementos o etapas. Además, las referencias a “una realización” no están  
 40 destinadas a interpretarse como excluyentes de la existencia de realizaciones adicionales que también incorporan las características mencionadas. Además, a menos que se especifique explícitamente lo contrario, las realizaciones “que comprenden” o “que tienen” un elemento o una pluralidad de elementos que tienen una propiedad particular pueden incluir elementos adicionales que no tienen esa propiedad.

45 Diversas realizaciones de la presente divulgación emplean soldadura por agitación-fricción en una superficie de contacto entre dos componentes de un material de primera fase en la que se dispone un material de segunda fase. La soldadura por agitación-fricción mezcla el material de segunda fase dentro del material de primera fase y suelda los dos componentes del material de primera fase en conjunto para formar un componente o estructura unitarios (por ejemplo, lámina o placa) que es una estructura de MMC con el material de segunda fase distribuido dentro del material de primera fase.

50 Diversas realizaciones proporcionan un método de producción de un MMC en estado sólido usando un pasador rotatorio, vástago, o alambre que atraviesa lateralmente una interposición de metal/segunda fase/metal,

calentamiento y plastificación del metal y que dispersa la segunda fase (por ejemplo, un polvo de cerámica) en las capas de metal. La acción de agitación en diversas realizaciones conlleva la unión de las capas de metal en una estructura monolítica con una fina dispersión de la segunda fase.

5 Realizaciones de la presente divulgación proporcionan sistemas y métodos para formar estructuras de MMC, tales como placas y láminas. Diversas realizaciones proporcionan una mejora en la conveniencia para la formación de estructuras de MMC. Diversas realizaciones proporcionan una mejora de la distribución de un material de segunda fase en un material de primera fase. Diversas realizaciones proporcionan un método en estado sólido de dispersión de un segundo material en una placa de metal. Diversas realizaciones permiten producir una estructura de MMC (por ejemplo, placa) con una rigidez y resistencia mayores, y una menor densidad, que el metal de base.

10 La figura 1 proporciona un diagrama de flujo de un método 100 para formar una estructura compuesta de matriz metálica (MMC) (por ejemplo, una placa o lámina), según diversas realizaciones. El método 100, por ejemplo, puede emplear o realizarse mediante estructuras o aspectos de diversas realizaciones (por ejemplo, sistemas y/o métodos) dados a conocer en el presente documento. En diversas realizaciones, determinadas etapas pueden omitirse o añadirse, determinadas etapas pueden combinarse, determinadas etapas pueden realizarse simultáneamente, determinadas etapas pueden realizarse de manera concurrente, determinadas etapas pueden dividirse en múltiples etapas, determinadas etapas pueden realizarse en un orden diferente, o determinadas etapas o series de etapas pueden volver a realizarse de manera repetitiva.

En 102, se forma un conjunto. El conjunto incluye al menos dos bloques de un material de primera fase. Los al menos dos bloques comparten al menos una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase. Por ejemplo, para un conjunto con dos bloques, habrá una superficie de contacto entre los bloques. Como otro ejemplo, para un conjunto con tres bloques, habrá dos superficies de contacto entre los bloques (por ejemplo, una primera superficie de contacto entre bloques primero y segundo y una segunda superficie de contacto entre bloques segundo y tercero. El conjunto tiene una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor. La figura 2 proporciona una vista esquemática lateral de un conjunto que va a someterse a soldadura por agitación-fricción según diversas realizaciones, y la figura 3 proporciona una vista en perspectiva de un conjunto que va a someterse a soldadura por agitación-fricción.

Tal como se observa en la figura 2, el conjunto 200 representado incluye un primer bloque 210 y un segundo bloque 220. El primer bloque 210 y el segundo bloque 220 están realizados de un material 211 de primera fase. El material 211 de primera fase en diversas realizaciones puede ser un metal. Por ejemplo, el material 211 de primera fase puede ser aluminio, titanio, o magnesio. El conjunto 200 representado también incluye una capa 230 intermedia ubicada en una superficie 202 de contacto entre el primer bloque 210 y el segundo bloque 220. La capa 230 intermedia es de un material 231 de segunda fase. En algunas realizaciones, el material 231 de segunda fase puede ser un metal. En algunas realizaciones, el material 231 de segunda fase puede no ser un metal, tal como polvo de cerámica. Generalmente, el primer bloque 210 y el segundo bloque 220 van a soldarse en conjunto al tiempo que se mezcla el material 231 de segunda fase con el material 211 de primera fase como parte del método 100. Tal como se observa mejor en las figuras 2 y 3, el conjunto 200 tiene una longitud L, una anchura W, y un grosor T. A modo de ejemplo, el grosor T puede tener entre 1/2 pulgada de grosor y 3 pulgadas de grosor en diversas realizaciones. Pueden usarse otros grosores en otras realizaciones. La longitud L se extiende desde un borde 204 frontal hasta un borde 206 trasero.

En algunas realizaciones, la capa 230 intermedia puede proporcionarse como una lámina (por ejemplo, una lámina de un segundo metal dispuesto entre bloques de un primer metal). En otras realizaciones, la capa 230 intermedia del material 231 de segunda fase puede ser polvo, o, como otro ejemplo, una lámina o chapa delgada realizada compactando un polvo. Por ejemplo, en 104 de del método 100 representado, el material de segunda fase se dispone (por ejemplo, se deposita) dentro de una cavidad de al menos uno de los dos bloques del material de primera fase. La figura 4 proporciona una vista esquemática en sección lateral de un bloque 400 que tiene una cavidad 410. El bloque 400 puede utilizarse, por ejemplo, como uno o ambos del primer bloque 210 o el segundo bloque 220 en diversas realizaciones. Tal como se observa en la figura 4, el bloque 400 incluye un reborde 420 que se extiende alrededor de un perímetro del bloque 400 para definir la cavidad 410. Puede observarse que el reborde 420 puede extenderse a lo largo de la totalidad del perímetro del bloque 400 para retener el material de segunda fase (por ejemplo, polvo de cerámica) en una superficie de contacto entre dos bloques. En algunas realizaciones, el bloque 400 puede soldarse por punteo o de otro modo fijarse a un segundo bloque durante el transporte de un conjunto (por ejemplo, el conjunto 100) que incluye el bloque 400.

Volviendo a la figura 1, en 106, el conjunto se sujeta mediante abrazaderas. Por ejemplo, el conjunto puede sujetarse mediante abrazaderas entre dos platinas de una prensa. El procedimiento de sujeción mediante abrazaderas al menos uno de llevar los al menos dos bloques del conjunto uno hacia otro, o mantiene los al menos dos bloques en una posición predeterminada. Generalmente, la sujeción mediante abrazaderas se realiza para mantener los componentes del conjunto en una posición o relación deseadas entre los componentes durante un procedimiento de soldadura por agitación-fricción.

La figura 5 representa una vista esquemática lateral del conjunto 200 de la figura 2 en una posición de sujeción mediante abrazaderas. Tal como se observa en la figura 5, el conjunto 200 se dispone entre una primera platina 510

y una segunda platina 520 de una prensa. Un pasador 600 de agitación-fricción se dispone inicialmente próximo al borde 204 frontal del conjunto 200.

La figura 6 proporciona una vista esquemática lateral de un pasador 600 de agitación-fricción formado según diversas realizaciones. El pasador 600 de agitación-fricción define un eje 602 a lo largo del que se extiende un árbol 610 desde un primer extremo 612 hasta un segundo extremo 614 opuesto. Cada uno del primer extremo 612 y el segundo extremo 614 pueden configurarse para aceptarse en un mandril y/o accionarse por un motor para rotar el pasador. El soporte del pasador 600 de agitación-fricción en cada extremo en diversas realizaciones ayuda a reducir doblado o flexionado durante el avance del pasador 600 de agitación-fricción a través de un conjunto (por ejemplo, conjunto 200). Canales 620 se extienden radialmente desde el árbol 610 y definen una longitud 622 de mezclado. Puede observarse que pueden usarse diferentes geometrías para los canales 620 en diversas realizaciones. Por ejemplo, los canales 620 pueden extenderse en hileras rectas en algunas realizaciones, o en hileras en espiral en otras realizaciones. Formas dentadas u otras formas pueden proporcionarse en los canales 620 así como en diversas realizaciones. Los rebordes 630 se disponen en cada lado de los canales 620. Puede observarse que se muestran huecos entre los extremos de los canales 620 y los rebordes 630 en la realización ilustrada; sin embargo, tal hueco no necesariamente tiene que estar presente en otras realizaciones. Generalmente los rebordes 630 se configuran para ayudar a retener el material en su sitio a lo largo de lados o bordes de un conjunto que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción. Por consiguiente, los rebordes 630 tiene un diámetro 632 que es mayor que un diámetro 624 de pasador definido por los canales 620. El diámetro 632 puede ser menor que una distancia entre platinas de una prensa con la que va a usarse el pasador 600 de agitación-fricción. Los canales 620 pueden estar realizados de un material relativamente duro, tal como carburo de tungsteno, para mantener la rigidez y la integridad dimensional del pasador a la alta temperatura generada por el procedimiento de agitación-fricción y facilitar el mezclado de metales durante soldadura por agitación-fricción. El diámetro 624 de pasador, en algunas realizaciones, puede ser de entre el 25% y el 85% del grosor de un conjunto (por ejemplo, entre el 25% y el 85% de grosor T del conjunto 200) que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción. En algunas realizaciones, el diámetro 624 de pasador puede ser de entre 1/2 y 1/3 del grosor de un conjunto que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción.

Volviendo a la figura 1, en 108, el pasador de agitación-fricción se hace pasar a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal del conjunto hasta el borde trasero del conjunto. En diversas realizaciones, el pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se extiende al menos la anchura del conjunto que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción. Por ejemplo, el pasador 600 de agitación-fricción puede usarse para soldar por agitación-fricción el conjunto 200, siendo la longitud 622 de mezclado al menos tan larga como la anchura W, con el pasador 600 de agitación-fricción colocado de manera que la longitud de mezclado pasa a través de la totalidad de la anchura W del conjunto 100, en contraste con determinados procedimientos de soldadura por agitación-fricción convencionales en donde un pasador en voladizo solo se extiende a través de una parte de un objeto que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción. A medida que el pasador de agitación-fricción se hace pasar a lo largo de la longitud del conjunto, el pasador de agitación-fricción también se hace rotar (por ejemplo, mediante uno o más motores asociados). Por ejemplo, en algunas realizaciones, el pasador de agitación-fricción se soporta en extremos opuestos (por ejemplo, el primer extremo 612 y el segundo extremo 614 del pasador 600 de agitación-fricción). Además, en algunas realizaciones, el pasador de agitación-fricción puede accionarse en los extremos opuestos (por ejemplo, un primer motor puede accionar el pasador de agitación-fricción desde el primer extremo 612 y un segundo motor puede accionar el pasador de agitación-fricción desde el segundo extremo 614). El soporte del pasador en ambos extremos en diversas realizaciones reduce el doblado o flexionado del pasador ya que se hace pasar a través de la anchura del conjunto que va a soldarse. Los dos motores pueden estar sincronizados entre sí.

Al hacer pasar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la superficie de contacto a lo largo de la longitud del conjunto se dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques del material de primera fase en conjunto. Por consiguiente, se proporciona una estructura unitaria con el material de segunda fase distribuido en todo el material de primera fase en diversas realizaciones. Puede observarse que, en algunas realizaciones, la superficie de contacto puede estar alineada con el eje del pasador de agitación-fricción, mientras que en otras realizaciones la superficie de contacto puede estar desviada del eje del pasador de agitación-fricción. Generalmente, en diversas realizaciones la superficie de contacto se ubica dentro de una zona o banda definida por el diámetro de pasador (por ejemplo, el diámetro de los canales). Puede observarse que, tal como se usa en el presente documento, el término "diámetro de pasador" se refiere a una característica del pasador de agitación-fricción (por ejemplo, el diámetro de los canales) y no limita la zona o grosor real en el que puede producirse el mezclado. El mezclado, en diversas realizaciones, puede producirse fuera del diámetro de pasador del pasador de agitación-fricción, tal como una estela procedente de un propulsor se extiende más allá del diámetro del propulsor. A medida que se hace avanzar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la longitud del conjunto, la velocidad de rotación del pasador de agitación-fricción, así como la velocidad lateral a la que se hace avanzar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la longitud del conjunto desde el borde frontal hasta el borde trasero pueden controlarse para lograr un mezclado y/o soldadura deseados. Por ejemplo, las velocidades pueden controlarse para mantener una temperatura lo suficientemente elevada para mejorar el flujo de los materiales que se mezclan al tiempo que se mantiene la temperatura lo suficientemente baja para permanecer por debajo de una temperatura de fusión de uno o más materiales.

La figura 7 representa una vista esquemática lateral del conjunto 200 de la figura 2 en una posición de sujeción mediante abrazaderas durante la soldadura por agitación-fricción. Tal como se observa en la figura 7, a medida que se hace avanzar el pasador 600 de agitación-fricción a lo largo de la longitud L del conjunto 200, el material 231 de segunda fase se mezcla con el material 211 de primera fase y el primer bloque 210 y el segundo bloque 220 se sueldan en conjunto, formando un MMC unitario tras el pasador 600 de agitación-fricción (en la dirección de avance). La figura 8 representa una vista esquemática lateral del conjunto 200 tras la soldadura por agitación-fricción. Tal como se observa en la figura 8, el conjunto 200 se ha procesado mediante el método 100 para dar una estructura 800 unitaria soldada de agitación-fricción que tiene el material 231 de segunda fase distribuido en todo el material 211 de primera fase y el primer bloque 210 y el segundo bloque 220 soldados en conjunto para formar la estructura 800 unitaria soldada de agitación-fricción.

Puede observarse que, en realizaciones alternativas, pueden usarse más bloques y superficies de contacto. La figura 9 representa un conjunto 900 que está sometiéndose a soldadura por agitación-fricción que incluye tres bloques y dos superficies de contacto. El conjunto 900 incluye un primer bloque 910, un segundo bloque 920, y un tercer bloque 930. El primer bloque 910, el segundo bloque 920, y el tercer bloque 930 están realizados de uno o más materiales de primera fase. El conjunto 900 define dos superficies de contacto entre los bloques. Concretamente, el conjunto 900 define una primera superficie 941 de contacto entre el primer bloque 910 y el segundo bloque 920, y una segunda superficie 951 de contacto entre el segundo bloque 920 y el tercer bloque 930. Una primera capa 940 intermedia se dispone en la primera superficie 941 de contacto, y una segunda capa 950 intermedia se dispone en la segunda superficie 951 de contacto. La primera capa 940 intermedia y la segunda capa 950 intermedia están realizadas de uno o más materiales de segunda fase. Generalmente, el/los material(es) de segunda fase se mezcla(n) o distribuye(n) en la totalidad del/de los material(es) de primera fase mediante la soldadura por agitación-fricción a medida que el pasador 960 de agitación-fricción pasa a lo largo de la longitud L del conjunto 900, al tiempo que el/los material(es) de primera fase se suelda(n) en conjunto mediante la soldadura por agitación-fricción. En las realizaciones ilustradas, el pasador 960 de agitación-fricción se coloca en un punto intermedio del grosor T del conjunto 900 con la primera capa 940 intermedia y la segunda capa 950 intermedia en lados opuestos del punto intermedio. Puede observarse que las ubicaciones y/o números particulares de superficies de contacto y capas intermedias de los materiales de segunda fase pueden variar para proporcionar un nivel deseado de uniformidad en la distribución del material de segunda fase en todo el material de primera fase, por ejemplo.

También puede observarse que el conjunto 900 a modo de ejemplo representado se proporciona a modo de ejemplo y no de limitación, y que pueden emplearse otras disposiciones en realizaciones alternativas. Por ejemplo, pueden emplearse más de tres bloques y dos superficies de contacto en diversas realizaciones. Como otro ejemplo, aunque se muestra un pasador de agitación-fricción en la realización ilustrada, puede emplearse más de un pasador de agitación-fricción en realizaciones alternativas. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede proporcionarse un pasador de agitación-fricción por superficie de contacto. Como otro ejemplo, pueden utilizarse más superficies de contacto en otras realizaciones. Por ejemplo, pueden proporcionarse cuatro superficies de contacto, con dos pasadores de agitación-fricción (dos superficies de contacto por pasador).

Adicionalmente, puede observarse que, aunque en algunas realizaciones puede usarse el mismo material de primera fase para cada bloque y puede usarse el mismo material de segunda fase para cada capa intermedia, en otras realizaciones pueden usarse diferentes materiales. Por ejemplo, en algunas realizaciones, pueden usarse diferentes materiales para el material de primera fase para dos o más bloques. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el primer bloque 910 puede estar realizado de un primer material (por ejemplo, un primer metal), el segundo bloque puede estar realizado de un segundo material (por ejemplo, un segundo metal), y el tercer bloque puede estar realizado de un tercer material (por ejemplo, un tercer metal). Alternativa o adicionalmente, pueden usarse diferentes materiales para el material de segunda fase para dos o más superficies de contacto. Por ejemplo, en la realización ilustrada, la primera capa 940 intermedia puede estar realizada de un cuarto material (por ejemplo, un cuarto metal y/o un primer polvo de cerámica), y la segunda capa 950 intermedia puede estar realizada de un quinto material (por ejemplo, un quinto metal y/o un segundo polvo de cerámica). Pueden usarse diferentes materiales para diferentes bloques y/o capas intermedias en diversas realizaciones para proporcionar un gradiente, o propiedades variables en todo el grosor de una estructura resultante.

La figura 10 proporciona una vista de extremo esquemática de un conjunto 1000 de agitación-fricción formado según diversas realizaciones, y la figura 11 proporciona una vista esquemática lateral del conjunto 1000 de agitación-fricción. Tal como se observa en las figuras 10 y 11, el conjunto 1000 de agitación-fricción está configurado para aceptar un conjunto (por ejemplo, el conjunto 200) que va a someterse a soldadura por agitación-fricción tal como se comenta en el presente documento.

Tal como se observa en las figuras 10 y 11, el conjunto 1000 de agitación-fricción incluye una primera platina 1010, una segunda platina 1020, un primer mandril 1030, un segundo mandril 1040, y un pasador 1050 de agitación-fricción. Los diversos componentes del conjunto 1000 de agitación-fricción pueden estar montados en un armazón 1090 (mostrado esquemáticamente como líneas de conexión en la figura 10 por motivos de facilidad y claridad de ilustración) configurado para fijar los componentes en posiciones deseadas, y/o para limitar o guiar los movimientos de diversos componentes. Por ejemplo, la primera platina 1010 y la segunda platina 1020 pueden dirigirse una hacia otra (para sostener el conjunto 200) o alejándose una con respecto a otra (para liberar el conjunto 200). El pasador

1050 de agitación-fricción puede fijarse en el primer mandril 1030 y el segundo mandril 1040, dirigiéndose el primer mandril 1030 y el segundo mandril 1040 a lo largo de la longitud del conjunto 200 para soldar por agitación-fricción el conjunto. El pasador 1050 de agitación-fricción puede configurarse de manera generalmente similar, por ejemplo, al pasador 600 de agitación-fricción comentado en el presente documento. Tal como se observa mejor en la figura 10, el pasador 1050 de agitación-fricción incluye un primer extremo 1052 fijado en el primer mandril 1030, y un segundo extremo 1054 fijado en el segundo mandril 1040. El pasador 1050 de agitación-fricción representado tiene una longitud 1056 de mezclado (por ejemplo, definida por canales) que se extiende por al menos la anchura W del conjunto 200 para proporcionar una soldadura por agitación-fricción en la totalidad de la anchura del conjunto 200.

La primera platina 1010 y la segunda platina 1020 están configuradas para retener un conjunto que va a someterse a soldadura por agitación-fricción (por ejemplo, el conjunto 200, mostrado en líneas fantasma en las figuras 10 y 11). La primera platina 1010 y/o la segunda platina 1020, por ejemplo, pueden estar conectadas a uno o más cilindros u otros actuadores configurados para llevar la primera platina 1010 y la segunda platina 1020 una hacia otra o alejándose una con respecto a otra.

El primer mandril 1030 y el segundo mandril 1040 se disponen en lados opuestos de la anchura W del conjunto 200 (o en lados opuestos de la primera platina 1010 y la segunda platina 1020), y se configuran para pasar a lo largo de la longitud L del conjunto 200 (o la longitud de la primera platina 1010 y la segunda platina 1020). Por ejemplo, los mandriles pueden disponerse en guías lineales y actuarse mediante un cilindro u otro actuador 1080 lineal (véase la figura 11) para avanzar a lo largo de la longitud del conjunto que está sometándose a soldadura por agitación-fricción. Las guías también pueden usarse para colocar el pasador 1050 de agitación-fricción en una posición deseada (por ejemplo, alineado con una superficie de contacto del conjunto 200). En la realización ilustrada, cada mandril también incluye un motor asociado usado para hacer rotar el pasador 1050 de agitación-fricción durante la soldadura por agitación-fricción. Tal como se observa mejor en la figura 10, el conjunto 1000 de agitación-fricción incluye un primer motor 1060 asociado con el primer mandril 1030, y también incluye un segundo motor 1070 asociado con el segundo mandril 1040. El primer motor 1060 acciona el primer extremo 1052 del pasador 1050 de agitación-fricción (por ejemplo, hace rotar el primer extremo 1052) mientras que el segundo motor 1070 acciona el segundo extremo 1054 del pasador 1050 de agitación-fricción (por ejemplo, hace rotar el segundo extremo 1054). El primer motor 1060 y el segundo motor 1070 pueden estar sincronizados para hacer rotar los extremos del pasador 1050 de agitación-fricción al mismo tiempo y a la misma velocidad de rotación para reducir o eliminar cualquier torsión que pueda provocarse por una rotación no sincronizada. Los motores en la realización ilustrada se usan para hacer rotar el pasador 1050 de agitación-fricción mientras se hace avanzar el pasador 1050 de agitación-fricción a lo largo de la longitud del conjunto 200 para soldar por agitación-fricción el conjunto 200. Al pasar el pasador 1050 de agitación-fricción a lo largo de la longitud L del conjunto 200 se dispersa un material de segunda fase (por ejemplo, un material ubicado en una superficie de contacto entre dos materiales de primera fase) para dar un material de primera fase y soldar los bloques del material de primera fase en conjunto.

Pueden describirse ejemplos de la presente divulgación en el contexto de métodos 1900 de fabricación y mantenimiento de aeronaves tal como se muestra en la figura 12 y la aeronave 1902 tal como se muestra en la figura 13. Durante la producción previa, el método 1900 ilustrativo puede incluir la especificación y el diseño (bloque 1904) de la aeronave 1902 y obtención de material (bloque 1906). Durante la producción, puede tener lugar la fabricación de componentes y subconjuntos (bloque 1908) y la integración de sistema (bloque 1910) de la aeronave 1902. A continuación, la aeronave 1902 puede someterse a certificación y suministro (bloque 1912) para ponerse en servicio (bloque 1914). Mientras está en servicio, la aeronave 1902 puede programarse para labores de mantenimiento rutinarias (bloque 1916). Las labores de mantenimiento rutinarias pueden incluir modificación, reconfiguración, reaprovisionamiento, etc. de uno o más sistemas de la aeronave 1902. Por ejemplo, en diversas realizaciones, ejemplos de la presente divulgación pueden usarse junto con uno o más de bloques 1908 o 1916.

Cada uno de los procedimientos del método 1900 ilustrativo puede realizarse o llevarse a cabo por un integrador de sistema, un tercero, y/o un operador (por ejemplo, un cliente). Para los fines de esta descripción, un integrador de sistema puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas, y proveedores; y un operador puede ser una aerolínea, empresa de arrendamiento, entidad militar, organización de servicio, y así sucesivamente.

Tal como se muestra en la figura 13, la aeronave 1902 producida por el método 1900 ilustrativo puede incluir un fuselaje 1918 con una pluralidad de sistemas 1920 de alto nivel y un interior 1922. Ejemplos de sistemas 1920 de alto nivel incluyen uno o más de sistemas 1924 de propulsión, sistemas 1926 eléctricos, sistemas 1928 hidráulicos, y sistemas 1930 ambientales. Puede incluirse cualquier número de sistemas adicionales. Aunque se muestra un ejemplo en la industria aeroespacial, los principios dados a conocer en el presente documento pueden aplicarse a otras industrias, tales como la industria de la automoción. Por consiguiente, además de a la aeronave 1902, los principios dados a conocer en el presente documento pueden aplicarse a otros vehículos, por ejemplo, vehículos terrestres, vehículos marinos, vehículos espaciales, etc. En diversas realizaciones, pueden usarse ejemplos de la presente divulgación junto con el fuselaje 1918.

El/los aparato(s) y método(s) mostrado(s) o descrito(s) en el presente documento puede(n) emplearse durante cualquiera o más de las etapas del método 1900 de fabricación y mantenimiento. Por ejemplo, los componentes o

5 subconjuntos correspondientes a la fabricación 1908 de componentes y subconjuntos pueden realizarse o fabricarse de una manera similar a los componentes o subconjuntos producidos cuando la aeronave 1902 está en servicio. Asimismo, uno o más ejemplos del/de los aparato(s), método(s), o combinación de los mismos puede(n) utilizarse durante las etapas 1908 y 1910 de producción, por ejemplo, acelerando sustancialmente el ensamblado de o reduciendo el coste de la aeronave 1902. De manera similar, pueden utilizarse uno o más ejemplos de las realizaciones del aparato o método, o una combinación de las mismas, por ejemplo y sin limitación, cuando la aeronave 1902 está en servicio, por ejemplo, la etapa de labores de mantenimiento (bloque 1916).

10 Diferentes ejemplos del/de los aparato(s) y método(s) dado(s) a conocer en el presente documento incluyen una variedad de componentes, características, y funcionalidades. Debe comprenderse que los diversos ejemplos del/de los aparato(s) y método(s) dado(s) a conocer en el presente documento pueden incluir cualquiera de los componentes, características, y funcionalidades de cualquiera de los otros ejemplos del/de los aparato(s) y método(s) dado(s) a conocer en el presente documento en cualquier combinación, y todas estas posibilidades están destinadas a encontrarse dentro del espíritu y alcance de la presente divulgación.

15 Aunque pueden usarse diversos términos espaciales y de dirección, tales como arriba, abajo, inferior, intermedio, lateral, horizontal, vertical, frontal y similares para describir realizaciones de la presente divulgación, se comprende que tales términos simplemente se usan con respecto a las orientaciones mostradas en los dibujos. Las orientaciones pueden invertirse, rotarse, o cambiarse de otro modo, de manera que una parte superior sea una parte inferior, y viceversa, horizontal se vuelve vertical, y similares.

20 Debe observarse que la disposición particular de los componentes (por ejemplo, el número, tipos, colocación, o similares) de las realizaciones ilustradas puede modificarse en diversas realizaciones alternativas. Por ejemplo, en diversas realizaciones, pueden emplearse diferentes números de un componente dado, puede emplearse un tipo o tipos diferente(s) de un componente dado, un número de componentes (o aspectos del mismo) pueden combinarse, un componente dado puede dividirse en varios componentes, uno o más aspectos de uno o más componentes pueden compartirse entre componentes, puede añadirse un componente dado, o puede omitirse un componente dado.

25 Tal como se usa en el presente documento, una estructura, limitación, o elemento que está "configurado para" realizar una tarea u operación se forma, construye o adapta estructuralmente de manera particular de una manera que corresponde a la tarea u operación. Por motivos de claridad y para evitar dudas, un objeto que simplemente es capaz de modificarse para realizar la tarea u operación no se considera que está "configurado para" realizar la tarea u operación tal como se usa en el presente documento. En su lugar, el uso de "configurado para" tal como se usa en el presente documento denota adaptaciones o características estructurales, y denota requisitos estructurales de cualquier estructura, limitación, o elemento que se describe como que está "configurado para" realizar la tarea u operación.

30 Según otro aspecto, se proporciona un método para formar una estructura compuesta de matriz metálica (MMC), comprendiendo el método: formar un conjunto que incluye al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor; sujetar mediante abrazaderas el conjunto para al menos uno de llevar al menos dos bloques uno hacia el otro o mantener los al menos dos bloques en una posición predeterminada; hacer pasar un pasador de agitación-fricción rotatorio a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal hasta el borde trasero, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se extiende al menos la anchura del conjunto, en el que el paso del pasador de agitación-fricción dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto.

35 El método también comprende soportar el pasador de agitación-fricción en extremos opuestos a medida que se hace pasar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la superficie de contacto.

40 Opcionalmente, el método comprende, además, accionar el pasador de agitación-fricción en los extremos opuestos a medida que se hace pasar el pasador de agitación-fricción por sí solo por la superficie de contacto.

Opcionalmente, formar el conjunto comprende disponer el material de segunda fase dentro de una cavidad de al menos uno de los al menos dos bloques.

45 Opcionalmente, los al menos dos bloques comprenden al menos tres bloques que definen dos superficies de contacto.

Opcionalmente, los al menos tres bloques comprenden tres bloques comprendidos por diferentes metales uno con respecto a otro.

50 Opcionalmente, el material de segunda fase comprende un primer material de segunda fase dispuesto en una primera superficie de contacto y un segundo material de segunda fase dispuesto en una segunda superficie de contacto.

Opcionalmente, el material de primera fase comprende aluminio.

Opcionalmente, el material de segunda fase comprende un polvo de cerámica.

5 Según otro aspecto, se proporciona un conjunto de agitación-fricción que comprende: una primera platina y una segunda platina configuradas para retener un conjunto, incluyendo el conjunto al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor; mandriles primero y segundo dispuestos en lados opuestos de la anchura del conjunto y configurados para pasar a lo largo de la longitud del conjunto; y un pasador de agitación-fricción que tiene extremos primero y segundo soportados en los mandriles primero y segundo, respectivamente, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se extiende al menos por la anchura del conjunto, en el que el paso del pasador de agitación-fricción dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda esos al menos dos bloques en conjunto.

Opcionalmente, los mandriles primero y segundo se configuran para accionar los extremos primero y segundo del pasador de agitación-fricción, respectivamente.

15 Opcionalmente, el pasador de agitación-fricción tiene un diámetro entre el 25% y el 85% del grosor del conjunto.

Opcionalmente, el pasador de agitación-fricción tiene un diámetro entre 1/3 and 1/2 del grosor del conjunto.

Opcionalmente, el conjunto de agitación-fricción comprende varios pasadores de agitación-fricción dispuestos a lo largo del grosor del conjunto.

Opcionalmente, al menos dos de los pasadores de agitación-fricción se accionan de manera independiente.

20 Según otro aspecto, se proporciona una estructura soldada de agitación-fricción formada por: formar un conjunto que incluye al menos dos bloques de un material de primera fase que comparten una superficie de contacto en la que se dispone un material de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud que se extiende desde un borde frontal hasta un borde trasero, una anchura que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor; sujetar mediante abrazaderas el conjunto para al menos uno de llevar al menos dos bloques uno hacia el otro o mantener los al menos dos bloques en una posición predeterminada; y hacer pasar un pasador de agitación-fricción rotatorio a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal hasta el borde trasero, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud de mezclado que se extiende por al menos la anchura del conjunto, en el que el paso del pasador de agitación-fricción dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto para formar la estructura.

25 30 Opcionalmente, los al menos dos bloques comprenden al menos tres bloques que definen dos superficies de contacto, en el que los al menos tres bloques comprenden tres bloques comprendidos por diferentes metales uno con respecto a otro.

Opcionalmente, los al menos dos bloques comprenden al menos tres bloques que definen dos superficies de contacto, en el que el material de segunda fase comprende un primer material de segunda fase dispuesto en una primera superficie de contacto y un segundo material de segunda fase dispuesto en una segunda superficie de contacto.

35 Opcionalmente, el material de primera fase comprende aluminio.

Opcionalmente, el material de segunda fase comprende un polvo de cerámica.

40 Esta descripción escrita usa ejemplos para dar a conocer las diversas realizaciones, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica lleve a la práctica las diversas realizaciones, incluyendo la realización y uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El alcance de patentabilidad de las diversas realizaciones se define por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que resulten evidentes para los expertos en la técnica. Tales ejemplos adicionales están destinados a encontrarse dentro del alcance de las reivindicaciones si los ejemplos tienen elementos estructurales que no se diferencian del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si los ejemplos incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Método (100) para formar una estructura (800) compuesta de matriz metálica (MMC), comprendiendo el método:  
 formar (102) un conjunto (200) que incluye al menos dos bloques (210, 220) de un material (211) de primera fase que comparten una superficie (202) de contacto en la que se dispone un material (231) de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud (L) que se extiende desde un borde (204) frontal hasta un borde (206) trasero, una anchura (W) que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor (T);  
 sujetar (106) mediante abrazaderas el conjunto a al menos una de las dos platinas (510, 520) de una prensa que lleva los al menos dos bloques uno hacia otro o mantiene los al menos dos bloques en una posición predeterminada; y  
 hacer pasar (108) un pasador (600) de agitación-fricción rotatorio a lo largo de la superficie de contacto desde el borde frontal hasta el borde trasero, en el que el pasador (600) de agitación-fricción se soporta en extremos opuestos a medida que se hace pasar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la superficie (202) de contacto, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud (622) de mezclado que se extiende al menos por la anchura del conjunto, en el que mediante dicho paso del pasador de agitación-fricción se dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto.
2. Método (100) según la reivindicación 1, que comprende, además, accionar el pasador (600) de agitación-fricción en los extremos opuestos a medida que se hace pasar el pasador de agitación-fricción a lo largo de la superficie (202) de contacto.
3. Método (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que formar (102) el conjunto (200) comprende disponer el material (231) de segunda fase dentro de una cavidad (410) de al menos uno de los al menos dos bloques (210, 220).
4. Método (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los al menos dos bloques (210, 220) comprenden al menos tres bloques (910, 920, 940) que definen dos superficies (941, 951) de contacto.
5. Método (100) según la reivindicación 4, en el que los al menos tres bloques (910, 920, 940) comprenden tres bloques comprendidos por diferentes metales uno con respecto a otro.
6. Método (100) según la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que el material (231) de segunda fase comprende un primer material de segunda fase dispuesto en una primera superficie (941) de contacto y un segundo material de segunda fase dispuesto en una segunda superficie (951) de contacto.
7. Método (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el material (211) de primera fase comprende aluminio.
8. Método (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el material (231) de segunda fase comprende un polvo de cerámica.
9. Conjunto (1000) de agitación-fricción que comprende:  
 una primera platina (1010) y una segunda platina (1020) configuradas para retener un conjunto (200), incluyendo el conjunto al menos dos bloques (210, 220) de un material (211) de primera fase que comparten una superficie (202) de contacto en la que se dispone un material (231) de segunda fase, teniendo el conjunto una longitud (L) que se extiende desde un borde (204) frontal hasta un borde (206) trasero, una anchura (W) que se extiende en perpendicular a la longitud, y un grosor (T);  
 mandriles (1040) y (1030) primero y segundo dispuestos en lados opuestos de la anchura del conjunto y configurados para pasar a lo largo de la longitud del conjunto; y  
 un pasador (1050) de agitación-fricción que tiene extremos (1052) y (1054) primero y segundo soportados en los mandriles primero y segundo, respectivamente, en el que el pasador de agitación-fricción tiene una longitud (1056) de mezclado que se extiende al menos por la anchura del conjunto, en el que al hacer pasar el pasador de agitación-fricción a través de la superficie de contacto el pasador de agitación-fricción dispersa el material de segunda fase en el material de primera fase y suelda los al menos dos bloques en conjunto.
10. Conjunto (1000) de agitación-fricción según la reivindicación 9, en el que los mandriles (1030) y (1040) primero y segundo se configuran para accionar los extremos (1050) y (1052) primero y segundo del pasador (1050) de agitación-fricción, respectivamente.
11. Conjunto (1000) de agitación-fricción según cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que el pasador (1050) de agitación-fricción tiene un diámetro entre el 25% y el 85% del grosor del conjunto (200).
12. Conjunto (1000) de agitación-fricción según cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que el pasador (1050)

de agitación-fricción tiene un diámetro entre  $1/3$  y  $1/2$  del grosor del conjunto (200).

13. Conjunto (1000) de agitación-fricción según cualquiera de las reivindicaciones 9-12, que comprende varios pasadores (1050) de agitación-fricción dispuestos a lo largo del grosor (T) del conjunto (200).

5 14. Conjunto (1000) de agitación-fricción según la reivindicación 13, en el que al menos dos de los pasadores (1050) de agitación-fricción se accionan de manera independiente.

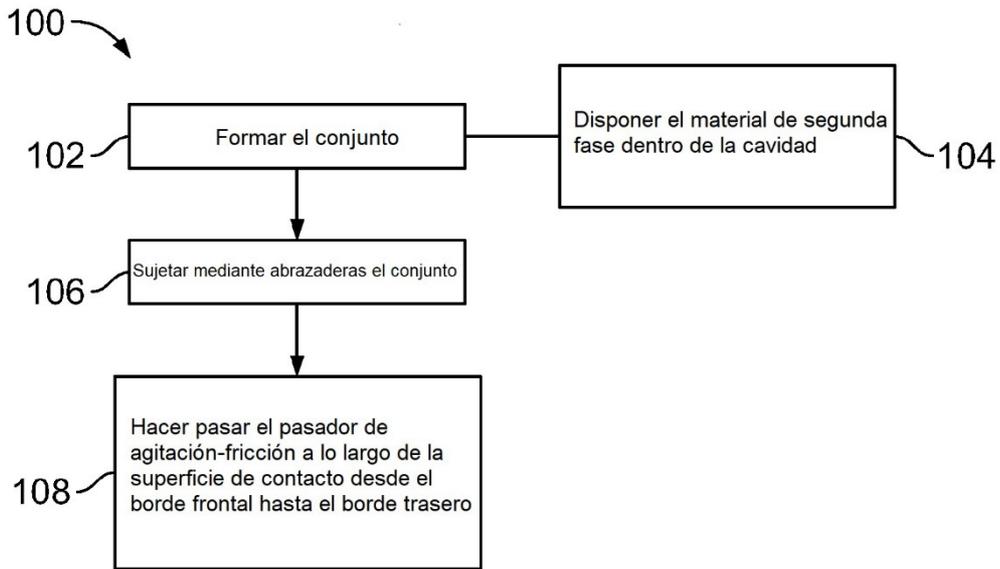


FIG. 1

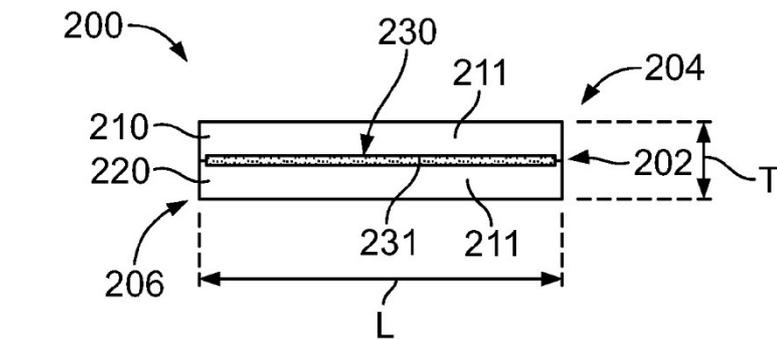


FIG. 2

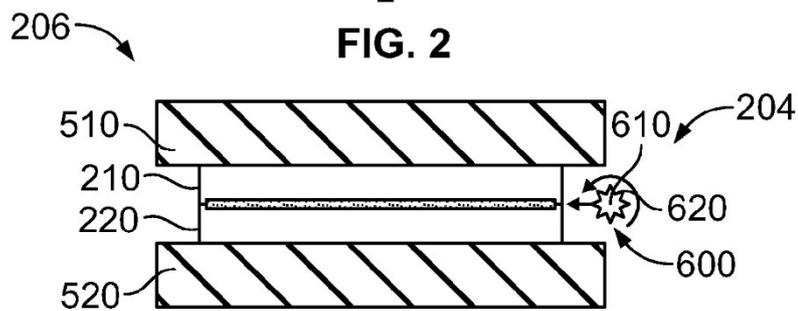


FIG. 5

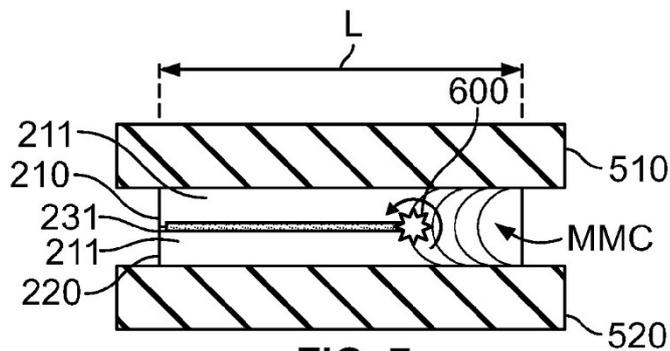


FIG. 7

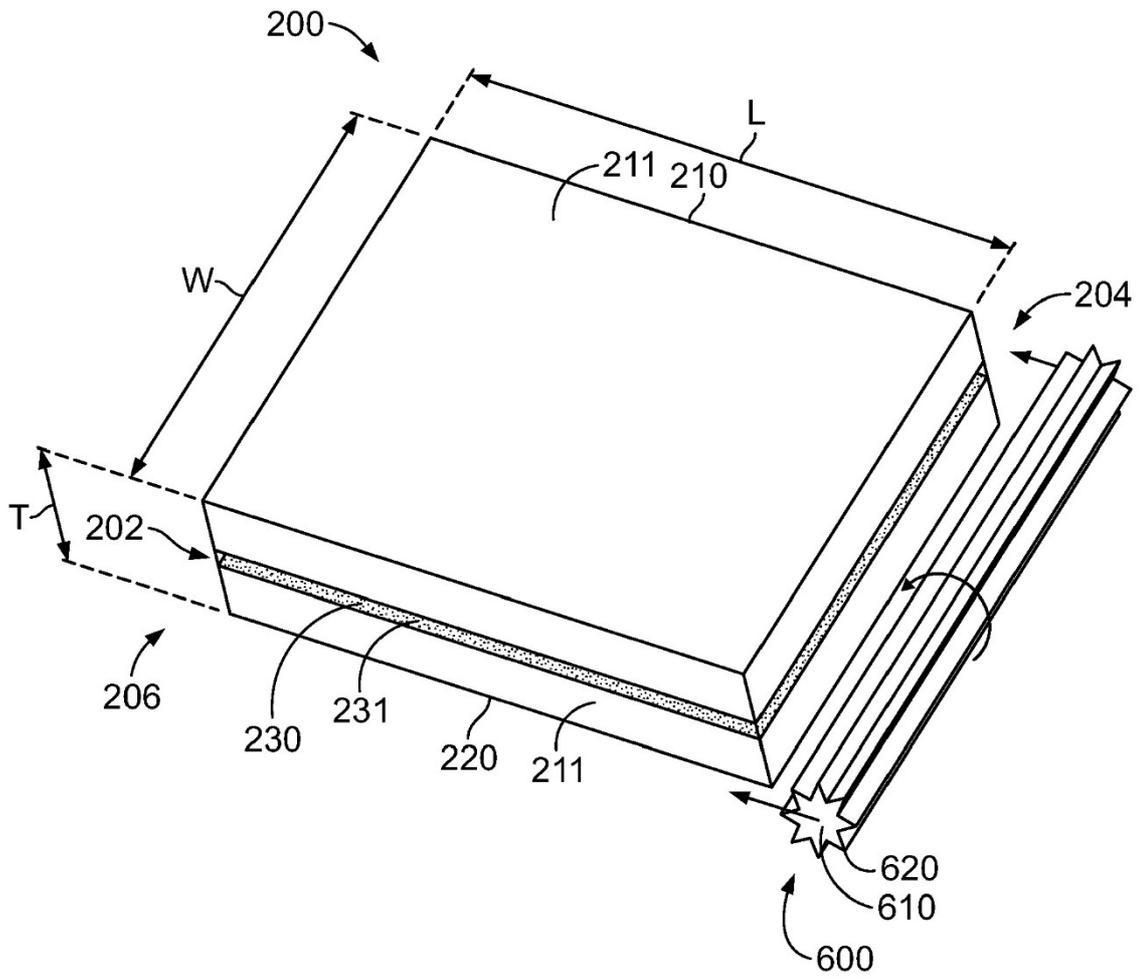


FIG. 3

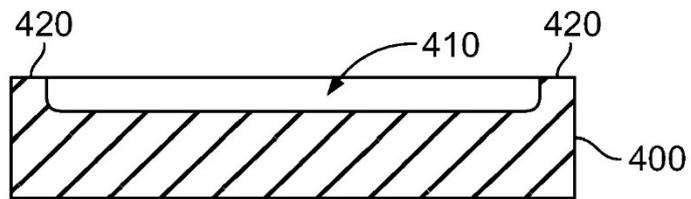


FIG. 4

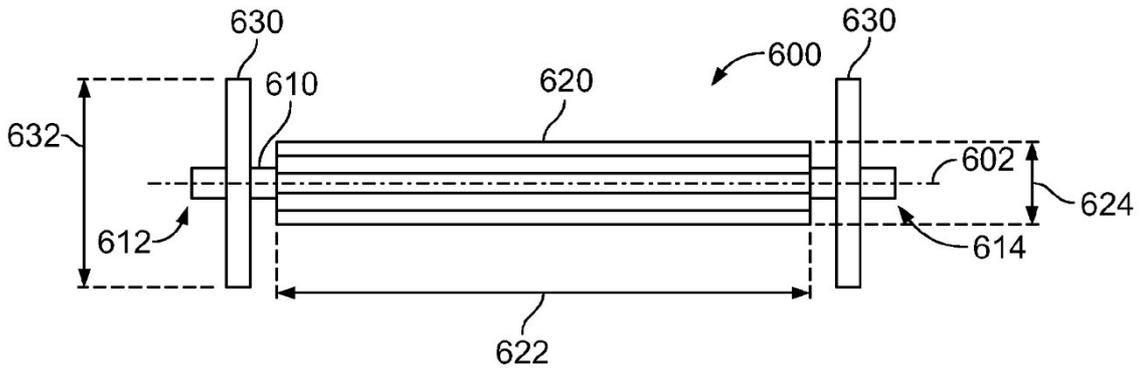


FIG. 6

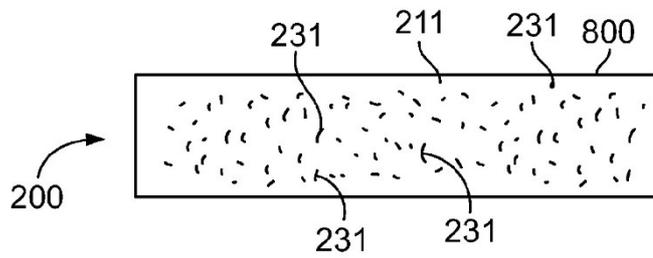


FIG. 8

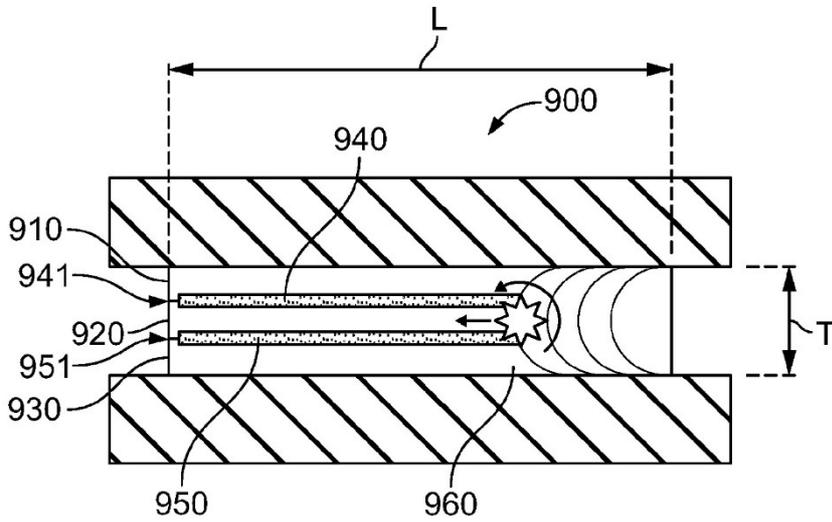


FIG. 9

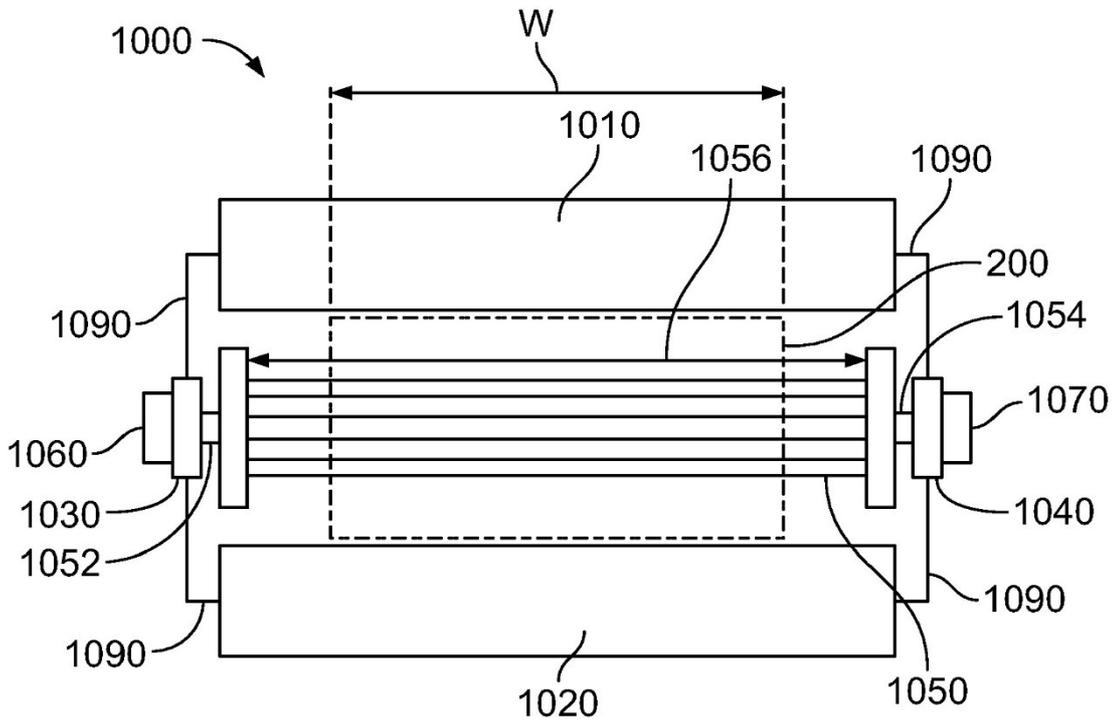


FIG. 10

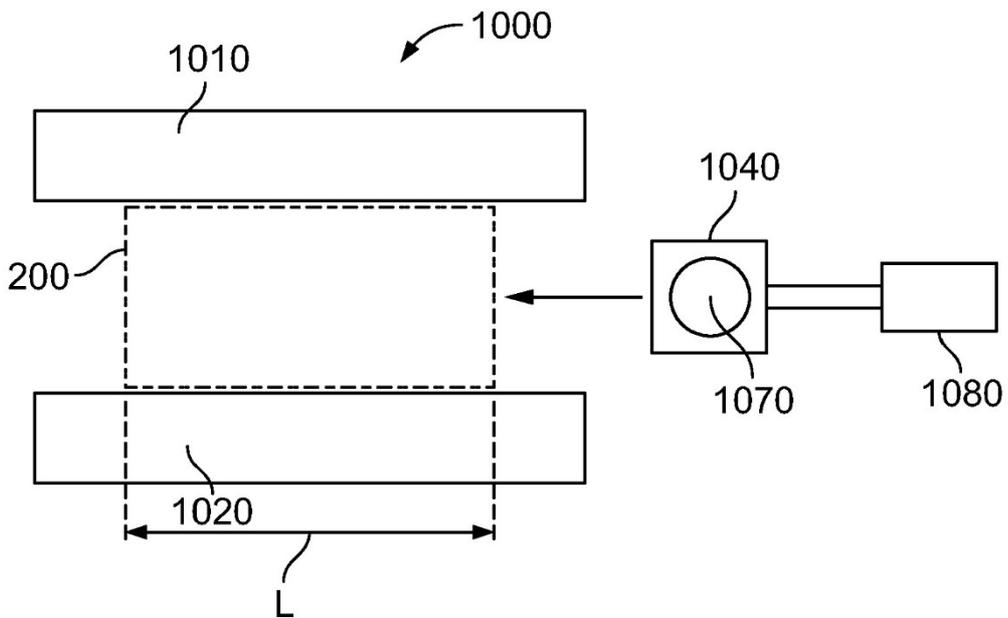
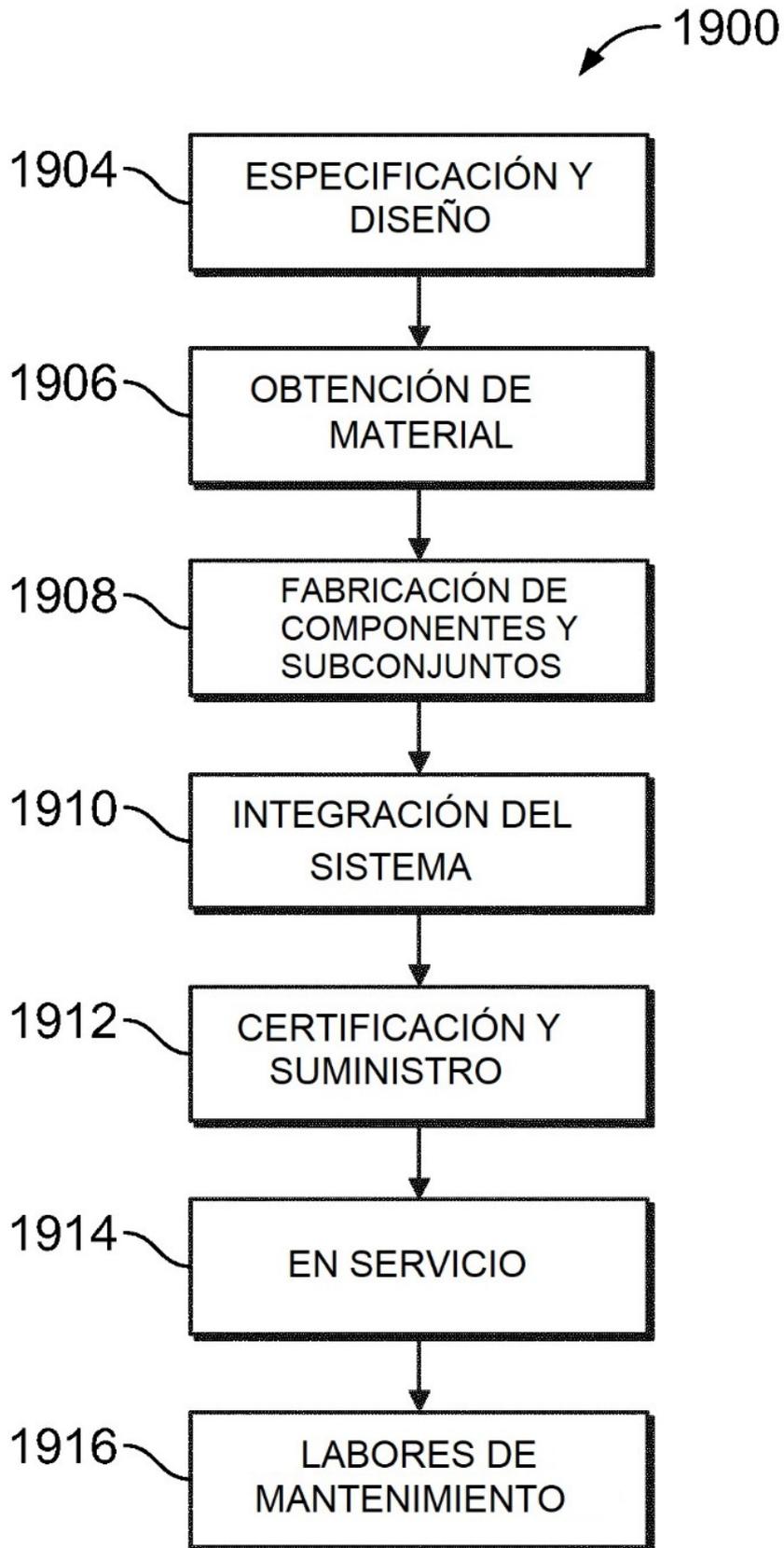


FIG. 11



**FIG. 12**

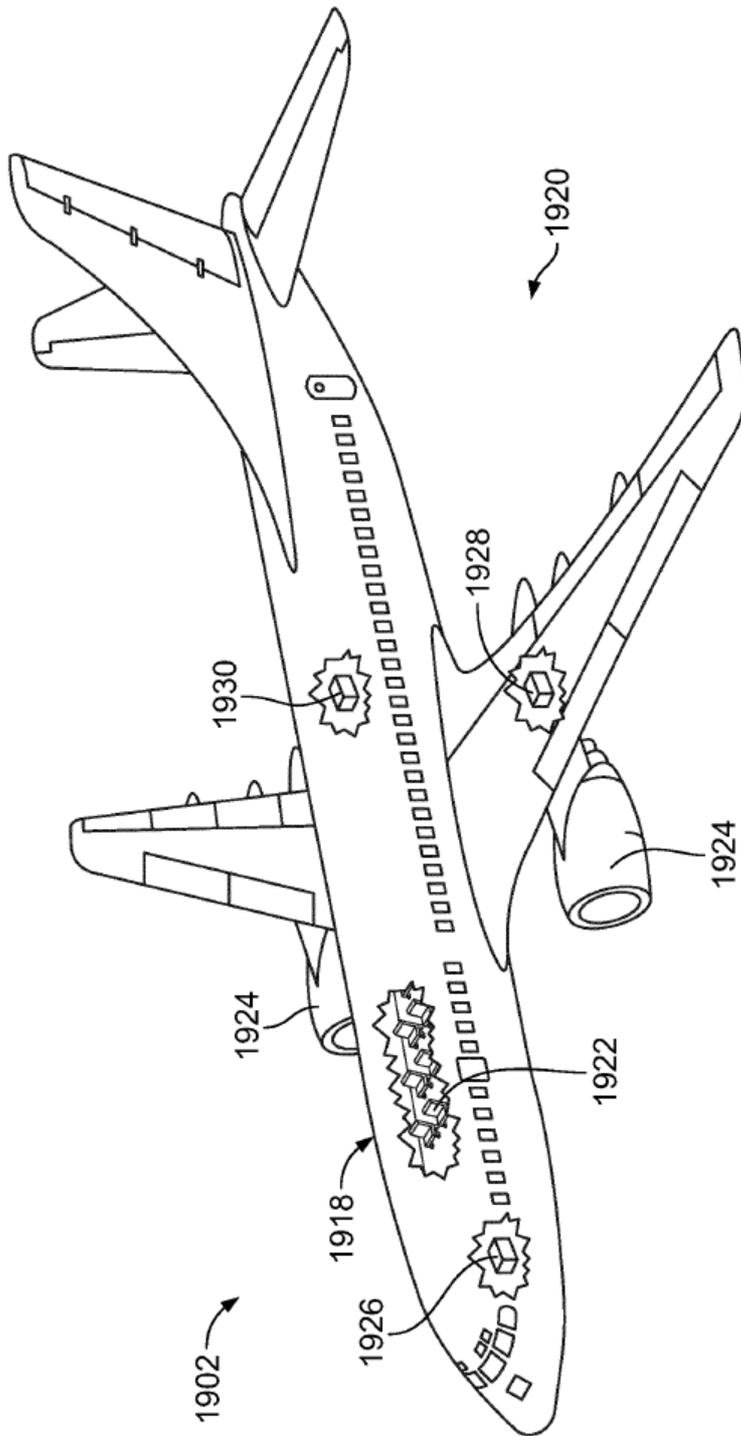


FIG. 13