

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 947 527**

51 Int. Cl.:

**B29C 64/106** (2007.01)

**B29C 64/336** (2007.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B33Y 70/00** (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.07.2017 PCT/EP2017/069298**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.02.2018 WO18024667**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2017 E 17746469 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2023 EP 3490782**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una pieza de material compuesto de fibra de múltiples capas, tridimensional**

30 Prioridad:

**01.08.2016 DE 102016214187**

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

**10.08.2023**

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastr. 27c  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**DÖRSCH, CHRISTIAN y  
ROSEMANN, HEIKO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 947 527 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 para fabricar una pieza de material compuesto de fibra de múltiples capas, tridimensional

5 La invención se refiere a una pieza constructiva y a un procedimiento para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas, tridimensional, de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 15 o 1.

10 Según el estado de la técnica se conoce fabricar productos por medio de fabricación aditiva. Se requieren piezas de plástico en pequeñas cantidades, particularmente en la construcción de prototipos, que se producen mediante procedimientos de fabricación como la "creación rápida de prototipos".

15 Se conoce un procedimiento por el documento EP 2 739 460 B1, en el que se basa el preámbulo de la reivindicación 1, que, con la aplicación generativa de un material termoplástico, alimenta al mismo tiempo una fibra continua y la embebe en el termoplástico.

20 El documento WO 2014/193505 A1 muestra una máquina para fabricar una pieza constructiva reforzada con fibra mediante fabricación aditiva. La máquina puede presentar una superficie de trabajo, una alimentación de matriz para aplicar capas de matriz a la superficie de trabajo y una alimentación de fibra, configurada para aplicar una capa de fibra sobre al menos una de las capas de matriz. La aplicación de las capas de matriz y de fibra puede controlarse mediante una computadora. De acuerdo con los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 15, el documento WO 2016/019434 A1 se refiere a un procedimiento para fabricar un objeto utilizando un proceso de fabricación aditiva. El procedimiento usa un dispositivo controlado por computadora con un cabezal de producción para fabricar material de forma selectiva y una zona de construcción para alojar el material producido así como una pieza constructiva producida mediante este procedimiento. Otro estado de la técnica del tipo relacionado se ha descrito, por ejemplo, en la publicación WO 2014/153535 A2.

25 En la fabricación aditiva, se aplican capas individuales de material de matriz sobre un portaobjetos y, a menudo, tiene lugar un proceso de curado después de aplicar cada capa, por ejemplo, mediante calentamiento, para solidificar la capa. Ahora sobre esta capa se puede aplicar otra capa, que a su vez se endurece, de modo que cuando se repiten estas etapas se construye una pieza constructiva capa por capa.

30 La producción de piezas constructivas de material compuesto de fibra se realiza con al menos una mitad del molde de una cara o con un núcleo, sobre la que/el que se deposita el material por capas, ya sea de forma manual o mecánica. Por tanto, no existe una producción de piezas constructivas de material compuesto de fibra reforzadas con fibra con propiedades mecánicas, casi significativas, tal como por ejemplo resistencias estática y/o dinámicas o elasticidades. Por estas razones, se usa la fabricación aditiva actualmente para la producción de bienes de aplicación industrial únicamente para productos metálicos o en áreas en las que no hay grandes exigencias a las propiedades del material en términos de resistencia y estabilidad.

35 El objetivo de la invención es un procedimiento para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra sólida y elástica y con ello mecánicamente resistente, que cumpla con los requisitos industriales para las propiedades del material en términos de resistencia, estabilidad y complejidad, así como que considere las demandas industriales en la economía y un tiempo de producción corto.

40 El objetivo se soluciona mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Desarrollos ventajosos resultan de las características de las reivindicaciones dependientes y los ejemplos de realización.

45 El procedimiento propuesto es adecuado para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas tridimensional. En el procedimiento, un material de matriz curable se aplica por capas sobre un portaobjetos en capas de matriz dispuestas una encima de otra. El portaobjetos puede ser, por ejemplo, una placa, que no es parte de la pieza constructiva y sobre la que se construye capa a capa una pieza constructiva de material compuesto de fibra. En otra realización, el portaobjetos puede ser un núcleo de pieza constructiva, es parte de la pieza constructiva de material compuesto de fibra y sobre el que se pueden aplicar las capas de matriz. Una capa de matriz se caracteriza por consiguiente por que se aplica ésta por capas siguiendo un contorno del portaobjetos. Después de cada aplicación de capa, puede realizarse un proceso de curado, por ejemplo mediante calentamiento, que cura la capa de matriz, de modo que el material de matriz permanezca en su forma de capas aplicada. De esta manera, se puede aplicar otra capa sobre la capa curada. Preferentemente, primero se aplica una capa por completo y se cura antes de comenzar una nueva capa. El material de matriz se aplica por al menos una unidad de aplicación que se puede mover con respecto al portaobjetos. La unidad de aplicación puede comprender a este respecto una geometría multieje con al menos 3, preferentemente 6 ejes.

50 En otra etapa, al menos un elemento de fibra se aplica por cordones, al menos por zonas, sobre al menos una de las capas de matriz mediante al menos un cabezal de colocación que puede moverse con respecto al portaobjetos. Un elemento de fibra puede ser, por ejemplo, una denominada fibra sin fin, es decir, un cordón de fibra, que está enrollado en una bobina, por ejemplo, y tiene una longitud de varios metros. Esta "fibra continua" se puede aplicar sobre una capa de matriz mediante el cabezal de colocación en una longitud seleccionable y se corta en la longitud seleccionada.

Si se ha consumido la fibra continua, otra fibra continua se puede enrollar en el carrete, de manera que la longitud del elemento de fibra enrollada parece "sin fin". El cabezal de colocación puede comprender una geometría multieje, que comprende al menos 3, preferentemente 6 ejes. La geometría multieje puede ser preferentemente la misma geometría multieje, sobre la que se ha dispuesto igualmente la unidad de aplicación.

5 El material de matriz es un duroplástico. Los duroplásticos son materiales duros y quebradizos, que presentan alta resistencia y estabilidad frente a la temperatura. Además, las fibras cortas se incrustan en el material de matriz duroplástico, para aumentar la elasticidad y la resistencia de la pieza de material compuesto de fibra.

10 Las fibras cortas pueden ser preferentemente fibras de vidrio o de carbono con módulos de elasticidad más altos que el módulo de elasticidad del material de matriz. La incrustación de las fibras cortas en el material de matriz duroplástico tiene como objetivo utilizar las respectivas propiedades mecánicas positivas del material de matriz y las fibras cortas, de modo que el material compuesto del material de matriz y fibras cortas presenta una mayor elasticidad y resistencia que las del material de matriz y una mayor resistencia que la de las fibras cortas. Las fibras cortas presentan  
15 preferentemente una longitud más corta que el elemento de fibra aplicado. De esta manera, se puede lograr una mezcla mejorada de las fibras cortas con el material de matriz. El módulo de elasticidad del material de matriz con fibras cortas incrustadas depende del material de matriz y de las fibras cortas, así como de la proporción de fibras cortas, y normalmente está entre 2 y 14 GPa. Sin embargo, los componentes sometidos a grandes esfuerzos pueden estar expuestos a cargas más altas por zonas. Para resolver este problema, el elemento de fibra se aplica  
20 adicionalmente por zonas. El elemento de fibra se puede aplicar preferentemente a la pieza constructiva de tal manera que esté sujeto a una carga de tracción a lo largo de su eje longitudinal. El módulo de elasticidad por tracción del elemento de fibra a lo largo de su eje longitudinal asciende preferentemente a al menos 70 GPa. Esto es significativamente más alto en comparación con el módulo de elasticidad por tracción de los termoplásticos típicos (1 a 3 GPa) y los duroplásticos (aprox. 1 GPa) y, por lo tanto, puede promover la elasticidad de la pieza constructiva de  
25 material compuesto de fibra.

La combinación de material de matriz duroplástico con fibras cortas incrustadas y adicionalmente al menos un elemento de fibra aplicado por zonas puede permitir el uso de piezas constructivas de material compuesto de fibra como piezas constructivas funcionales de resistencia media a alta debido a las propiedades estructurales mejoradas  
30 de la estructura total.

La combinación de materiales seleccionada resuelve así el problema de que las piezas constructivas de material compuesto de fibra sujetos a cargas mecánicas medias a altas, que presentan una resistencia de al menos 10 GPa y módulos de elasticidad entre 12 y 15 GPa, según el estado de la técnica actual puedan fabricarse con dificultad o no  
35 puedan fabricarse en absoluto mediante procedimientos de fabricación aditiva. La razón de esto es que los plásticos usados comúnmente presentan una alta resistencia y una baja elasticidad o una alta elasticidad y una baja resistencia. Como resultado, los procedimientos de fabricación aditiva según el estado de la técnica actual utilizan materiales de matriz termoplásticos, que presentan una alta elasticidad con baja resistencia, sin embargo, a diferencia de los plásticos quebradizos, son más fáciles de procesar y parece más fácil aumentar la resistencia mediante la aplicación  
40 adicional de elementos de fibra, que consiguen una mayor elasticidad en los componentes frágiles. A diferencia de los duroplásticos, que se han calentado una vez por encima de la temperatura de reticulación (pero por debajo de la temperatura de descomposición), los termoplásticos cambian de forma y se licuan cuando se calientan, al igual que los plásticos quebradizos. En el caso de los termoplásticos, este proceso es esencialmente reversible. Esto se aplica tanto a una acción prolongada de una baja temperatura como también para un calentamiento fuerte, breve.

45 Pueden construirse formas de pieza constructiva complejas, en particular piezas constructivas huecas, sin núcleos de piezas constructivas que se fabrican en procedimientos convencionales de manera cara con moldes, capa por capa por medio de procedimientos aditivos. También en comparación con el uso de mallas, el procedimiento de acuerdo con la invención produce menos residuos, de modo que se ahorra material. El refuerzo de la pieza constructiva dirigido,  
50 que ahorra material también tiene un efecto ventajoso en la reducción del peso de la pieza constructiva de material compuesto de fibra.

En una posible realización, el material de matriz puede ser tixotrópico. En este sentido, se puede realizar una etapa adicional en el procedimiento. Por ejemplo, mediante agitación, la viscosidad del material de matriz se puede reducir  
55 antes de la aplicación, es decir, el material de matriz se vuelve más delgado. Esto puede facilitar la aplicación. Si el material de matriz ya no está sujeto a esfuerzo cortante después de la aplicación, solidifica nuevamente hasta su viscosidad inicial, o sea el estado que tenía antes de la acción de las fuerzas de cizallamiento, por ejemplo agitación. Incluso antes de la etapa de procedimiento del curado, el material de matriz puede contribuir así a la conformación de la pieza constructiva de material compuesto de fibra adicionalmente o como alternativa al curado posterior. La  
60 diferencia entre la viscosidad inicial y la viscosidad mínima se encuentra normalmente en un intervalo entre 50 mPa s y 10.000 mPa s.

En algunas formas de realización posibles, el material de matriz puede ser una espuma duromérica. En otra forma de realización de acuerdo con la invención, dependiendo de la construcción de la estructura deseada de la pieza de  
65 material compuesto de fibra, el material de matriz puede ser de manera alterna por capas una matriz que contiene fibras o una espuma de duromérica. Es ventajoso en esta forma que pueden fabricarse piezas constructivas y/o

núcleos de piezas constructivas que presenten baja densidad y alta resistencia. Las espumas de poliuretano pueden servir de forma especialmente preferente como material de matriz. Sin embargo, también se pueden usar como material de matriz otros duroplásticos espumables, tal como por ejemplo epoxi. Por ejemplo, la densidad puede ascender a al menos 50 kg/m<sup>3</sup>, preferentemente a al menos 75 kg/cm<sup>3</sup>, en particular preferentemente a 80 kg/m<sup>3</sup>.

5 Además, la densidad puede ascender, por ejemplo, a como máximo 800 kg/m<sup>3</sup>, preferentemente a como máximo 700 kg/m<sup>3</sup>, de manera especialmente preferente a como máximo 600 kg/m<sup>3</sup>. Una resistencia a la compresión puede ascender, por ejemplo, a como mínimo 50 N/mm<sup>2</sup>, preferentemente a como mínimo 70 N/mm<sup>2</sup>, de manera especialmente preferente a como mínimo 80 N/mm<sup>2</sup>. La resistencia a la compresión puede ascender, por ejemplo, a como máximo 600 N/mm<sup>2</sup>, preferentemente a como máximo 700 N/mm<sup>2</sup> o de manera especialmente preferente a como máximo 800 N/mm<sup>2</sup>. La resistencia a la compresión se puede determinar, por ejemplo, mediante al menos un ensayo descrito en una de las siguientes normas: ISO 844, DIN EN ISO 3386, DIN EN ISO 604, DIN EN 2850, DIN V 65380, DIN 65375 o norma comparable. En otra realización preferente, las capas de matriz pueden presentar un espesor de al menos 0,05 mm, preferentemente al menos 1 mm y/o como máximo 300 mm, preferentemente como máximo 100 mm, de manera especialmente preferente como máximo 40 mm.

15 En otra posible realización, el portaobjetos puede ser parte de la pieza constructiva de material compuesto de fibra. En esta realización, por ejemplo, las piezas constructivas prefabricadas y/o los núcleos de piezas constructivas pueden servir como portaobjetos. Al aplicar material de matriz sobre la pieza constructiva prefabricada, se puede lograr una conexión directa del material de matriz con la pieza constructiva prefabricada, de modo que se suprimen los elementos de unión, tal como por ejemplo los cordones de soldadura.

20 En otra forma de realización, la unidad de aplicación puede presentar un cabezal de extrusión, de modo que el material de matriz pueda aplicarse por medio de extrusión. En el caso de la extrusión pueden aplicarse formas complejas por cordones. También es ventajoso que los materiales de matriz frágiles, que son sólidos o viscosos, puedan extruirse, ya que estos se comprimen bajo presión a través de una tobera o una denominada boquilla. Como alternativa, el material de matriz también se puede aplicar por gotas. La ventaja es que no se requiere alta presión en la aplicación por gotas, sin embargo, los materiales de matriz sólidos y muy viscosos solo se pueden aplicar gota a gota con dificultad.

25 En otra posible forma de realización, la unidad de aplicación y/o el cabezal de colocación se pueden mover independientemente uno del otro. Esto tiene la ventaja de que el elemento de fibra se puede aplicar sobre la pieza constructiva de material compuesto de fibra que se va a fabricar independientemente de la trayectoria de desplazamiento de la unidad de aplicación. La unidad de aplicación y/o el cabezal de colocación están preferentemente colocados en una geometría multieje, en donde la geometría multieje presenta preferentemente 3, de manera especialmente preferente 6 ejes.

30 En otra forma de realización, el elemento de fibra puede impregnarse previamente con un líquido, por ejemplo un adhesivo de resina epoxi, antes de la aplicación sobre el material de matriz. El líquido puede ser preferentemente un adhesivo, de modo que el elemento de fibra pueda pegarse al material de matriz. Adicionalmente o como alternativa, el elemento de fibra se puede incrustar en el material de matriz, antes de que se haya curado éste por completo, de modo que el elemento de fibra esté parcial o completamente rodeado por material de matriz. Así puede reforzarse la pieza constructiva también en zonas en las que las cargas de la pieza constructiva se producen dentro de la pieza constructiva. El elemento de fibra aplicado puede tener preferentemente una longitud de al menos 0,5 mm, preferentemente al menos 1 mm, en particular preferentemente al menos 10 mm, y puede contener al menos una fibra de vidrio y/o de carbono. Las fibras de vidrio y de carbono suelen tener altos módulos de elasticidad por tracción superiores a 70 GPa, de modo que puedan soportar altas cargas de tracción.

35 En una forma especialmente preferente, las fibras cortas, que se incrustan en el material de matriz, pueden presentar una longitud de como máximo 100 mm. La longitud de las fibras cortas incrustadas puede variarse durante la aplicación.

40 En otra realización, las fibras cortas se pueden añadir al material de matriz en la unidad de aplicación. Por ejemplo, un cabezal mezclador de extrusión es especialmente ventajoso, en el que las etapas de procedimiento de incrustar fibras cortas y aplicar material de matriz se pueden llevar a cabo simultáneamente. Así, por ejemplo, se puede lograr una distribución de fibras sustancialmente homogénea. Una distribución homogénea de fibras es ventajosa para conseguir una estabilidad y una calidad de la pieza constructiva esencialmente homogéneas.

45 Las fibras cortas se pueden incrustar en una o más capas de material de matriz. En zonas en las que se incrustan fibras cortas en el material de matriz, la elasticidad de la pieza constructiva y la resistencia a la tracción aumentan como se explicó anteriormente. La ventaja de esta forma de realización es que las fibras cortas se pueden incrustar en zonas en las que se producen cargas de la pieza constructiva. De esta forma, la pieza constructiva a fabricar se puede adaptar con precisión a cargas posteriores en cuanto a peso y consumo de material. Por lo tanto, no es necesario incrustar fibras cortas en capas, en las que no es necesario ningún refuerzo.

60 Para el uso dirigido de fibras cortas en la pieza constructiva pueden aplicarse fibras cortas entre dos capas de material de matriz. Las fibras cortas también se pueden aplicar entre el elemento de fibra y el material de matriz. En otra forma

de realización, las fibras cortas se pueden preimpregnar con un líquido, por ejemplo con un adhesivo.

En otra forma de realización ventajosa, las fibras cortas se pueden incrustar de manera dirigida en el material de matriz, es decir, un eje longitudinal de las fibras cortas presenta una dirección definida antes de la aplicación, preferentemente correspondiendo esta dirección a la dirección de las cargas de tracción de la pieza constructiva de material compuesto de fibra. Por medio de un cabezal de colocación de fibras cortas u otra unidad de aplicación, las fibras cortas se pueden incrustar en el material de matriz con su eje longitudinal a lo largo del recorrido de desplazamiento de la unidad de aplicación del material de matriz. Las fibras cortas presentan el módulo de elasticidad por tracción más alto a lo largo de su eje longitudinal. Esta forma de realización tiene la ventaja de que las fibras cortas pueden alinearse en la dirección de la carga de tracción y, por lo tanto, la pieza constructiva puede soportar cargas de tracción más altas que con la incrustación desordenada de las fibras cortas.

Para una distribución de fibras esencialmente homogénea, un volumen de las fibras cortas contenidas en el material de matriz puede ascender en comparación con un volumen total de la matriz a al menos el 10 % en volumen, preferentemente a al menos el 30 % en volumen, en particular preferentemente a al menos el 35 % en volumen y/o a como máximo el 80 % en volumen, preferentemente a como máximo el 70 % en volumen, en particular preferentemente a como máximo el 60 % en volumen, en donde el volumen de matriz total es una suma del volumen de las fibras cortas incrustadas y de un volumen del material de matriz. Una alta proporción de fibras cortas en el material de matriz tiene la ventaja de que la mezcla de material de matriz y fibras cortas puede presentar una elevada elasticidad y con ello puede soportar mayores cargas de tracción. También puede estar previsto que la proporción en volumen de las fibras cortas en el volumen total de la matriz se varíe por capas durante la aplicación del material de matriz, de modo que la pieza constructiva de material compuesto de fibra presente preferentemente zonas con diferentes proporciones en volumen de fibra corta. Esta realización tiene la ventaja de que la pieza constructiva de material compuesto de fibra que se va a fabricar se puede adaptar con precisión a cargas futuras en términos de peso y consumo de material.

La etapa de procedimiento II puede realizarse antes de la etapa de procedimiento III y/o la etapa de procedimiento III puede realizarse antes de la etapa de procedimiento II. Dependiendo de los requisitos de la pieza constructiva de material compuesto de fibra, el elemento de fibra se puede incrustar en el material de matriz o aplicarse de manera dirigida sobre capas de matriz después del curado. Esto tiene la ventaja de que el elemento de fibra también se puede incrustar en capas internas de la pieza constructiva de material compuesto de fibra. Así, el elemento de fibra también puede absorber cargas de tracción, que se producen en el interior de la pieza de material compuesto de fibra.

El objeto de la solicitud es también una pieza constructiva de material compuesto de fibra, que tiene la estructura descrita en esta solicitud y se ha producido preferentemente con el procedimiento de acuerdo con la solicitud. Perfeccionamientos resultan también de la descripción del ejemplo de realización.

Las configuraciones ventajosas de la invención se explican a continuación por medio de las figuras.

40 Muestran:

la figura 1 un diagrama de flujo con etapas de procedimiento de un procedimiento para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas, tridimensional,

45 la figura 2 una representación en perspectiva de una unidad de aplicación durante una aplicación del material de matriz,

la figura 3 una representación esquemática de una unidad de aplicación durante una aplicación del material de matriz,

50 la figura 4 una estructura de capas de la pieza de material compuesto de fibra en un recorte de una sección transversal de pieza constructiva,

la figura 5 una estructura de capas de la pieza constructiva de material compuesto de fibra con elementos de fibra impregnados en un recorte de una sección transversal de la pieza constructiva,

la figura 6 una estructura de capas de la pieza de material compuesto de fibra con fibras cortas alineadas entre dos capas de matriz,

60 las figuras 7a y 7b diferentes vistas en planta de una pieza constructiva de material compuesto de fibra con elemento de fibra,

la figura 8 una representación esquemática de una producción de una pala de rotor,

65 la figura 9 una sección longitudinal de la pala del rotor y

la figura 10 una sección transversal de la pala del rotor.

En la figura 1 está representado un diagrama de flujo con cuatro etapas de un procedimiento para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas, tridimensional. Las etapas de procedimiento son:

- aplicar 1 el material de matriz,
- incrustar 2 las fibras cortas,
- aplicar 3 un elemento de fibra y
- curar 4.

Las flechas, de las cuales una está dotada a modo de ejemplo del número de referencia 5, muestran diferentes órdenes de ejecución. El procedimiento puede iniciarse con la etapa de procedimiento 1, 2 o 3. En una realización a modo de ejemplo, en una unidad de aplicación, por ejemplo, un cabezal mezclador de extrusión se mezcla en primer lugar el material de matriz con fibras cortas. En el ejemplo de realización, en el caso del material de matriz se trata de poliuretano duroplástico, sin embargo, el material de matriz también puede ser otro material de matriz duroplástico, por ejemplo, resina epoxi o resina de formaldehído. En el ejemplo mostrado, las fibras cortas son de fibra de vidrio. Las fibras cortas también pueden ser de otros materiales, por ejemplo de fibra de carbono o fibra natural, tal como por ejemplo fibra de madera. En el ejemplo mostrado, el material de matriz es tixotrópico. Las fibras cortas y el material de matriz están almacenados en cada caso en un depósito de material. El material de matriz se agita en el depósito de material, de modo que la viscosidad del material de matriz se reduzca debido a su tixotropía. En el cabezal mezclador de extrusión, las fibras cortas se agregan al material de matriz antes de una aplicación, antes de fluir fuera de una boquilla de aplicación. La mezcla de matriz-fibra corta se extruye en una primera capa a través del cabezal de extrusión, por ejemplo a través de la boquilla de aplicación, se aplica sobre un portaobjetos, es decir, el cabezal mezclador de extrusión traza un contorno del portaobjetos y extruye un cordón de mezcla de matriz-fibra corta sobre el portaobjetos. Cuando se aplica, el cordón de mezcla de matriz-fibra corta presenta preferentemente al menos una longitud que se corresponde al doble de la anchura. Después de la aplicación de una capa completa, la mezcla de matriz y fibra se cura, por ejemplo, mediante calentamiento. Después del curado, se aplica otro cordón de la mezcla de matriz y fibra sobre el primer cordón. A continuación, se coloca un elemento de fibra sobre la segunda capa de matriz utilizando un cabezal de colocación, de modo que el elemento de fibra, por ejemplo una cinta de fibra de vidrio, se rodee al menos parcialmente por una mezcla de matriz y fibra aún no completamente curada. Sigue un proceso de curado del material de matriz, por ejemplo, mediante calentamiento. Las etapas de procedimiento se pueden combinar y repetir en cualquier orden. La mezcla matriz y fibra puede aplicarse por cordones, pero también por gotas. El portaobjetos puede ser, por ejemplo, una placa, que soporta la pieza de material compuesto de fibra a fabricar durante el proceso de producción, sin embargo, no es parte de la pieza constructiva. El portaobjetos también puede ser parte de la pieza constructiva de material compuesto de fibra, por ejemplo, en forma de un núcleo de pieza constructiva prefabricado, por ejemplo, un núcleo de pieza constructiva prefabricado de forma aditiva de espuma duromérica.

La figura 2 ilustra la etapa de procedimiento aplicar 1 el material de matriz 8. La unidad de aplicación 6 tiene una abertura 7, por la que se emite el material de matriz 8 por gotas. Después de abandonar la abertura 7, el material de matriz se encuentra todavía en un estado viscoso. Las gotas 9 se aplican una al lado de la otra, para que se unan y se produzcan capas de matriz 10. Después de la aplicación de una capa de matriz 10, el material de matriz 8 se cura, por ejemplo, mediante calentamiento. Las capas de matriz 10 forman parte de una pieza constructiva 11. La pieza constructiva 11 está hueca por dentro. Como alternativa, el material de matriz 8 se puede aplicar por cordones. El material de matriz 8 puede ser, por ejemplo, un material tixotrópico por ejemplo poliuretano duroplástico.

La figura 3 muestra una unidad de aplicación durante la aplicación de una capa. Las características recurrentes están dotadas de los mismos números de referencia en esta figura y en las siguientes. Una parte de una unidad de aplicación 6 tiene una abertura 7, por la que se emite el material de matriz 8 por gotas. El material de matriz 8 se aplica sobre un portaobjetos 12. En el ejemplo que se muestra, el portaobjetos 12 no es parte de la pieza constructiva 11. En otras realizaciones, el portaobjetos 12 puede ser parte de la pieza constructiva 11. Las gotas 9 se aplican una al lado de la otra a una distancia de 1 mm, por ejemplo, y luego se combinan en el portaobjetos con las gotas dispuestas adyacentes para formar una capa de matriz 10 debido a su estado líquido. Adicionalmente o como alternativa, el material de matriz 8 se puede aplicar sobre el portaobjetos 12 por cordones. En el ejemplo mostrado, la unidad de aplicación 6 está configurada como boquilla 13. En otras formas de realización, la unidad de aplicación 6 puede estar configurada como cabezal de extrusión y/o como cabezal mezclador de extrusión. Las fibras cortas se agregan al material de matriz en el cabezal mezclador de extrusión antes de la aplicación.

En la figura 4 está representado un recorte de una sección transversal de la pieza constructiva. La sección transversal de la pieza constructiva muestra cinco capas de matriz 14 -18. Un elemento de fibra 19 está incrustado en el material de matriz 8 en una capa 14 aplicada en primer lugar. En el ejemplo, el elemento de fibra 19 está completamente rodeado por el material de matriz 8. En otra forma de realización, el elemento de fibra 18 solo puede estar parcialmente rodeado por el material de matriz 8. El elemento de fibra 18 tiene 6 cm de longitud en el ejemplo mostrado. En las cinco capas 14 a 18 hay fibras cortas -una de las cuales está dotada del número de referencia 20 a modo de ejemplo-incrustadas en el material de matriz 8. Las fibras cortas 20 están incrustadas de manera desordenada, es decir, en distribución direccional aleatoria, en las capas de matriz 14 a 18. En otro ejemplo de realización, las fibras cortas 20

también se pueden incrustar en el material de matriz 8 de manera dirigida y/u ordenada, por ejemplo, en el que se encuentran con su eje longitudinal a lo largo del recorrido de desplazamiento de la unidad de aplicación. Las fibras cortas contenidas en el material de matriz tienen una proporción de, por ejemplo, el 30 % en volumen de un volumen de matriz total, en donde el volumen de matriz total es la suma del volumen del material de matriz y el volumen de fibra corta. Esta mezcla de materiales, por ejemplo resina de poliéster duroplástica con fibra de vidrio corta, provoca, por ejemplo, una alta elasticidad, por ejemplo, un módulo de elasticidad por tracción de 14 GPa, con alta resistencia a la flexión al mismo tiempo, por ejemplo 120 MPa, de una pieza constructiva de material compuesto de fibra a fabricar.

En la figura 5 está representado un recorte de una sección transversal de la pieza constructiva. La sección transversal de la pieza constructiva muestra cinco capas de matriz 21 a 25. Dos elementos de fibra 19 están aplicados sobre la primera capa 21. Los elementos de fibra 19 están rodeados por un líquido, en este ejemplo de realización por un adhesivo 26, por ejemplo una resina epoxi. En otros ejemplos de realización, en el caso del líquido puede tratarse de otro líquido. Las fibras cortas 20 están incrustadas en el material de matriz 8 en la segunda 22 y en la tercera capa 23. En la primera capa 21 y la cuarta 24 y la quinta capa 25 no están incrustadas fibras cortas 20 o elementos de fibra 19.

En la figura 6 está representado un recorte de una pieza constructiva de material compuesto de fibra, que ilustra una aplicación de tres capas de material de matriz 8 y fibras cortas 20. Las fibras cortas 20 dirigidas forman una capa intermedia. En el caso del material de matriz 8 puede tratarse, por ejemplo, de poliuretano duromérico. Las fibras cortas pueden ser, por ejemplo, fibras de vidrio, en particular fibras de vidrio E. Una unidad de aplicación 6, por ejemplo, un cabezal de colocación por extrusión aplica una capa de material de matriz 8 sobre un portaobjetos 12, por ejemplo una placa de acero. En el ejemplo mostrado, el material de matriz se cura en una etapa de procedimiento siguiente, por ejemplo mediante calentamiento. En el ejemplo mostrado, la unidad de aplicación 6 luego coloca una pluralidad de fibras cortas 20 sobre la primera capa del material de matriz 8, por ejemplo fibras de vidrio, en particular fibras de vidrio E. Las fibras cortas 20 se colocan alineadas, paralelas a lo largo de sus ejes longitudinales y apuntando a lo largo de su eje longitudinal en la dirección de una carga de tracción de la pieza constructiva de material compuesto de fibras, sobre la primera capa de matriz. El módulo de elasticidad por tracción de la fibra de vidrio E asciende a 70 GPa, por ejemplo. En otra etapa de procedimiento, mediante la unidad de aplicación 6 se aplica una segunda capa de material de matriz 8 sobre las fibras cortas 20 y se cura. El material de matriz 8 de la segunda capa de matriz rodea las fibras cortas 20 aplicadas en el ejemplo mostrado. En el ejemplo mostrado, la segunda capa de material de matriz 8 se cura a continuación y se fijan así las fibras cortas en su posición alineada durante el curado.

En otra realización, las fibras cortas 20 también se pueden aplicar sobre la capa de matriz aplicada sin la etapa de procedimiento del curado, de modo que éstas se incrustan ya en la primera capa de matriz aplicada. El material de matriz puede ser más sólido en otra realización, de modo que la segunda capa aplicada de material de matriz 8 permanezca sobre las fibras cortas y no rodee completamente las fibras cortas.

En la figura 7a está representada una vista en planta de una pieza constructiva de material compuesto de fibra 27. Sobre la pieza constructiva de material compuesto de fibra 27 se han aplicado elementos de fibra 19a, 19b y 19c. Los elementos de fibra 19a y 19c se han aplicado en línea recta. El elemento de fibra 19b se ha aplicado en forma de meandro. Cuatro elementos de fibra se han aplicado en paralelo en cordones rectos. Los elementos de fibra, por ejemplo fibra de vidrio, fibra de carbono o fibra natural, tienen módulos de elasticidad por tracción entre 70 y 400 GPa. Esto provoca una alta elasticidad de la pieza constructiva de material compuesto de fibra 27 en las zonas en las que los elementos de fibra se han aplicado en la dirección de la carga de tracción. Mediante una aplicación en forma libre, es decir, mediante una forma de geometría de aplicación que se pueda seleccionar de manera discrecional, pueden absorberse, como se muestra en el ejemplo, las cargas de tracción en diferentes direcciones de la pieza constructiva de material compuesto de fibra 27. Los elementos de fibra 19a, 19b y 19c se han aplicado en diferentes zonas de la pieza constructiva de material compuesto de fibra.

En la figura 7b está representada otra vista en planta de una pieza constructiva de material compuesto de fibra 27 con un elemento de fibra 19. En el presente ejemplo de realización, el elemento de fibra 19 se ha aplicado sobre el material de matriz 8 de forma curva. El elemento de fibra 19 no se superpone. En otros ejemplos de realización, el elemento de fibra 19 también puede estar dispuesto de modo que se superponga a sí mismo. El elemento de fibra 19 contiene, por ejemplo, fibra de carbono y/o fibra de vidrio, sin embargo puede contener también otros materiales, tal como por ejemplo fibras naturales tal como por ejemplo sisal, kenaf, cáñamo o fibras largas similares. El elemento de fibra 19 presenta por ejemplo una longitud de 16 cm. Además están representados una unidad de aplicación 6 y su recorrido de desplazamiento 28. El elemento de fibra 19 se aplica mediante un cabezal de colocación 29. Un recorrido de desplazamiento del cabezal de colocación 29 corresponde a la forma del elemento de fibra 19 aplicado y no necesariamente corresponde al recorrido de desplazamiento 28 de la unidad de aplicación 6 del material de matriz 8. El cabezal de colocación 29 y la unidad de aplicación 6 pueden estar activos al mismo tiempo. El cabezal de colocación 29 y la unidad de aplicación 6 pueden estar dispuestos de manera paralela. El cabezal de colocación 29 y la unidad de aplicación 6 pueden estar dispuestos, por ejemplo, en una geometría multieje. La geometría multieje contiene preferentemente 3 ejes, en particular preferentemente 6 ejes. El cabezal de colocación 29 y la unidad de aplicación 6 pueden desplazarse independientemente uno de otro en la geometría multieje.

La figura 8 muestra en representación esquemática una producción de una pala de rotor 30 de un aerogenerador. La pala de rotor es esencialmente una pieza constructiva hueca, circular en la zona del buje del rotor. Una unidad de

aplicación 6 aplica material de matriz 8 por capas sobre un portaobjetos 12. En este ejemplo de realización, la unidad de aplicación 6 sigue una trayectoria circular, en donde los círculos trazados son concéntricos con el anillo de la pala de rotor, y aplica el material de matriz 8 por capas. Sin embargo, con un número creciente de capas, la pista también puede adoptar la geometría de una sección transversal de pala de rotor, es decir, volverse elíptica o aerodinámica. En el ejemplo mostrado, un cabezal de colocación 29 aplica un elemento de fibra 19 por zonas sobre capas de matriz ya aplicadas del anillo circular. El elemento de fibra 19 se aplica con una curvatura, que corresponde a una curvatura del anillo de la pala de rotor. En el ejemplo mostrado, el material de matriz 8 se cura después de la aplicación de una capa mediante la unidad de aplicación, y después de que el elemento de fibra 19 se haya incrustado. El elemento de fibra está rodeado por material de matriz 8, sin embargo en otro ejemplo de realización también puede estar rodeado solo parcialmente por material de matriz 8. Debido al curado del material de matriz 8 después de incrustar el elemento de fibra, no se requiere adhesivo adicional para fijar el elemento de fibra 19, ya que el material de matriz 8 fija el elemento de fibra 19 en la capa de matriz durante el curado. En este ejemplo de realización, el portaobjetos 12 no es parte de la pieza constructiva de material compuesto de fibras. El material de matriz 8 se puede mezclar con fibras cortas que, por ejemplo antes de aplicar el material de matriz, estaban incrustadas en el material de matriz. Las fibras cortas pueden ser, por ejemplo, fibras de carbono UMS, que tienen un módulo de elasticidad por tracción de 395 GPa. Esto tiene la ventaja de que la elasticidad de la pala de rotor 30 se eleva en zonas de las fibras cortas 20 mezcladas con el material de matriz 8.

En la figura 9 está representada una sección longitudinal de una pala de rotor 30 de un aerogenerador. La sección longitudinal se encuentra en el plano xz. El recorte de la pala de rotor en la sección longitudinal tiene la forma de un anillo semicircular extrusionado, con el interior del círculo apuntando hacia arriba (en la dirección y). En la pala de rotor 30 están colocadas dos almas de estabilización 31 trapezoidales, por ejemplo de poliuretano duroplástico. Las almas de estabilización 31 se encuentran paralelos entre sí a lo largo de su eje longitudinal y están dispuestos paralelos al eje longitudinal de la pala de rotor 30 a lo largo de su eje longitudinal. Las almas de estabilización refuerzan la pala de rotor 30 y aumentan la rigidez a la flexión y torsión. Para un aumento de una resistencia a la tracción, en el ejemplo mostrado, se han aplicado los elementos de fibra 19, por ejemplo de fibra de vidrio E, sobre la pala del rotor 30 en distintas zonas. En el ejemplo mostrado, dos elementos de fibra 19 se han aplicado sobre la superficie lateral interna de la pala de rotor sobre en cada caso un lado de las almas de estabilización 31. Otro elemento de fibra 19 está incrustado, por ejemplo, en el borde de corte a lo largo del eje longitudinal de la pala de rotor en la dirección opuesta a la dirección z en el material de matriz 8.

En la figura 10 está representada una sección transversal de la pala de rotor 30 del aerogenerador. La sección transversal pasa por el plano xy. En este ejemplo de realización, la pieza constructiva tiene, por ejemplo, un núcleo de espuma 32 duromérica, por ejemplo de espuma de poliuretano duromérico. En otro ejemplo, una pieza constructiva de material compuesto de fibra, en este ejemplo una pala de rotor 30, puede tener un núcleo pieza constructiva de un material diferente. En el ejemplo mostrado, el núcleo de espuma 32 duromérica sirve como portaobjetos, de modo que el material de matriz se aplique de forma aditiva alrededor del núcleo de espuma 32. Una unidad de aplicación comprende, por ejemplo, una geometría de 6 ejes, sobre la que puede desplazarse por ejemplo un cabezal mezclador de extrusión con 6 grados de libertad y aplica una mezcla de matriz-fibras cortas 33, por ejemplo una mezcla de fibra de vidrio y resina epoxi, por capas, siguiendo el contorno del núcleo de espuma 32 duromérica, sobre el núcleo de espuma 32 duromérica. En otra forma de realización, el núcleo de espuma 32 también se puede aplicar de forma aditiva en el mismo procedimiento, como la mezcla de matriz y fibra corta 33 que rodea el núcleo de espuma 32. Además, se aplica un elemento de fibra 19 sobre la mezcla de matriz y fibras cortas 33. El elemento de fibra 19, por ejemplo de fibra de carbono, en particular de fibra de carbono HT, está configurado en cada caso de manera alargada y en forma de línea recta. El módulo de elasticidad por tracción de la fibra HT asciende a aproximadamente 230 GPa y refuerza la pala de rotor 30 con respecto a las cargas de tracción en la dirección longitudinal del elemento de fibra 19 aplicado. En otro ejemplo de realización, los elementos de fibra 19 también pueden presentar otras formas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas (11), tridimensional, en donde el procedimiento comprende las etapas:
- 5 I. aplicar por capas un material de matriz curable (8) sobre un portaobjetos (12) en capas de matriz dispuestas una encima de otra, mediante al menos una unidad de aplicación (6), que se puede mover con respecto al portaobjetos (12), en donde el material de matriz (8), que se aplicó en una capa, forma una capa de matriz,
- 10 II. aplicar por cordones al menos por zonas al menos un elemento de fibra (19) sobre al menos una de las capas de matriz, mediante al menos un cabezal de colocación, que se puede mover con respecto al portaobjetos (12),
- III. curar el material de matriz (8), en donde el material de matriz (8) es un duroplástico y se incrustan fibras cortas (20) en los duroplásticos, en donde las fibras cortas (20) presentan una longitud más corta que el elemento de fibra (19) aplicado,
- 15 **caracterizado por que** el material de matriz, que contiene fibra, y una espuma duromérica, se aplican alternativamente por capas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el material de matriz es tixotrópico.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el material de matriz (8) es una espuma duromérica.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las capas de matriz presentan un espesor de como mínimo 0,05 mm y de como máximo 300 mm.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el portaobjetos (12) es parte de la pieza constructiva de material compuesto de fibra (11).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad de aplicación (6) presenta un cabezal de extrusión, y/o **caracterizado por que** la unidad de aplicación (6) y/o el cabezal de colocación (29) se pueden mover independientemente uno del otro.
- 30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el elemento de fibra (19) contiene al menos una fibra de vidrio y/o de carbono y/o **caracterizado por que** el elemento de fibra (19) aplicado tiene una longitud de al menos 0,5 mm.
- 35 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el elemento de fibra (19) se impregna previamente con un líquido (26) antes de la aplicación sobre el material de matriz (8), y/o **caracterizado por que** el elemento de fibra (19) se incrusta al menos parcialmente en el material de matriz (8).
- 40 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las fibras cortas (20), que se incrustan en el material de matriz, presentan una longitud de como mínimo 0,5 mm y de como máximo 100 mm.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las fibras cortas (20) se añaden al material de matriz (8) en la unidad de aplicación (6), y/o
- 45 **caracterizado por que** están incrustadas fibras cortas (20) en una o más capas de material de matriz (8).
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** están aplicadas fibras cortas (20) entre dos capas de material de matriz (8).
- 50 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las fibras cortas (20), que se incrustan en el material de matriz (8), se incrustan en el material de matriz (8) de manera dirigida y se encuentran con su eje longitudinal a lo largo del recorrido de desplazamiento (28) de la unidad de aplicación del material de matriz.
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** un volumen de las fibras cortas (20), contenidas en el material de matriz (8), asciende a al menos el 10 % en comparación con un volumen de matriz total, en donde el volumen de matriz total es una suma del volumen de las fibras cortas incrustadas (20) y de un volumen del material de matriz (8), y/o
- 55 **caracterizado por que** en al menos dos capas un volumen de las fibras cortas (20) contenidas en el material de matriz (8) es diferente con respecto a un volumen de matriz total, en donde el volumen de matriz total es una suma del volumen de las fibras cortas incrustadas (20) y de un volumen del material de matriz (8).
- 60 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la etapa II se realiza antes de la etapa III y/o la etapa III se realiza antes de la etapa II.
- 65 15. Pieza constructiva, que es una pieza constructiva de material compuesto de fibra de múltiples capas (11), tridimensional, en donde la pieza constructiva comprende:

- 5 I. material de matriz (8), aplicado por capas, que se ha aplicado sobre un portaobjetos (12) en capas de matriz dispuestas una encima de la otra, mediante al menos una unidad de aplicación (6), que se puede mover con respecto al portaobjetos (12), en donde el material de matriz (8), que se aplicó en una capa, forma una capa de matriz,
- 10 II. al menos un elemento de fibra (19), que se ha aplicado por cordones al menos por zonas sobre al menos una de las capas de matriz, mediante al menos un cabezal de colocación, que se puede mover con respecto al portaobjetos (12),
- III. en donde el material de matriz (8) se ha curado, en donde el material de matriz (8) es un duroplástico y se han incrustado fibras cortas (20) en los duroplásticos, en donde las fibras cortas (20) presentan una longitud más corta que el elemento de fibra (19) aplicado,
- caracterizada por que**  
el material de matriz, que contiene fibra, y una espuma duromérica, se han aplicado alternativamente por capas.

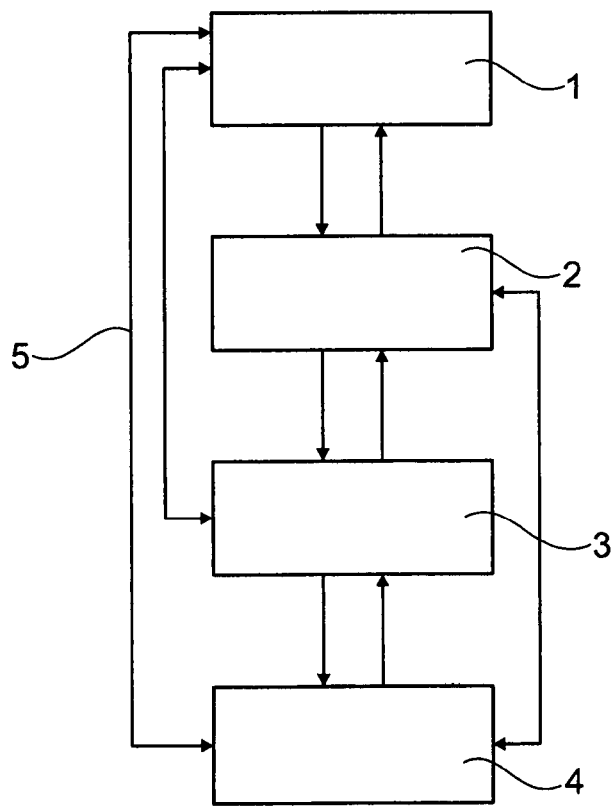


Fig. 1

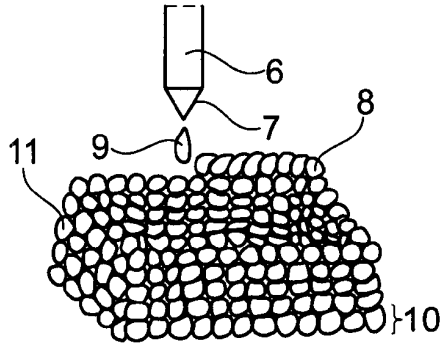


Fig. 2

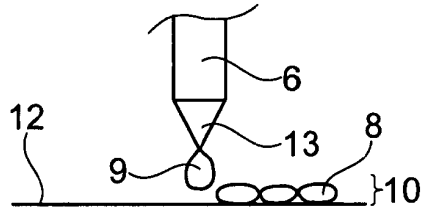


Fig. 3

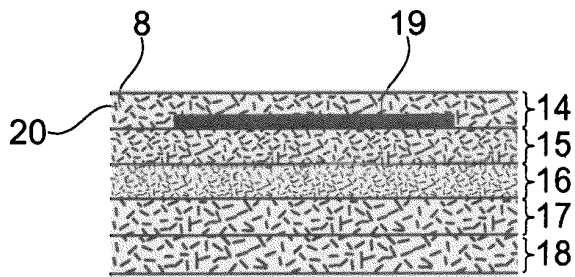


Fig. 4

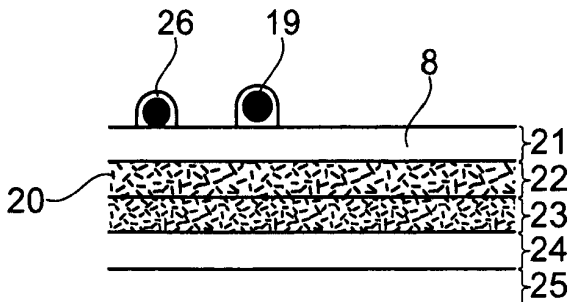


Fig. 5

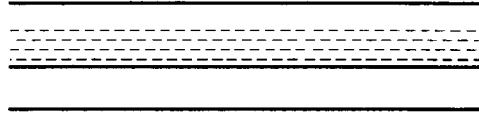


Fig. 6

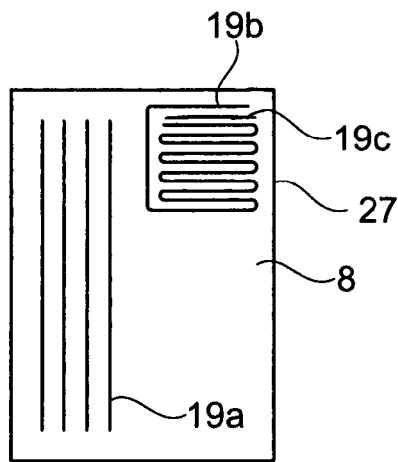


Fig. 7a

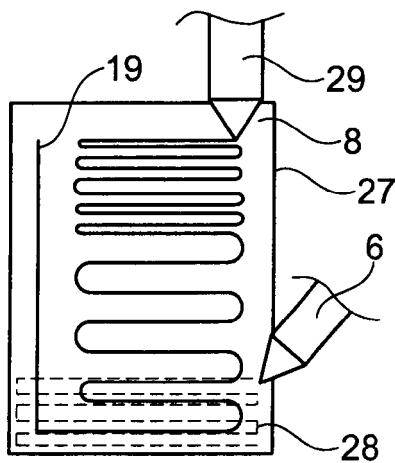


Fig. 7b

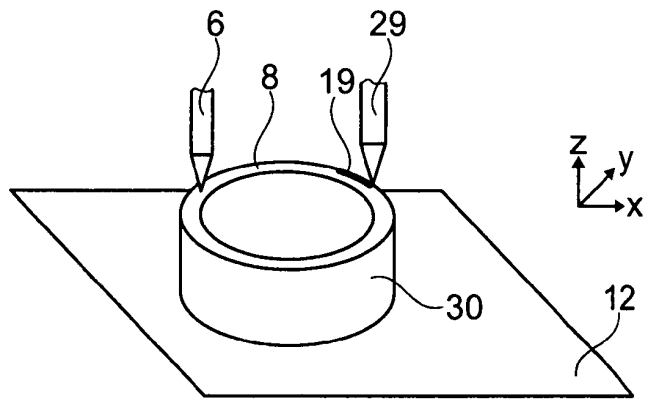


Fig. 8

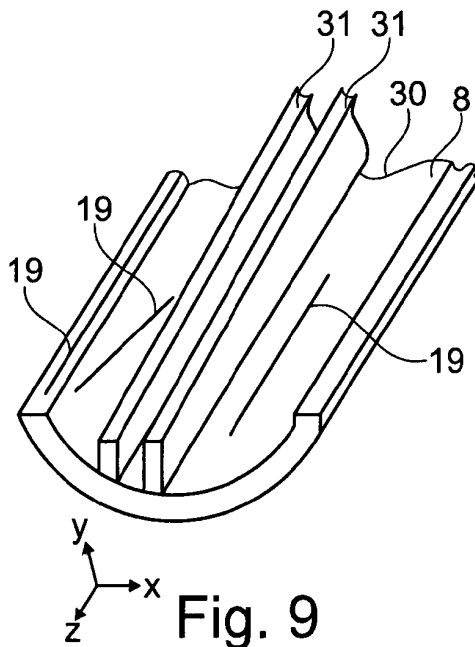


Fig. 9

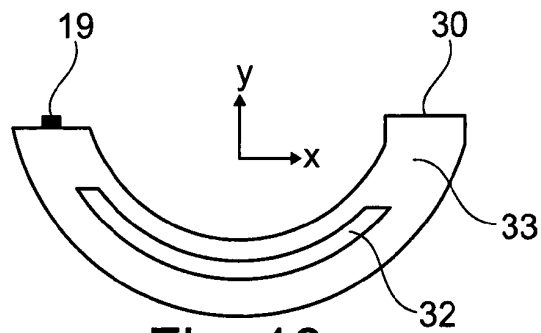


Fig. 10