

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 143**

51 Int. Cl.:

B29C 65/14 (2006.01)

B29C 65/36 (2006.01)

B32B 37/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2021** **PCT/NL2021/050286**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.11.2021** **WO21221510**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2021** **E 21724056 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4143012**

54 Título: **Laminado compuesto reforzado con fibras para su uso en soldadura electromagnética y método de soldadura electromagnética de partes moldeadas de dichos laminados**

30 Prioridad:

30.04.2020 NL 2025473

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

24.02.2025

73 Titular/es:

**KOK & VAN ENGELEN COMPOSITE
STRUCTURES B.V. (100.00%)
Laan van Ypenburg 56
2497 GB Den Haag, NL**

72 Inventor/es:

**LABORDUS, MAARTEN;
JANSEN, TOM;
BRUIJKERS, MICHIEL HENDRIK PAUL;
WIRTZ, THOMAS;
MITROUSIAS, ALEXANDROS MICHAÏL y
SCHMITTER, SACHA**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 999 143 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

Laminado compuesto reforzado con fibras para su uso en soldadura electromagnética y método de soldadura electromagnética de partes moldeadas de dichos laminados

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de los materiales compuestos. En particular, la presente invención se refiere a estructuras formadas por soldadura electromagnética de múltiples piezas moldeadas hechas de materiales compuestos. La presente invención encuentra una aplicación particular en el campo de las aerestructuras formadas por soldadura electromagnética de múltiples piezas moldeadas compuestas.

Antecedentes

Los laminados compuestos y las piezas moldeadas hechas a partir de dichos laminados se usan en un número creciente de aplicaciones en las que se aprovecha la rigidez y la resistencia específicas relativamente altas de los materiales compuestos. La reducción del peso es particularmente importante en la industria aeroespacial. Un material comúnmente usado en esta industria es un laminado compuesto de fibras de carbono y un polímero de matriz termoendurecible. Se pueden fabricar piezas moldeadas complejas hechas de dichos laminados, pero una vez que el polímero de matriz termoendurecible en dichas partes se cura, la forma es permanente. Para obtener estructuras complejas, las piezas moldeadas con frecuencia tienen que estar conectadas entre sí o con otras partes, tales como refuerzos. Esto ocurre tradicionalmente por medios mecánicos, tales como atornillando, o químicamente, tales como mediante unión adhesiva.

Más recientemente, se han introducido laminados compuestos de fibras de carbono y un polímero de matriz termoplástica. Dichos laminados compuestos termoplásticos pueden moldearse después de la consolidación, simplemente calentando la matriz polimérica termoplástica por encima de su temperatura de reblandecimiento o fusión.

Dado que las fibras de carbono son conductoras de electricidad, un conductor eléctrico que genera un campo electromagnético puede inducir corrientes parásitas en las fibras de carbono. Las corrientes parásitas calientan las fibras de carbono y producen un calentamiento de las piezas moldeadas desde dentro. Esta propiedad ofrece la posibilidad de soldadura electromagnética de piezas moldeadas de dichos laminados. La matriz polimérica termoplástica en un proceso de este tipo se calienta mediante corrientes parásitas por encima de su temperatura de reblandecimiento o fusión, lo que permite que una superficie exterior soldable electromagnéticamente de cada una de las piezas moldeadas se fusione o se suelde entre sí. El calentamiento de partes de una pieza moldeada distintas de su superficie soldable es generalmente indeseable, ya que esto puede provocar daños en las partes de la pieza moldeada.

El documento US 5 313 034 describe en la figura 18 un laminado compuesto reforzado con fibras, comprendiendo el laminado dos capas estructurales (14, 16), que pueden ser metálicas o estar formadas por fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica. Dos pares de capas termoplásticas (80, 88 y 82, 90) se colocan junto a cada capa estructural (14, 16) con una tira eléctricamente aislante (84, 86) dispuesta entre cada par (80, 88 y 82, 90) de capas termoplásticas. Una tira eléctricamente conductora 12 se coloca en el centro del laminado entre las capas termoplásticas 88 y 90. Es esencial que las capas termoplásticas (80, 88, 82, 90) y las tiras aislantes (84, 86) sean térmicamente conductoras para unir las superficies de contacto de las dos capas estructurales (14, 16), las tiras eléctricamente aislantes (84, 86), las capas termoplásticas (80, 88, 82, 90) y la tira de calentamiento 12 en una sola entidad unida mediante calentamiento por resistencia de la tira eléctricamente conductora 12. El laminado del documento US 5 313 034 requiere el uso de capas y tiras adicionales, además de las dos capas estructurales (14, 16), lo que es ineficaz desde un punto de vista estructural y aumenta el peso.

Resumen de la invención

Un objeto de la invención es proporcionar un método mejorado para conectar electromagnéticamente partes moldeadas de laminados compuestos reforzados con fibras. Otro objetivo es proporcionar un laminado compuesto reforzado con fibras para su uso en dicho método mejorado de soldadura electromagnética de piezas moldeadas. Otro objeto más se refiere a un método para fabricar un laminado compuesto reforzado con fibras de este tipo.

La invención proporciona para estos y otros fines un laminado compuesto reforzado con fibras para su uso en la soldadura electromagnética de partes moldeadas de dichos laminados según la reivindicación 1. El laminado compuesto reforzado con fibras comprende una pluralidad de capas estructurales, cada una formada por fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica, en donde pueden inducirse corrientes parásitas en las fibras eléctricamente conductoras mediante un conductor eléctrico que genera un campo electromagnético; en donde la pluralidad de capas estructurales comprende un primer, un segundo y, opcionalmente, un tercer par de dos capas estructurales colocadas de forma adyacente, en donde

- el primer par tiene una capa intermedia situada entre las dos capas estructurales del par, en donde la capa intermedia tiene una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_1 , que permite sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del primer par;

- el segundo par tiene una capa intermedia situada entre las dos capas estructurales del par, en la que la capa intermedia tiene una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_2 , que evita sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del segundo par; y

- el tercer par no tiene una capa intermedia entre las dos capas estructurales del par;

en donde además R_1 y R_2 son finitos y $0 < R_1 < R_2$. La capa intermedia de cada par difiere de las dos capas estructurales de cada par, preferiblemente en que la capa intermedia de cada par no comprende fibras eléctricamente conductoras. En consecuencia, cada capa intermedia no cumple una función estructural o de soporte de carga, o solo en menor medida.

Según la invención, cuando se proporciona un conductor eléctrico que genera un campo electromagnético en las proximidades del laminado inventado, se inducen corrientes parásitas en las fibras eléctricamente conductoras que hacen que se calienten por el calentamiento por efecto Joule, que también calienta el polímero de matriz termoplástica circundante.

El calentamiento por efecto Joule, también conocido como calentamiento resistivo, de resistencia u óhmico, es un proceso mediante el cual el paso de una corriente eléctrica a través de un conductor produce calor. La cantidad de calor es proporcional a la resistencia experimentada en la dirección en la que fluye la corriente.

Un segundo par de capas estructurales colocadas de manera adyacente difícilmente estará sujeto a calentamiento por efecto Joule, ya que se evita sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del segundo par. Esto es posible gracias a la provisión de una capa intermedia en tal segundo par que tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 relativamente alta en comparación con R_1 . En un segundo par, el calentamiento por efecto Joule se limita sustancialmente a las corrientes parásitas inducidas en las fibras eléctricamente conductoras de cada capa por separado, lo que provoca una menor generación de calor. Esto evita que las partes de un laminado que contienen uno o más segundos pares se calienten demasiado bajo la influencia de un campo electromagnético. Por lo tanto, se puede evitar que dichas partes del segundo par se sobrecalienten, lo que de otro modo podría resultar perjudicial.

Para la soldadura, un campo electromagnético tiene que calentar otras partes del laminado para poder llevar el polímero de matriz termoplástico en dichas partes a una temperatura que supere la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero de matriz. Para este fin, se puede usar un tercer par de capas estructurales colocadas de manera adyacente. Un tercer par de capas estructurales colocadas de forma adyacente se calentará por el denominado calentamiento de la unión provocado por el contacto directo entre fibras y/o por la histéresis dieléctrica. Se permite sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del tercer par, capas que de hecho están conectadas directamente entre sí sin la intervención de una capa intermedia con una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 finita relativamente elevada. Las pérdidas en julios en los terceros pares son modestas, ya que la corriente en una dirección fuera del plano fluye contra una resistividad superficial eléctrica ρ_3 (en ohm.m^2) que es relativamente baja. Los valores de la resistividad eléctrica superficial medida ρ_3 suelen ser típicamente inferiores a 10^{-3} Ohm.m^2 , por ejemplo, entre $0,20 \cdot 10^{-4}$ y $5 \cdot 10^{-4} \text{ Ohm.m}^2$.

Los inventores se han dado cuenta de que el calentamiento por efecto Joule en el laminado puede aumentarse para obtener una intensidad de campo electromagnético igual. Por lo tanto, según un aspecto de la invención, un primer par tiene una capa intermedia posicionada entre las dos capas estructurales del par, donde la capa intermedia tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 , que permite sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del primer par. La resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 se elige lo suficientemente grande como para provocar que el calentamiento de Joule sea mayor en un primer par que en un laminado que solo comprende el segundo y tercer par de capas estructurales. La resistencia volumétrica eléctrica R_1 , por otro lado, es menor que R_2 para permitir que las corrientes parásitas fluyan entre las capas estructurales del primer par. En otras palabras, los primeros pares permiten optimizar el laminado en términos de eficiencia de calentamiento. Los segundos pares del laminado permanecen relativamente fríos para evitar daños, mientras que los primeros pares se calientan de manera más eficiente que la conocida en la técnica, técnica anterior que, de hecho, se basa en el uso de terceros pares únicamente, es decir, laminados que tienen una pluralidad de capas estructurales que están conectadas directamente entre sí.

Sin estar limitado por ninguna teoría, bien podría ser que la resistencia eléctrica volumétrica fuera de plano R_1 de la capa intermedia de un primer par esté optimizada para aumentar el calentamiento Joule y, sin embargo, permita sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del primer par. Una optimización de este tipo puede llevarse a cabo seleccionando los factores que influyen en la resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 . Esta resistencia viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_1 = \rho_1 \cdot t/A \quad (1)$$

En este caso, ρ_1 es la resistividad volumétrica eléctrica del material de la capa intermedia en Ohm.m , 't' es el grosor promedio de la capa intermedia, mientras que 'A' es el área a través de la cual fluye la corriente eléctrica. El área 'A' en un laminado es aproximadamente igual al área de superficie del laminado. De ello se deduce que la resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 puede verse influenciada por la selección del material (de resistividad eléctrica) de la capa intermedia y/o el grosor promedio 't' de la capa intermedia. El límite superior R_2 puede determinarse proporcionando un laminado con segundos pares y observando el calor generado en dicho laminado por un campo electromagnético.

Cabe señalar que todos los valores de resistividad y resistencia eléctricas (volumen y superficie) se miden a temperatura ambiente, siendo una temperatura de 25 °C.

5 Debe tenerse en cuenta que la resistencia superficial R_3 en un tercer par de capas estructurales entre capas es igual a p_3/A , y que la resistencia total entre dos capas en un primer par es igual a la resistencia volumétrica $R_1 + 2$ veces las resistencias superficiales R_3 . De hecho, existen dos interfaces entre cada capa estructural y una capa intermedia. Dado que R_1 es generalmente sustancialmente mayor que R_3 , la contribución de R_3 puede despreciarse.

10 Una realización mejorada de la invención proporciona un laminado en donde $0,1 R_2 < R_1 < 0,9 R_2$, más preferiblemente $0,2 R_2 < R_1 < 0,8 R_2$, aún más preferiblemente $0,3 R_2 < R_1 < 0,7 R_2$, y lo más preferiblemente $0,4 R_2 < R_1 < 0,6 R_2$.

15 Otra realización del laminado según la invención tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente y el primer par está ubicado en el laminado en el exterior soldable del laminado en la dirección fuera del plano del laminado. Esto promoverá el calentamiento de la superficie exterior soldable.

Otra realización más del laminado según la invención tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente y uno del segundo o tercer par está ubicado en el laminado en un exterior opuesto al exterior o interior soldable del laminado. Esto evitará el sobrecalentamiento del exterior opuesto al exterior soldable o del interior del laminado.
20 Esta realización también reduce la necesidad de usar un disipador de calor para reducir el calentamiento de partes del laminado distintas de la superficie exterior soldable.

Tiene ventajas proporcionar un laminado según una realización en la que al menos la capa intermedia del segundo par comprende fibras no conductoras, tales como en forma de una gasa o malla para calibrar el espesor. Otra realización
25 preferida proporciona un laminado en donde al menos la capa intermedia del primer par comprende fibras no conductoras, tal como en forma de una malla o gasa de calibración del espesor. Las realizaciones mencionadas anteriormente permiten un mejor control sobre las resistencias volumétricas R_1 y/o R_2 . De hecho, cuando estos laminados se moldean en un producto moldeado, el grosor promedio de la capa intermedia del primer y/o segundo par estará menos sujeto a cambios. De hecho, las fibras no conductoras no se comprimen fácilmente y pueden proporcionar cierta protección contra la compresión del
30 polímero ablandado. Esto es particularmente relevante para la capa intermedia de un primer par, que de hecho se calienta a una temperatura más alta que la capa intermedia de un segundo par, dado que $R_1 < R_2$.

Las fibras no conductoras en el contexto de la presente solicitud son menos propensas a conducir electricidad que las fibras de carbono o grafito, por ejemplo. Son ejemplos adecuados las fibras de vidrio, las fibras naturales tales
35 como el yute y las fibras orgánicas, tales como las fibras de polietileno y poliaramida.

Se ha establecido además que el calentamiento bajo la acción de un campo electromagnético puede promoverse aún más proporcionando un laminado según una realización en la que las fibras eléctricamente conductoras en al menos una de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par se interrumpen localmente en al menos una de las
40 capas estructurales adyacentes. Se ve que el calentamiento aumenta sustancialmente en la interrupción local.

Otra realización útil proporciona un laminado en donde las fibras eléctricamente conductoras de dos de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par se interrumpen localmente a lo largo de una línea en una capa estructural
45 del par, y a lo largo de otra línea en la otra capa adyacente del par, por lo que ambas líneas se cruzan entre sí.

Otra realización útil proporciona un laminado en donde las fibras eléctricamente conductoras de dos de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par se interrumpen localmente a lo largo de una línea en una capa estructural
del par, y a lo largo de otra línea en la otra capa adyacente del par, por lo que ambas líneas coinciden entre sí.

50 Una realización particularmente útil proporciona un laminado en donde las fibras eléctricamente conductoras del primer y/o tercer par se interrumpen localmente, ya que es particularmente deseable un calentamiento eficiente en estos pares.

Las fibras conductoras pueden estar presentes en las capas estructurales en cualquier forma conocida en la técnica. Por ejemplo, las fibras conductoras pueden aplicarse en forma de una tela tejida en la que las fibras se extienden rectas en la
55 dirección de la fibra principal y las fibras transversales onduladas discurren en una dirección aproximadamente perpendicular a la dirección de la fibra principal. Además, las fibras conductoras se pueden aplicar en forma de una estera aleatoria en la que las fibras discurren aleatoriamente en el plano de la estera. Otras formas pueden comprender estructuras tridimensionales, tales como estructuras trenzadas, por ejemplo. Aún otra forma puede comprender una pluralidad de fibras orientadas unidireccionalmente que discurren paralelas entre sí en una dirección de fibra. Una realización preferida
60 proporciona un laminado en donde las fibras conductoras de las capas estructurales están orientadas unidireccionalmente. Lo mismo se aplica a las fibras no conductoras opcionales que pueden estar presentes en la capa intermedia de un par.

Cuando se usan fibras unidireccionales, un laminado según una realización preferida se caracteriza porque al menos el primer par comprende capas estructurales en las que la dirección unidireccional de la fibra difiere de una capa estructural
65 a otra. Se prefiere particularmente un primer par en el que la dirección unidireccional de la fibra en una capa estructural discurre aproximadamente perpendicular a la dirección unidireccional de la fibra en la otra capa estructural del par.

Cada una de las capas estructurales está formada por fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica. Los materiales particularmente adecuados para construir el laminado comprenden capas estructurales en forma de productos semiacabados, también denominados en la técnica materiales preimpregnados. Los polímeros termoplásticos se pueden acoplar entre capas, o a las fibras de refuerzo de una capa, de manera sencilla mediante fusión cuando se calientan por encima de una temperatura de ablandamiento o fusión del polímero. Los materiales preimpregnados se pueden apilar para formar el laminado.

El material de las capas intermedias puede ser cualquier material adecuado para este propósito. Por ejemplo, los materiales adecuados utilizados en las capas intermedias pueden ser un caucho, un polímero termoendurecible y/o termoplástico, o combinaciones de los mismos. Tiene ventajas cuando el material de la capa intermedia en un par de capas estructurales es el mismo o similar al polímero de matriz termoplástica usado en las capas estructurales del par.

Ejemplos de polímeros termoplásticos particularmente adecuados comprenden una poliolefina, tal como polietileno o polipropileno, una poliamida, y/o polímeros resistentes a altas temperaturas tales como poliéter imida, poliéter éter cetona y sulfuro de polifenileno, por nombrar solo algunos.

Las capas intermedias del primer y/o segundo par de capas estructurales pueden ser una capa separada que se inserta entre dos capas estructurales para formar el par. Sin embargo, una realización preferida se refiere a un laminado en donde las capas estructurales tienen un grosor, tal como en un material preimpregnado, y un área rica en polímero matriz se extiende sobre parte del grosor en uno o ambos lados de una o ambas capas. La capa intermedia del primer y/o segundo par puede formarse entonces por el área rica en polímero de al menos una de las capas estructurales adyacentes del par, y no es necesaria la inserción de una capa intermedia separada entre las capas estructurales.

Existen varias posibilidades, dependiendo de cómo se combinen dichas capas estructurales, preferiblemente preimpregnadas. En primer lugar, las áreas ricas en polímeros de matriz pueden estar presentes en ambos lados de una capa estructural, pueden estar presentes en un lado superior o pueden estar presentes en un lado inferior de la capa estructural. Una capa estructural que tiene un área rica en polímero matriz solo en un lado puede combinarse con otra capa estructural que tenga un área rica en polímero matriz en un lado solo de tres maneras, a saber, proporcionando las áreas ricas en polímero matriz una contra la otra, proporcionando el área rica en polímero matriz de una capa estructural contra un área no rica en polímero matriz de la segunda capa estructural, o proporcionando ambas áreas no ricas en polímero matriz una contra la otra. Debido a los diferentes espesores de capa intermedia logrados, se pueden lograr en consecuencia un segundo par, un primer par y un tercer par.

De hecho, una realización se refiere a un laminado en donde la capa intermedia del primer y/o segundo par está formada por el área rica en polímero de al menos una de las capas estructurales adyacentes del par. Otra realización se refiere a un laminado en donde la capa intermedia del segundo par está formada por el área rica en polímero matriz de ambas capas estructurales adyacentes del par.

La capa intermedia de un primer par según la invención tiene una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_1 , mientras que la capa intermedia de un segundo par según la invención tiene una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_2 , en la que R_1 se selecciona de manera que se permita sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del primer par, y en la que R_2 se selecciona de tal manera que se evita sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del segundo par.

Una forma de influir en la resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R de una capa intermedia es cambiar su grosor. En una realización, por lo tanto, el laminado se caracteriza por el hecho de que el grosor promedio t_1 de la capa intermedia del primer par es inferior al grosor promedio t_2 de la capa intermedia del segundo par. El tercer par presenta un grosor promedio = 0 ya que dicho tercer par no tiene una capa intermedia entre sus capas estructurales.

Según una realización, se proporciona un laminado en donde la capa intermedia del primer par comprende un polímero termoplástico y tiene un grosor promedio de entre 0,05 y 0,15 mm, más preferiblemente de entre 0,07 y 0,12 mm.

Otra realización más proporciona un laminado en donde la capa intermedia del segundo par comprende un polímero termoplástico y tiene un grosor promedio de más de 0,20 mm.

Debe tenerse en cuenta que los espesores medios indicados son los posteriores al procesamiento, es decir, después de que el laminado se haya formado, opcionalmente prensado y consolidado.

Las capas intermedias pueden ser continuas sobre un área plana completa del laminado, pero también pueden cubrir parte de esta área plana. Lo mismo se aplica a un área de contacto entre dos capas estructurales adyacentes. De hecho, según una realización de la invención, se proporciona un laminado en donde las capas estructurales adyacentes de un par tienen cada una un área de contacto y el área rica en polímero de matriz se extiende solo sobre una parte del área de contacto.

Otra realización más proporciona un laminado en donde cada una de las capas estructurales adyacentes tiene una anchura y una longitud de contacto, y el área rica en polímero matriz se extiende sobre parte de la anchura o longitud de contacto.

También puede ser posible proporcionar una capa intermedia sobre las fibras de refuerzo de una capa estructural. Por ejemplo, dichas fibras de refuerzo pueden recubrirse con una carcasa o camisa de un polímero que tenga la resistencia eléctrica apropiada.

Con el fin de influir en la resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 de la capa intermedia de un primer par, el material de dicha capa intermedia puede ser provisto de material conductor. Una realización útil proporciona un laminado en donde la capa intermedia del primer par comprende partículas conductoras, tales como partículas metálicas, incrustadas en un polímero termoplástico. También se pueden usar otros aditivos, tales como partículas ferromagnéticas.

La resistencia del volumen eléctrico también está influenciada por la resistividad eléctrica volumétrica del material del que están hechas las capas intermedias. La resistividad eléctrica volumétrica de un material se mide mediante métodos de ensayo estándar tales como los descritos en la norma ASTM D257. En resumen, se coloca una muestra de tamaño estándar entre dos electrodos. Luego se aplica una tensión durante un período de tiempo (60 segundos) y se mide la resistencia. La resistividad volumétrica se calcula entonces según la fórmula (1) dada anteriormente. Todos los valores de resistividad y resistencia eléctricas (volumen y superficie) se miden a una temperatura de 25 °C. Para pequeñas desviaciones, se aplica una corrección, como se explica en la norma ASTM D257.

Según una realización de la invención, se proporciona un laminado en donde el material de la capa intermedia del primer y/o segundo par de capas estructurales adyacentes tiene una resistividad volumétrica eléctrica entre 10^{15} Ohm.cm y $20,10^{15}$ Ohm.cm.

La resistencia que ofrece cualquier material a una corriente eléctrica es el efecto compuesto de las resistencias de volumen y superficie, que siempre actúan en paralelo. La resistencia volumétrica es la resistencia a las fugas si la corriente eléctrica pasa a través del cuerpo del material, mientras que la resistencia superficial se refiere a la resistencia a las fugas a lo largo de la superficie de un material o una interfaz entre dos materiales. La resistividad superficial de un material eléctricamente aislante es órdenes de magnitud menor que su resistividad volumétrica.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un método para fabricar una parte moldeada del laminado compuesto inventado. El método comprende las etapas de:

- proporcionar una pluralidad de capas estructurales, cada una de las cuales comprende fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica;
- proporcionar una capa intermedia que tiene una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_1 entre dos capas estructurales adyacentes para formar un primer par, en el que se permite sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del primer par;
- proporcionar una capa intermedia con una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 entre dos capas estructurales adyacentes para formar un segundo par, en el cual se evita sustancialmente el flujo de corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del segundo par, donde R_1 y R_2 son finitos y $0 < R_1 < R_2$, donde la capa intermedia en cada par difiere de las dos capas estructurales en cada par, preferiblemente en que la capa intermedia en cada par no comprende fibras eléctricamente conductoras;
- proporcionar opcionalmente dos capas estructurales adyacentes una contra la otra para formar un tercer par opcional;
- apilar las capas estructurales e intermedias para formar una pila de uno o más de los primeros, segundos y terceros pares opcionales;
- formar la pila así obtenida calentando la pila y aplicar presión para formar una parte moldeada del laminado compuesto; y
- consolidar la pieza moldeada mediante enfriamiento.

Las realizaciones ejemplares del método de fabricación de la pieza moldeada proporcionan métodos en donde el laminado tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente y el primer par se coloca en el laminado en el exterior soldable del laminado en la dirección fuera del plano del laminado; en donde el laminado tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente y uno del segundo o tercer par está colocado en el laminado en un exterior opuesto al exterior o interior soldable del laminado; en donde las fibras eléctricamente conductoras en al menos una de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par opcional se interrumpen localmente en al menos una de las capas estructurales adyacentes; en donde las fibras eléctricamente conductoras en dos de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par opcional se interrumpen localmente a lo largo de una línea en una capa estructural del par, y a lo largo de otra línea en la otra capa adyacente del par, por lo que ambas líneas se cruzan entre sí; en donde las fibras eléctricamente conductoras en dos de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par opcional se interrumpen localmente a lo largo de una línea en una capa estructural del par, y a lo largo de otra línea

en la otra capa adyacente del par, por lo que ambas líneas coinciden entre sí; en donde las fibras eléctricamente conductoras del primer y/o tercer par opcional se interrumpen localmente; en donde las fibras conductoras de las capas estructurales están orientadas unidireccionalmente, y en donde la pluralidad de capas estructurales se apilan de manera que al menos el primer par comprende capas estructurales en las que la dirección unidireccional de la fibra difiere de una capa estructural a otra en dicho primer par; en donde las capas estructurales tienen un grosor y un área rica en polímero matriz se extiende sobre parte del grosor en uno o ambos lados de algunas de las capas, y en donde la capa intermedia del primer y/o segundo par está formada por el área rica en polímero de al menos una de las capas estructurales adyacentes del par; en donde la capa intermedia del segundo par está formada por el área rica en polímero matriz de ambas capas estructurales adyacentes del par; en donde las capas estructurales adyacentes tienen cada una un área de contacto y el área rica en polímero de matriz se extiende sobre parte del área de contacto; en donde cada una de las capas estructurales adyacentes tiene una anchura y una longitud de contacto, y el área rica en polímero de matriz se extiende sobre parte de la anchura o longitud de contacto; en donde la capa intermedia del primer par comprende partículas conductoras incrustadas en un polímero termoplástico para ajustar la resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R1, permitiendo sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del primer par; en donde el polímero termoplástico de matriz de las capas estructurales y/o la capa intermedia del primer y/o segundo par comprende un polímero termoplástico de poliariletercetona semicristalino; y en donde el material de la capa intermedia del primer y/o segundo par de capas estructurales adyacentes tiene una resistividad eléctrica volumétrica entre 10^{15} Ohm.cm y $20 \cdot 10^{15}$ Ohm.cm, según lo medido por ASTM D257.

Según otro aspecto más de la invención, se proporciona un método para la soldadura electromagnética de partes moldeadas del laminado inventado. El método comprende las etapas de:

- poner en contacto las superficies exteriores soldables de las piezas moldeadas entre sí para definir una superficie de contacto;
- proporcionar un inductor que genere un campo electromagnético bajo tensión alterna y caliente las fibras eléctricamente conductoras en las piezas moldeadas de manera que el polímero matriz de las capas estructurales del segundo par de cada pieza moldeada se mantenga por encima de su temperatura de fusión;
- el polímero matriz de las capas estructurales del primer par y del tercer par opcional de cada pieza moldeada se mantiene por debajo de su temperatura de fusión; y
- opcionalmente prensar las piezas moldeadas entre sí.

El método permite realizar una conexión soldada de buena calidad entre las piezas moldeadas de manera rápida y eficiente, en la que el producto obtenido tiene una capacidad de carga mecánica particularmente buena. El calor se genera de manera eficiente en los primeros pares de capas estructurales para llevar la matriz termoplástica por encima de su temperatura de reblandecimiento o fusión, mientras que se dificulta el calentamiento de los segundos pares de capas estructurales para mantener la temperatura de la matriz termoplástica en dichos segundos pares por debajo de su temperatura de reblandecimiento o fusión. Debido a que el inductor no necesariamente entra en contacto con las piezas moldeadas, se minimiza la posibilidad de daños mecánicos, lo que es particularmente importante para aplicaciones de alta calidad, como en la aviación y la industria aeroespacial.

Según una realización, se proporciona un método en donde el inductor se mueve a lo largo de una trayectoria con respecto a la superficie de contacto de las piezas moldeadas de manera que las fibras eléctricamente conductoras se calientan en una parte predeterminada de la superficie de contacto. Esto mejora aún más la eficiencia. El inductor puede ser desplazado sobre la superficie de contacto mediante un brazo robótico, por ejemplo, o mediante una guía lineal para realizar la conexión.

El tipo de inductor puede elegirse según las circunstancias. Por ejemplo, puede tener forma de espiral. El método también puede usar un inductor que comprende un segmento de inducción lineal. Un segmento de inducción lineal genera un campo electromagnético que es sustancialmente cilíndrico en al menos una dirección de soldadura. Al colocar el inductor de manera que el segmento de inducción discorra sustancialmente paralelo a la pared de un molde, la superficie de contacto entre las partes moldeadas puede calentarse de una manera altamente selectiva, por lo que se puede obtener una conexión soldada precisa.

Dependiendo de los materiales utilizados, se puede determinar una potencia y una frecuencia adecuadas del campo electromagnético. La frecuencia determina, entre otras cosas, la potencia de penetración del campo electromagnético; la potencia eléctrica del inductor determina la resistencia del campo electromagnético fluctuante y, por lo tanto, el grado de calor generado en las fibras eléctricamente conductoras.

Para la aplicación en el método según la invención, el inductor está conectado a un generador de corriente alterna, en donde el generador de corriente alterna está conectado eléctricamente al medio de conexión eléctrica del inductor. Las frecuencias utilizables se encuentran generalmente entre 0,1-10 MHz. Se usa preferiblemente una frecuencia entre 0,1 y 0,5 MHz, y más preferiblemente una frecuencia entre 0,15 y 0,4 MHz. A dicha frecuencia preferida, se logra un equilibrio óptimo entre la potencia de penetración del campo electromagnético y la velocidad de calentamiento.

Las realizaciones de la invención descritas en esta solicitud de patente pueden combinarse en cualquier forma posible de las mismas, y cada realización puede formar individualmente el objeto de una solicitud de patente divisionaria.

Breve descripción de las figuras

5 A continuación, se describirá la invención con relación a las siguientes figuras, sin, no obstante, limitarse a las mismas. En las figuras:

10 La figura 1 muestra esquemáticamente un método para unir dos piezas moldeadas mediante soldadura electromagnética según una realización de la invención;

la figura 2 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de un laminado según una realización de la invención;

15 la figura 3 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de un laminado según otra realización de la invención;

la figura 4 muestra esquemáticamente pares de capas estructurales que pueden usarse en un laminado según otra realización más de la invención;

20 la figura 5 muestra esquemáticamente las curvas de calentamiento para los pares mostrados en la figura 4;

la figura 6 muestra esquemáticamente parte de un laminado según otra realización más de la invención;

25 la figura 7A muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de una monocapa de fibras conductoras como parte de un laminado según otra realización más de la invención;

la figura 7B muestra esquemáticamente una sección transversal de la monocapa mostrada en la figura 7A;

30 la figura 8 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de dos monocapas de fibras conductoras como parte de un laminado según otra realización más de la invención; y

la figura 9 muestra finalmente un dispositivo de soldadura que puede usarse en un método según una realización de la invención.

35 Descripción detallada de realizaciones de ejemplo

La figura 1 muestra un inductor lineal 1 que provoca un campo electromagnético circular 2 mediante la aplicación de una corriente alterna de una frecuencia adecuada para la soldadura electromagnética a una potencia adecuada. Una primera pieza moldeada o laminado 3 y una segunda pieza moldeada o laminado 4 se ponen en contacto mutuo a lo largo de las superficies de contacto en este campo electromagnético 2. Las piezas moldeadas se fabrican a partir de una resina termoplástica reforzada con fibras de carbono. El calor se desarrolla localmente en las fibras de carbono bajo la influencia del campo electromagnético 2, por lo que el polímero termoplástico se calienta por encima de su temperatura de fusión, al menos en la superficie de contacto 5. Al presionar con medios de prensado (no mostrados) es posible acoplar las piezas moldeadas termoplásticas activadas térmicamente (3, 4) de este modo en la superficie de contacto 5, en donde el acoplamiento en la superficie de contacto 5 se vuelve permanente después del enfriamiento de las piezas moldeadas (3, 4) a una temperatura inferior a la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero termoplástico. La figura muestra además el diagrama de temperatura en la superficie de contacto 5 durante el calentamiento, en el que la temperatura relativa T se representa frente a la posición en la superficie de contacto 5. Una tercera dirección 6 define la dirección en la que se mueve la bobina inductora 1 durante la soldadura. El diagrama de temperatura muestra que el campo electromagnético 2 de intensidad constante puede provocar un calentamiento irregular en la superficie de contacto 5, en donde se observa una variación más o menos parabólica de la temperatura en la superficie de contacto 5. El diagrama de temperatura también muestra una variación en la dirección 6, que corresponde a la dirección de movimiento de la bobina inductora 1, es decir, la dirección de la soldadura A. La variación en el calentamiento puede provocar además que partes de las piezas moldeadas (3, 4) se degraden térmicamente por un sobrecalentamiento local y/o una adhesión mutua local incompleta de las piezas moldeadas (3, 4). Esto es generalmente indeseable y un laminado y un método según la invención proporcionan una solución a este y otros problemas.

60 Con referencia a la figura 2, se muestra una vista esquemática en perspectiva de un laminado 10 según una realización de la invención. El laminado compuesto reforzado con fibras 10 puede usarse ventajosamente en la soldadura electromagnética de partes moldeadas de dichos laminados, como se muestra en la figura 1. El laminado 10 comprende 6 capas estructurales, de las cuales 3 capas estructurales (11a, 11b, 11c) tienen fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz de PEEK termoplástica de manera que las fibras se extienden unidireccionalmente (como muestran las flechas 110) paralelas a una dirección longitudinal 15 del laminado 10. En el laminado 10, otras 3 capas estructurales (12a, 12b, 12c) tienen fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica de manera

que las fibras se extienden unidireccionalmente (como muestran las flechas 120) en una dirección transversal 16 del laminado 10. Por lo tanto, las fibras de las capas 11 (11a, 11b, 11c) y 12 (12a, 12b, 12c) forman un ángulo de 90 grados entre sí. Las corrientes parásitas son inducidas en las fibras eléctricamente conductoras por un conductor eléctrico 1, tal como el mostrado en la figura 1, que genera un campo electromagnético 2.

Las capas (11, 12) están unidas entre sí, ya sea directamente o a través de capas intermedias (13, 14). Las capas intermedias (13, 14) y las capas estructurales (11, 12) se apilan de tal manera que se obtiene la siguiente secuencia de apilamiento.

Un primer par 17c tiene una capa intermedia 14 situada entre las dos capas estructurales (11c, 12c) del par 17c. La capa intermedia 14 está fabricada con un polímero de PEEK con una resistividad volumétrica eléctrica dada y tiene un grosor promedio 140 que resulta en una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 , lo que permite sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales (11c, 12c) del primer par 17c.

El laminado 10 también comprende segundos pares 17b, cada uno formado por una capa intermedia (13a, 13b, 13c) intercalada entre dos capas estructurales colocadas de manera adyacente. Por ejemplo, la capa intermedia 13a se coloca entre las capas estructurales 12a y 11b, la capa intermedia 13b se coloca entre las capas estructurales 11b y 12b, y la capa intermedia 13c se coloca entre las capas estructurales 12b y 11c. Debe tenerse en cuenta que en esta definición, una capa estructural puede ser parte de un par diferente de capas. De hecho, la capa estructural 11b, por ejemplo, es parte de dos segundos pares 17b. En la realización mostrada, las capas intermedias (13a, 13b, 13c) también están hechas de un polímero de PEEK con una resistividad eléctrica volumétrica dada y todas tienen un grosor promedio 130 que resulta en una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 , que evita sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las capas estructurales (12a, 11b, 12b, 11c) que contactan con las capas intermedias (13a, 13b, 13c) de los segundos pares 17b. Las resistencias R_1 y R_2 son finitas y $0 < R_1 < R_2$. En la realización mostrada, $0,4 R_2 < R_1 < 0,6 R_2$, lo cual se logra seleccionando el grosor promedio 140 para oscilar entre 0,4 y 0,6 del grosor promedio 130.

El laminado también puede comprender un tercer par 17a de capas estructurales, como se muestra. El tercer par 17a está ubicado en una superficie superior del laminado 10 y no tiene una capa intermedia entre las dos capas estructurales (11a, 12a) del par 17a. En otras palabras, las capas (11a, 12a) están unidas directamente entre sí. El laminado 10, tal como se muestra, tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente que corresponde a una superficie inferior 150. Como se muestra, el primer par 17c está ubicado en el laminado 10 en la dirección 18 fuera del plano del laminado 10, cerca de la superficie exterior soldable 150 del laminado 10. Los segundos pares 17b se encuentran dentro del laminado 10, más alejados de la superficie inferior 150. El tercer par 17a está ubicado en la superficie superior 160 del laminado 10.

El laminado moldeado 10 puede soldarse electromagnéticamente o unirse a otra pieza moldeada 40. Aunque no se muestra en detalle, esta pieza moldeada 40 también puede comprender un laminado como el descrito anteriormente. Como se muestra en la figura 1, en la que las partes (3, 4) se sustituyen por el laminado 10 y la parte moldeada 40 respectivamente, el calor se desarrolla localmente en las fibras de carbono bajo la influencia del campo electromagnético 2, por lo que el polímero PEEK termoplástico se calienta por encima de su temperatura de fusión, al menos en la superficie inferior 150. Al presionar con medios de prensado (no mostrados) es posible acoplar las piezas moldeadas termoplásticas activadas térmicamente (10, 40) en la superficie inferior 150, en donde el acoplamiento en la superficie de contacto 5 se vuelve permanente después del enfriamiento de las piezas moldeadas (10, 40) a una temperatura inferior a la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero de PEEK termoplástico. Debido a la presencia de los segundos pares 17b en el laminado 10, se evita sustancialmente el calentamiento de estos pares 17b por encima de la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero de PEEK termoplástico. Esto evita el sobrecalentamiento de estos segundos pares 17b. Por otro lado, debido a la presencia del primer par 17c en el laminado 10, se cataliza el calentamiento de este par 17c por encima de la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero de PEEK termoplástico, y la intensidad del campo electromagnético se usa de manera más eficiente de lo que se conoce. El tercer par 17a también se calienta, pero más moderadamente que el primer par 17c. Para evitar el sobrecalentamiento en el primer par 17c, se puede aplicar un disipador de calor (no mostrado) a la superficie superior 160 del laminado 10.

Por favor, debe tenerse en cuenta que otra capa intermedia con una resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_1 puede colocarse entre la superficie inferior 150 y la superficie superior de la pieza moldeada 40, si se desea.

La figura 3 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de un laminado según otra realización de la invención, en la que las capas intermedias (13, 14) se extienden sobre parte de una longitud del laminado 10 en la dirección longitudinal 15. Debe tenerse en cuenta que los números de referencia utilizados indican las mismas características que en la figura 2. Debe tenerse en cuenta también que el laminado se muestra en estado no consolidado con un grosor exagerado de las capas. Cuando se consoliden, las capas 12a, 11b, 12b y 11c se presionarán una contra la otra a lo largo del lado transversal 170 del laminado. En la realización mostrada, las capas intermedias (13, 14) se extienden hasta la pieza moldeada 40 a la que está soldado el laminado 10, al menos en la dirección longitudinal 15.

Como se muestra en la figura 4, una realización del laminado puede estar formada por materiales preimpregnados reforzados con fibra 20 como capas estructurales (11, 12). Cada material preimpregnado 20 tiene un grosor 21 y un área 22 rica en polímero de matriz que se extiende sobre la parte 23 del grosor en un lado del material preimpregnado 20, es decir, en un lado superior del material preimpregnado 20, como se muestra en la figura del lado izquierdo de la figura 4. Un área

reforzada con fibras 25 comprende las fibras de refuerzo del material preimpregnado 20 incrustadas en el polímero matriz. El área 22 rica en polímero está esencialmente desprovista de fibras de refuerzo. La zona reforzada con fibras 25 se extiende hasta un lado inferior del material preimpregnado 20 y este lado inferior se denomina zona carente de polímero 26. Estos materiales preimpregnados 20 se usan para construir el laminado 10 apilando una pluralidad de dichos materiales preimpregnados 20 uno encima del otro según una secuencia de apilamiento determinada. En la figura del lado derecho de la figura 4 se muestran ejemplos de una pila de dos productos preimpregnados 20. Una primera pila 24a de dos materiales preimpregnados 20 comprende materiales preimpregnados 20 en los que el área 22 rica en polímero de un material preimpregnado 20 entra en contacto con un área 26 carente de polímero del segundo material preimpregnado 20 para formar una capa intermedia de espesor 23. Una segunda pila 24b de dos materiales preimpregnados 20 comprende materiales preimpregnados 20 en los que el área 22 rica en polímero de un material preimpregnado 20 entra en contacto con un área 22 rica en polímero del segundo material preimpregnado 20 para formar una capa intermedia de dos veces el grosor 23. Una tercera pila 24c de dos materiales preimpregnados 20 comprende materiales preimpregnados 20 en los que el área carente de polímero 26 de un material preimpregnado 20 entra en contacto con un área carente de polímero 26 del segundo material preimpregnado 20. Esto crea un tercer par 17a de capas estructurales (11a, 12a) en las que falta una capa intermedia. Dependiendo de las resistencias eléctricas volumétricas logradas (o alternativamente de los espesores logrados), la pila 24a puede formar un primer par con una capa intermedia 22 posicionada entre los dos preimpregnados estructurales 20, donde la capa intermedia tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 , lo que permite sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre las dos capas estructurales del primer par. Dependiendo de las resistencias eléctricas volumétricas logradas (o alternativamente los espesores logrados), la pila 24b puede formar un segundo par que tenga una capa intermedia, compuesta por dos áreas ricas en polímero 22, posicionadas entre los dos preimpregnados estructurales 20, donde la capa intermedia tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 , que evita sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del segundo par.

Haciendo referencia a la figura 5, se muestran esquemáticamente las curvas de calentamiento para los pares mostrados en la figura 4. En el diagrama, la temperatura 50 ($^{\circ}\text{C}$) alcanzada en un par se muestra en función de la corriente 51 (en A) que atraviesa el inductor. La curva superior 52a representa los resultados obtenidos en la pila 24a, mientras que la curva inferior 52b representa los resultados obtenidos en la pila 24b. Los resultados obtenidos en la pila 24c están entre estos dos extremos 9 (curva 52c). Está claro que se necesita menos corriente para calentar la pila 24a que la pila 24b. Alternativamente, para un mismo valor de corriente 51a (o intensidad de campo electromagnético), la pila 24a se calentará por encima de la temperatura de reblandecimiento o fusión del polímero de matriz, mientras que la pila 24b puede permanecer por debajo de su temperatura de reblandecimiento o fusión, siendo la diferencia de temperatura alcanzada de aproximadamente 30 $^{\circ}\text{C}$.

En la figura 6 se muestra otra realización más del laminado 10 inventado. Debe tenerse en cuenta que solo se muestra un par 17c de dos capas estructurales (11c, 12c) (los números de referencia están de acuerdo con la figura 2), en donde el par 17c comprende además una capa intermedia 14, que se muestra como una capa transparente. En esta realización, las fibras eléctricamente conductoras (60, 61) de dos de las capas estructurales (11c, 12c) del primer par 17c se interrumpen localmente a lo largo de una línea 55, paralela a la dirección longitudinal 15 del laminado, en una capa estructural inferior 12c del par, en la que las fibras 61 se extienden en la dirección transversal 16 del laminado, y a lo largo de otra línea 56, paralela a la dirección transversal 16 del laminado, en la capa estructural superior 11c del par, en la que las fibras 60 se extienden en la dirección longitudinal 15 del laminado. Como se muestra, ambas líneas (55, 56) se cruzan entre sí en un área B, y ha resultado que el calentamiento aumenta considerablemente en y alrededor de esta área B, debido a la interrupción de las fibras conductoras de electricidad. Para obtener el efecto, también puede ser posible interrumpir las fibras en una parte del grosor de las dos capas estructurales (11c, 12c).

Principios similares a los explicados anteriormente pueden aplicarse a un nivel más pequeño, es decir, al nivel de una monocapa 7 de fibras (60, 61). Haciendo referencia a la figura 7A y a la vista en sección transversal según una línea C-C' de la figura 7B, se ve que varias fibras 60 están revestidas o rodeadas por una capa o lámina de polímero 63. La capa o lámina de polímero 63 puede tener una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 , que permite sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre dos monocapas estructurales 7 apiladas una sobre otra. Alternativamente, la capa o lámina de polímero 63 puede tener una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 , que evita sustancialmente que las corrientes parásitas fluyan entre dos monocapas estructurales 7 apiladas una sobre la otra. Aunque la figura 7B muestra una pluralidad de fibras 60 que están revestidas o rodeadas por la capa o lámina de polímero 63, dicho revestimiento o lámina 63 también se puede aplicar alrededor de una fibra (que tiene múltiples filamentos) o haz de fibras.

Haciendo referencia a la realización de la figura 8, las fibras eléctricamente conductoras (60, 61) de dos monocapas 7 (7a, 7b) adyacentes se interrumpen localmente a lo largo de una línea 65, paralela a la dirección longitudinal 15 del laminado, en una monocapa inferior 7b del par, en la que las fibras 61 se extienden en la dirección transversal 16 del laminado, y a lo largo de otra línea 66, paralela a la dirección transversal 16 del laminado, en la monocapa superior 7a del par, en la que las fibras 60 se extienden en la dirección longitudinal 15 del laminado. Como se muestra, ambas líneas (65, 66) se cruzan en un área B', y ha resultado que el calentamiento aumenta considerablemente en y alrededor de esta área B', debido a la interrupción de las fibras conductoras de electricidad (60, 61).

La figura 9 finalmente muestra un dispositivo de soldadura 30 provisto de un inductor de unión 31. El inductor 31 puede ser guiado a lo largo de una línea de soldadura que puede ser un camino preprogramado mediante un robot industrial de seis ejes 32 para lograr una soldadura deseada. En este caso, las piezas moldeadas según las realizaciones de la invención pueden ser fijadas para la soldadura y presionadas juntas en un molde 33, fabricado con este propósito. El

- 5 molde 33 puede estar provisto de un rebaje 34 a través del cual el inductor 15 puede moverse cerca de las piezas moldeadas para soldadura. El inductor 15 puede conectarse a un generador 35 de corriente alterna dispuesto en el robot 32 con el fin de generar el campo electromagnético. La intensidad del campo electromagnético puede variarse a lo largo de la línea de soldadura para compensar, al menos parcialmente, cualquier variación de temperatura que pueda producirse en el plano de contacto de las piezas moldeadas a lo largo de la línea de soldadura.

REIVINDICACIONES

1. Un laminado compuesto reforzado con fibras (10) para su uso en soldadura electromagnética de

piezas moldeadas de dichos laminados, comprendiendo el laminado una pluralidad de capas estructurales (11a, 11b, 11c, 12a, 12b, 12c): cada una formada por fibras eléctricamente conductoras incrustadas en una matriz termoplástica, en donde pueden inducirse corrientes parásitas en las fibras eléctricamente conductoras mediante un conductor eléctrico que genera un campo electromagnético;

en donde la pluralidad de capas estructurales comprende un primer (17c), un segundo (17b) y, opcionalmente, un tercer par (17a) de dos capas estructurales adyacentes posicionadas, en donde - el primer par (17c) tiene una capa intermedia (14) posicionada entre las dos capas estructurales (11c, 12c) del par, en donde la capa intermedia tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_1 , que permite sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del primer par;

- el segundo par (17b) tiene una capa intermedia (13a, 13b, 13c) posicionada entre las dos capas estructurales (12a y 11b, 11b y 12b, 12b y 11c) del par, en donde la capa intermedia tiene una resistencia eléctrica volumétrica fuera del plano R_2 , que evita sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del segundo par, y

- el tercer par opcional no tiene una capa intermedia entre las dos capas estructurales del par;

en donde, además;

- R_1 y R_2 son finitas y $0 < R_1 < R_2$;

- la capa intermedia de cada primer y segundo par difiere de las dos capas estructurales de cada primer y segundo par en que la capa intermedia de cada primer y segundo par no comprende las fibras eléctricamente conductoras; y

la condición $R_1 < R_2$ se logra teniendo $p_1 \cdot t_1 < p_2 \cdot t_2$ en donde p_1 es la resistividad volumétrica eléctrica del material de la capa intermedia en el primer par, t_1 es el espesor promedio de la capa intermedia en el primer par, p_2 es la resistividad volumétrica eléctrica del material de la capa intermedia en el segundo par, y t_2 es el espesor promedio de la capa intermedia en el segundo par.

2. Laminado según la reivindicación 1, en donde el laminado tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente (150) y el primer par está ubicado en el laminado en el exterior soldable del laminado en la dirección fuera del plano del laminado.

3. Laminado según las reivindicaciones 1 o 2, en donde el laminado tiene una superficie exterior soldable electromagnéticamente y uno del segundo par o tercer par opcional está ubicado en el laminado en un exterior opuesto al exterior o interior soldable del laminado.

4. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos la capa intermedia del segundo par comprende fibras no conductoras, tales como en forma de una gasa o malla para calibrar el espesor.

5. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las fibras eléctricamente conductoras de al menos una de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par opcional están interrumpidas localmente en al menos una de las capas estructurales adyacentes.

6. Laminado según la reivindicación 5, en donde las fibras eléctricamente conductoras de dos de las capas estructurales del primer, segundo y/o tercer par opcional se interrumpen localmente a lo largo de una línea en una capa estructural del par y a lo largo de otra línea en la otra capa adyacente del par, por lo que ambas líneas se cruzan entre sí.

7. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en donde las fibras eléctricamente conductoras del primer par y/o del tercer par opcional están interrumpidas localmente.

8. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las fibras conductoras de las capas estructurales están orientadas unidireccionalmente.

9. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa intermedia del primer par comprende un polímero termoplástico y tiene un grosor promedio de entre 0,05 y 0,15 mm, más

preferiblemente de entre 0,07 y 0,12 mm, y en donde la capa intermedia del segundo par comprende un polímero termoplástico y tiene un grosor promedio de más de 0,20 mm.

- 5 10. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las capas estructurales tienen un grosor y un área rica en polímero matricial se extiende sobre parte del grosor en uno o ambos lados de algunas de las capas.
- 10 11. Laminado según la reivindicación 10, en donde la capa intermedia del primer y/o segundo par está formada por el área rica en polímero de al menos una de las capas estructurales adyacentes del par.
- 15 12. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa intermedia del primer par comprende partículas conductoras incrustadas en un polímero termoplástico para ajustar la resistencia volumétrica eléctrica fuera del plano R_1 , permitiendo sustancialmente que circulen corrientes parásitas entre las dos capas estructurales del primer par.
- 20 13. Laminado según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de la capa intermedia del primer y/o segundo par de capas estructurales adyacentes tiene una resistividad volumétrica eléctrica entre 10^{15} Ohm.cm y $20 \cdot 10^{15}$ Ohm.cm, según lo medido por ASTM D257.
- 25 14. Método para la soldadura electromagnética de piezas moldeadas de un laminado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, que comprende las etapas de:
 - poner en contacto las superficies exteriores soldables de las piezas moldeadas para definir una superficie de contacto;
 - proporcionar un inductor que genere un campo electromagnético bajo tensión alterna y caliente las fibras eléctricamente conductoras de las piezas moldeadas de manera que el polímero matriz de las capas estructurales del segundo par de cada pieza moldeada se mantenga por encima de su temperatura de fusión; y
 - 30 - el polímero de matriz de las capas estructurales del primer par y del tercer par opcional de cada pieza moldeada se mantiene por debajo de su temperatura de fusión; y
 - opcionalmente prensar las piezas moldeadas entre sí.
- 35 15. Método según la reivindicación 14, en donde el inductor se mueve a lo largo de una trayectoria con respecto a la superficie de contacto de las piezas moldeadas de manera que las fibras eléctricamente conductoras se calientan en una parte predeterminada de la superficie de contacto.
16. Método según las reivindicaciones 14 o 15, en donde el inductor comprende un segmento de inducción lineal que genera un campo electromagnético que es sustancialmente cilíndrico en al menos una dirección de soldadura.

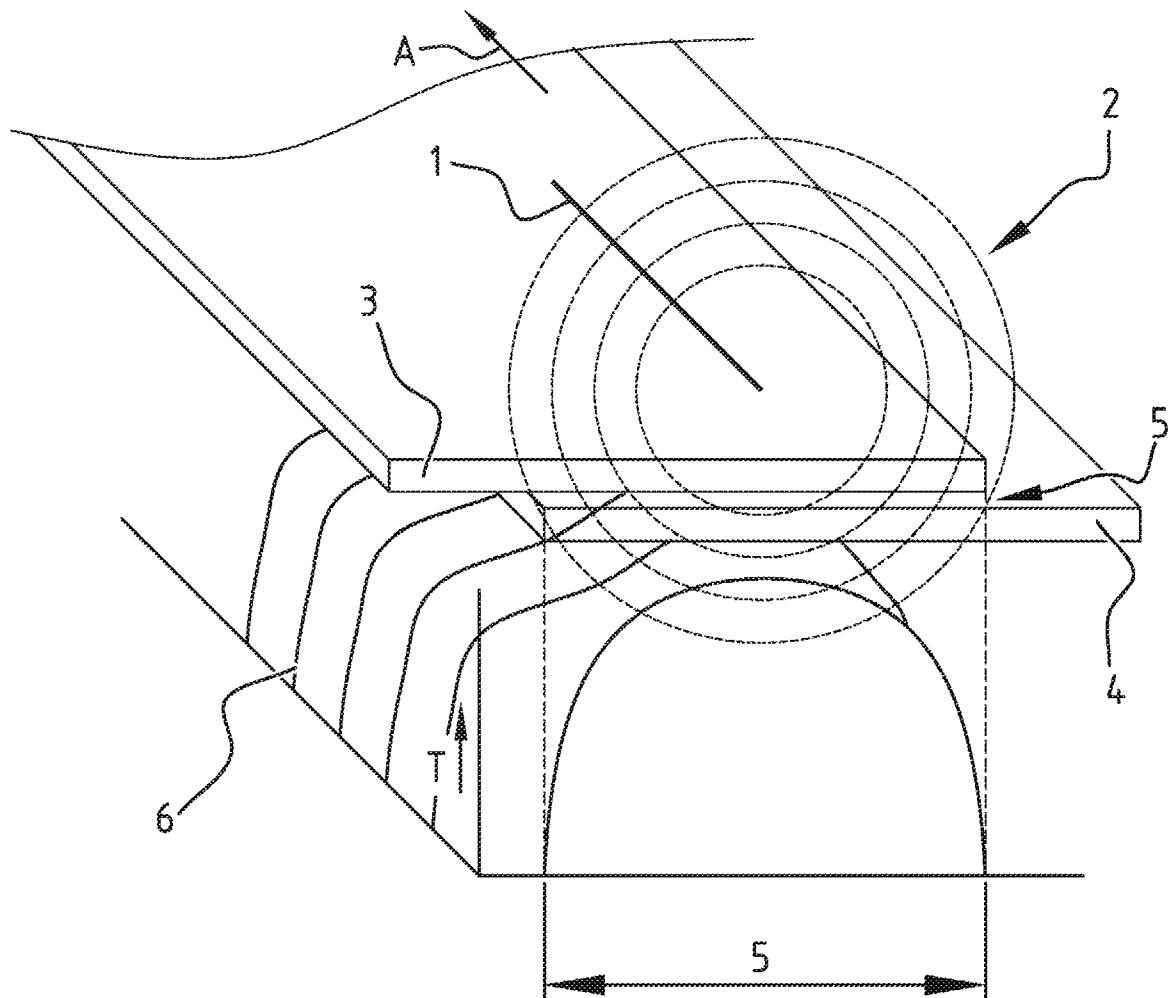
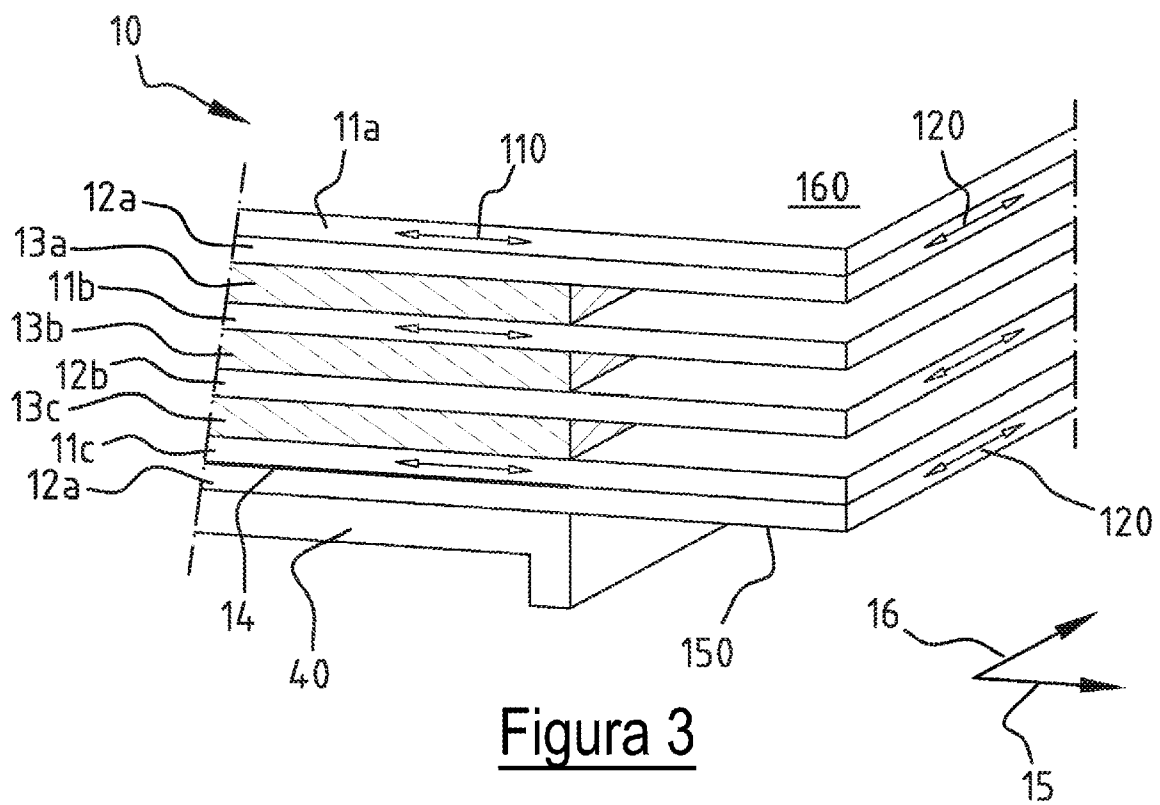
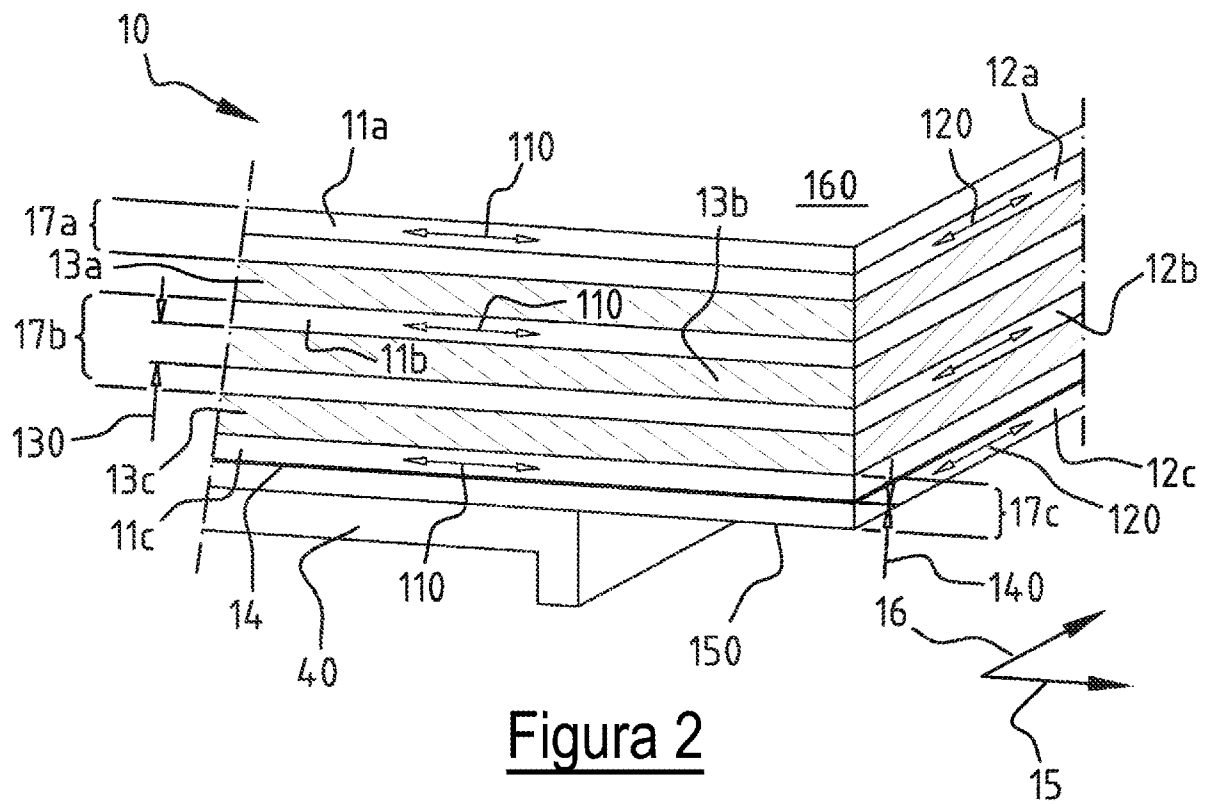


Figura 1



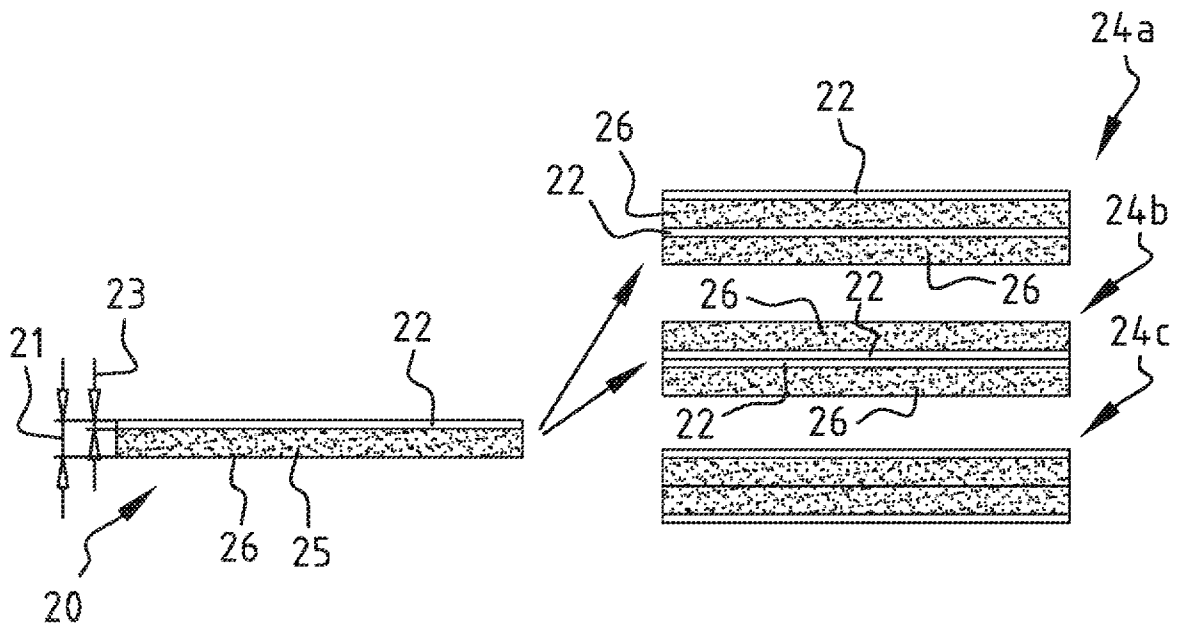


Figura 4

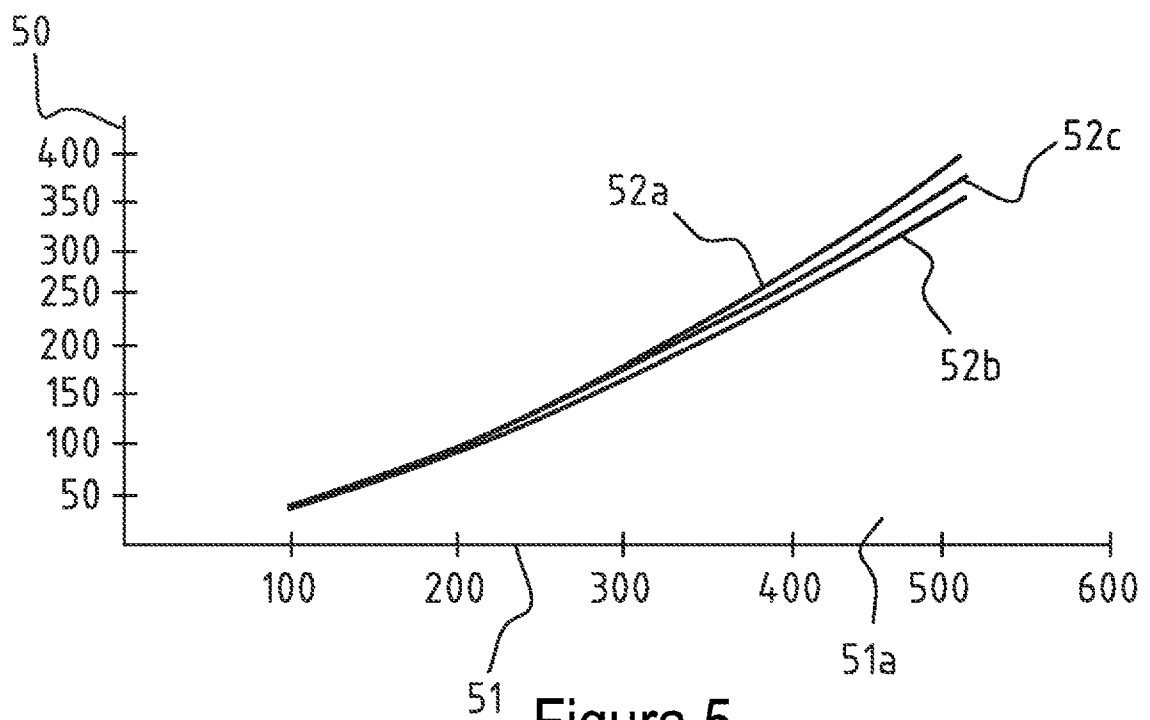


Figura 5

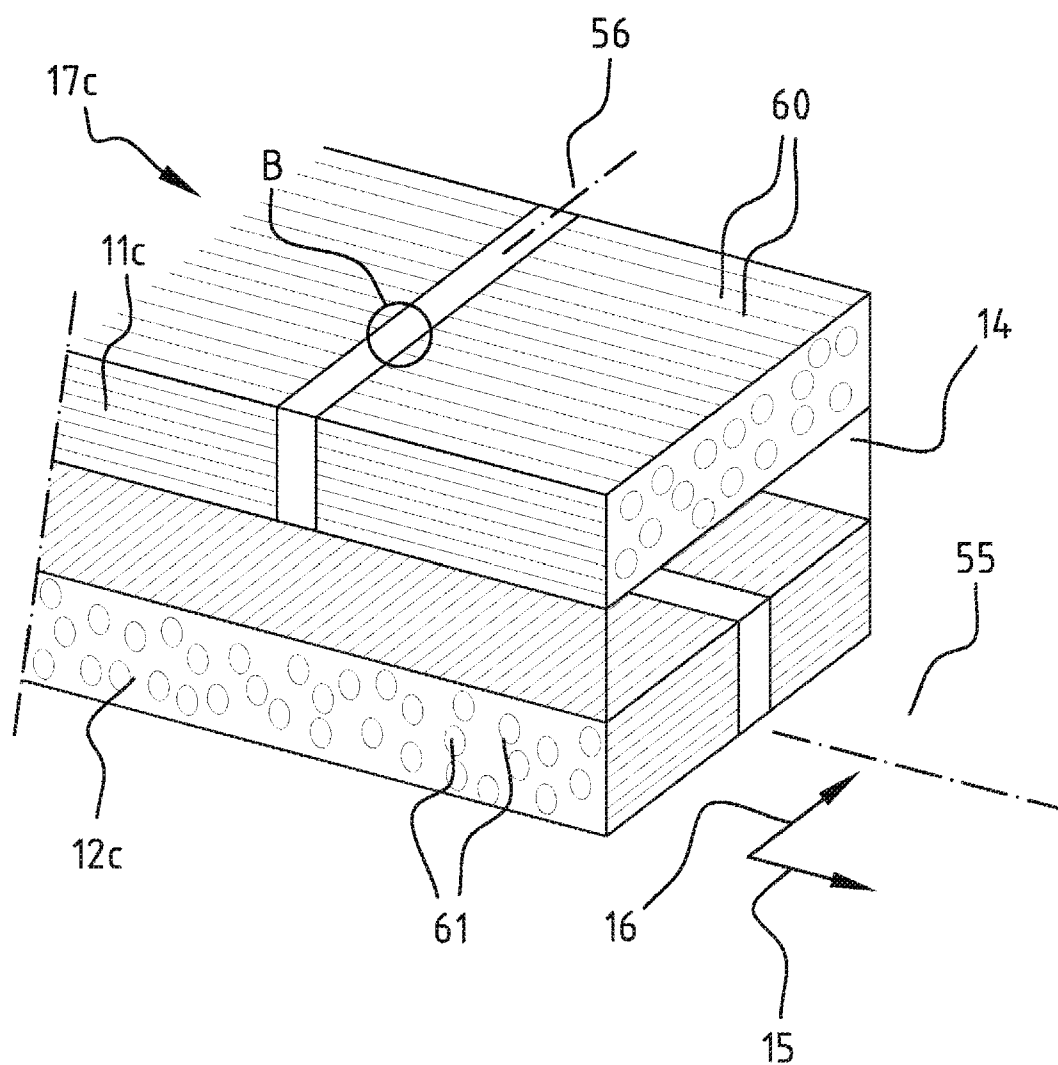


Figura 6

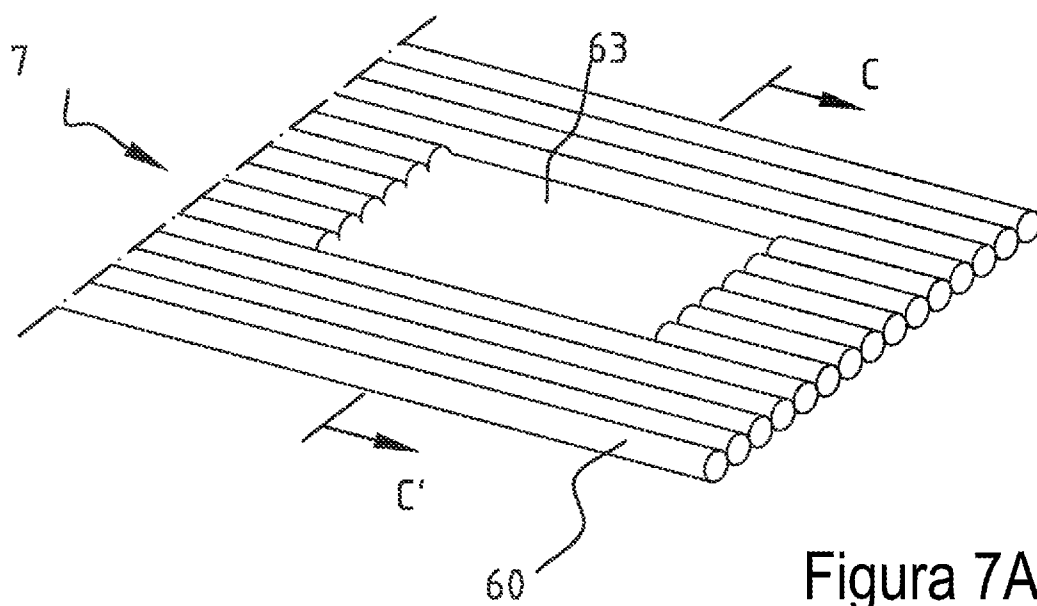


Figura 7A

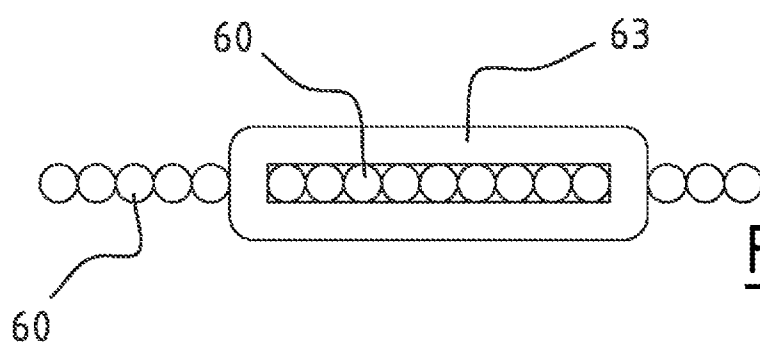


Figura 7B

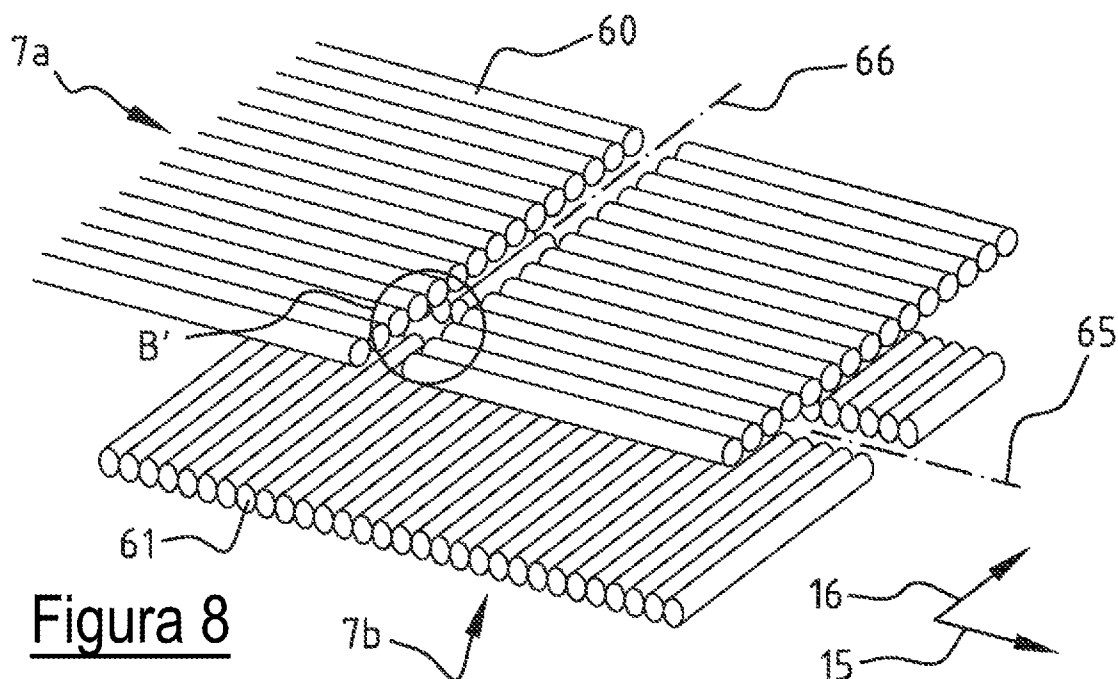


Figura 8

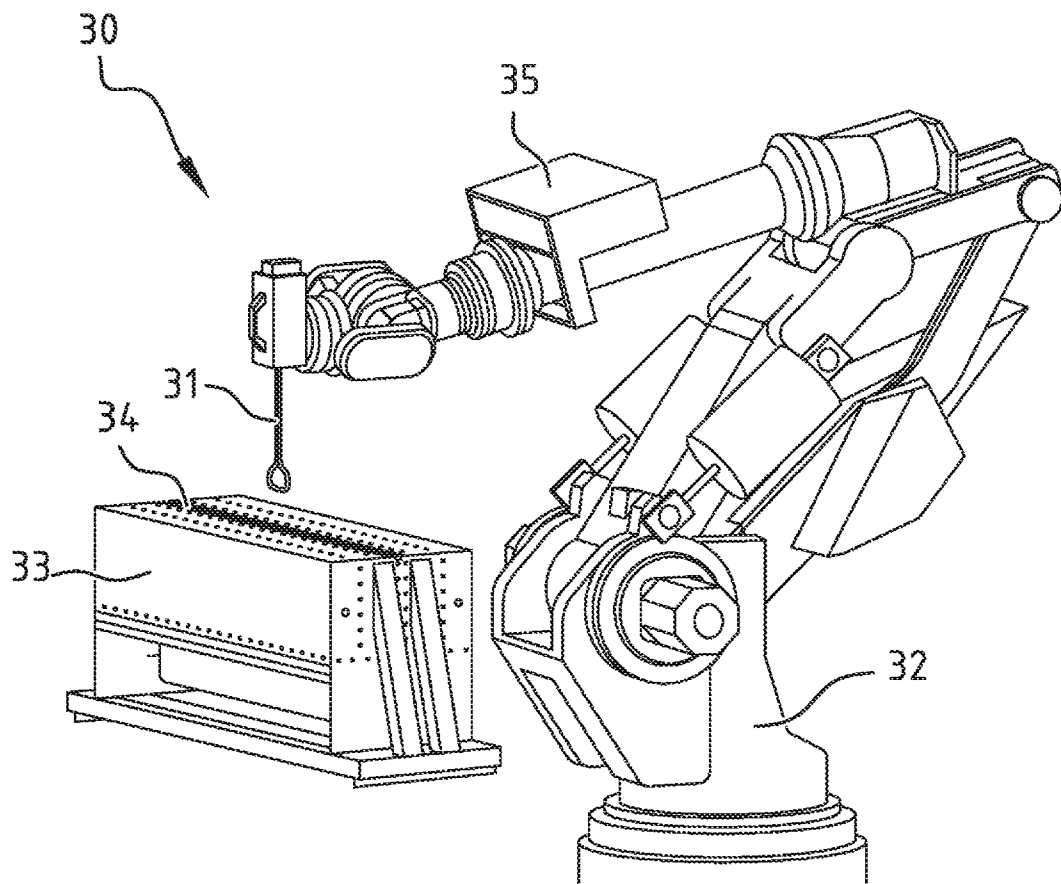


Figura 9