

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 632**

51 Int. Cl.:

B29C 48/155 (2009.01)

B29C 48/92 (2009.01)

B29C 67/00 (2007.01)

D01D 5/30 (2006.01)

B29C 70/14 (2006.01)

B29C 48/86 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2013** **E 13171988 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020** **EP 2676784**

54 Título: **Método y aparato de fabricación aditiva basado en extrusión**

30 Prioridad:

19.06.2012 GB 201210851

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

29.09.2020

73 Titular/es:

**AIRBUS OPERATIONS LIMITED (100.0%)
Pegasus House, Aerospace Avenue, Filton
Bristol BS34 7PA, GB**

72 Inventor/es:

**FARMER, BENJAMIN, DR y
MEYER, JONATHAN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 784 632 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato de fabricación aditiva basado en extrusión

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de fabricación aditiva basado en extrusión, un objeto formado mediante tal sistema, un filamento para su uso como materia prima consumible en tal sistema y un método de fabricación de tal filamento.

10

Antecedentes de la invención

En los documentos WO2012/037329 y US2012/070619 A1 se describe un sistema de fabricación aditiva basado en extrusión. El sistema utiliza un filamento como materia prima consumible. El filamento tiene una porción de núcleo y una porción de recubrimiento con diferentes temperaturas máximas de cristalización. Tanto la porción de núcleo como la de recubrimiento son fundidas en un cabezal de extrusión y, después de haberse depositado, la porción con la temperatura de cristalización más alta se cristaliza antes que la otra porción. Esto permite que el material extruido resista la gravedad y la presión de las capas posteriores, mientras que también se reducen las distorsiones.

15

Las temperaturas de fusión de los materiales del núcleo y del recubrimiento son deseablemente iguales o similares para permitir que el filamento se funda fácilmente en el cabezal de extrusión.

20

Los polímeros base para el núcleo y el recubrimiento son cada uno capaces de lograr un porcentaje promedio de cristalinidad en un estado sólido de al menos 10 % en peso. En una realización, los polímeros base para el núcleo y el recubrimiento son cada uno capaces de lograr un porcentaje promedio de cristalinidad en un estado sólido de al menos 25 % en peso. En otra realización, los polímeros base para el núcleo y el recubrimiento son cada uno capaces de lograr un porcentaje promedio de cristalinidad en un estado sólido de al menos 50 % en peso. El porcentaje de cristalinidad de los materiales del núcleo y del recubrimiento del filamento no se menciona ni en términos absolutos ni relativos y, supuestamente, no es importante, ya que tanto el núcleo como el recubrimiento son fundidas antes de ser extruidos. El material del recubrimiento presenta al menos aproximadamente 50 % de cristalinidad después de la deposición y antes de la deposición de una capa posterior.

25

En una realización alternativa, se proporciona un doble recubrimiento en el que el recubrimiento interior incluye un material que restringe o evita la interdifusión y/o la cristalogénesis entre los materiales del núcleo y del recubrimiento exterior. En esta realización alternativa, los materiales adecuados para el recubrimiento interior pueden incluir uno o más polímeros amorfos. La temperatura de fusión del recubrimiento interior no se describe.

35

El documento US5.936.861 describe un proceso y un aparato para fabricar objetos tridimensionales a partir de materiales compuestos tales como polímeros reforzados con fibra y compuestos de matriz metálica.

40

El documento US2003/00116747 se refiere a revestimientos que tienen partículas incorporadas dentro de ellos con el fin de controlar las propiedades del recubrimiento, por ejemplo, el color.

El documento US6.074.742 describe la incorporación de colorantes de dispersión de partículas dentro de las matrices para producir artículos de color.

45

El documento US5.811.186 se refiere a filamentos de múltiples componentes que se extruyen fundidos y se unen fundidos.

50

El documento EP0340982 describe fibras que se pueden unir fundidas para su uso en bandas no tejidas.

El documento US1.095.735 describe varillas compuestas que tienen una cubierta alternativa hecha de un primer material que rodea un núcleo hecho de un segundo material.

55 Sumario de la invención

La presente invención proporciona un método de fabricación de un objeto, un filamento para su uso en un método de fabricación aditiva basado en extrusión, un método de fabricación de un filamento para su uso en un método de fabricación aditiva basado en extrusión, un aparato para fabricar un objeto mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión y un objeto formado mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión como se expone en las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones dependientes, se describen diversas características preferentes.

60

La presente invención proporciona una porción de refuerzo que no solo tiene un punto de fusión más alto, sino también una cristalinidad más alta que la porción de matriz. Esto se puede contrastar con el documento WO2012/037329, que divulga, en una realización, un núcleo de filamento con un punto de fusión más alto que el

65

- recubrimiento, aunque no una cristalinidad más alta, y, en otra realización, un núcleo de filamento con una cristalinidad más alta que un recubrimiento interior amorfo, aunque no un punto de fusión más alto. Al combinar una cristalinidad alta con un punto de fusión alto en la porción de refuerzo, el filamento se puede extruir desde el cabezal de extrusión sin fundir la porción de refuerzo y destruir su cristalinidad relativamente alta. Como resultado, la porción de refuerzo del filamento puede retener propiedades atractivas tales como un alto límite elástico y/o propiedades piezoeléctricas en el producto final.
- Se puede aplicar un campo electromagnético al filamento antes de que sea extruido sobre el sustrato, polarizando así la porción de refuerzo. Tal polarización puede crear o mejorar las propiedades piezoeléctricas de la porción de refuerzo, particularmente si comprende un material ferroeléctrico u otro material que pueda ser polarizado. El campo electromagnético se puede aplicar al filamento dentro del cabezal de extrusión antes y/o después de que se haya fundido parcialmente o se puede aplicar antes de que se introduzca en el cabezal de extrusión. La polarización se realiza preferentemente dentro del cabezal de extrusión, ya que esto permite que el objeto se polarice de manera no uniforme cambiando el campo aplicado durante la formación de la pieza. Por ejemplo, una línea extruida puede ser polarizada de manera selectiva a lo largo de únicamente una parte de su longitud, y/o el campo se puede desactivar de manera selectiva de manera que algunas líneas extruidas sean polarizadas y otras no, y/o diferentes líneas extruidas paralelas pueden ser polarizadas en diferentes direcciones.
- El objeto puede fabricarse únicamente con una línea extruida, por ejemplo, siguiendo un patrón en zig-zag. Sin embargo, más preferentemente, el objeto se fabrica con múltiples líneas extruidas. En tal caso, cada línea puede ser cortada mecánicamente con una cuchilla de corte, pero, más preferentemente, el método comprende además elevar temporalmente la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión por encima del punto de fusión de la porción de refuerzo después de que la línea extruida haya sido formada sobre el sustrato, formando así una ruptura en la porción de refuerzo continuo y un extremo de la línea extruida formada sobre el sustrato, bajando después la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo para permitir que se forme otra línea extruida sobre el sustrato. De manera opcional, el cabezal de extrusión y el sustrato son separados (moviendo uno o ambos), después de que la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión se haya elevado por encima del punto de fusión de la porción de refuerzo, con el fin de ayudar a separar la ruptura en la porción de refuerzo continuo del extremo de la línea extruida. La diferencia en los puntos de fusión es inferior a 10 °C. Tener los puntos de fusión relativamente cercanos entre sí de esta manera es ventajoso porque permite que la línea se "corte" elevando una pequeña cantidad la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión.
- Normalmente, el objeto se fabrica formando una pluralidad de líneas extruidas sobre partes seleccionadas del sustrato de conformidad con un modelo tridimensional del objeto. El objeto puede fabricarse formando una serie de capas no planas o formando una serie de capas planas, cada una de las cuales comprende una pluralidad de líneas extruidas que se extienden en un plano X-Y formado sobre partes seleccionadas del sustrato de conformidad con el modelo tridimensional del objeto; incrementar la posición del cabezal de extrusión y/o el sustrato en una dirección Z ortogonal al plano X-Y; y repitiendo el proceso para formar un objeto tridimensional que comprende una serie de capas, algunas de las cuales tienen formas y/o tamaños diferentes entre sí.
- De manera opcional, al menos algunas de las porciones de refuerzo polimérico semicristalino en el objeto están polarizadas y son piezoeléctricas. Normalmente, al menos algunas de las algunas de las porciones de refuerzo piezoeléctricas y polarizadas se extienden paralelas entre sí, pero están polarizadas en direcciones opuestas.
- El objeto puede comprender una serie de capas de líneas extruidas. De manera opcional, al menos algunas de las capas tienen formas y/o tamaños diferentes entre sí.
- Los puntos de fusión de las porciones de refuerzo y de matriz son diferentes y pueden determinarse por la pérdida de la fase cristalina determinada, por ejemplo, mediante calorimetría diferencial de barrido y/o termo-análisis mecánico-dinámico.
- La porción de matriz tiene un punto de fusión que es preferentemente inferior a 180 °C y lo más preferentemente inferior a 170 °C.
- La porción de refuerzo tiene un punto de fusión que es normalmente inferior a 200 °C, preferentemente inferior a 180 °C y lo más preferentemente inferior a 170 °C.
- La diferencia en los puntos de fusión es preferentemente superior a 2 °C y lo más preferentemente superior a 5 °C. Proporcionar una diferencia tan mínima en los puntos de fusión garantiza que la porción de refuerzo no se funda en el cabezal de extrusión.
- La porción de refuerzo y la porción de matriz pueden formarse a partir del mismo polímero, de manera opcional con diferentes pesos moleculares. Es preferente que la porción de refuerzo y la porción de matriz se formen a partir del mismo polímero porque esto proporciona una buena unión entre ellos en el filamento y en la línea extruida y porque esto suele dar como resultado una pequeña diferencia en los puntos de fusión entre ellos, lo cual es ventajoso por las razones expuestas anteriormente.

ES 2 784 632 T3

Normalmente, un polímero que forma la porción de refuerzo tiene un peso molecular más alto que un polímero que forma la porción de matriz.

5 La cristalinidad de las porciones de refuerzo y de matriz se puede determinar mediante calorimetría diferencial de barrido y/o termo-análisis mecánico-dinámico. Normalmente, la porción de refuerzo tiene una cristalinidad que es superior a 60 % en peso, preferentemente superior a 70 % en peso y lo más preferentemente superior a 80 % en peso. La porción de matriz puede ser completamente amorfa, pero, más normalmente, tendrá un grado de cristalinidad. Normalmente, la cristalinidad de la porción de matriz es inferior a 50 % y preferentemente es inferior a 10 30 % en peso, inferior a 20 % en peso o lo más preferentemente inferior a 5 % en peso.

La diferencia en la cristalinidad promedio en peso entre la porción de refuerzo y la porción de matriz es normalmente superior a 5 %, superior a 10 %, superior a 30 %, superior a 50 %, superior a 70 % o lo más preferentemente superior a 90 %.

15 La porción de refuerzo ocupa normalmente más del 50 % y preferentemente más del 60 % del volumen del filamento.

20 La porción de refuerzo ocupa normalmente menos del 91 % y preferentemente menos del 67 % del volumen del filamento.

El filamento tiene preferentemente un diámetro máximo que es inferior a 2 mm o más preferentemente inferior a 1 mm. Un diámetro máximo tan pequeño hace que el filamento sea adecuado para su uso en un proceso de fabricación aditiva.

25 El filamento tiene un área de sección transversal promedio que es normalmente inferior a 3 mm^2 y preferentemente inferior a 1 mm^2 .

30 La porción de refuerzo puede discurrir paralela a la longitud del filamento y estar al menos parcialmente rodeada por la porción de matriz. En tal caso, la porción de matriz puede tener la forma de una cubierta sin espacios que rodea completamente la porción de refuerzo, o la porción de matriz puede tener espacios, por ejemplo, puede comprender una serie de fibras que discurren axialmente o en una hélice a lo largo de la longitud del filamento. De manera alternativa, la porción de refuerzo y la porción de matriz pueden estar entrelazadas entre sí de manera que ambas sigan rutas tortuosas, por ejemplo, mediante torsión o alguna otra forma de entrelazado, tal como el trenzado.

35 La porción de refuerzo comprende preferentemente al menos una fibra de refuerzo en la que más del 50 %, y preferentemente más del 80 %, de la fibra en volumen comprende cristales alineados dentro de 1° de ser paralelos a una longitud de la fibra. Por lo tanto, si la fibra o fibras de refuerzo discurren paralelas a la longitud del filamento, entonces también lo harán los cristales. De manera alternativa, si la fibra o fibras de refuerzo siguen una ruta tortuosa, tal como una hélice, entonces también lo harán los cristales. La alineación de los cristales se puede medir mediante análisis por rayos X. En el caso de Dyneema (R), por ejemplo, las cadenas de polímero pueden lograr una orientación paralela de aproximadamente 95 %.

45 De manera opcional, la porción de refuerzo comprende una o más fibras de refuerzo y el método comprende extraer la fibra bajo tensión a partir de un polímero fundido.

La porción de refuerzo se puede formar extrayendo un polímero bajo tensión para formar una o más fibras de refuerzo con una mayoría de los cristales (y sus cadenas de polímero asociadas) alineados dentro de 1° de ser paralelos a la longitud de la fibra o fibras.

50 De manera opcional, la etapa de combinar la porción de refuerzo con la porción de matriz comprende poner en contacto la porción de refuerzo con la porción de matriz y calentarlas de modo que se adhieran entre sí.

55 De manera opcional, la etapa de combinar la porción de refuerzo con la porción de matriz comprende entrelazar la porción de refuerzo con la porción de matriz de modo que ambas sigan rutas tortuosas a lo largo de la longitud del filamento.

De manera opcional, la porción de refuerzo puede comprender un material compuesto, por ejemplo, una fibra hilada extraída a partir de un gel de polímero termoplástico cargado con nanotubos de carbono o grafeno.

60 De manera opcional, la porción de refuerzo comprende un polímero ferroeléctrico, tal como fluoruro de polivinilideno.

De manera opcional, la porción de refuerzo tiene un límite elástico superior a 500 MPa, preferentemente superior a 1 GPa y lo más preferentemente superior a 2 GPa.

65 De manera opcional, la porción de refuerzo comprende una pluralidad de fibras.

Preferentemente, tanto la porción de refuerzo como la porción de matriz son termoplásticas.

Breve descripción de los dibujos

5 Ahora se describirán en detalle realizaciones de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista en sección transversal longitudinal de un filamento con la sección tomada a lo largo de una línea B-B en la figura 2;

10 la figura 2 es una vista en sección transversal del filamento con la sección tomada a lo largo de una línea A-A en la figura 1;

15 la figura 3 es una vista en sección transversal de un filamento alternativo;

la figura 4 es una vista en sección transversal longitudinal de un filamento retorcido;

20 la figura 5 es una vista esquemática de un aparato para fabricar un objeto mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión;

las figuras 6-10 muestran un objeto siendo fabricado utilizando el aparato de la figura 5;

25 la figura 11 es una vista esquemática de un aparato alternativo para fabricar un objeto piezoeléctrico mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión;

la figura 12 muestra un objeto siendo fabricado utilizando el aparato de la figura 11;

30 la figura 13 es una vista en sección de un objeto fabricado mediante el método de las figuras 6-10 visto en sección transversal a las líneas extruidas;

la figura 14 muestra un objeto polarizado de manera uniforme fabricado mediante el método de la figura 12 visto en sección a lo largo de la longitud de las líneas extruidas; y

35 la figura 15 muestra un objeto polarizado de manera no uniforme fabricado mediante el método de la figura 12 visto en sección a lo largo de la longitud de las líneas extruidas.

Descripción detallada de la realización o realizaciones

40 Las figuras 1 y 2 muestran un filamento para su uso en un método de fabricación aditiva basado en extrusión de acuerdo con un primer aspecto de la invención. El filamento comprende una porción de refuerzo polimérico semicristalino termoplástico 1 (o núcleo) que ocupa un eje central 1a del filamento y está rodeado por una porción de matriz polimérica amorfa termoplástica 2 (o cubierta). Ambas porciones 1,2 discurren de manera continuada a lo largo de la longitud del filamento.

45 El núcleo 1 ocupa alrededor del 40-60 % del volumen del filamento, incluyendo el centro geométrico 1a del área de sección transversal del filamento, estando el resto del volumen ocupado por la cubierta 2. El filamento tiene un diámetro exterior máximo D que es inferior a 2 mm y más preferentemente inferior a 1 mm.

50 El núcleo 1 se fabrica girando y extrayendo un polímero bajo tensión para formar una o más fibras de refuerzo con cristalitos alineados con la longitud de la fibra o fibras. El núcleo 1 puede consistir en una única de tales fibras únicamente o puede comprender una pluralidad de tales fibras.

55 La cubierta 2 se forma y se une al núcleo 1 mediante el siguiente proceso. Se hace pasar el núcleo 1 a través de un anillo calentado junto con varias fibras amorfas (o haces de fibras). A medida que pasan por el anillo calentado, las fibras/los haces amorfos son fundidas y confluyen para formar una cubierta anular alrededor del núcleo y luego se enfrían y solidifican para quedar unidas al núcleo.

60 En el caso de la figura 2, la porción de matriz 2 comprende una capa de cubierta anular continua sin espacios que rodea completamente el núcleo 1. En el caso de la figura 3, la porción de matriz comprende un conjunto de fibras o haces separadas que se extienden axialmente 2a separadas por espacios. Las fibras/los haces 2a están unidas al núcleo 1 de manera similar a la cubierta anular 2, pero no confluyen entre sí cuando atraviesan el anillo calentado.

65 La figura 4 muestra un filamento 10 de acuerdo con un aspecto adicional de la invención. El filamento comprende una porción de refuerzo semicristalino de fibra hilada 11 que se retuerce con una porción de matriz amorfa de fibra hilada 12 de modo que ambas fibras 11,12 siguen rutas helicoidales que se extienden de manera continuada a lo largo de la longitud del filamento. Las fibras 11,12 se retuercen haciendo girar una bobina. Las fibras 11,12 pueden o

pueden no estar unidas entre sí.

Las porciones 11,12 ocupan aproximadamente el mismo volumen del filamento 10. El filamento 10 tiene un diámetro exterior máximo D que es inferior a 2 mm y más preferentemente inferior a 1 mm.

5 Las cadenas de polímero y los cristaliticos en la porción de refuerzo 1,11 están alineados con la longitud de la fibra o fibras que la forman. Entonces, en el caso de la figura 1, las cadenas de polímero y los cristaliticos son paralelos a la longitud del filamento, mientras que en la figura 4 siguen una ruta helicoidal.

10 Los materiales adecuados para la porción de refuerzo 1, 11 son polietileno (PE), polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de ultra alta densidad (UHDPE), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), polipropileno (PP), polidimetilsiloxano (PDMS), polioximetileno (POM), tereftalato de polietileno (PET), polieteretercetona (PEEK), poliamida (PA), polisulfona (PS), sulfuro de polifenileno (PPS), polifenilsulfona (PPSF), politetrafluoroetileno (PTFE) o fluoruro de polivinilideno (PVDF).

15 Dyneema (R) es un ejemplo de una fibra de UHDPE adecuada que puede proporcionar un límite elástico superior a 2 GPa y preferentemente superior a 2,4 GPa, una cristalinidad en peso que es superior a 80 % y preferentemente superior a 85 % y tiene cadenas de polímero con una orientación paralela superior a 90 % o más preferentemente superior a 95 %.

20 La porción de matriz 2,2a,12 se forma normalmente a partir del mismo polímero que la porción de refuerzo 1,11, de manera opcional con diferentes pesos moleculares. Donde los pesos moleculares son diferentes, entonces, preferentemente, la porción de refuerzo tiene el peso molecular más alto (por ejemplo, entre 2.000.000 y 6.000.000 en el caso de UHDPE). La porción de refuerzo 1,11 tiene una cristalinidad más alta que la porción de matriz 2,2a,12. Esta cristalinidad más alta da como resultado un punto de fusión más alto.

30 Normalmente, las fibras de la porción de refuerzo 1,11 y la porción de matriz 2,2a,12 se forman ambas extrayendo la fibra bajo tensión a partir de un polímero fundido. Sin embargo, la cristalinidad de las fibras de la porción de refuerzo 1,11 está mejorada en comparación con las fibras amorfas de la porción de matriz 2,2a,12 mediante el uso de una velocidad de enfriamiento más baja, una velocidad de extracción más alta y/o un polímero con un peso molecular más alto.

35 En la figura 5, se muestra el aparato para fabricar un objeto mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión que utiliza un filamento 3 similar a los que se muestran en las figuras 1-4. El aparato comprende un cabezal de extrusión 4 que tiene un canal 4a con una salida de extrusión 4b; un par de ruedas de accionamiento 8; un calentador 6 dispuesto para elevar la temperatura del material dentro del canal 4a; una placa de construcción calentada 5; y un motor de accionamiento XY 7 dispuesto para provocar un movimiento relativo en el plano XY entre el cabezal de extrusión y la placa de construcción, en este caso moviendo el cabezal de extrusión 4. El motor de accionamiento AZ 9 puede mover la placa de construcción 5 hacia arriba o hacia abajo en la dirección Z a medida que se construye la pieza.

40 La salida 4b tiene un diámetro máximo superior a 0,1 e inferior a 1 mm. Más preferentemente, el diámetro máximo es superior a 0,25 mm e inferior a 0,5 mm. La salida 4b tiene un diámetro más pequeño que el filamento, pero un diámetro más grande que la porción de refuerzo.

45 Un controlador 20 controla el calentador 6, las ruedas de accionamiento 8 y los motores de accionamiento 7,9 con el fin de fabricar una pieza de conformidad con un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) de la pieza en un almacenamiento 21 siguiendo el proceso que se muestra en las figuras 6-10. Cabe destacar que las figuras 6-10 omiten ciertas partes del aparato de la figura 5 con fines de claridad.

50 En primer lugar, las ruedas de accionamiento 8 son accionadas para introducir el filamento 3 a través del canal 4a y los motores 7,9 son accionados para mover el cabezal de extrusión a una posición deseada por encima de la placa de construcción 5 como se muestra en la figura 6. Se hace funcionar el calentador 6 para elevar la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión por encima del punto de fusión de la porción de matriz, pero por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo, de modo que la porción de matriz del filamento se funda dentro del cabezal de extrusión, formando así un filamento parcialmente fundido 3a dentro del cabezal de extrusión. El filamento parcialmente fundido 3a es extruido entonces desde el cabezal de extrusión sobre la placa de construcción 5 y se hace funcionar el motor XY 7 para depositar una línea extruida 3b como se muestra en la figura 7. Únicamente la porción de matriz del filamento es fundida dentro del cabezal de extrusión y la porción de refuerzo del filamento parcialmente fundido 3a permanece en un estado semicristalino a medida que es extruido desde la salida 4b del cabezal de extrusión. La porción de matriz de la línea extruida 3b se solidifica cuando se enfría después de que haya sido colocada sobre la placa de construcción 5.

65 El movimiento relativo XY entre el cabezal de extrusión 4 y la placa de construcción 5 es lo suficientemente rápido con respecto a la velocidad de introducción de las ruedas de accionamiento 8 como para que la porción de refuerzo esté en tensión a medida que la línea extruida 3b es depositada. Las cadenas de polímero y los cristaliticos en la

porción de refuerzo están orientados con la línea extruida 3b, ya sea paralela a la longitud de la línea extruida 3b en el caso del filamento de la figura 1 o acostada en una hélice con el eje de la hélice a lo largo de la longitud de la línea extruida 3b en el caso del filamento de la figura 4.

5 A continuación, se hace funcionar el calentador 6 para elevar temporalmente la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión 4 por encima del punto de fusión de la porción de refuerzo después de que la línea extruida 3b haya sido formada sobre el sustrato, formando así una ruptura en la porción de refuerzo continuo. Al mismo tiempo, se hace funcionar el motor de accionamiento Z 9 para bajar la placa de construcción 5 y "cortar" de manera efectiva el filamento para formar un extremo 3c de la línea extruida como se muestra en la figura 8.

10 A continuación, se hace funcionar el calentador 6 para bajar la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión de nuevo por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo para permitir que se forme otra línea extruida 3d como se muestra en la figura 9. En el caso de la figura 9, la segunda línea 3d es depositada encima de la primera línea 3b con la que se fusiona, aunque se puede formar junto a (y fusionarse con) la línea 3b en el mismo plano XY si es necesario.

15 A continuación, se hace funcionar el calentador 6 para elevar temporalmente la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión 4 por encima del punto de fusión de la porción de refuerzo después de que la línea extruida 3d haya sido formada, formando así una ruptura en la porción de refuerzo continuo. Al mismo tiempo, se hace funcionar el motor de accionamiento Z 9 para bajar la placa de construcción 5 y "cortar" de manera efectiva el filamento para formar un extremo 3e de la línea extruida como se muestra en la figura 10.

20 Este proceso se repite varias veces según sea necesario para fabricar una pieza de conformidad con el modelo CAD.

25 El período de tiempo del pulso de calor que "corta" el filamento en el extremo de cada línea dependerá de varios factores, principalmente de la masa térmica del cabezal de extrusión, pero normalmente será del orden de 0,1 a 10 s.

30 En el caso de un filamento donde la porción de refuerzo 1 comprende una colección de fibras con espacios entre fibras y, cuando la porción de matriz es fundida en el cabezal de extrusión, el material fundido impregna estos espacios entre fibras. En tal caso, es preferente el filamento retorcido de la figura 4 debido al acoplamiento más estrecho entre la porción de refuerzo 1 y la porción de matriz 2 que hace que tal impregnación sea más fácil.

35 En el caso de un filamento donde la porción de refuerzo 1 comprende una única fibra, entonces no es necesaria tal impregnación dentro del cabezal de extrusión. En tal caso, son preferentes los filamentos de las figuras 1-3 (en las que la porción de refuerzo discurre paralela a la longitud del filamento y está al menos parcialmente rodeada por la porción de matriz) porque hacen que sea más fácil que el material de la matriz fluya entre, y una entre sí, fibras de refuerzo adyacentes después de que hayan sido extruidas, rellenando los espacios entre las fibras de refuerzo en las líneas extruidas adyacentes.

40 En la figura 11, se muestra un aparato alternativo para fabricar un objeto mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión. La mayoría de los componentes del aparato son los mismos que se muestran en la figura 5 y reciben los mismos números de referencia. Una bobina de alambre eléctricamente conductora 30 rodea el canal en el cabezal de extrusión y puede recibir energía de manera selectiva mediante el controlador 20 para aplicar un campo electromagnético 31 al material dentro del canal como se muestra en la figura 12.

45 El aparato de la figura 11 se utiliza con un filamento 3f en el que la porción de refuerzo comprende un polímero semicristalino ferroeléctrico tal como fluoruro de polivinilideno y la porción de matriz comprende un polímero amorfo (y, por lo tanto, no ferroeléctrico) tal como fluoruro de polivinilideno.

50 En primer lugar, las ruedas de accionamiento 8 son accionadas para introducir el filamento 3f a través del canal y los motores 7,9 son accionados para mover el cabezal de extrusión a una posición deseada por encima de la placa de construcción 5. A continuación, se hace funcionar el calentador 6 para elevar la temperatura del filamento en el cabezal de extrusión por encima del punto de fusión de la porción de matriz, pero por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo, de modo que la porción de matriz del filamento se funda dentro del cabezal de extrusión, formando así un filamento parcialmente fundido dentro del cabezal de extrusión. Al mismo tiempo, la bobina 30 recibe energía para aplicar un campo electromagnético 31 al filamento dentro del cabezal de extrusión. Esto provoca que el polímero ferroeléctrico dentro del cabezal de extrusión quede polarizado.

55 El filamento parcialmente fundido es extruido entonces desde el cabezal de extrusión sobre la placa de construcción 5 y el motor XY 7 es accionado para depositar una línea extruida 3g como se muestra en la figura 12 en la que el polímero ferroeléctrico es polarizado como se indica esquemáticamente mediante las flechas 32. El resto del proceso es idéntico al proceso descrito anteriormente con referencia a las figuras 6-10.

60 Dejar la estructura cristalina de la porción de refuerzo intacta y bajo tensión mientras es polarizada por la bobina 30

permite que la línea extruida tenga propiedades piezoeléctricas.

5 En la figura 13, se muestra un objeto fabricado mediante el método de las figuras 6-10 en sección transversal, tomándose la sección transversal a la longitud de las líneas extruidas. El objeto comprende una pila de cuatro capas 41-44, cada una de las cuales contiene una pluralidad de líneas extruidas. Cada línea extruida comprende una porción de refuerzo polimérico semicristalino 41a,42a,etc. y una porción de matriz polimérica termoplástica sólida que rodea la porción de refuerzo. Cada porción de refuerzo 41a,42a,etc. discurre de manera continuada a lo largo de la longitud de una respectiva de las líneas extruidas y tiene un punto de fusión más alto y una cristalinidad más alta que su porción de matriz respectiva. Las porciones de matriz de las líneas extruidas son fundidas entre sí para formar una fase de matriz 45 que se extiende de manera continuada a lo largo de todo el objeto y une entre sí las porciones de refuerzo. Cada capa 41-44 tiene un número diferente de líneas extruidas.

10 En el ejemplo de la figura 13, todas las líneas en todas las capas son paralelas, pero en una realización alternativa (que no se muestra) las líneas pueden extenderse en diferentes direcciones en la manera de una bandeja compuesta con algunas capas orientadas con sus líneas en 0°, otras en +/- 45° y otras a 90°.

15 En la figura 14, se muestra un objeto fabricado mediante el método de la figura 12 en sección transversal, tomándose la sección en este caso a lo largo de la longitud de las líneas extruidas. El objeto comprende una pila de cuatro capas 51-54, cada una de las cuales contiene una pluralidad de líneas extruidas. Cada línea extruida comprende una porción de refuerzo polimérico semicristalino 51a,52a,etc. y una porción de matriz polimérica termoplástica sólida que rodea la porción de refuerzo. Cada porción de refuerzo discurre de manera continuada a lo largo de la longitud de una respectiva de las líneas extruidas. Las porciones de matriz de las líneas extruidas son fundidas entre sí para formar una fase de matriz 55 que se extiende de manera continuada a lo largo de todo el objeto y une entre sí las porciones de refuerzo. Las longitudes de las líneas extruidas difieren entre las capas.

20 En el caso de la figura 14, la bobina 30 ha recibido energía permanentemente durante la fabricación de la pieza, alternándose la dirección de la corriente en la bobina entre líneas de manera que el objeto sea polarizado de manera uniforme, es decir, siendo todas las líneas paralelas polarizadas en la misma dirección.

25 La figura 15 muestra una alternativa en la que la bobina 30 se ha encendido y se ha apagado para polarizar algunas capas, pero no otras. En el ejemplo de la figura 15, la pieza tiene varias capas polarizadas 52,54 intercaladas con capas no polarizadas 51,53. Además, las capas 52,54 están orientadas con sus líneas extendiéndose paralelas entre sí, pero polarizadas en direcciones opuestas.

30 Aunque la invención se ha descrito anteriormente con referencia a una o más realizaciones preferentes, se apreciará que pueden realizarse diversos cambios o modificaciones sin apartarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de un objeto, comprendiendo el método:

5 introducir un filamento (3) en un cabezal de extrusión (4), comprendiendo el filamento (3) una porción de refuerzo polimérico semicristalino (1) y una porción de matriz polimérica (2) que discurren ambas de manera continuada a lo largo de una longitud del filamento (3), en donde la porción de refuerzo (1) tiene un punto de fusión más alto y una cristalinidad más alta que la porción de matriz (2);
 10 elevar la temperatura del filamento (3) en el cabezal de extrusión (4) por encima del punto de fusión de la porción de matriz (2), pero por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo (1) de manera que la porción de matriz (2) del filamento (3) se funda dentro del cabezal de extrusión (4), formando así un filamento parcialmente fundido (3a) dentro del cabezal de extrusión (4);
 15 extruir el filamento parcialmente fundido (3a) desde el cabezal de extrusión (4) sobre un sustrato (5), permaneciendo la porción de refuerzo (1) del filamento parcialmente fundido (3a) en un estado semicristalino a medida que es extruido desde el cabezal de extrusión (4); y
 20 provocar un movimiento relativo entre el cabezal de extrusión (4) y el sustrato (5) a medida que el filamento parcialmente fundido (3a) es extruido sobre el sustrato (5) con el fin de formar una línea extruida (3b) sobre el sustrato (5), en donde la porción de matriz (2) de la línea extruida (3b) se solidifica después de que la línea extruida (3b) haya sido depositada sobre el sustrato (5),
 25 que comprende además elevar temporalmente la temperatura del filamento (3) en el cabezal de extrusión (4) por encima del punto de fusión de la porción de refuerzo (1), después de que la línea extruida (3b) haya sido formada sobre el sustrato (5), formando así una ruptura (3c) en la porción de refuerzo continuo (1) y un extremo de la línea extruida (3b) formada sobre el sustrato, bajando después la temperatura del filamento (3) en el cabezal de extrusión (4) por debajo del punto de fusión de la porción de refuerzo (1) para permitir que se deposite otra línea extruida (3b) sobre el sustrato (5).

2. El método de la reivindicación 1, que comprende además aplicar un campo electromagnético (31) al filamento (3) antes de que sea extruido sobre el sustrato (5), polarizando así la porción de refuerzo (1).

30 3. El método de la reivindicación 2, en el que el campo electromagnético (31) se aplica al filamento (3) dentro del cabezal de extrusión (4) antes y/o después de que se haya fundido parcialmente.

35 4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el movimiento relativo entre el cabezal de extrusión (4) y el sustrato (5) es lo suficientemente rápido como para que la porción de refuerzo (1) esté en tensión a medida que la línea extruida (3b) es depositada sobre el sustrato (5).

40 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el objeto se fabrica depositando una pluralidad de líneas extruidas (3b) sobre partes seleccionadas del sustrato (5) en una serie de capas (41-44) de conformidad con un modelo tridimensional del objeto.

6. Un filamento (3) para su uso en un método de fabricación aditiva basado en extrusión, comprendiendo el filamento (3):

45 una porción de refuerzo polimérico semicristalino (1,11), que discurre de manera continuada a lo largo de una longitud del filamento (3); y una porción de matriz polimérica sólida (2, 12) que discurre de manera continuada a lo largo de una longitud del filamento (3), en donde la porción de refuerzo (1, 11) tiene un punto de fusión más alto y una cristalinidad más alta que la porción de matriz (2, 12),
 50 **caracterizado por que** la diferencia en los puntos de fusión entre la porción de refuerzo (1,11) y la porción de matriz (2, 12) es inferior a 10 °C.

7. El filamento (3) de la reivindicación 6, en el que la porción de refuerzo (11) y la porción de matriz (12) están entrelazadas entre sí de manera que ambas siguen rutas tortuosas a lo largo de la longitud del filamento (3).

55 8. El filamento (3) de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la porción de refuerzo (1,11) comprende un polímero ferroeléctrico.

9. El filamento (3) de las reivindicaciones 6, 7 u 8, en el que la diferencia en los puntos de fusión es superior a 5 °C.

60 10. Un método de fabricación de un filamento (3) para su uso en un método de fabricación aditiva, basado en extrusión, combinando el método una porción de refuerzo (1) con una porción de matriz (2), que discurren ambas de manera continuada a lo largo de una longitud del filamento (3), en donde la porción de refuerzo (1) tiene un punto de fusión más alto y una cristalinidad más alta que la porción de matriz (2), **caracterizado por que** la diferencia en los puntos de fusión entre la porción de refuerzo (1) y la porción de matriz (2) es inferior a 10 °C.

65 11. El método de la reivindicación 10, en el que la porción de refuerzo (1) comprende un polímero ferroeléctrico.

- 5 12. Un objeto fabricado mediante un método de fabricación aditiva basado en extrusión, comprendiendo el objeto una pluralidad de líneas extruidas (3b), en donde cada línea extruida (3b) comprende una porción de refuerzo polimérico semicristalino (1) y una porción de matriz polimérica termoplástica sólida (2), que discurren ambas de manera continuada a lo largo de la longitud de una respectiva de las líneas extruidas (3b), en donde la porción de refuerzo (1) tiene un punto de fusión más alto y una cristalinidad más alta que su porción de matriz (2) respectiva, y las porciones de matriz (2) de las líneas extruidas (3b) son fundidas entre sí para formar una fase de matriz (45, 55), que se extiende de manera continuada a lo largo de todo el objeto y que une entre sí las porciones de refuerzo (1), **caracterizado por que** la diferencia en los puntos de fusión entre la porción de refuerzo (1) y la porción de matriz (2) es inferior a 10 °C.
- 10 13. El objeto de la reivindicación 12, en el que al menos algunas de las porciones de refuerzo polimérico semicristalino (51a, 52a) están polarizadas y son piezoeléctricas.
- 15 14. El objeto de las reivindicaciones 12 o 13, que comprende una serie de capas (41-44) de líneas extruidas (3b), en donde al menos algunas de las capas (41- 44) tienen formas y/o tamaños diferentes entre sí.
15. El objeto de las reivindicaciones 12, 13 o 14, en el que la diferencia en los puntos de fusión es superior a 5 °C.

Figura 1

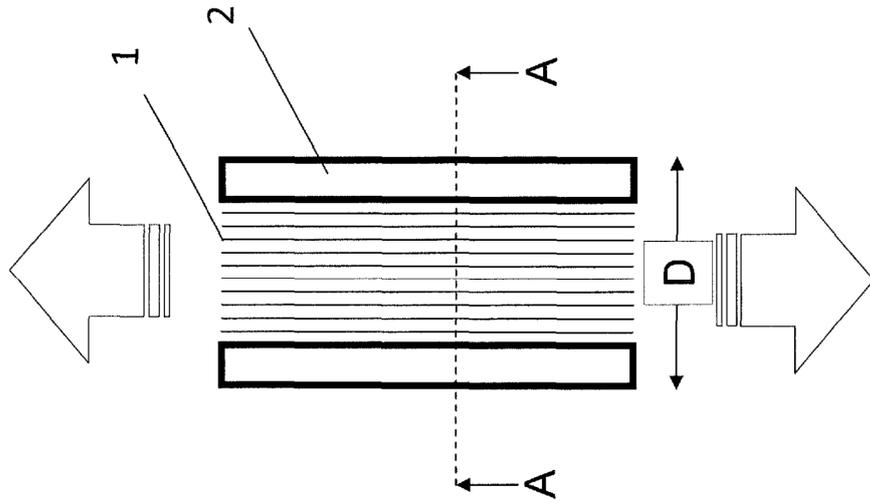


Figura 2

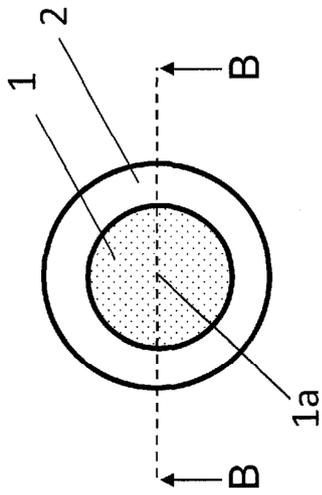


Figura 3

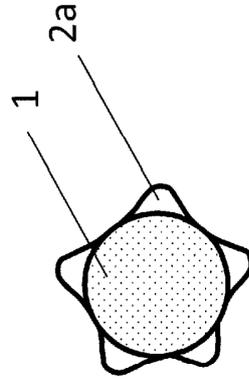


Figura 4

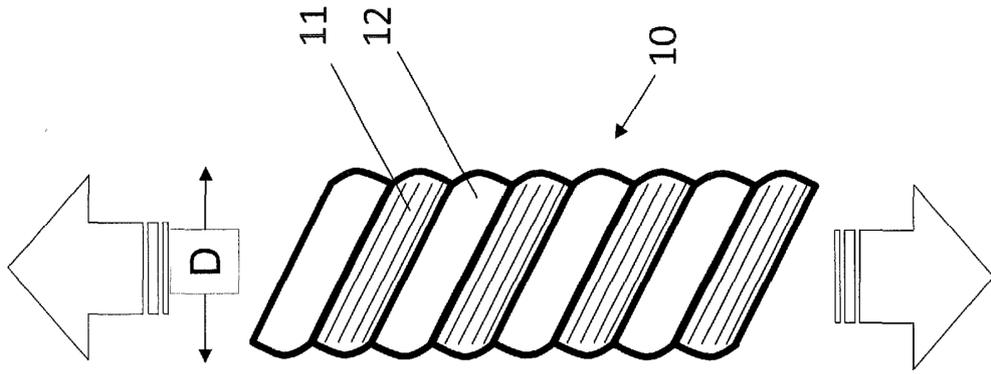
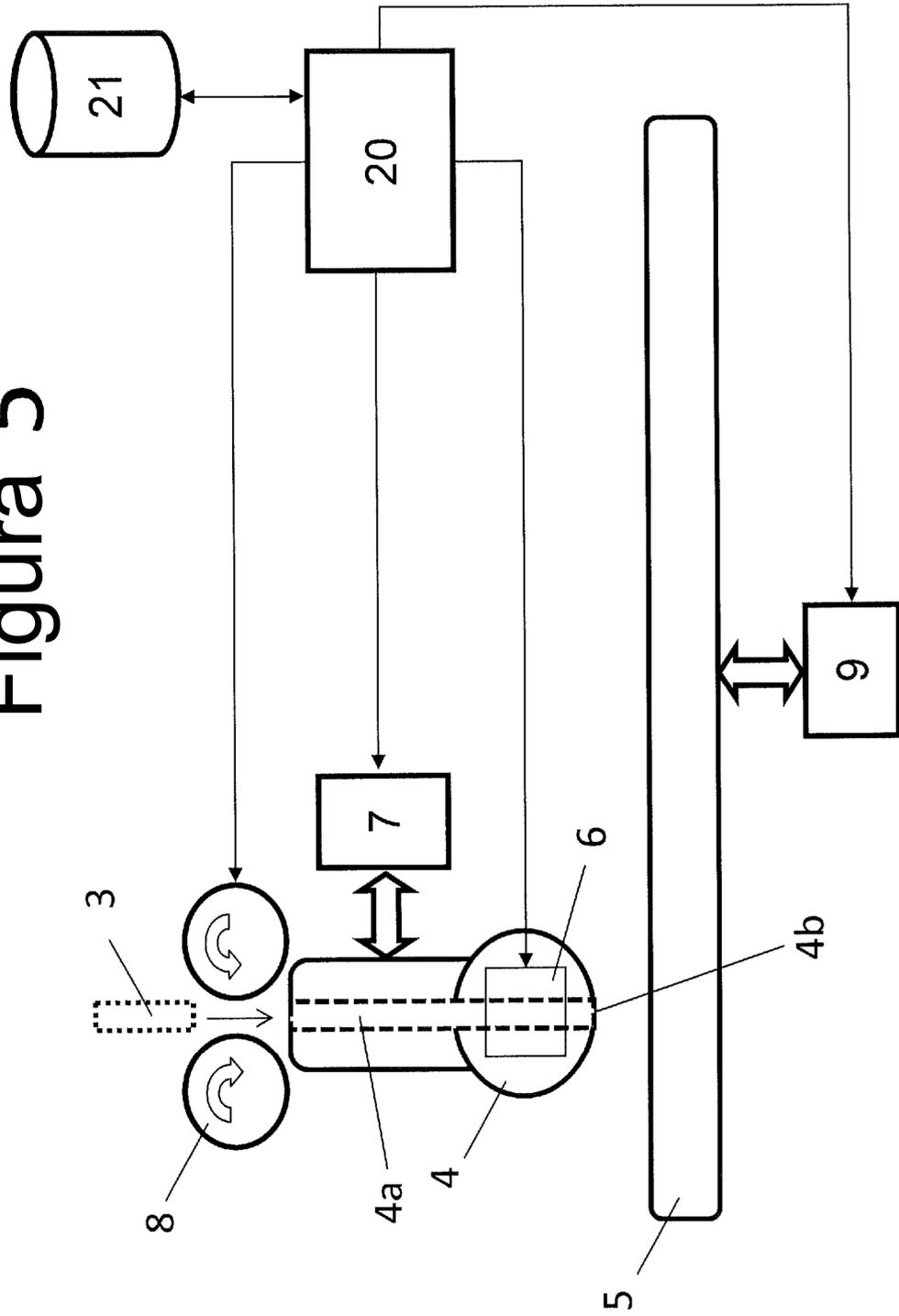


Figura 5



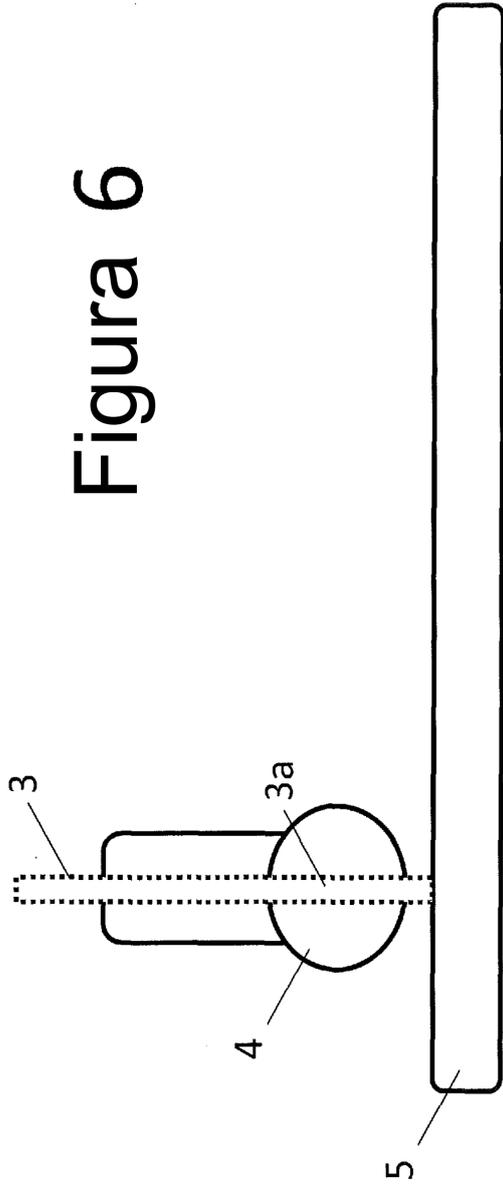


Figura 6

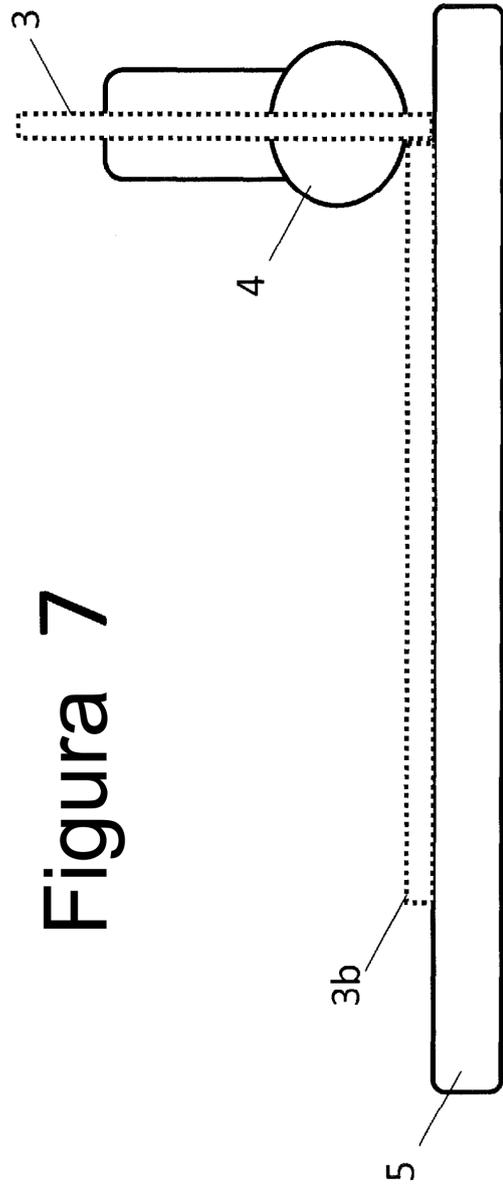


Figura 7

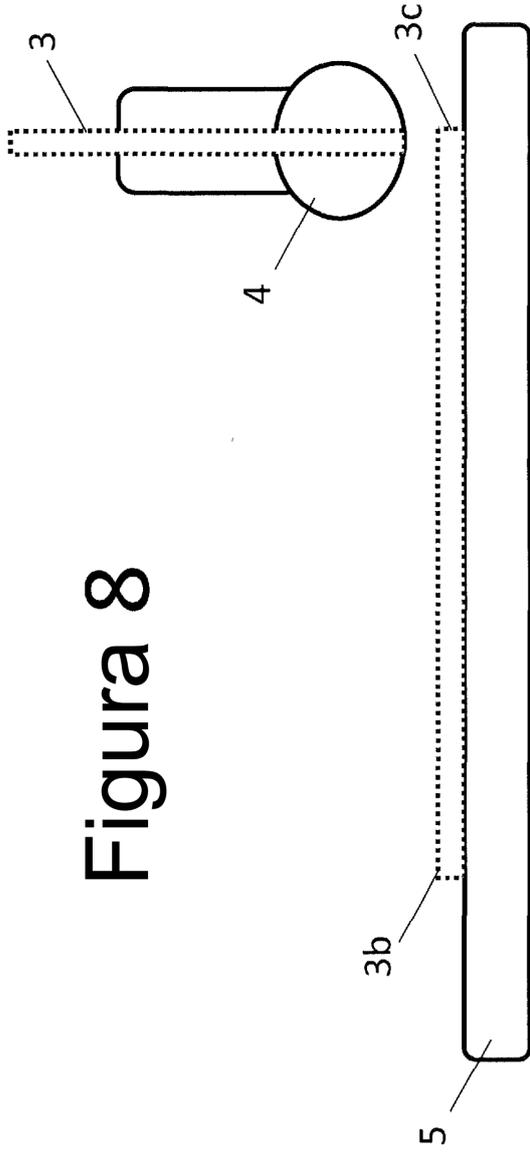


Figura 8

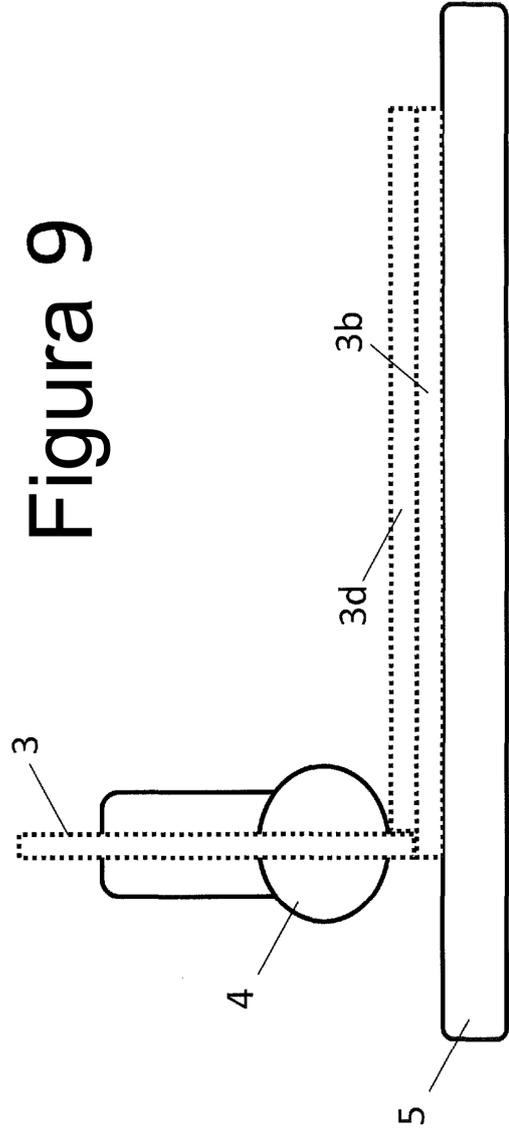


Figura 9

Figura 11

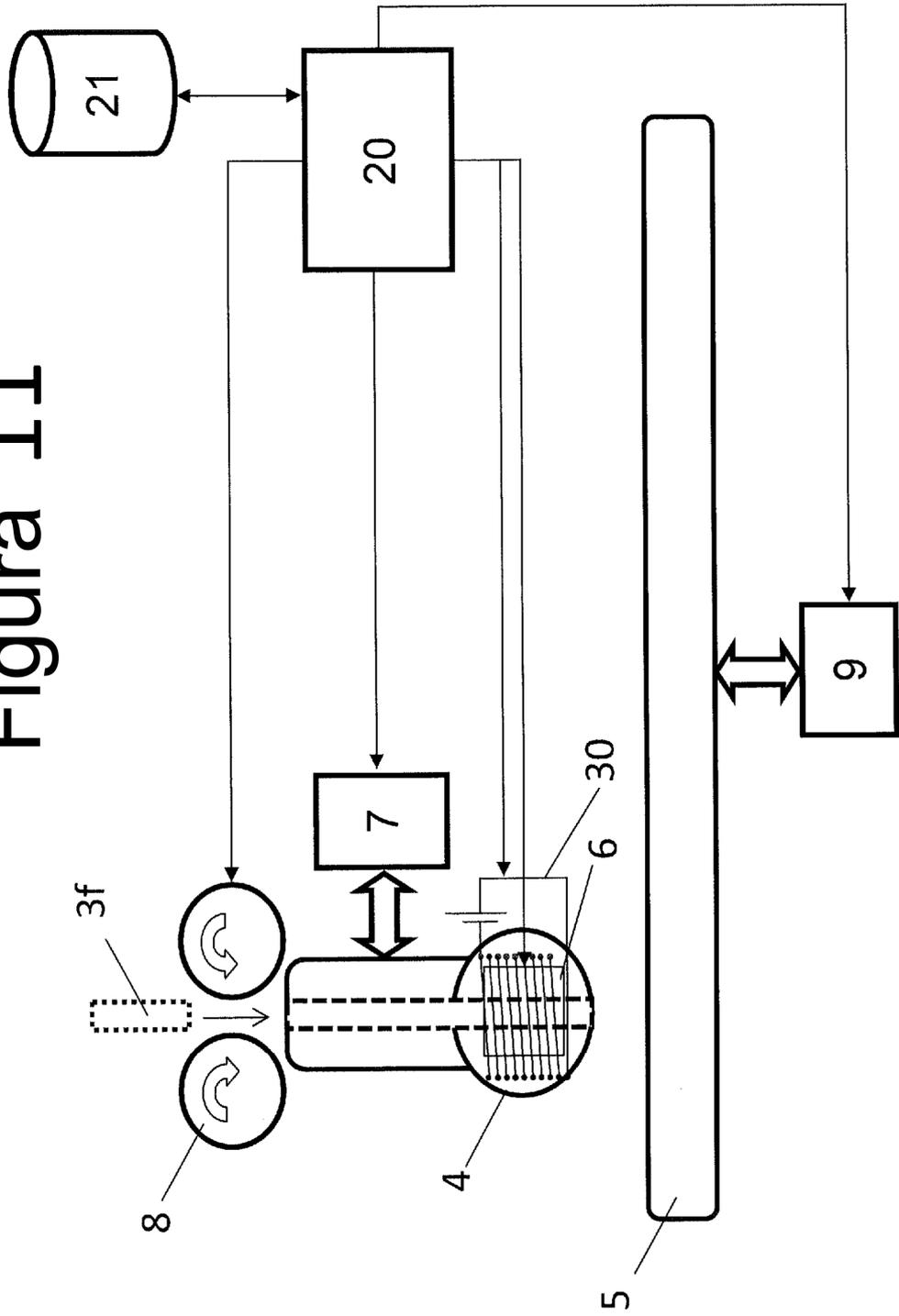


Figura 12



Figura 13

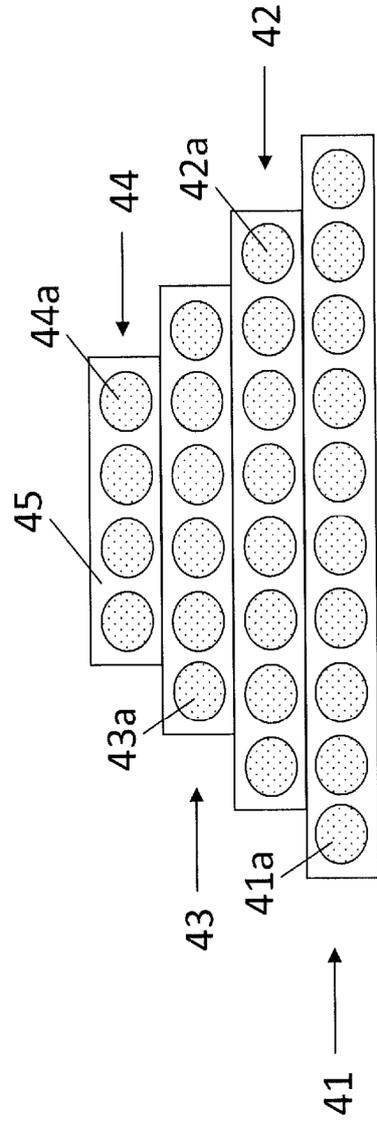


Figura 14

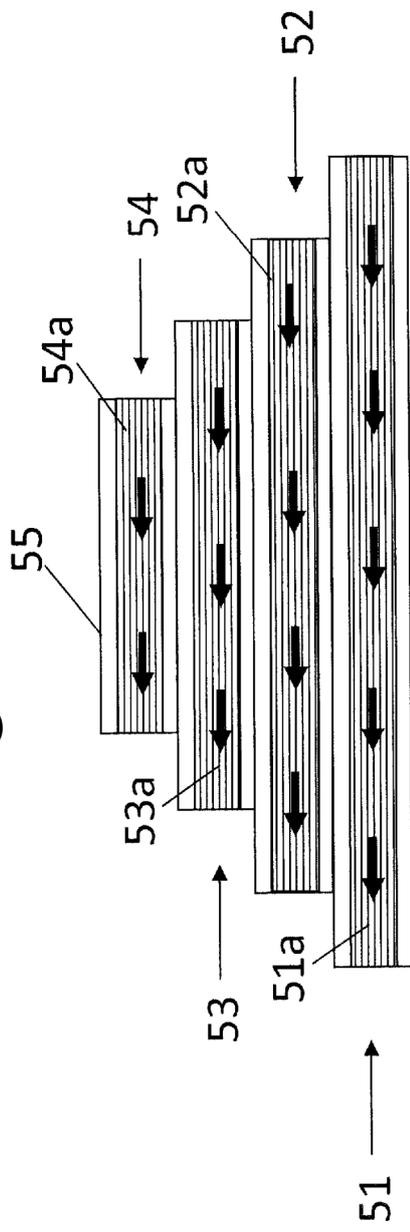


Figura 15

