

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 932 506**

51 Int. Cl.:

<b>B29C 65/20</b>	(2006.01) <b>B29L 31/30</b>	(2006.01)
<b>B29C 65/32</b>	(2006.01) <b>B29L 7/00</b>	(2006.01)
<b>B29C 65/22</b>	(2006.01) <b>B29L 9/00</b>	(2006.01)
<b>B29C 65/72</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/08</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/10</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/14</b>	(2006.01)	
<b>B29C 70/30</b>	(2006.01)	
<b>B29K 101/12</b>	(2006.01)	
<b>B29K 105/06</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2019 PCT/FR2019/051775**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2020 WO20016514**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2019 E 19753164 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2022 EP 3823818**

54 Título: **Procedimiento de soldadura de piezas de material termoplástico**

30 Prioridad:

**16.07.2018 FR 1856537**  
**17.05.2019 FR 1905222**  
**17.05.2019 FR 1905223**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.01.2023**

73 Titular/es:

**ARKEMA FRANCE (50.0%)**  
**420, rue d'Estienne d'Orves**  
**92700 Colombes, FR y**  
**INSTITUT DE SOUDURE (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GLOTIN, MICHEL;**  
**CAUCHOIS, JEAN-PIERRE;**  
**PHILIPPE, AURÉLIEN y**  
**KLEIN, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 932 506 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

Procedimiento de soldadura de piezas de material termoplástico

**Área técnica**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de soldadura por inducción, así como a una instalación para llevar a cabo este procedimiento.

**Antecedentes técnicos**

Los materiales de composite que comprenden fibras de refuerzo, por ejemplo, fibras de carbono y/o fibras de vidrio, dispersas en una matriz de polímero termoplástico tienen muchos usos posibles, entre ellos, en el campo de la aeronáutica, la fabricación de fuselajes de aviones.

10 La dispersión de las fibras en una matriz de polímero termoplástico confiere propiedades especiales a las piezas rígidas de composite, especialmente en términos de resistencia al agrietamiento, resistencia a la fatiga y reciclabilidad.

15 Las piezas de materiales de composite suelen estar compuestas por varios pliegos (o capas) superpuestos y laminados, y las fibras de cada pliego tienen una dirección principal que suele ser diferente de la dirección principal de las fibras de las capas adyacentes. Estos pliegos (o capas) también se denominan "productos semi-acabados", que pueden obtenerse, por ejemplo, impregnando con resina fibras continuas generalmente unidireccionales. Existen varios procedimientos de fabricación, en los que la resina puede estar fundida, disuelta en un disolvente, en forma de polvo, en un lecho fluidizado, o dispersas en una suspensión acuosa. A continuación, si es necesario, las fibras impregnadas se liberan del disolvente o del agua y se calientan antes de fundir la resina retenida y formar el producto. Alternativamente, la resina termoplástica puede proporcionarse en el seno de las fibras de refuerzo mezclando íntimamente (co-mezclando) las fibras de refuerzo con las fibras termoplásticas que se funden para formar la resina que rodea las fibras de refuerzo. También se pueden obtener productos semi-acabados impregnando un tejido fibroso o un conjunto de hilos unidireccionales cosidos (NCF o "Non-Crimp-Fabrics") con un polvo de polímero que, una vez fundido, constituirá la matriz del composite. El producto semi-acabado se caracteriza por una distribución homogénea de la resina (entonces llamada matriz) alrededor de las fibras de refuerzo.

20 Para algunas aplicaciones, puede ser necesario combinar varias piezas de composite, por ejemplo, en el caso del fuselaje de un avión, un panel de la superficie, rigidizadores y bastidores.

30 Estas piezas de composite pueden unirse mediante soldadura, en particular mediante la tecnología de inducción. Este procedimiento consiste en utilizar un inductor que emite un campo magnético. Este campo magnético hace que la temperatura de los materiales sensibles a la inducción aumente hasta una temperatura adecuada para soldar polímeros termoplásticos.

En la actualidad, la soldadura por inducción de piezas de composite implica o bien el calentamiento directo de los materiales de composite a unir, o bien el calentamiento de un inserto reactivo de campo magnético intrusivo (o susceptor) (normalmente de material metálico), previamente depositado en la interfaz a unir.

35 Sin embargo, un procedimiento basado en el calentamiento directo de las fibras de carbono de las piezas de composite a unir presenta las siguientes desventajas:

- su aplicación requiere que las fibras de carbono sean continuas y tengan orientaciones o superposiciones favorables a la creación de bucles de corriente en el material;
- 40 • este procedimiento no permite, por lo general, que el calentamiento se localice únicamente en la interfaz; esto suele provocar un calentamiento de toda la pieza de composite que, si no se corrige con enfriadores adecuados, puede provocar un riesgo de descompactación que puede llevar a la deslaminación de las capas de la pieza de composite;
- 45 • el calor generado también puede producirse en las zonas adyacentes al cordón de soldadura; estas zonas, al no estar sometidas a presiones de compactación, pueden sufrir los mismos efectos negativos que los mencionados anteriormente;
- por lo general, es necesario añadir a la interfaz de soldadura un material sensible a la inducción, como una película termoplástica que contenga cargas o estructuras conductoras o ferroeléctricas; la adición de dichas películas hace muy difícil la certificación de las piezas soldadas para aplicaciones aeronáuticas;
- 50 • no es posible utilizar la técnica de soldadura por inducción cuando las fibras de refuerzo del material composite no son conductoras o ferromagnéticas (por ejemplo, fibras de vidrio, fibras de aramida, etc.);

- este procedimiento es sensible a la naturaleza, a la configuración (es decir, al plano de sustentación) y al grosor de las piezas a soldar;
- este procedimiento, aplicado a la soldadura de piezas de composite carbono, no garantiza los parámetros de soldadura en las zonas de inicio y final de la soldadura y, por tanto, la homogeneidad de la unión soldada mediante esta tecnología dinámica.

5

Para superar estos problemas, se han propuesto diferentes estrategias.

Por ejemplo, el documento WO 2013/110270 describe un procedimiento de soldadura por inducción en el que una unidad de refrigeración sigue al inductor para que la superficie de la pieza de composite que se enfrenta al inductor se enfríe y no se funda.

10 El documento EP 1849581 se refiere a un dispositivo de soldadura por inducción para fijar una moldura de plástico a la periferia de una pieza tubular compuesta por al menos una capa metálica y una capa de resina termoplástica, comprendiendo el dispositivo un elemento de alta permeabilidad magnética que canaliza las líneas del campo magnético.

15 Como se ha mencionado anteriormente, otra solución comúnmente utilizada es introducir un susceptor hecho de un material más sensible a la inducción que el carbono, por ejemplo una rejilla metálica, en la interfaz de las partes a soldar. Adaptando la intensidad del campo magnético emitido, el calentamiento puede localizarse a nivel del susceptor y, por tanto, en la interfaz de las piezas a soldar.

20 Por ejemplo el documento EP 2907651 describe un procedimiento de soldadura por inducción en el que un conjunto de dos piezas a soldar y un absorbedor de campo (o susceptor) colocado en la interfaz de las piezas se somete a un campo magnético mediante un inductor con una incidencia determinada.

El documento EP 2150393 describe un procedimiento de soldadura por inducción en el que dos piezas se colocan en un molde para su acoplamiento, comprendiendo al menos una superficie de contacto entre las piezas un medio de acoplamiento activado térmicamente y un componente sensible a la inducción.

25 El documento WO 2012/158293 describe un procedimiento de soldadura por inducción en el que se coloca un susceptor entre dos piezas de composite y luego se genera un campo magnético paralelo al susceptor.

El documento EP 0720908 describe un procedimiento de soldadura de termoplásticos en el que se coloca un susceptor en la interfaz de las dos piezas de resina a soldar.

El documento US 5.753.068 se refiere a un aparato de soldadura de termoplásticos para soldar piezas de composite que comprende un susceptor conductor en la interfaz a soldar.

30 El documento US 5.902.935 discute un procedimiento de evaluación de la integridad y resistencia de una soldadura termoplástica que tiene un susceptor incorporado en ella.

El documento US 6.323.468 describe un aparato de soldadura por inducción para unir dos componentes generando un campo magnético que calienta un susceptor colocado entre los dos componentes a soldar.

35 El documento WO 2008/087194 describe un procedimiento de soldadura por inducción de un material termoplástico a un material de composite que comprende una matriz termoestable reforzada con fibras, en el que preferentemente se coloca un material conductor en la interfaz de los materiales a soldar y se calienta por inducción.

El documento US 4.978.825 describe un procedimiento de soldadura por inducción de un conjunto que comprende dos piezas entre las que se encuentra un susceptor que se calienta por inducción, estando el inductor incorporado dentro de un rodillo de presión.

40 El documento WO 2015/140270 se refiere a un procedimiento para la soldadura termoplástica de dos piezas de material de composite termoplástico. Se colocan insertos metálicos entre las dos superficies de las piezas a soldar para que se generen corrientes inducidas productoras de calor en estos insertos, estando el conjunto a soldar encerrado en un recinto estanco en el que se aplica un vacío parcial.

45 El documento US 4.175.998 A se refiere a las soldaduras para el aislamiento de espuma termoplástica colocado en espiral alrededor de una estructura.

Sin embargo, el uso de un susceptor puede dar lugar a una soldadura no homogénea y tiene la desventaja de introducir un tercer cuerpo indeseable en la junta de soldadura. La presencia de un tercer cuerpo en la interfaz de las piezas soldadas puede impedir o restringir el uso de las piezas soldadas en el ámbito de la aeronáutica. El documento FR 2488828 se refiere a un procedimiento de soldadura de láminas de material termoplástico, correspondientes a láminas flexibles, que son capaces de formar pequeñas ondulaciones a modo de falso pliegue. Este procedimiento consiste en la colocación de las dos láminas a soldar de forma que sus bordes adyacentes se

50

superpongan, el desplazamiento de una cuña caliente entre los bordes superpuestos, el suministro de una cantidad de material termoplástico y la presión de los bordes superpuestos mientras se dejan enfriar. El documento FR 2488828 no describe la soldadura de piezas rígidas.

5 Por lo tanto, existe una necesidad real de proporcionar un procedimiento de unión eficiente, de buen rendimiento y rápido para las piezas basadas en materiales termoplásticos, en particular las piezas rígidas basadas en materiales termoplásticos, evitando los inconvenientes mencionados anteriormente.

También existe una necesidad real de proporcionar un procedimiento de unión eficiente, de buen rendimiento, rápido y dinámico para unir piezas basadas en materiales termoplásticos mediante el calentamiento localizado en la interfaz.

10 Existe una necesidad real de proporcionar un procedimiento de unión de piezas por calentamiento. En particular, existe una necesidad real de proporcionar un procedimiento eficaz de unión de piezas por calentamiento, sin añadir material, sin deformación, sin delaminación y sin descompactar las piezas a soldar.

### **Sumario de la invención**

15 La invención se refiere, en primer lugar, a un procedimiento de soldadura de al menos dos piezas, en particular dos piezas rígidas, que comprenden un material termoplástico y que tienen superficies respectivas a soldar, que comprende:

- insertar un inserto entre las superficies a soldar de las dos piezas, teniendo dicho inserto (4) un grosor de 5 mm o menos;
- el suministro de calor por parte de dicho inserto;

20 en el que el inserto se desplaza con respecto a las piezas a soldar durante la soldadura, a lo largo de una dirección de soldadura; caracterizado porque el inserto comprende un material sensible a la inducción, y el calor del inserto es proporcionado por la generación de un campo magnético por al menos un inductor.

En algunas realizaciones, el inserto y el inductor se desplazan juntos en relación con las piezas a soldar durante la soldadura, a lo largo de la dirección de soldadura.

25 En algunas realizaciones, el procedimiento comprende además poner en contacto las superficies a soldar de las dos piezas aplicando presión en al menos una de las dos piezas aguas arriba y/o aguas abajo de la posición del inserto en relación con la dirección de la soldadura.

30 En algunas realizaciones, el procedimiento comprende además una etapa de enfriamiento de las superficies libres de las piezas a soldar, en particular aplicando un bloque de control térmico en al menos una de las dos piezas detrás de la posición del inserto con respecto a la dirección de soldadura, y delante del o de los elementos de aplicación de presión, si están presentes.

En algunas realizaciones, el inserto está en contacto con cada una de las superficies a soldar de las dos piezas.

En algunas realizaciones, el inserto no está en contacto con al menos una de las superficies a soldar de las dos piezas.

35 En algunas realizaciones, el procedimiento comprende además mover, junto con el movimiento del inserto, un espaciador entre las superficies a soldar de las dos piezas, estando el espaciador posicionado delante del inserto en el sentido de la dirección de la soldadura.

En algunas realizaciones, al menos una de las dos piezas, preferiblemente ambas, está hecha de un material de composite que comprende fibras de refuerzo en una matriz de material termoplástico.

40 En algunas realizaciones, las fibras de refuerzo son fibras de carbono y/o fibras de vidrio, o cualquier otra naturaleza de fibra que pueda reforzar o funcionalizar un polímero.

En algunas realizaciones, al menos una de las dos piezas, preferiblemente ambas, está compuesta esencialmente, o constituida por el material termoplástico.

45 En algunas realizaciones, el material termoplástico se selecciona del grupo de las poliamidas, las poliimidas, en particular las polieterimidas, las poliaril éter cetonas, en particular las cetonas de poliéter cetonas y las poliéter éter cetonas, el tereftalato de polietileno, las poliolefinas, en particular el polipropileno el sulfuro de polifenileno, las polisulfonas, los polímeros clorados, en particular el cloruro de polivinilo (PVC) y el fluoruro de polivinilideno (PVDF), los polímeros acrílicos o metacrílicos, y es preferentemente una poliaril éter cetona como la poliéter cetona o la poliéter éter cetona.

50 En algunas realizaciones, al menos una de las dos piezas, preferiblemente ambas, es una estructura multicapa.

En algunas realizaciones, la capa que comprende la superficie a soldar de al menos una de las dos piezas, preferiblemente ambas piezas:

- comprende un material termoplástico con un punto de fusión más bajo que el material termoplástico de las otras capas de las piezas; y/o
- 5
- comprende un material termoplástico de menor viscosidad que el material termoplástico de las otras capas de las piezas; y/o
  - comprende una cantidad en volumen de material termoplástico mayor que las otras capas de las piezas; y/o
  - comprende un material de refuerzo de alta densidad de reticulación, preferentemente un tejido de carbono; y/o
  - comprende una capa fibrosa unidireccional orientada en la dirección de la soldadura.

- 10 En algunas realizaciones, el procedimiento no incluye una etapa de adición de material termoplástico adicional, particularmente en la interfaz de las superficies a soldar.

- 15 En algunas realizaciones, el inserto comprende un material metálico sensible a la inducción. Opcionalmente, el inserto está cubierto, total o parcialmente, con un revestimiento funcional que proporciona, por ejemplo, propiedades anticorrosivas (material anticorrosión) o que facilita el deslizamiento del inserto entre las dos piezas (material que facilita el deslizamiento del inserto entre las dos piezas).

En algunas realizaciones, el inserto está hecho de un material ferromagnético que tiene una temperatura de Curie  $T_c$ , que puede facilitar el control del procedimiento.

En algunas realizaciones, el procedimiento comprende además la formación de un cordón (o menisco) de material termoplástico en el extremo de la interfaz de soldadura.

- 20 En algunas realizaciones, las piezas son partes del fuselaje de la aeronave.

La invención también se refiere a una instalación para soldar al menos dos piezas, en particular dos piezas rígidas, que comprenden un material termoplástico y que tienen superficies respectivas a soldar, que comprende:

- un soporte para llevar las dos piezas a soldar;
  - un brazo con un inserto calefactor en su extremo, configurado para ser insertado entre las superficies a soldar de las dos piezas;
- 25

el inserto, que tiene un grosor de 5 mm o menos, está configurado para desplazarse con respecto a las piezas a soldar durante la soldadura, a lo largo de una dirección de soldadura; caracterizada porque la instalación comprende un dispositivo para generar calor de dicho inserto por inducción, siendo dicho dispositivo generador de calor al menos un inductor, y comprendiendo dicho inserto un material sensible a la inducción.

- 30 En algunas realizaciones, el inserto y el inductor están configurados para desplazarse juntos en relación con las piezas a soldar durante la soldadura, a lo largo de la dirección de soldadura.

En algunas realizaciones, el brazo que tiene el inserto en su extremo es integral con el inductor.

En algunas realizaciones, la instalación comprende además uno o más rodillos de compactación y/o uno o más rodillos de presión.

- 35 En algunas realizaciones, el sistema comprende además al menos un bloque de control térmico.

En algunas realizaciones, los rodillos de compactación y/o los rodillos de presión están integrados en el inductor.

En algunas realizaciones, el uno o más rodillos de compactación están configurados para vibrar a una frecuencia adecuada. Esta vibración está adaptada para optimizar los fenómenos de interpenetración necesarios para obtener una soldadura de alto rendimiento.

- 40 En algunas realizaciones, la instalación comprende un recinto de temperatura controlada, que preferentemente comprende un faldón flexible.

En algunas realizaciones, el inserto es una placa con un grosor de 5 mm o menos, preferiblemente de 0,3 a 5 mm, muy preferiblemente de 0,3 a 3 mm, más preferiblemente de 0,5 a 1,5 mm.

- 45 En algunas realizaciones, el inserto comprende un material metálico sensible a la inducción, y está opcionalmente cubierto, en su totalidad o en parte, con un revestimiento funcional que proporciona, por ejemplo, la propiedad de

anticorrosión (material anticorrosivo) o facilita el deslizamiento del inserto entre las dos piezas (material que facilita el deslizamiento entre las dos piezas).

En algunas realizaciones, la instalación comprende además un segundo brazo que tiene en su extremo un elemento espaciador, posiblemente integrado en el inserto.

5 En algunas realizaciones, el soporte está configurado para ser calentado.

La presente invención supera las desventajas de la técnica anterior. Más concretamente, proporciona un procedimiento para el ensamblaje eficiente, de buen rendimiento y rápido de piezas basadas en materiales termoplásticos, en particular piezas rígidas basadas en materiales termoplásticos. En particular, el procedimiento de la invención no requiere la inserción permanente de un tercer cuerpo en la junta soldada, al tiempo que permite un calentamiento localizado preferentemente en la interfaz de las piezas a soldar. La localización del calentamiento en la zona de interfaz a soldar limita los efectos térmicos en los demás pliegues de la pieza de composite y evita así cualquier alteración de la calidad de las piezas a unir por delaminación y/o descompactación. Generalmente, la calidad de las piezas individuales antes del ensamblaje ha sido comprobada y validada, por lo que es muy interesante disponer de una tecnología de soldadura que no comprometa la calidad de las piezas, como es el caso de la presente invención.

Esto se logra mediante el uso de un inserto que proporcionará calor y se desplaza en relación con las piezas a soldar en la dirección de la soldadura. El calor se genera por inducción. Por ejemplo, el campo magnético creado por el inductor produce efectos que se concentran en el inserto, dando lugar a un calentamiento localizado en el mismo. El inserto se desplaza con respecto a las piezas a soldar en la dirección de la soldadura y, por tanto, no está integrado en el conjunto final.

Además, la invención también tiene una o preferiblemente varias de las siguientes ventajas:

- el procedimiento según la invención permite la soldadura de piezas rígidas;
- el procedimiento según la invención permite soldar todo tipo de materiales termoplásticos, incluidos los materiales que no incluyen elementos conductores (como las fibras de carbono u otras fibras o cargas conductoras);
- el procedimiento puede permitir el uso de una potencia de inducción reducida en comparación con los procedimientos basados en el calentamiento del carbono contenido en las piezas de composite a soldar;
- el procedimiento puede proporcionar un mejor control de la temperatura de soldadura;
- el procedimiento puede utilizarse para soldar piezas grandes y/o con una geometría compleja, como una doble curvatura;
- el procedimiento puede permitir una cierta tolerancia con respecto a la complementariedad que deben tener las superficies a soldar;
- el procedimiento permite reducir el consumo de energía y material, ya que el calentamiento se localiza en las superficies a soldar por un material más sensible a la inducción que los materiales de las piezas a soldar;
- en combinación con, por ejemplo, la elección de un material optimizado para uno de los pliegues de las piezas a soldar (es decir, uno de los pliegues de la interfaz de soldadura), el procedimiento según la invención puede permitir la formación de cordones (o meniscos) en el extremo de la interfaz de soldadura, limitando así los efectos relacionados con los daños y los fracturas incipientes

#### **Breve descripción de las figuras**

40 La **Fig. 1** muestra una vista esquemática en perspectiva de una instalación de soldadura por inducción según la presente invención.

La **Fig. 2** muestra una vista esquemática en sección de una instalación de soldadura por inducción según la presente invención.

La **Fig. 3** muestra una sección ampliada del área A de la Fig. 2.

45 La **Fig. 4** muestra una sección ampliada del área B de la Fig. 2.

La **Fig. 5** muestra una vista esquemática de dos piezas soldadas según una realización del procedimiento según la invención.

La **Fig. 6** muestra una vista esquemática de dos piezas soldadas según una realización del procedimiento según la invención.

La **Fig. 7** muestra una vista en sección de un inserto de "efecto resorte" en un primer estado de compresión según una realización del procedimiento según la invención.

5 La **Fig. 8** muestra una vista en sección del inserto de "efecto resorte" según la Fig. 7 en un segundo estado de compresión según una realización del procedimiento según la invención.

La **Fig. 9** muestra una vista en sección de un inserto de "efecto resorte" en un primer estado de compresión según una realización del procedimiento según la invención.

10 La **Fig. 10** muestra una vista en sección del inserto de "efecto resorte" según la Fig. 9 en un segundo estado de compresión según una realización del procedimiento según la invención.

La **Fig. 11** muestra una vista en sección de un inserto y de las placas a soldar según una realización del procedimiento según la invención.

15 La **Fig. 12** muestra una vista esquemática en perspectiva de una realización de la instalación según la invención, que comprende dos rodillos de compactación situados a ambos lados de las piezas a soldar según una realización del procedimiento según la invención.

La **Fig. 13** muestra una vista esquemática en perspectiva de un desplazamiento relativo rectilíneo de dos inductores con respecto a la dirección de soldadura.

La **Fig. 14** muestra una vista esquemática en perspectiva de un desplazamiento relativo sinusoidal de un inductor con respecto a la dirección de soldadura.

20 La **Fig. 15** muestra una vista esquemática en perspectiva de un desplazamiento relativo rectilíneo de cuatro inductores con respecto a la dirección de soldadura, que permite una soldadura superficial.

La **Fig. 16** muestra una vista esquemática en perspectiva de un inserto en forma de "U" según una realización de un procedimiento de soldadura resistiva (no según la invención).

25 La **Fig. 17** muestra una vista esquemática en perspectiva de un inserto según una realización de un procedimiento de soldadura resistiva (no según la invención).

La **Fig. 18** muestra una vista esquemática en perspectiva de un inserto según una realización de un procedimiento de soldadura resistiva (no según la invención).

### **Descripción detallada**

La invención se describe ahora con más detalle y no de forma limitativa en la siguiente descripción.

30 Se entiende por una "pieza rígida" una pieza que no se deforma o se deforma sólo ligeramente bajo su propio peso. La rigidez de la pieza puede caracterizarse mediante una prueba de deformación de una muestra de la pieza a soldar. La prueba de deformación consiste en la preparación de una muestra cortada de la porción de la pieza a probar que tiene el menor grosor (si el grosor es variable), dicha muestra tiene una longitud de 12 cm, una anchura de 1 cm. La rigidez se evalúa colocando y centrando la muestra en dos soportes separados por 10 cm. En  
35 condiciones estándar de temperatura y presión, la muestra tiene una flecha máxima en su centro de 1 cm, lo que corresponde a una deformación relativa máxima con respecto a la longitud del 10%.

Se entiende por una "pieza a soldar" una pieza que comprende un material termoplástico. La pieza puede ser una pieza con una estructura de un solo bloque (pieza de una sola capa) o una pieza con una estructura multicapa (pieza de varias capas).

40 Se entiende por "material de composite" un material que comprende fibras de refuerzo en una matriz de material termoplástico. Se entiende por "material no-composite" un material sin fibras de refuerzo.

Los términos "material de composite", "capa de composite", "pliegue" y "producto semi-acabado" se utilizan indistintamente. Los productos semi-acabados pueden ser impregnados (o "cintas") en forma de una red de fibras en una matriz de resina. Las fibras de refuerzo tienen preferentemente una orientación esencialmente unidireccional en  
45 los productos semi-acabados. Los productos semi-acabados también pueden ser tejidos fibrosos o bandas de hilos de refuerzo unidireccionales cosidos, también conocidos como NCF (*Non-Crimp Fabrics*) impregnados de polímeros. Los productos semi-acabados también pueden ser productos que comprenden polímero termoplástico no reforzado con fibras continuas de refuerzo, formulados o no con diversas cargas.

50 Se entiende por "pieza compactada" una pieza compuesta por al menos dos capas superpuestas, laminadas juntas y compactadas.

Se entiende por "pieza depositada" una pieza compuesta por al menos dos capas superpuestas laminadas juntas, sin compactación por medio de un equipo de aplicación de presión como un autoclave o una prensa.

Se entiende por "producto de soldadura" un producto que comprende al menos dos piezas, tal como se ha definido anteriormente, soldadas entre sí según el procedimiento de la presente invención.

- 5 Salvo que se indique lo contrario, todos los porcentajes de las cantidades indicadas son porcentajes en volumen.

Los procedimientos de soldadura pueden incluir la inserción de un inserto que proporcione calor. El calor puede generarse por inducción (invención), por efecto resistivo, por vibración, por fricción, por ultrasonido, por uso de un láser, por un flujo de gas caliente o por conducción desde una fuente de calor externa. Según la presente invención, el calor se genera por inducción.

- 10 Con referencia a las figuras 1 a 4, la instalación 1 está destinada a realizar un procedimiento de soldadura por inducción de dos piezas rígidas 2, 3, cada una de las cuales comprende un material termoplástico y tiene superficies respectivas a soldar 10, 11 y superficies libres respectivas 17, 18. Sin embargo, la invención no se limita a la soldadura de dos piezas y podría aplicarse a la soldadura de más de dos piezas, por ejemplo, la soldadura de una pieza con una primera y una segunda pieza, por ejemplo, yuxtapuestas.

- 15 En particular, las piezas 2,3 pueden ser rígidas en el sentido de que no se deforman o se deforman sólo ligeramente bajo su propio peso. Su rigidez puede caracterizarse mediante un ensayo de deformación de una muestra de la pieza a soldar. La prueba de deformación consiste en la preparación de una muestra cortada de la porción de la pieza a probar que tiene el menor grosor (si es de grosor variable), teniendo dicha pieza de ensayo una longitud de 20 12 cm y una anchura de 1 cm. La rigidez se evalúa colocando y centrando la muestra en dos soportes separados por 10 cm. En condiciones estándar de temperatura y presión, la muestra tiene una flecha máxima en su centro de 1 cm, lo que corresponde a una deformación relativa máxima con respecto a la longitud del 10%.

En particular, las piezas 2,3 son también rígidas bajo las condiciones térmicas de la operación de soldadura, es decir, son rígidas antes, durante y después de la soldadura.

- 25 Las piezas 2, 3 pueden comprender diferentes materiales termoplásticos compatibles entre sí, o el mismo material termoplástico. Por "materiales termoplásticos compatibles" se entiende los materiales termoplásticos miscibles, es decir, los polímeros cuya mezcla tiene una temperatura de transición vítrea intermedia a la de los polímeros. Ejemplos de materiales termoplásticos adecuados para la invención son las poliamidas, las polisulfonas, el polisulfuro de fenileno (PPS), las poliimidas, en particular las polieterimidas (PEI), las poliaril éter cetonas (PAEK), en particular las poliéter cetonas cetonas (PEKK) y las poliéter éter cetonas (PEEK), el tereftalato de polietileno, las poliolefinas como el polipropileno, los polímeros clorados como el cloruro de polivinilo (PVC) y el fluoruro de polivinilideno (PVDF), los polímeros acrílicos o metacrílicos. El material termoplástico puede ser amorfo, cristalino o semicristalino.

- 30 Las poliamidas pueden ser, en particular, poliftalamida (PPA), PA 11, PA 12, PA 6, PA 1010, PA 66, PA 46 o una copoliamida.

- 35 También puede ser una combinación de varios de los materiales anteriores.

Ventajosamente, las piezas 2, 3 comprenden PPS, PEI o PAEK, como PEEK o PEKK, como material termoplástico.

Las piezas 2, 3 pueden comprender cargas (incluyendo fibras de refuerzo) y/o aditivos funcionales. Los aditivos funcionales pueden incluir tensioactivos, estabilizadores UV, estabilizadores térmicos, agentes biocidas, modificadores de impacto y/o agentes de expansión.

- 40 Las cargas pueden comprender fibras o cargas no fibrosas. Las cargas no fibrosas pueden incluir cargas minerales como alúmina, sílice, carbonato de calcio, dióxido de titanio, perlas de vidrio, negro de humo, grafito, grafeno y nanotubos de carbono.

Las cargas fibrosas pueden ser las llamadas fibras cortadas o las fibras de refuerzo continuas.

- 45 En particular, las piezas 2, 3 pueden estar hechas independientemente de material de composite, dicho material de composite comprende fibras de refuerzo en una matriz de material termoplástico. Las fibras de refuerzo se utilizan para dar rigidez a las piezas.

- 50 Las fibras de refuerzo pueden ser, entre otras, fibras de vidrio, fibras de cuarzo, fibras de carbono, fibras de grafito, fibras de basalto, fibras de sílice, fibras metálicas como fibras de acero, fibras de aluminio o fibras de boro, fibras cerámicas como las fibras de carburo de silicio o de boro, fibras vegetales naturales, fibras orgánicas sintéticas como las fibras de aramida o las fibras de poli(p-fenileno-benzobisoxazol), más conocidas como PBO, o fibras PAEK, o mezclas de dichas fibras. Preferentemente, se trata de fibras de carbono o de vidrio, especialmente de fibras de carbono.

- 5 Ejemplos de materiales de composite son: fibras de carbono en una matriz de PEKK, fibras de vidrio en una matriz de PEKK, fibras de carbono en una matriz de poliamida, por ejemplo de PA11, PA12, PA6 o PA1010, fibras de vidrio en una matriz de poliamida, por ejemplo de PA11, PA12, PA6 o PA1010, fibras de carbono en una matriz de polipropileno, fibras de vidrio en una matriz de polipropileno, fibras de carbono en una matriz de tereftalato de polietileno, fibras de vidrio en una matriz de tereftalato de polietileno, fibras de carbono en una matriz de PEEK, fibras de vidrio en una matriz de PEEK, fibras de carbono en una matriz de PEI, fibras de vidrio en una matriz de PEI, fibras de carbono en una matriz de PPS, fibras de vidrio en una matriz de PPS
- 10 Las piezas 2, 3 pueden comprender independientemente del 25 al 80% en volumen, preferiblemente del 45 al 70% en volumen, de fibras de refuerzo, por ejemplo, fibras de carbono y/o fibras de vidrio, basándose en el volumen total de la parte. En particular, las piezas 2, 3 pueden comprender independientemente fibras de refuerzo en una cantidad del 25-30% en volumen, o del 30-35% en volumen, o del 35-40% en volumen, o del 40-45% en volumen, o del 45-50% en volumen, o del 50-55% en volumen, o del 55-60% en volumen, o del 60-65% en volumen, o del 65-70% en volumen, o del 70-75% en volumen, o del 75-80% en volumen, basándose en el volumen total de la parte. La dispersión de las fibras de refuerzo a un nivel de volumen suficientemente alto permite dar rigidez a las piezas a soldar, o a las capas que las componen.
- 15 Las piezas 2, 3 pueden comprender una cantidad de matriz del material termoplástico que oscila entre el 20% y el 75% en volumen, preferiblemente entre el 30% y el 55% en volumen, basado en el volumen total de la pieza. En las realizaciones, las piezas 2, 3 comprenden una cantidad de matriz del material termoplástico del 20% al 25% en volumen, o del 25% al 30% en volumen, o del 30% al 35% en volumen, o del 35% al 40% en volumen, o del 40% al 45% en volumen, o del 45% al 50% en volumen, o del 50% al 55% en volumen, o del 55% al 60% en volumen, o del 60% al 65% en volumen, o del 65% al 70% en volumen, o del 70% al 75% en volumen, basándose en el volumen total de la pieza.
- 20 En algunas realizaciones, las piezas 2, 3 pueden estar independientemente constituidas esencialmente en, o consistir en, el material termoplástico. Las piezas 2, 3 pueden estar hechas independientemente de un material sin elementos de refuerzo, por ejemplo fibras de refuerzo (especialmente fibras de carbono y fibras de vidrio).
- 25 Por "*consistente esencialmente en el material termoplástico*" se entiende que la pieza contiene únicamente el material termoplástico y posiblemente aditivo(s) funcional(es); en particular, la pieza puede comprender al menos el 90% en volumen del material termoplástico, preferiblemente al menos el 95%, o al menos el 98%, o al menos el 99%, por ejemplo aproximadamente el 100%.
- 30 Las piezas 2, 3 pueden estar independientemente libres de cualquier material conductor de electricidad.
- Las piezas 2, 3 también pueden comprender independientemente de 0 a 30% en volumen de cargas y/o aditivos funcionales, como se ha descrito anteriormente.
- Las piezas 2, 3 pueden ser independientemente estructuras de un solo bloque, o alternativamente, estructuras multicapa.
- 35 Cuando al menos una de las piezas 2, 3 es una estructura multicapa, las capas pueden ser diferentes entre sí o idénticas.
- Las características mencionadas anteriormente en relación con las piezas también se aplican a las capas individualmente.
- 40 Preferiblemente, la pieza 2, 3 comprende (o consiste en) varias capas de composite (o "productos semi-acabados") como se ha descrito anteriormente. La pieza 2, 3 puede ser una pieza compactada o una pieza depositada.
- El número de capas de composite en la pieza 2, 3 puede así variar de 2 a 150, preferentemente de 4 a 40, más preferentemente de 6 a 30, idealmente de 7 a 25.
- 45 Aparte de las piezas 2, 3, no se añade ningún otro material termoplástico durante el procedimiento de soldadura. En particular, no se añade ningún otro material termoplástico a la interfaz de las superficies a soldar 10,11 ni aguas arriba ni aguas abajo del inserto 4. La unión de soldadura entre las dos piezas soldadas 2,3 se forma así por las matrices de material termoplástico de las propias piezas, en particular por interpenetración.
- 50 El producto de la soldadura tiene un rendimiento mecánico satisfactorio en la unión. Este comportamiento mecánico en la unión puede evaluarse, por ejemplo, midiendo un esfuerzo de cizallamiento a la rotura. Un esfuerzo de cizallamiento a la rotura es un esfuerzo mecánico aplicado en paralelo a la superficie del producto de la soldadura que hace que el material falle en la interfaz de la soldadura. Por ejemplo, según una técnica conocida de acuerdo con las normas prEN 6060 o ISO4587, se pueden prever ranuras perpendiculares a la dirección de soldadura en cada una de las dos superficies del producto de soldadura, y localizar la fuerza de cizallamiento así generada en la interfaz de soldadura. El esfuerzo de cizallamiento es la fuerza necesaria para romper el material de soldadura en la superficie de trabajo.

## ES 2 932 506 T3

- Preferiblemente, las fibras de refuerzo tienen una orientación sustancialmente unidireccional en cada capa de composite. Preferiblemente, la orientación unidireccional de las fibras de refuerzo difiere de una capa a otra. Aún más preferentemente, dos capas adyacentes tienen orientaciones unidireccionales de las fibras de refuerzo que están sustancialmente en un ángulo de unos 90° entre sí; o sustancialmente en un ángulo de unos 45° entre sí.
- 5 Alternativamente, las fibras de refuerzo en al menos una de las capas de composite, y en particular en cada una de las capas de composite, pueden tener varias direcciones.
- El material termoplástico puede ser el mismo o diferente de capa a capa en una pieza multicapa 2, 3. Preferiblemente, el material termoplástico es de la misma naturaleza (por ejemplo, PEKK o PEEK o PPS) en todas las capas de la pieza 2, 3. Opcionalmente, puede tener un grado diferente de una capa a otra, por ejemplo, una viscosidad diferente, un peso molecular diferente o una temperatura de fusión diferente. Alternativamente, el grado del material termoplástico es el mismo en todas las capas.
- 10 En algunas realizaciones, cuando al menos una de las piezas 2, 3 es una estructura multicapa, la capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 (también referida en esta descripción como la "primera capa") comprende un material termoplástico que tiene una temperatura de fusión inferior a la temperatura de fusión del material o materiales termoplásticos de la otra capa o capas de la pieza 2, 3. La temperatura de fusión del material termoplástico de la primera capa puede ser de 10 a 100°C, preferiblemente de 20 a 60°C, más preferiblemente de 35 a 50°C, inferior a la temperatura de fusión del material o materiales termoplásticos de las otras capas de la pieza 2, 3.
- 15 La capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 también puede comprender un material termoplástico que tenga una viscosidad inferior a la de los materiales termoplásticos de las otras capas de la pieza 2, 3.
- A modo de ejemplo, para los materiales termoplásticos seleccionados entre las poliéter cetona cetonas (PEKK), la viscosidad del material termoplástico de la primera capa puede ser inferior a la viscosidad del material o materiales termoplásticos de la otra o las otras capas de la pieza 2, 3, de 3 a 30 cm<sup>3</sup>/10 min, preferiblemente de 5 a 20 cm<sup>3</sup>/10 min, más preferiblemente de 7 a 15 cm<sup>3</sup>/10 min. Las viscosidades indicadas son valores de viscosidad en estado fundido MVI ("Melt Volume Index") o MVR ("Melt Volume Rate") medidos según las normas ISO/FDIS/1133\_1 e ISO/FDIS/1133\_2. La medición se realiza a 380°C, bajo una masa de 1kg. Los productos se secan antes de la medición del MVI.
- 25 La capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 también puede comprender una cantidad de volumen mayor de material termoplástico que las otras capas de la pieza 2, 3 o una cantidad en volumen menor de fibras de refuerzo que las otras capas de la pieza 2, 3. La cantidad en volumen de material termoplástico de la primera capa puede variar del 30 al 100%, preferiblemente del 45 al 80%, más preferiblemente del 55 al 70%, con respecto a la cantidad en volumen total de dicha capa de la pieza 2, 3. La capa con la superficie a soldar, que está enriquecida con resina en comparación con las otras capas de la pieza 2,3, se orienta preferentemente a 0° con respecto a la dirección de soldadura.
- 30 De este modo, las piezas 2, 3 pueden, por ejemplo, tener un alto grado de refuerzo de fibras en sus partes exteriores, conservando al mismo tiempo el contenido de material termoplástico necesario para una buena soldadura en las superficies a soldar.
- La presencia de una capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 con una menor viscosidad y/o una mayor cantidad en volumen de material termoplástico facilita la soldadura y/o la hace más eficiente, y puede en particular permitir la formación de un cordón (o menisco) de material termoplástico en la interfaz de soldadura.
- 40 La capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 también puede comprender un material de refuerzo de alta densidad de reticulación, como un tejido de carbono.
- La capa que comprende la superficie a soldar 10, 11 también puede comprender, como material termoplástico, una mezcla de dos o más especies termoplásticas (por ejemplo, una mezcla de una polieterimida y una PAEK), mientras que las otras capas de la pieza 2, 3 comprenden como material termoplástico una sola especie termoplástica.
- 45 Las piezas 2, 3 pueden tener independientemente un grosor constante o pueden tener un grosor variable, por ejemplo variando con la dirección de soldadura D.
- Una ventaja del procedimiento de soldadura por inducción según la invención es que es relativamente insensible a la distancia entre el inductor y las superficies 10, 11 a soldar de las piezas 2, 3.
- 50 La instalación 1 comprende un soporte para soportar las piezas 2, 3 a soldar (no mostrado en la figura 1). El soporte también puede sostener las piezas 2, 3 durante las operaciones de soldadura, por ejemplo, por medio de una pinza. Este soporte tiene preferentemente una superficie plana destinada a soportar las piezas 2, 3, pero también puede tener cualquier forma posible.
- Ventajosamente, en particular en el caso de materiales térmicamente conductores como un composite reforzado con carbono, puede ser útil precalentar la zona a soldar a una temperatura que debe permanecer por debajo de la
- 55

5 temperatura de fusión de todos los materiales constitutivos de las estructuras a soldar, utilizando cualquier medio adecuado, también es posible calentar el soporte. Por ejemplo, y particularmente para un PAEK, la temperatura puede ser de 40-150°C, preferiblemente de 50-120°C, muy preferiblemente de 70-90°C por debajo de la temperatura de fusión. El precalentamiento limita la diferencia de temperatura entre la interfaz soldada y el resto de las piezas 2,3 y, por lo tanto, limita el flujo de calor de la interfaz a las piezas 2,3. El calentamiento también permite controlar mejor la cristalización de los materiales, especialmente en la zona de la soldadura. El calentamiento puede ser local, cerca y en línea con las zonas a soldar.

10 Ventajosamente, en particular en el caso de materiales térmicamente conductores como un composite reforzado con carbono, también puede ser útil mantener el calentamiento de la zona soldada a una temperatura que debe permanecer por debajo de la temperatura de fusión de todos los materiales constituyentes de las estructuras a soldar, utilizando cualquier medio adecuado, como lámparas de infrarrojos o un chorro de aire caliente. Mantener el calentamiento también permite controlar mejor la temperatura de la interfaz soldada. El calentamiento también permite controlar mejor la cristalización de los materiales, especialmente en la zona de la soldadura. El calentamiento puede ser local, cerca y en línea con la zona soldada.

15 La instalación 1 comprende un inserto 4. El inserto 4 es un inserto calefactor, en el sentido de que es capaz de proporcionar calor. El calor puede ser suministrado por cualquier medio adecuado, incluyendo por inducción, por efecto resistivo, por vibración, por fricción, por ultrasonidos, por láser, por un flujo de gas caliente o por conducción desde una fuente de calor externa. Según la presente invención, el calor se suministra por inducción.

20 Para la soldadura por inducción según la invención, el inserto comprende un material que comprende un material sensible a la inducción, y el calor del inserto es generado por la generación de un campo magnético por al menos un inductor (5).

25 Por "*material sensible a la inducción*" se entiende un material capaz de calentarse cuando se somete a un campo magnético, al menos en determinadas condiciones. En particular, puede ser un material susceptible o absorbente de campos magnéticos. Preferentemente, el inserto 4 comprende un material más sensible a la inducción que los materiales que componen las piezas 2, 3 (incluida la fibra de carbono en su caso).

Preferiblemente, el material sensible a la inducción es un material metálico sensible a la inducción. El material metálico puede seleccionarse, por ejemplo, del grupo que consiste en hierro, acero (por ejemplo, acero inoxidable), aluminio, níquel-cromo, titanio o una combinación de ellos.

30 El inserto 4 puede comprender, como material sensible a la inducción, o consistir en un material ferromagnético que tenga una temperatura de Curie  $T_c$ . Esto permite controlar mejor la temperatura a la que se calienta el inserto 4 durante el procedimiento de soldadura. En efecto, cuando la temperatura del material ferromagnético es inferior a  $T_c$ , este material tiene un comportamiento ferromagnético y será sensible a la inducción. Cuando la temperatura del material alcanza la temperatura de Curie  $T_c$ , el material se vuelve paramagnético y su sensibilidad a la inducción se modifica, por lo que la temperatura del material puede mantenerse a la temperatura  $T_c$ .

35 El inserto 4, en particular cuando comprende un material ferromagnético como material sensible a la inducción, puede estar recubierto, total o parcialmente, de un revestimiento funcional que proporcione, por ejemplo, la propiedad de anticorrosión (material anticorrosivo) o que facilite el deslizamiento del inserto entre las dos piezas (material que facilita el deslizamiento del inserto 4 entre las piezas 2, 3).

40 Para la soldadura resistiva (no según la invención), el inserto 4 comprende un material eléctricamente conductor, y el calor del inserto se genera por el efecto resistivo (o efecto Joule). El efecto resistivo se genera al aplicar una corriente eléctrica. El inserto puede estar cubierto, total o parcialmente, con un material aislante.

El inserto 4 puede tener una forma adecuada para el calentamiento por efecto resistivo. En la figura 16 se muestra un inserto en forma de "U" 47 en el extremo de dos brazos 81 y 82. En la figura 17 se muestra un inserto 48 en el extremo de dos brazos 83 y 84.

45 El material conductor resistivo puede seleccionarse entre aleaciones de níquel, aleaciones de plomo, aleaciones de titanio, aleaciones de manganeso, aleaciones de níquel-cromo, aleaciones de hierro-cromo-aluminio y aleaciones de níquel-cobre.

50 El inserto 4 puede comprender diferentes zonas que comprenden diferentes materiales, a fin de ubicar la zona de calentamiento en las superficies a soldar. Estos materiales pueden unirse, por ejemplo, mediante soldadura fuerte. Del mismo modo, como se muestra en la figura 18, el inserto puede comprender, por ejemplo, una serie de zonas resistivas 49 montadas en paralelo para homogeneizar la temperatura a lo largo del inserto.

Para la soldadura con láser (no según la invención), el inserto 4 puede ser calentado directamente por al menos un láser. Alternativamente, el inserto 4 puede comprender una red de fibras ópticas para dirigir la energía de calentamiento del láser a las superficies a soldar.

Para la soldadura por flujo de gas caliente (no según la invención), el inserto 4 puede ser calentado directamente por el flujo de gas caliente, por ejemplo por contacto. Alternativamente, el inserto 4 puede comprender al menos un canal para la circulación del flujo de gas caliente en el inserto.

5 Para la soldadura por conducción (no según la invención), el inserto 4 puede ser calentado por cualquier fuente de calor externa adecuada.

10 El inserto 4 es ventajosamente una placa. El inserto 4 tiene un grosor de 5 mm o menos, preferiblemente de 0,3 a 5 mm; muy preferiblemente de 0,3 a 3 mm, más preferiblemente de 0,5 a 1,5 mm, incluso más preferiblemente de 0,5 a 1 mm. Según algunas realizaciones, el inserto 4 tiene un grosor de 0,1 o menos, o de 0,1 a 0,2 mm, o de 0,2 a 0,3 mm, o de 0,3 a 0,5 mm, o de 0,5 a 1 mm, o de 1 a 1,5 mm, o de 1,5 a 2 mm, o de 2 a 2,5 mm, o de 2,5 a 3 mm, o de 3 a 3,5 mm, o de 3,5 a 4 mm, o de 4 a 4,5 mm, o de 4,5 a 5 mm. Por "grosor" se entiende la dimensión entre las superficies del inserto 4 en contacto con las superficies a soldar. Si las superficies del inserto 4 no son planas y paralelas entre sí, el grosor es la dimensión máxima entre estas dos superficies. Estos grosores garantizan la rigidez del inserto, una buena transferencia de calor y una baja deformación mecánica de las piezas rígidas 2, 3 al pasar el inserto 4 y permiten soldar piezas rígidas. En efecto, para que la soldadura entre las dos piezas a soldar sea eficaz, la temperatura de las superficies a soldar, que forman la interfaz de soldadura, debe ser superior a la temperatura de fusión del polímero termoplástico en el momento en que la zona a soldar es presurizada por el o los rodillos compactadores 6. Como se muestra en la figura 11, es preferible limitar la distancia "d" entre el extremo del inserto 4 y el punto de contacto de las superficies a soldar de las piezas 2, 3. Se trata de limitar el grosor del inserto 4 para no forzar una o las piezas a soldar 2, 3 más allá de su límite elástico. Así, el grosor del inserto 4 debe ser miniaturizado, adaptado y optimizado en consecuencia, teniendo en cuenta la rigidez de las piezas a soldar 2, 3, y suelen tener un grosor de 5 mm o menos.

15 El inserto 4 puede tener dimensiones (por ejemplo, longitud, anchura, grosor), forma y/o propiedades (por ejemplo, efecto de resorte) adaptadas a las piezas a soldar y al procedimiento de soldadura (por ejemplo, velocidad de desplazamiento).

25 El inserto 4 puede tener una anchura (perpendicular a la dirección de soldadura) al menos igual a la anchura de la zona de solapamiento de las piezas a soldar 2, 3.

30 Alternativamente, el inserto 4 puede tener una anchura menor que la anchura del área de solapamiento de las piezas a soldar 2, 3, formando así una soldadura sólo sobre una parte de la anchura del área de solapamiento. El inserto 4 puede ser plano, es decir, sus dos superficies son planas. Las superficies planas pueden ser paralelas entre sí (ángulo cero). Para optimizar el calentamiento de las superficies a soldar en contacto con el inserto 4, las superficies del inserto 4 pueden formar un ángulo no nulo, teniendo una forma biselada, por ejemplo un inserto con un bisel plano o un inserto con un bisel no plano. Las superficies del inserto pueden tener geometrías específicas adaptadas al perfil de las piezas 2, 3 a soldar. El inserto puede tener una forma óptima para promover la transferencia de calor a través del contacto con los sustratos, como se muestra en la figura 11. Por ejemplo, la geometría del susceptible puede diseñarse para adaptarse a las distancias variables entre los sustratos.

35 En otras realizaciones, el inserto 4 puede tener cualquier otra forma adecuada, en particular una forma no plana. La utilización de este inserto, con una geometría especial, permite soldar piezas con superficies no planas a soldar 10, 11. En la figura 6 se muestra un ejemplo. El inserto 4 está situado en el extremo de un brazo 8, y preferiblemente está fijado de manera integral al brazo 8.

40 En las figuras 7 y 8 se muestra un inserto 41 "con efecto resorte" en dos estados de compresión diferentes. En las figuras 9 y 10 se muestra otro inserto 42 "con efecto resorte" en dos estados diferentes de compresión. Esto se debe a que las superficies a soldar pueden tener una separación variable antes de la soldadura debido a las tolerancias de fabricación de las piezas 2,3.

45 El procedimiento de soldadura por inducción según la invención comprende la inserción del inserto 4 entre las superficies 10, 11 a soldar de las dos piezas 2, 3. Durante la soldadura, el inserto 4 se mueve con respecto a las piezas 2, 3 en una dirección de soldadura D.

Este movimiento relativo puede realizarse desplazando las piezas a soldar 2, 3, permaneciendo el inserto 4 fijo con respecto al soporte. Alternativa y preferentemente, se puede hacer moviendo el inserto 4 con respecto al soporte, permaneciendo las piezas a soldar 2, 3 fijas con respecto al soporte.

50 El inserto 4 puede, por ejemplo, moverse con respecto a las piezas a soldar 2, 3 en una dirección de soldadura D a una velocidad de 50 a 1000 mm/min, preferiblemente de 100 a 500 mm/min.

55 Durante el movimiento relativo del inserto 4 con respecto a las piezas a soldar 2, 3 en una dirección de soldadura D, la trayectoria del inserto (y de las piezas de trabajo) puede ser rectilínea. Alternativamente, especialmente cuando la anchura del inserto es menor que la anchura de la zona de solapamiento de las piezas a soldar 2, 3, la trayectoria del inserto puede no ser rectilínea. Por ejemplo, el inserto también puede moverse transversalmente, sinusoidalmente o de forma incremental o de otra manera.

- 5 Para la soldadura por inducción según la invención, la instalación 1 comprende también al menos un inductor 5. Durante el procedimiento de soldadura por inducción según la invención, el inductor 5 genera un campo magnético. El inductor 5 tiene una geometría optimizada con respecto al campo magnético que se va a utilizar; puede estar formado por espiras o no. En el caso de que su geometría tenga espiras, puede ser un inductor de una o varias espiras, que pueden estar desalineadas y/u orientadas según los materiales a soldar.
- 10 En una realización, como se ilustra en las figuras 1, 2, 3, 13 y 15, la instalación puede comprender un único inductor 5, 53. En otra realización, como se muestra en la figura 13, la instalación puede comprender al menos dos inductores 51 y 52, que forman zonas de soldadura distintas. En otra realización, como se muestra en la figura 15, la instalación puede comprender una serie de al menos dos inductores, por ejemplo una serie de cuatro inductores 54, que permiten la soldadura de superficie de las dos piezas a soldar 2,3.
- El inductor 5 puede estar fijado con respecto a las piezas 2, 3. El inductor 5 puede ser lo suficientemente grande como para permitir que el inserto 4 se caliente a medida que se mueve; alternatively, se puede proporcionar una pluralidad de inductores fijos 5 a lo largo de la dirección de soldadura D. Preferiblemente, sin embargo, el inductor es móvil en relación con las piezas 2, 3.
- 15 Durante el movimiento relativo del inserto 4 con respecto a las piezas a soldar 2,3 a lo largo de una dirección de soldadura D, la trayectoria del inductor puede ser rectilínea o no. Como se muestra en la figura 13, los inductores 51 y 52 pueden tener una trayectoria rectilínea. Como se muestra en la figura 15, la serie de inductores 54 también puede tener una trayectoria rectilínea. Como se muestra en la Figura 14, el inductor 53 puede tener una trayectoria sinusoidal.
- 20 Ventajosamente, durante la realización del procedimiento de soldadura según la invención, el inserto 4 y el inductor 5 se mueven juntos con respecto a las piezas 2, 3 a soldar durante el procedimiento de soldadura en la dirección de soldadura D.
- Por la expresión "*moverse juntos*" se entiende moverse al mismo tiempo, en la misma dirección (aquí la dirección de soldadura D) y a la misma velocidad.
- 25 Preferiblemente, el brazo 8 que tiene el inserto 4 en su extremo es integral con el inductor 5.
- El procedimiento de soldadura según la invención puede comprender una etapa para poner en contacto las superficies a soldar 10, 11 de las dos piezas a soldar 2, 3 aplicando presión a al menos una de las dos piezas 2, 3 aguas arriba (es decir, delante) y/o aguas abajo (es decir, detrás) de la posición del inserto 4 con respecto a la dirección de soldadura D.
- 30 Así, la instalación 1 puede comprender también uno o varios elementos de aplicación de presión. Estos elementos de aplicación de presión pueden situarse detrás y/o delante del inserto en relación con la dirección de soldadura D. Los elementos de aplicación de presión permiten aplicar presión a las piezas 2, 3 para que sean presionadas una contra la otra. Preferentemente, cuando la instalación 1 comprende varios elementos de aplicación de presión, las presiones aplicadas por cada uno de estos elementos de aplicación de presión son independientes entre sí.
- 35 Puede tratarse, por ejemplo, de uno o varios rodillos de compactación 6, colocados detrás del inserto en relación con la dirección de soldadura D. El rodillo o rodillos de compactación 6 permiten favorecer la interpenetración de los materiales reblandecidos por la temperatura del inserto 4. Alternativamente, puede haber varios rodillos de compactación 6 rodeados opcionalmente por un ceñidor de presión 16, que asegura que la presión de compactación se mantenga durante un tiempo determinado. En estas realizaciones, cada uno de los rodillos de compactación 6 puede ejercer presión y/o exhibir cinemática de forma acoplada entre los rodillos o de forma independiente de un rodillo a otro. Los elementos de aplicación de presión pueden incluir medios de refrigeración. También se pueden hacer vibrar de forma independiente a una frecuencia adecuada, por ejemplo ultrasónica, para facilitar la soldadura favoreciendo la interpenetración y la difusión macromolecular de los materiales reblandecidos por la temperatura del inserto 4. Las vibraciones pueden ser inducidas por un vibrador 12. Cuando el dispositivo comprende al menos dos rodillos de compactación, éstos pueden tener el mismo o diferente diámetro. Estos rodillos también pueden incluir un ceñidor de presión. Como se muestra en la figura 12 (no se muestra el inductor), dos rodillos de compactación fijos 61 y 62 pueden colocarse a ambos lados de las piezas móviles 2,3, uno frente al otro.
- 40
- 45 Los elementos de aplicación de presión también pueden consistir en uno o más rodillos de presión, colocados delante de la inserción con respecto a la dirección de soldadura D. Este rodillo o estos rodillos aseguran una presión suficiente de las piezas 2, 3. El posicionamiento de los elementos de aplicación de presión delante de la pieza de inserción es particularmente útil, ya que el movimiento de la pieza de inserción entre las piezas 2,3 hace que las dos piezas se separen entre sí, y puede reducir las áreas de contacto con la pieza de inserción, y reducir la eficiencia de la soldadura.
- 50
- 55 Preferiblemente, los elementos de aplicación de presión, por ejemplo el rodillo o rodillos de compactación 6, los rodillos de compactación rodeados por un ceñidor de presión 16 y/o el rodillo o rodillos de presión, pueden moverse independientemente junto con el movimiento del inserto 4, en relación con las piezas a soldar 2, 3, durante la

soldadura, en la dirección de soldadura D. En la soldadura por inducción, pueden ser independientemente integrales con el inductor 5. Pueden fijarse independientemente al brazo 8 que contiene el inserto 4.

5 El procedimiento de soldadura según la invención puede comprender una etapa de enfriamiento de las piezas soldadas mediante la aplicación de un bloque de control térmico (no mostrado) en al menos una de las dos piezas 2, 3 detrás de la posición del inserto 4 con respecto a la dirección de soldadura D, y delante del elemento o elementos de aplicación de presión, si están presentes.

El bloque de control térmico permite reducir la temperatura de las superficies libres de la pieza soldada en relación con la temperatura de soldadura, manteniendo las superficies a soldar, y por tanto la interfaz de soldadura, a una temperatura superior a la temperatura de fusión del polímero termoplástico.

10 Esta etapa de enfriamiento permite controlar el gradiente de temperatura dentro de la pieza soldada, y limita o incluso evita la descompactación.

15 El bloque de control térmico está hecho de un material con una conductividad térmica adecuada y puede ser controlado en temperatura, por ejemplo, por medio de un flujo de fluido. En el caso del calentamiento del inserto por inducción, el material del bloque de control térmico puede ser ventajosamente un conductor térmico y aislante eléctrico.

20 La instalación 1 también puede comprender un recinto de temperatura controlada 14. Este recinto 14 se sitúa preferentemente detrás del inserto en relación con la dirección de soldadura D. Un recinto puede también o alternativamente situarse delante del inserto en relación con la dirección de soldadura D. Ventajosamente, puede moverse junto con el movimiento del inserto 4 en relación con las piezas a soldar 2, 3 durante la soldadura en la dirección de soldadura D. En algunas realizaciones, el recinto 14 es integral con el brazo 8, que lleva el inserto 4. En la soldadura por inducción, el recinto 14 es también o alternativamente integral con el brazo 8 que contiene el inductor 5. Este recinto de temperatura controlada 14 permite mantener una zona de las piezas 2, 3 a una temperatura específica, por ejemplo para mantener una zona de las piezas 2, 3 que se ha ablandado por calentamiento -por ejemplo por inducción- a una temperatura de recristalización para permitir la recristalización en condiciones óptimas y evitar la cocción posterior de las piezas después de la soldadura. También puede permitir la refrigeración externa de las piezas fuera de la zona de soldadura (y, en particular, fuera del recinto). Además, cuando el calentamiento de las superficies a soldar 10, 11 se lleva a cabo por convección, la presencia de dicho recinto 14 puede permitir limitar la perturbación de los flujos de convección.

30 El recinto de temperatura controlada 14 puede ser llevado a la temperatura deseada insuflando un fluido en el recinto 14, preferentemente aire caliente, a través de al menos un tubo de soplado 15.

El área fuera del recinto de temperatura controlada 14 puede ser calentada a otra temperatura, y por ejemplo puede ser enfriada, en particular insuflando un fluido, preferentemente aire frío, a través de al menos un tubo de soplado.

35 El recinto de temperatura controlada 14 puede estar delimitado por un faldón flexible, por ejemplo de material elastomérico. El faldón flexible puede, por ejemplo, estar unido a la periferia de una placa superior. Esta configuración permite mantener un recinto esencialmente cerrado a pesar de cualquier variación en la altura de la placa superior con respecto a las piezas 2, 3 y, en particular, adaptarse a las piezas 2, 3 de cualquier forma.

La instalación 1 también puede comprender un segundo brazo 9 que comprende en su extremo un elemento espaciador 7, posiblemente integral con el inserto (4). El espaciador 7 se introduce entre las superficies 10, 11 a soldar de las piezas 2, 3. En particular, limita la fricción entre el inserto 4 y las piezas 2, 3.

40 El elemento espaciador 7 se coloca preferentemente delante del inserto 4 en relación con la dirección de soldadura D. Durante la soldadura, puede desplazarse ventajosamente junto con el movimiento del inserto 4, en relación con las piezas a soldar 2, 3, entre las superficies 10, 11 a soldar en la dirección de soldadura D. El brazo 9 con el espaciador 7 puede ser integral con el brazo 8 que comprende el inserto 4. En la soldadura por inducción, el brazo 9 con el espaciador 7 puede también o alternativamente ser integral con el brazo 8 que comprende el inductor 5.

45 El espaciador puede ser de forma doblemente convexa (visible en la figura 3), en el sentido de que cada una de sus superficies es convexa.

El espaciador también puede tener una forma mixta, en la que una superficie es convexa y la otra es plana.

50 Cuando se realiza el procedimiento de soldadura según la invención, el inserto 4 puede estar en contacto con cada una de las superficies 10, 11 a soldar de las dos piezas 2, 3. Alternativamente, el inserto puede no estar en contacto con al menos una de las superficies 10, 11 a soldar de las dos piezas 2, 3, en particular puede no estar en contacto con ninguna de las superficies 10, 11 a soldar de las dos piezas 2, 3.

Las superficies 10, 11 que se van a soldar pueden así calentarse por conducción y/o convección y/o radiación desde el inserto 4.

La instalación 1 también puede incluir al menos un pirómetro (no mostrado). Cuando se utiliza el procedimiento de soldadura según la invención, el pirómetro mide la temperatura de las piezas a soldar de forma continua o puntualmente en la zona de soldadura. El pirómetro se coloca preferentemente a nivel del inserto 4 con respecto a la dirección de soldadura D.

- 5 El pirómetro se sitúa preferentemente en uno de los bordes de las piezas a soldar 2, 3 o, alternativamente, se sitúa un pirómetro en cada uno de los bordes de las piezas a soldar 2, 3, en particular cuando el inserto tiene una anchura al menos igual a la anchura de la zona de solapamiento de las piezas a soldar 2, 3. El procedimiento según la invención permite un ajustar una temperatura controlada y homogénea de las piezas a soldar 2, 3 en el área de la zona de soldadura. La medición de la temperatura en uno o ambos bordes es suficiente para extrapolar la temperatura en toda la zona de soldadura.

10 Como alternativa, o adicionalmente, se puede colocar un pirómetro en la superficie libre de una de las dos piezas en cualquier punto de la zona de soldadura, especialmente si la anchura del inserto es sólo una parte de la anchura de la zona de solapamiento de las piezas a soldar 2, 3.

El pirómetro también puede medir la temperatura del inserto 4 en el borde de las piezas a soldar.

- 15 Preferiblemente, el inserto 4 y el pirómetro se mueven juntos con respecto a las piezas a soldar 2, 3 durante la soldadura a lo largo de la dirección de soldadura D. Puede ser integral con el brazo 8 que lleva el inserto 4.

La instalación puede comprender un dispositivo de soldadura múltiple.

- 20 En una realización, un dispositivo de soldadura múltiple puede permitir la soldadura simultánea de al menos tres piezas a soldar. Dicho dispositivo puede incluir al menos dos insertos, colocados al mismo nivel o desplazados de la dirección de soldadura. Estos insertos múltiples permiten respectivamente soldar la primera pieza y la segunda pieza, soldar la segunda pieza y la tercera pieza, etc., y su yuxtaposición. En otra realización, un dispositivo de soldadura múltiple puede permitir la soldadura de dos piezas a nivel de dos partes distintas y puntuales de la zona de solapamiento. En particular, dicho dispositivo puede comprender al menos dos insertos, colocados al mismo nivel con respecto a la dirección de soldadura y con una cierta distancia entre ellos. Cada inserto permite soldar una parte de una primera parte y de una segunda pieza. Después de la soldadura, sólo quedarán soldadas las partes de la zona de solapamiento de las dos piezas entre sí, no quedando soldadas las demás partes. En la soldadura por inducción, se puede conseguir el mismo resultado colocando un inserto sobre toda la superficie de las dos piezas a soldar y aplicando el calor a través de varios inductores que proporcionan un calentamiento localizado que se mueven sobre la pieza a soldar.

- 30 El procedimiento de soldadura según la invención puede comprender la formación de un cordón (menisco) 13 de material termoplástico en el extremo de la interfaz de soldadura (visible en la figura 5). La formación de este cordón (menisco) es posible porque el procedimiento según la invención permite calentar las superficies 10, 11 a soldar y, por tanto, ablandar el material termoplástico de las piezas 2, 3 hasta el extremo de estas superficies 10, 11 a soldar (en particular, adaptando las dimensiones del inserto 4 en relación con las superficies 10, 11 a soldar, pudiendo el inserto 4 extenderse hasta uno o hasta los extremos de las superficies 10, 11 a soldar, o incluso pudiendo proyectarse más allá de uno o de los extremos de las superficies 10, 11 a soldar). La presencia de un cordón (menisco) 13 en el extremo de la interfaz de soldadura limita el riesgo de crear puntos de rotura. En el caso de un procedimiento de soldadura por inducción basado en el calentamiento de las fibras de carbono de las piezas de composite a soldar, no es posible la creación de bucles de corriente cerca de los extremos de la interfaz de soldadura, lo que generalmente da lugar a soldaduras de menor resistencia mecánica en estos puntos.

- 45 En algunas realizaciones, la pieza 3 más alejada del inductor 5 es una estructura multicapa que tiene un elemento conductor como capa exterior o como parte de la capa exterior (es decir, la capa más alejada de la superficie 11 a soldar). El elemento conductor puede ser una rejilla metálica, por ejemplo de cobre o bronce. La presencia de este elemento conductor es especialmente ventajosa para la fabricación de fuselajes en el ámbito de la aeronáutica, ya que este elemento permite proteger los aviones contra los rayos. El procedimiento según la invención tiene la ventaja de poder utilizar un calentamiento localizado en la interfaz entre las dos piezas a soldar. Por ejemplo, en el caso del calentamiento por inducción, es posible soldar las piezas 2, 3 sin que el campo magnético que llega al elemento conductor sea suficiente para inducir un calentamiento significativo de este elemento, evitando así la degradación local de la pieza por sobrecalentamiento en este elemento conductor. Además, el procedimiento según la invención evita que el elemento conductor capte una gran parte del efecto del campo magnético, lo que provocaría un calentamiento insuficiente de las superficies a soldar.

- 50 Los movimientos del inserto 4 y/o del inductor 5 (para la soldadura por inducción) y/o de los elementos de aplicación de presión y/o del recinto de temperatura controlada 14 y/o del espaciador 7 pueden ser realizados automáticamente, por uno o más robots, o manualmente por un operario. En particular, para la soldadura por inducción, el inserto 4 y el inductor 5 pueden ser movidos juntos por el mismo robot.

La temperatura de soldadura está en función de la temperatura del inserto 4.

En el caso de la inducción, la temperatura del inserto 4 depende a su vez de la intensidad y la frecuencia del campo magnético suministradas por el inductor 5, de la velocidad de movimiento del inserto 4 (por ejemplo, junto con el inductor 5) y de la distancia entre el inductor 5 y el inserto 4.

5 En algunas realizaciones, el inductor 5 genera un campo magnético que tiene una frecuencia de 10 Hz a 2 MHz, preferiblemente de 80 Hz a 300 kHz, más preferiblemente de 100 Hz a 200 kHz.

En algunas realizaciones de la soldadura por inducción, la distancia entre el inductor 5 y el inserto 4 permanece constante durante la soldadura. En otras realizaciones, esta distancia puede variar, especialmente si al menos una de las piezas 2, 3 a soldar es de grosor variable.

10 **[0176]** En algunas realizaciones, el procedimiento según la invención comprende una etapa de control de la temperatura del inserto 4 (mediante un termopar o cualquier otro sensor de temperatura adecuado) y una etapa de regulación instantánea de esta temperatura, en particular ajustando la velocidad de movimiento del inserto 4, y/o la intensidad del campo magnético suministrado por el inductor 5 o la potencia eléctrica en el caso de calentamiento resistivo, y/o cualquier otro parámetro pertinente, por ejemplo mediante un bucle de retroalimentación convencional.

15 La regulación térmica del inserto tiene la ventaja de que las superficies a soldar pueden ser llevadas a una temperatura necesaria y adecuada para la unión de soldadura. Se pueden aplicar varios modos de regulación.

20 Por ejemplo, un modo de regulación puede consistir en la regulación térmica midiendo la temperatura del inserto 4 mediante un dispositivo de tipo pirómetro láser. Así, tras haber cuantificado previamente la diferencia de temperatura entre la zona de control accesible durante la soldadura (borde del inserto 4, próximo a las piezas 2,3) y las superficies del inserto 4 en contacto con las superficies a soldar (inaccesibles durante la fase de soldadura), la potencia del dispositivo de calentamiento, como el generador de inducción en el caso del calentamiento por campo magnético o el generador de corriente en el caso del calentamiento resistivo, puede ser controlada en función de la temperatura del inserto 4 accesible durante la fase de soldadura convencional.

25 Otro procedimiento de control, para el procedimiento de soldadura por inducción, puede consistir en utilizar un material con una temperatura de Curie para fabricar el inserto 4. El punto de Curie de un material modifica significativamente su sensibilidad a un campo magnético y a los fenómenos de inducción. En este modo, se pueden utilizar dos configuraciones. Una configuración es la capacidad del material para dejar de ser calentado por inducción más allá de este punto singular (deteniendo los fenómenos de la corriente inducida y dipolos magnéticos). En este caso, la regulación térmica del inserto está físicamente asegurada en cuanto se supera el punto de Curie. Sin embargo, si el calentamiento por inducción sigue produciéndose más allá de este punto (por ejemplo, por la persistencia de la corriente inducida), el cambio significativo de la sensibilidad al campo magnético del material en el punto de Curie (por ejemplo, la permeabilidad magnética) puede ser detectado por un sensor adecuado colocado en el entorno del dispositivo de soldadura; este sensor permite así advertir el alcance del punto de Curie e iniciar la regulación electrónica del calentamiento asegurando la servidumbre de la potencia del generador. El parámetro detectado en el entorno del dispositivo de soldadura puede ser la intensidad del campo magnético circundante (por ejemplo, sensor de efecto Hall), afectado por cambios repentinos en las características del material del inserto 4 a los fenómenos magnéticos. La detección de un parámetro del entorno podría consistir también en una variación de la impedancia del inserto 4 acoplado al inductor.

40 Estas realizaciones son particularmente ventajosas para el montaje de piezas de fuselaje en el ámbito de la aeronáutica, ya que el control de la temperatura de soldadura es necesario para la cualificación de un procedimiento aeronáutico.

Un modo de control para un procedimiento de soldadura resistiva (no según la invención) puede consistir en medir la resistividad del inserto. La medición de la resistividad en función de la temperatura permitirá controlar el valor de la corriente que circula por el inserto 4.

45 El procedimiento según la invención puede comprender también una etapa de registro de los valores de la temperatura del inserto 4 y/o de la velocidad de movimiento del inserto 4, y/o de la potencia magnética entregada por el inductor 5, y/o de la presión aplicada a las piezas 2, 3 a soldar, y/o de cualquier otro parámetro. Esto es particularmente ventajoso para la fabricación de fuselajes en el campo de la aeronáutica, donde el registro de estos datos es necesario para la calificación de un procedimiento aeronáutico.

50 Las piezas 2, 3 soldadas según la invención pueden ser, en particular, piezas de fuselaje de aeronaves, tales como, en particular, piezas de la piel del fuselaje, marcos o largueros.

Alternativamente, estas piezas pueden ser partes de equipos espaciales, o de automoción, o equipos de deportes.

El procedimiento de la invención puede aplicarse también a la soldadura de lonas, estructurales o no, en particular en el ámbito de la ingeniería civil y de la ingeniería náutica (lona de amarre, vela de velero, etc.).

55

## **Ejemplos**

Los siguientes ejemplos ilustran la invención sin limitarla.

En los ejemplos 1 a 4, cuando se fabrica al menos una de las piezas a soldar mediante la tecnología ATL (Automated Tape Lay-up), la primera capa de deposición se realiza con una cinta UD cuya composición es diferente a la de las otras capas que forman la pieza de composite.

### 5 **Ejemplo 1**

La primera capa tiene una composición de 50 % en peso de PEKK Kepstan® 7002 y 50 % en peso de fibras de carbono. La composición de las otras capas es de un 34% en peso de PEKK Kepstan® 7002 (comercializado por Arkema) y un 66% en peso de fibras de carbono.

10 En este ejemplo, la mayor proporción de material termoplástico en la primera capa facilita la soldadura sin cambiar el procedimiento de fabricación de las piezas, y permite obtener una fluencia de esta primera capa bajo la presión de compactación para formar un menisco en el extremo de la interfaz de soldadura. Además, dicha primera capa permite compensar ciertos defectos de las superficies a soldar.

### **Ejemplo 2**

15 La primera capa tiene una composición de 34% en peso de PEKK Kepstan® 6002 (con una temperatura de fusión de 303°C) y 66% en peso de fibras de carbono. Las otras capas están compuestas por un 34% en peso de PEKK Kepstan® 7002 (comercializado por Arkema) (con una temperatura de fusión de 333°C) y un 66% en peso de fibras de carbono.

Los parámetros del procedimiento pueden entonces ajustarse para que la temperatura del inserto permita que el material termoplástico de la primera capa se funda sin fundir el de las otras capas.

20 Alternativamente, el material del inserto comprende un material ferromagnético con un punto de Curie tal que la temperatura "techo" del inserto (y su entorno en el procedimiento) asegura que sólo se funda la primera capa.

### **Ejemplo 3**

La primera capa de la pieza tiene una composición de 50 % en peso de poliamida y 50 % en peso de fibras de vidrio. Las otras capas tienen una composición de 34% en peso de poliamida y 66% en peso de fibras de vidrio.

### 25 **Ejemplo 4**

La composición de la primera capa es de un 34% en peso de una primera poliamida que tiene una determinada temperatura de fusión y un 66% en peso de fibras de vidrio. Las otras capas tienen una composición de 34% en peso de una segunda poliamida con una temperatura de fusión más elevada que la de la primera poliamida y 66% en peso de fibras de vidrio.

### 30 **Ejemplo 5**

En estas primeras pruebas de validación de viabilidad, se utiliza como inserto una lámina de 0,8 mm de grosor. Los sustratos a soldar están formados por una matriz de PPS que incluye un tejido de carbono y tienen un grosor de 1,5 mm. Una capa en forma de tejido de vidrio en una matriz de PPS está presente en la interfaz a soldar, con el fin de introducir un material no conductor en la interfaz.

35 La soldadura se realiza según el procedimiento de la invención. La soldadura es eficaz y se observa que la unión resultante es cohesiva.

Este ejemplo permite verificar que la soldadura según la invención se obtiene calentando el inserto, y no sólo por la presencia de fibras conductoras en las piezas a soldar.

40 Las interfaces de soldadura están perfectamente interpenetradas, y tras el análisis de la unión de soldadura se observa un fallo de cohesión de la matriz termoplástica.

### **Ejemplo 6 - Soldabilidad por inducción de un sustrato no conductor de la electricidad.**

45 Las piezas a soldar son productos semi-acabados comercializados con el nombre de Polystrand™ IE 7034B por PolyOne que corresponden a una *cinta* unidireccional termoplástica a base de polipropileno. Estos productos semi-acabados contienen un 70% en masa de fibras de vidrio, tienen un grosor de 0,25 mm/producto semi-acabado y un gramaje de 354 g/m<sup>2</sup>. Las piezas a soldar tienen un grosor de 3 mm.

Se sueldan dos piezas utilizando un robot industrial comercializado por la empresa Kuka y un generador de corriente para inductor comercializado por la empresa CEIA.

Los parámetros de soldadura utilizados son los siguientes:

Frecuencia: 200 kHz;

Material del inserto 4: Acero;

P<sub>max</sub> limitada al 20% de 12,5 kW;

Distancia entre el inductor y el sustrato: 5 mm;

5 Temperatura de soldadura: aprox. 200 °C;

Velocidad de movimiento del inserto en relación con las piezas a soldar: 3,3 mm.s<sup>-1</sup>.

El producto de la soldadura tiene un esfuerzo de cizallamiento ( $\tau$ ) de 11,8 MPa, es decir, el 97% del esfuerzo de cizallamiento de referencia (pieza sin soldadura), según la norma prEN 6060, siendo la referencia (100%) realizada según la misma norma en 5 muestras.

#### 10 **Ejemplo 7 - Soldabilidad por inducción de un sustrato de PEKK y fibra de carbono**

Las piezas a soldar son productos semi-acabados compuestos por PEKK con una temperatura de fusión de 333°C y fibras de carbono. Estos materiales han sido sometidos a una etapa de consolidación en autoclave y a una etapa de drapeado, como se indica a continuación:

15 Secuencia de orientación (orientación en cada capa de fibras) +45°, 0°, -45°, 90°, repetida 6 veces con un plano de simetría en la tercera repetición;

Índice de volumen de fibra de los sustratos a soldar (TVF) del 60% +/-2%;

Índice de volumen de fibra del subproducto de interfaz añadido (TVF) del 35%; 150µm.

20 El subproducto de la interfaz es una banda unidireccional y se coloca en la superficie a soldar de manera que las fibras estén orientadas a 0° con respecto a la dirección de soldadura. Las piezas a soldar tienen un grosor de 4,4 mm.

Se sueldan dos piezas utilizando un robot industrial comercializado por la empresa Kuka y un generador de corriente para inductor comercializado por la empresa CEIA.

Los parámetros de soldadura utilizados son los siguientes:

Frecuencia: 200 kHz;

25 Material del inserto 4: Acero;

P<sub>max</sub> limitada al 30% de 12,5 kW;

Distancia entre el inductor y el sustrato: 5 mm ;

Temperatura de soldadura: 465 °C;

Velocidad de movimiento del inserto en relación con las piezas a soldar: 3,3 mm.s<sup>-1</sup>.

30 El producto de la soldadura tiene un esfuerzo de cizallamiento ( $\tau$ ) de 35 MPa, que corresponde a esfuerzo de cizallamiento cercano al del material de las piezas 2, 3.

#### **Ejemplo 8 - Control de la temperatura (o modo de regulación térmica) en la zona de soldadura por medición y regulación (diferente de la considerada con el material del inserto 4 de punto Curie)**

La temperatura en la zona de soldadura se comprobó con un pirómetro referenciado SH15/SLE de CEIA.

35 En una primera prueba, se realiza una ranura rectilínea en el centro de la superficie libre de una de las dos piezas a soldar, en la dirección de la soldadura. En esta ranura se coloca un primer pirómetro y un segundo pirómetro lateral en el borde de las piezas a soldar, en la prolongación del inserto. Los pirómetros se mueven junto con el inserto. Esta prueba demuestra que las temperaturas de soldadura medidas respectivamente por el primer pirómetro colocado en la ranura y el segundo pirómetro son coherentes (desviación constante).

40 En una segunda prueba, el pirómetro se coloca sólo en el borde de las piezas a soldar, en la prolongación del inserto. El pirómetro se mueve junto con el inserto.

Estas pruebas demuestran que la utilización de un solo pirómetro colocado en el borde de las piezas a soldar y en el inserto es suficiente para vigilar y controlar la temperatura de la zona de soldadura. También demostraron la

necesidad de un modo independiente y adaptado de regulación térmica del suscepto estático (antes de iniciar el movimiento del robot) y dinámico.

**Ejemplo 9 - Medición de la temperatura del inserto**

Los materiales y las condiciones son los mismos que en el ejemplo 7.

- 5 En la prueba de la ranura, se observó una temperatura en el borde del inserto de 490°C con una temperatura en el centro de la ranura de 465°C.

A continuación se realizó la soldadura (sin ranuras) con una temperatura en el borde del inserto de 490°C.

**Ejemplo 10 - Indiferencia de la distancia entre el sustrato y el inductor**

- 10 Las piezas a soldar son productos semi-acabados comercializados con el nombre de Polystrand™ IE 7034B por PolyOne que corresponden a una *cinta* unidireccional termoplástica a base de polipropileno. Estos productos semi-acabados contienen un 70% en peso de fibras de vidrio, tienen un grosor de 0,25 mm/producto semi-acabado y un gramaje de 354 g/m<sup>2</sup>. Las piezas a soldar tienen un grosor de 2 mm.

Se sueldan dos piezas (véase los dispositivos según el ejemplo 6).

Los parámetros de soldadura y control utilizados son los siguientes:

- 15 Frecuencia: 200 kHz;  
Material del inserto 4: Acero;  
Pmax limitada al 25% de 12,5 kW;  
Distancia entre el inductor y el sustrato: 5 mm, 10 mm y 15 mm;  
Temperatura de soldadura: aprox. 180 °C.
- 20 Estas pruebas demuestran que es posible mantener una temperatura de control del suscepto constante independientemente de la distancia inductor/sustrato. La potencia real del generador se adapta y aumenta con la distancia estudiada.

- 25 Estas pruebas demuestran además que, para el material probado, la temperatura de la superficie externa (superficie libre superior) es de 110-120°C en régimen permanente, muy por debajo del punto de fusión de la matriz de polipropileno, independientemente de la distancia entre el inductor y el sustrato.

Estas pruebas se duplicaron en un composite de carbono tejido /PPS de 1,8 mm de grosor (referencia CETEX TC1100 de Tencate), las conclusiones son idénticas con distancias inductor/sustrato de 10, 12 y 15 mm. La temperatura de control era de 300°C; la temperatura de la superficie se estabiliza a 245°C.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de soldadura de al menos dos piezas rígidas (2, 3) que comprenden un material termoplástico y que tienen superficies respectivas a soldar (10, 11), que comprende:
- 5 insertar un inserto (4) entre las superficies a soldar (10, 11) de las dos piezas (2, 3), teniendo dicho inserto (4) un grosor igual o inferior a 5 mm;  
suministrar calor por dicho inserto (4);  
en el que el inserto se desplaza con respecto a las piezas (2, 3) a soldar durante la soldadura en una dirección de soldadura;
- 10 **caracterizado porque** el inserto comprende un material sensible a la inducción, y el calor del inserto es proporcionado por la generación de un campo magnético por al menos un inductor (5).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además poner en contacto las superficies a soldar (10, 11) de las dos piezas (2, 3) aplicando presión sobre al menos una de las dos piezas (2, 3) aguas arriba y/o aguas abajo de la posición del inserto (4) respecto a la dirección de soldadura.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el inserto (4) está en contacto con cada una de las superficies a soldar (10, 11) de las dos piezas (2, 3).
- 15 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una de las dos piezas (2, 3), preferentemente ambas piezas (2, 3), está hecha de un material de composite que comprende fibras de refuerzo en una matriz del material termoplástico; preferentemente un material de composite que comprende fibras de refuerzo seleccionadas entre fibras de carbono y/o fibras de vidrio en una matriz del material termoplástico.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material termoplástico se selecciona del grupo de las poliamidas, las poliimidas, en particular las polieterimidias, las poliaril éter cetonas, en particular las cetonas de poliéter cetonas y las poliéter éter cetonas, el tereftalato de polietileno, las poliolefinas, en particular el polipropileno, el polisulfuro de fenileno, las polisulfonas, los polímeros clorados, en particular el cloruro de polivinilo (PVC) y el fluoruro de polivinilideno (PVDF), los polímeros acrílicos o metacrílicos, y es preferentemente una poliaril éter cetona como la poliéter cetona o la poliéter éter cetona.
- 25 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una de las dos piezas (2, 3), preferentemente ambas piezas (2, 3), es una estructura multicapa.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las piezas (2, 3) son piezas de fuselaje de avión.
- 30 8. Instalación para soldar al menos dos piezas rígidas (2, 3) que comprenden un material termoplástico y que tienen superficies respectivas a soldar (10, 11), que comprende:
- un soporte para llevar las dos piezas a soldar (2, 3);  
un brazo (8) que tiene en su extremo un inserto calefactor (4) de un grosor igual o inferior a 5 mm, configurado para ser introducido entre las superficies a soldar (10, 11) de las dos piezas (2, 3);  
35 estando el inserto (4) configurado para desplazarse con respecto a las piezas (2, 3) que se van a soldar durante la soldadura, a lo largo de una dirección de soldadura;
- caracterizada porque** la instalación comprende un dispositivo para generar calor de dicho inserto por inducción, siendo dicho dispositivo generador de calor al menos un inductor, y comprendiendo dicho inserto un material sensible a la inducción.
- 40 9. Instalación según la reivindicación 8, que comprende además uno o más rodillos de compactación (6), preferentemente configurados para ser movidos con una vibración a una frecuencia adecuada, y/o uno o más rodillos de presión.
10. Instalación según una de las reivindicaciones 8 y 9, que comprende un recinto de temperatura controlada (14), que preferentemente tiene un faldón flexible.
- 45 11. Instalación según una de las reivindicaciones 8 a 10, en la que el soporte está configurado para ser calentado.

Fig. 1

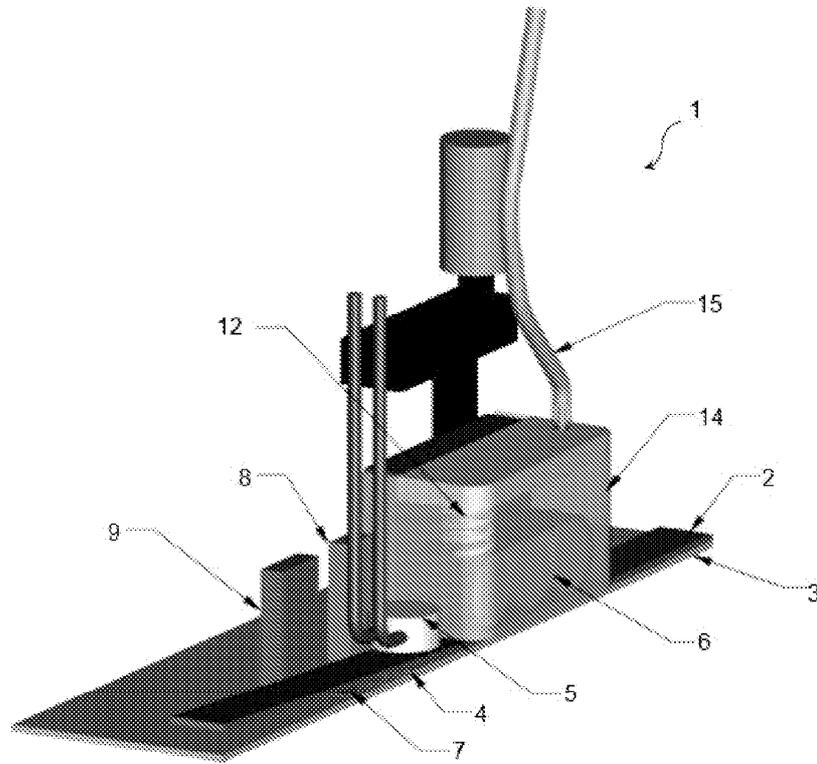


Fig. 2

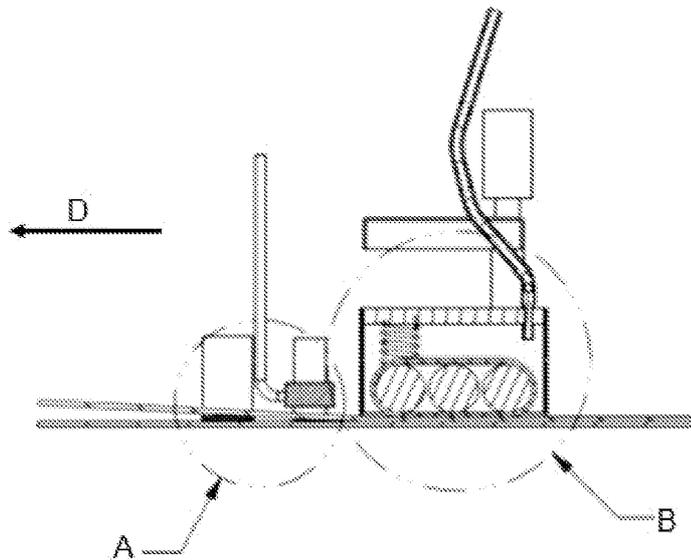


Fig. 3

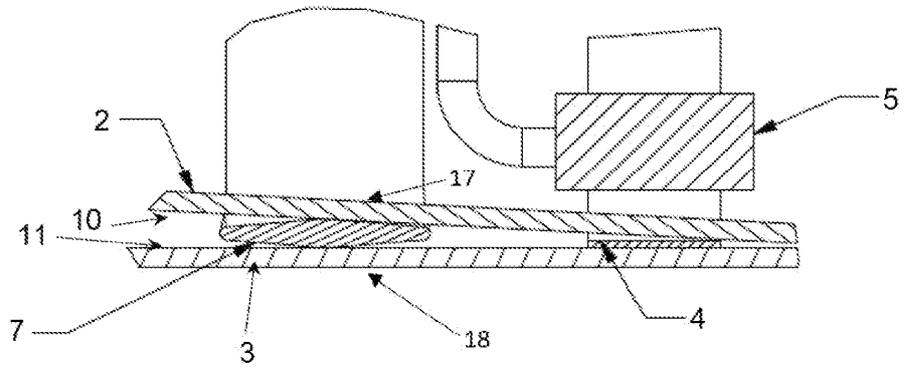


Fig. 4

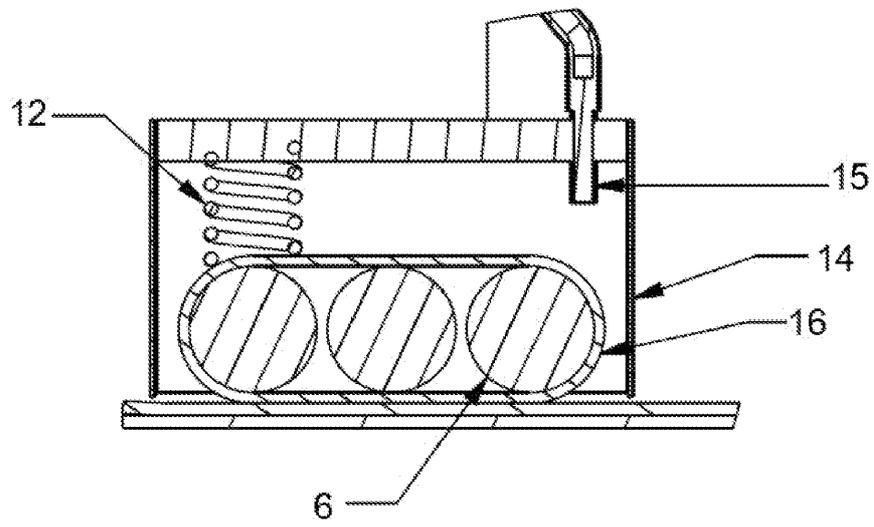


Fig. 5

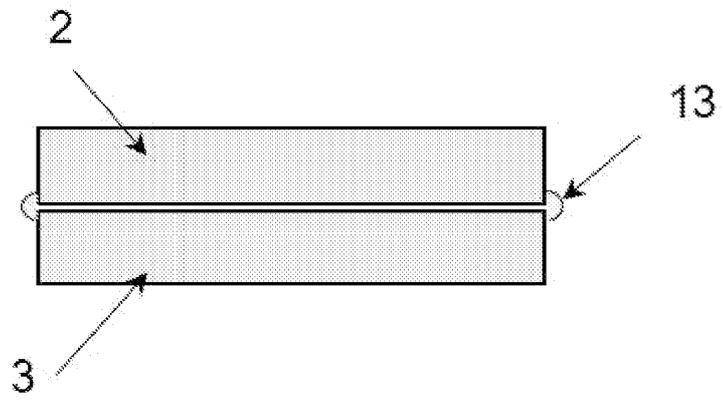


Fig. 6

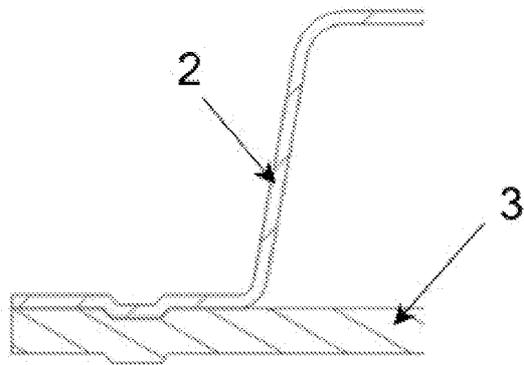


Fig. 7

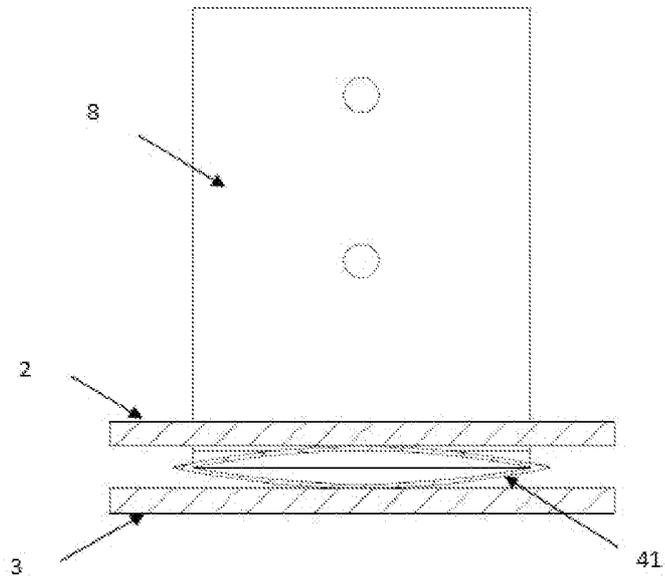


Fig. 8

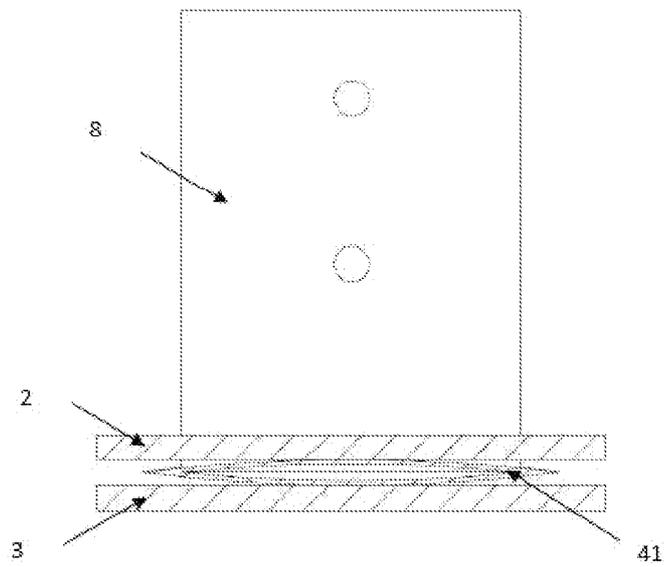


Fig. 9

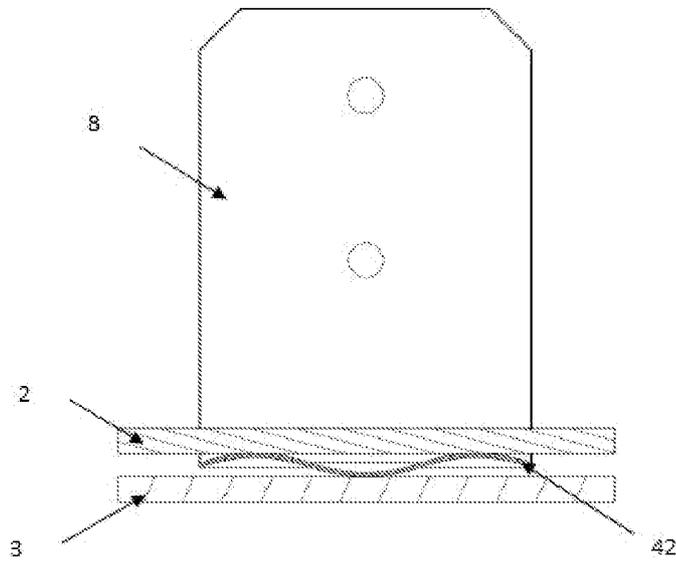


Fig. 10

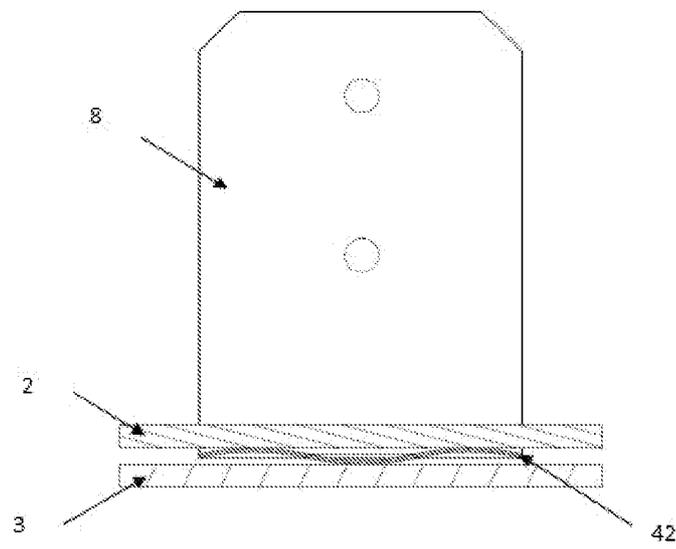


Fig. 11

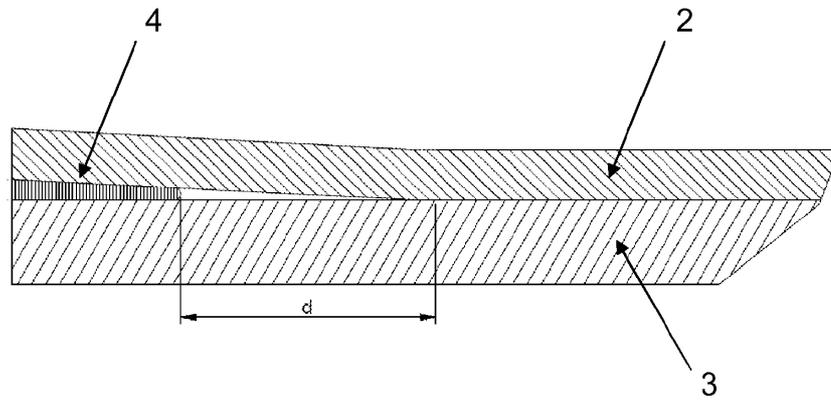


Fig. 12

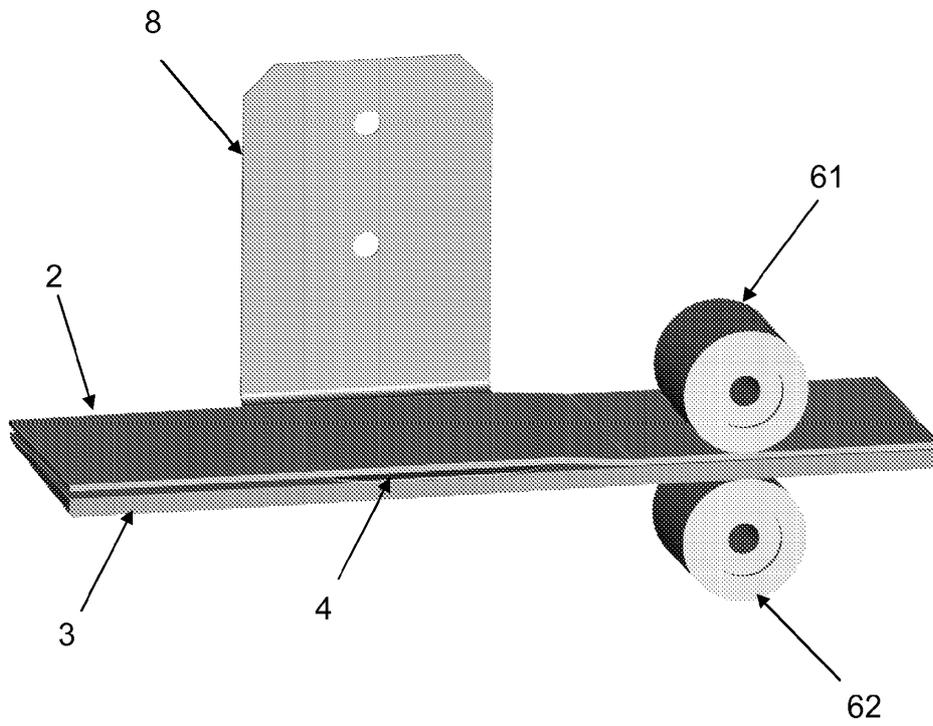


Fig. 13

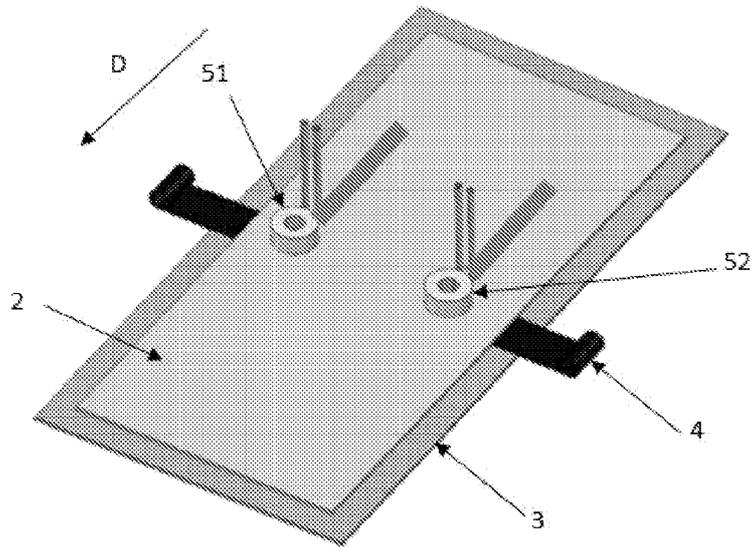


Fig. 14

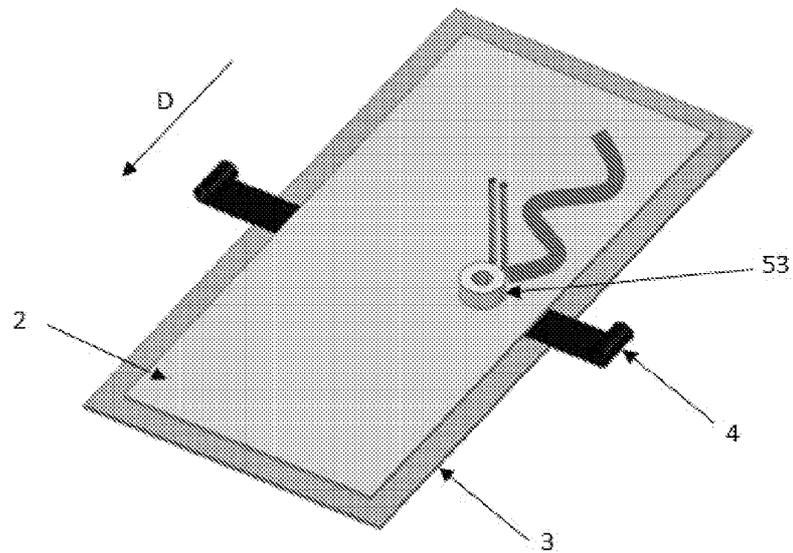


Fig. 15

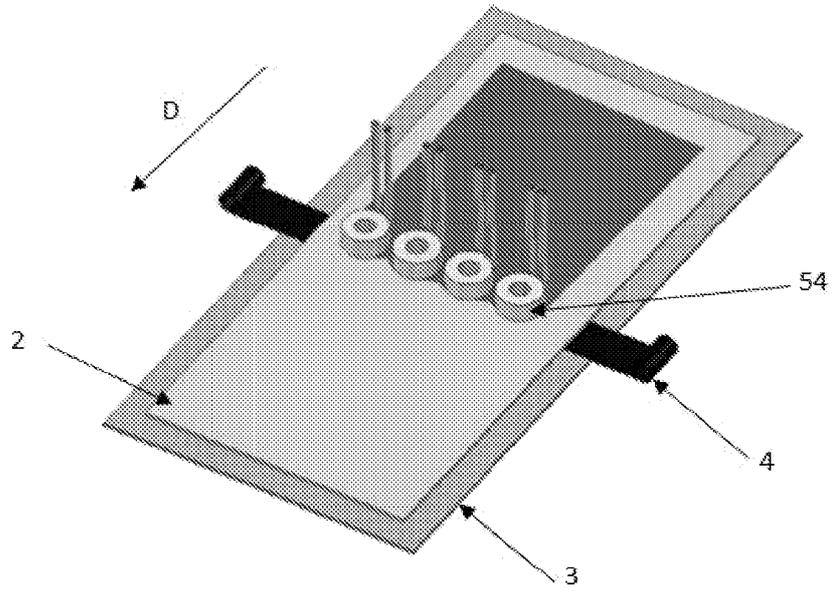


Fig. 16

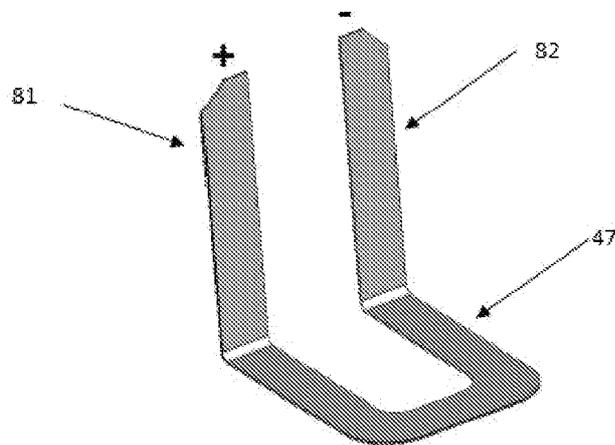


Fig. 17

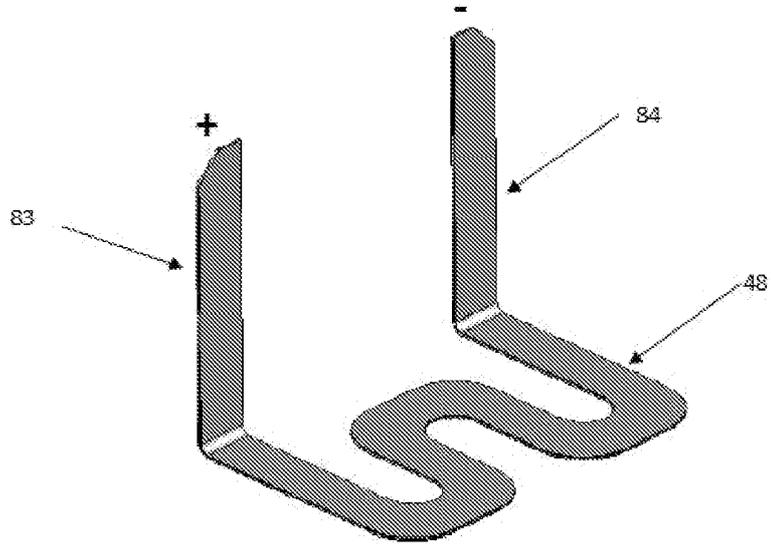


Fig. 18

