

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 949 656**

51 Int. Cl.:

D01D 5/00 (2006.01)
D01D 13/02 (2006.01)
B29C 64/118 (2007.01)
B29C 64/209 (2007.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 30/00 (2015.01)
B82Y 40/00 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2019** **E 19382729 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3786322**

54 Título: **Sistema para fabricar una estructura de fibra compuesta**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
02.10.2023

73 Titular/es:

**ASOCIACIÓN CENTRO DE INVESTIGACIÓN
COOPERATIVA EN NANOCIENCIAS "CIC
NANO GUNE" (100.0%)
Tolosa Hiribidea, 76
20018 San Sebastian, Gipuzkoa, ES**

72 Inventor/es:

**BITTNER, ALEXANDER;
LATASA MARTÍNEZ DE IRUJO, JAVIER y
NUANSING, WIWAT**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 949 656 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

Sistema para fabricar una estructura de fibra compuesta

Campo técnico de la invención

5 La presente invención pertenece al campo de la fabricación de estructuras de fibras compuestas, en particular al campo de la fabricación mediante técnicas de electrohilado.

Más específicamente, la invención es de especial aplicación para fabricar materiales compuestos de fibra que combinan capas de diferentes tipos de fibras, tales como fibras no tejidas a escala nanométrica y fibras alineadas de manera precisa a microescala. Un ejemplo de esta clase de estructuras de fibras compuestas son armazones de tejido, de interés en la ingeniería de tejidos ya que requiere una colonización apropiada de células.

10 **Antecedentes de la invención**

Se conocen en la técnica anterior diferentes aparatos que depositan fibras en un molde para formar estructuras compuestas. Por ejemplo, tecnologías de "fabricación aditiva" construyen objetos tridimensionales añadiendo material capa sobre capa, donde el material (o bien un material fusible o bien un material de matriz en el caso de materiales reforzados) cambia a un líquido tras la aplicación de calor y se solidifica (o endurece) para dar un sólido cuando se enfría.

15 Las tecnologías de fabricación aditiva abarcan, entre otras, la fabricación de filamentos fusionados (FFF) que es una fabricación orientada a procedimientos que inyecta material a través de al menos una boquilla de indexación en forma de fibras sobre el molde de deposición. La(s) boquilla(s) traza(n) el patrón superficial, que puede ser o bien plano o bien curvo, para cada capa particular con el endurecimiento del material antes de la aplicación de la siguiente capa. El procedimiento se repite hasta que se completa el cuerpo o la parte.

Sin embargo, la escala de estas fibras logradas mediante cualquiera de las tecnologías de fabricación aditiva, especialmente con FFF, está en el orden de milímetros. Esta escala es inadecuada en la ingeniería de tejidos para la colonización de células, que requiere dimensiones mucho más pequeñas.

25 Para superar tal inconveniente de escala, pueden usarse técnicas de electrohilado. Se conocen varios aparatos que trabajan con el principio del electrohilado. En resumen, las técnicas de electrohilado difieren de las técnicas de fabricación aditiva convencionales en las que se aplica tensión entre el cabezal y el molde, conocido en estas técnicas como colector.

30 Por tanto, una fuerza eléctrica entre terminales extrae los hilos cargados de disoluciones de polímero (es decir, en electrohilado en disolución) o masas fundidas de polímero (es decir, en electrohilado de fusión) hasta diámetros de fibra en el orden de nanómetros. Dependiendo de la tecnología usada, pueden lograrse o bien fibras a escala nanométrica depositadas de manera aleatoria (mediante una técnica de electrohilado en disolución) o bien fibras a microescala depositadas de manera controlada (mediante el uso de la técnica de electrohilado de fusión).

35 Cada una de estas técnicas de electrohilado (en disolución o de fundido) tiene diferentes requisitos técnicos, lo que hace incompatible su funcionamiento en el mismo lugar. Por ejemplo, esto se refiere a la tensión, polaridad de la tensión y dispensación de material, pero especialmente el tipo de disolvente (puesto que el electrohilado en disolución usa disolvente, mientras que el electrohilado de fusión no).

40 Además, debido a esta incompatibilidad entre dispositivos o aparatos, para producir estructuras de fibras compuestas para fines de ingeniería de tejidos, el molde con la muestra de material compuesto debe moverse tan a menudo como sea necesario (dependiendo del número de cada tipo de capa) entre ambos dispositivos hasta formar las estructuras de fibras compuestas que comprenden tanto fibras a escala nanométrica depositadas de manera aleatoria como fibras a microescala depositadas de manera controlada.

Esta situación hace extremadamente difícil, si no imposible, mantener una referencia de alineación horizontal precisa, entre capas consecutivas de ambos tipos.

45 Por tanto, hasta ahora, la fabricación en la industria de la ingeniería de tejidos es un procedimiento de múltiples etapas que requiere mucha mano de obra que requiere una fabricación fiable y eficaz. La combinación de una escala reducida (tal como nanómetros o micrómetros) y el número de etapas destaca la pérdida de una referencia de alineación que conlleva retrasos y falta de calidad.

50 El documento CN 105862146B da a conocer un sistema para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta dispuesta en capas mediante el electrohilado de campo cercano consecutivo de un fluido de hilado para crear una rejilla de microfibras, y el electrohilado de campo lejano para crear fibras al azar a partir de una disolución. El sustrato conectado a tierra se desplaza por debajo de cada uno de los cabezales de hilado a través de una plataforma de movimiento XY.

El artículo de revisión de Sun *et al.* (B. Sun, Y.Z. Long, H.D. Zhang, M.M. Li, J.L. Duvail, X. Y. Jiang, H.L. Yin,

Advances in three-dimensional nanofibrous macrostructures via electrospinning, Progress in Polymer Science, volumen 39, n.º 5, 2014, páginas 862-890, doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.06.002) da a conocer técnicas de producción de fibras combinadas para elaborar, por ejemplo, armazones. Por ejemplo, la figura 9 en la misma da a conocer el modelado por deposición fundida mediante extrusión combinado con electrohilado de campo lejano para crear una estructura de fibra compuesta.

El documento W02018185223 A1 da a conocer un sistema para fabricar una estructura de fibra compuesta que comprende uno o más cabezales de impresión por electrohilado conectados a tierra (GND) desde los que se deposita un fluido de hilado sobre un colector que está conectado a una fuente de AT (V1). Tanto el/los cabezal(es) de impresión como el colector pueden moverse en las direcciones XYZ. Los cabezales de impresión por electrohilado pueden realizar el electrohilado de o bien una masa fundida (mediante extrusión o microextrusión) o de una disolución para formar un patrón impreso sobre el colector. Se proporciona un conmutador (SW) para activar o desactivar una conexión eléctrica de la fuente de alimentación V1 en la disposición de colector, es decir, cuando se desconecta el colector no está conectado a tierra. El único fin de desconectar el colector de la AT es usar un cabezal de electrohilado de fundido como cabezal de impresión 3D para realizar la "impresión directa".

Sumario de la invención

La presente invención proporciona una disolución para los problemas mencionados anteriormente, mediante un sistema para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes, se definen las realizaciones preferidas de la invención.

En un primer aspecto inventivo, la invención proporciona un sistema para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta; en el que el sistema comprende:

- un primer dispositivo de electrohilado en disolución que comprende
 - un primer cabezal con una primera boquilla, estando configurado el primer cabezal para polarizarse a una primera tensión, y
 - una bomba en comunicación de fluido con tal primer cabezal;
- un segundo dispositivo de electrohilado de fusión que comprende
 - un segundo cabezal con una segunda boquilla, estando configurado el segundo cabezal para conectarse eléctricamente a tierra, y
 - medios de calentamiento y una extrusora en comunicación de fluido con tal segundo cabezal;
- un colector dispuesto separado de los cabezales primero y segundo, en el que el colector está configurado para o bien conectarse eléctricamente a tierra o bien polarizarse a una segunda tensión; y
- medios de conmutación configurados para asignar selectivamente el estado eléctrico del colector de modo que:
 - cuando está funcionando el primer dispositivo, el colector está eléctricamente conectado a tierra de modo que existe una primera diferencia de tensión entre el primer cabezal y el colector; y
 - cuando está funcionando el segundo dispositivo, el colector se polariza a una segunda tensión de modo que existe una segunda diferencia de tensión entre el segundo cabezal y el colector.

El sistema según la invención proporciona un primer y un segundo dispositivo, cada uno configurado para funcionar en una técnica de electrohilado diferente, es decir, electrohilado en disolución y electrohilado de fusión, respectivamente.

Además, ambos dispositivos comparten el colector que está dispuesto separado de los mismos.

En todo este documento, "electrohilado" en términos generales debe entenderse como una técnica para la fabricación de fibras, basándose en conceptos electromagnéticos, tales como la carga electrostática, donde se induce una disolución por este efecto. Como resultado, se generan fibras fuera de la misma y se depositan sobre un colector, por ejemplo, como una estera delgada de una red de fibra no tejida, obteniendo de ese modo productos delgados hasta unos pocos nanómetros de grosor. En el electrohilado, es habitual usar las disoluciones a temperatura ambiente y aplicar altos potenciales eléctricos (es decir, igual a o por encima de 1 kV).

Además, puede llevarse a cabo el electrohilado usando o bien un polímero fundido o una disolución de polímeros, así como otros materiales con cadenas moleculares relativamente largas. Las boquillas también se conocen en la industria relevante como "agujas emisoras".

Por tanto, según la invención, con el primer dispositivo de electrohilado en disolución se obtienen fibras con un

diámetro a escala nanométrica (es decir, nanofibras). "Nanofibra" debe entenderse como fibra polimérica con un diámetro de menos de 100 nanómetros.

En uso, la bomba mueve la disolución solidificable a la primera boquilla del primer cabezal que se polariza a una primera tensión. En la primera boquilla, la disolución solidificable se dispensa como una corriente de fibras eléctricamente cargada depositada después de eso sobre el colector en forma de fibras no tejidas. El disolvente se evapora durante el procedimiento.

Es decir, la fuerza eléctrica entre terminales que extrae los hilos cargados, corriente de fibras, de disoluciones está provocada por el primer cabezal (que comprende la primera boquilla) que se polariza a una primera tensión y el colector que está eléctricamente conectado a tierra, de modo que existe una primera diferencia de tensión entre los mismos.

En una realización particular, la primera tensión del primer cabezal es de entre 0 y 100 kV. Más preferiblemente, la primera tensión del primer cabezal es de entre 0 y 30 kV.

Por otro lado, con el segundo dispositivo de electrohilado de fusión, puede controlarse y enfocarse la deposición de fibras de modo que las fibras del orden de micrómetros se alinean.

En uso, el material fusible se calienta mediante los medios de calentamiento y se extruye a la segunda boquilla. En la segunda boquilla, el material fusible se dispensa a una velocidad de flujo controlada y se deposita después de eso sobre el colector en forma de fibras alineadas.

En este escenario, la fuerza eléctrica entre terminales que extrae las fibras está provocada por el segundo cabezal (que comprende la segunda boquilla) que está eléctricamente conectado a tierra y el colector que se polariza a una segunda tensión, de modo que existe una segunda diferencia de tensión entre el segundo cabezal y el colector.

En una realización particular, la segunda tensión del colector es de entre - 100 kV y 0 kV. Más preferiblemente, la segunda tensión del colector es de entre - 30 kV y 0 kV.

Según la invención, el material fusible puede ser un material polimérico termoplástico tal como PCL (policaprolactona), PLA (poli(ácido láctico)), PLGA (poli(lactida-co-glicólido)), PMMA (poli(metacrilato de metilo)), PP (polipropileno), PE (polietileno), PEG (poli(caprolactona-bloque-etilenglicol)), PUR (poliuretano), entre otros, que pueden ser o bien no reforzados o bien reforzados. En una realización preferida, el material fusible está en forma un filamento para un almacenamiento y una manipulación mejores.

Para permitir el funcionamiento dual del sistema, se proporcionan en el presente documento medios de conmutación configurados para asignar el estado eléctrico del colector. Por tanto, si está funcionando el primer dispositivo, el colector está eléctricamente conectado a tierra; y si está funcionando el segundo dispositivo, el colector se polariza a la segunda tensión. Dicho de otro modo, mientras que el segundo dispositivo no está activo, pero el primer dispositivo lo está, no se aplica tensión entre el colector y el segundo cabezal ya que ambos están conectados a tierra.

Alternativamente, en uso, mientras el primer dispositivo no está activo, pero el segundo dispositivo si lo está, no se aplica tensión al primer cabezal.

Debe observarse que, si el colector está eléctricamente conectado a tierra igual que el segundo cabezal, el segundo dispositivo de electrohilado de fusión puede hacerse funcionar adicionalmente mediante técnicas de fabricación de filamentos fusionados, FFF.

Puesto que ambos cabezales están dispuestos en el mismo sistema, no existe la necesidad de mover la muestra de un aparato a otro para depositar diferentes capas de fibras. Por tanto, puesto que ambos cabezales funcionan dentro del mismo sistema, se retiene la referencia de la posición. Esto garantiza la repetibilidad de los patrones y la conservación de referencia entre las capas posteriores.

Ventajosamente, el sistema según la presente invención resuelve la coexistencia de ambos dispositivos que trabajan en técnicas de electrohilado diferentes con los requisitos técnicos asociados diferentes de cada uno en cuanto a tensión eléctrica o polaridad.

En resumen, según la secuencia de deposición, la estructura de fibra compuesta dispuesta en capas fabricada por el sistema según la invención se forma mediante fibras no tejidas (escala nanométrica) y fibras alineadas (microescala).

Las nanofibras, fibras no tejidas, son especialmente deseables en las aplicaciones en las que es necesaria una superficie específica alta. Además, este tipo de estructura acelera la regeneración de tejidos en la ingeniería de tejidos.

Preferiblemente, la funcionalización de las fibras con aditivos y tratamientos aumenta la gama de aplicaciones.

La superficie específica debe entenderse como la razón entre, por un lado, el área superficial total y, por otro lado, la masa del sólido, o volumen, o área en sección transversal. La superficie específica es particularmente importante en el caso del análisis de adsorción, catálisis heterogénea y las reacciones de superficie.

En particular, una fibra a escala nanométrica no tejida tiene las siguientes ventajas:

- 5
 - Alta relación de aspecto (1-100 m²/g).
 - Alta capacidad catalítica.
 - Buena para la colonización de células.
 - Alta porosidad de esteras.
 - Gran variedad de materiales.
- 10
 - Fácil funcionalización.

Por otro lado, las fibras a microescala alineadas por sí mismas, además de proporcionar una alta área superficial específica, son especialmente ventajosas ya que el segundo cabezal puede controlar su deposición. Esto permite crear estructuras con fibras alineadas y orientadas según las necesidades de la estructura compuesta final.

- 15

Ventajosamente, la orientación de las fibras hace que algunas propiedades físicas, especialmente mecánicas, se refuercen a lo largo de la dirección de alineación. Dicho de otro modo, muchas propiedades físicas resultantes en la dirección de alineación serán virtualmente la suma de las propiedades de todas las fibras individuales orientadas en esa misma dirección.

Además, cuando se aplican como armazones en la regeneración de tejidos, la alineación y orientación de las fibras proporciona una estructura deseada que influirá en el crecimiento del nuevo tejido.

- 20 Las fibras a microescala alineadas tienen las siguientes ventajas:

- Deposición controlada de manera precisa.
- Guiado de células y colonización orientada.
- Diámetro de fibra controlable.
- Alta capacidad catalítica.

- 25
 - Buenas para la colonización de células.
 - Propiedades de material orientables.

Al contrario que las disoluciones solidificables usadas en el electrohilado en disolución, puesto que no se usan disolventes volátiles en el electrohilado de fusión, existen beneficios en las aplicaciones en las que la toxicidad o acumulación de disolventes durante la fabricación son un inconveniente.

- 30 En una realización particular, los cabezales primero y segundo están eléctricamente aislados entre sí para asegurar que no existe ningún arco eléctrico ni cortocircuito. Ventajosamente, esto mejora la seguridad y eficacia del sistema.

- 35

En una realización particular, el sistema comprende además un pórtico, en el que tanto el primer cabezal como el segundo cabezal están montados de manera deslizante para moverse sobre el colector. Por tanto, ambos cabezales están configurados para moverse sobre el colector en las direcciones horizontales (x, y). Por consiguiente, es posible depositar las fibras de una manera controlada como en el electrohilado de fusión, o asegurar que la distribución de las nanofibras al azar en el electrohilado en disolución es homogénea.

Tal como se observará a continuación en el presente documento, el primer cabezal y el segundo cabezal pueden estar montados de manera deslizante sobre el pórtico para moverse independientemente junto con el mismo, y/o ambos cabezales pueden montarse sobre el pórtico para moverse juntos.

- 40 La distancia entre las boquillas primera y segunda y el colector es un parámetro importante que va a monitorizarse en la generación correcta de fibras. Por tanto, ya que ambos cabezales pueden moverse en el plano xy, para controlar tal distancia, el colector puede instalarse sobre una plataforma o soporte que se mueve en la dirección z usando órdenes o siguiendo un programa automático.

En una realización preferida, el colector es móvil.

- 45 En una realización particular, el sistema comprende además un alojamiento para encerrar al menos los cabezales primero y segundo y el colector, y en el que la superficie interna del alojamiento está sustancialmente cubierta por un

recubrimiento eléctricamente aislante. En esta realización el interior del alojamiento está aislado para impedir que la corriente de fibras eléctricamente cargada dispensada por las boquillas sea atraída por las paredes o los elementos interiores.

En una realización particular, el colector está configurado para girar alrededor de uno, dos o tres ejes.

- 5 En una realización, el colector comprende una varilla giratoria y un soporte giratorio, en el que la varilla giratoria está fijada al soporte giratorio. Según esta realización, un objeto puede montarse en el colector, en el que el objeto tiene una forma compleja destinada a ser reproducida por la estructura compuesta que va a fabricarse mediante la presente invención. Para ese fin, el objeto se sujeta con abrazadera o se fija de otra manera en el extremo de la varilla giratoria que se fija al soporte giratorio. Dicho de otro modo, el objeto puede hacerse girar
- 10 independientemente alrededor de uno, dos o tres ejes (a, b, c) junto con el colector. Por ejemplo, esto puede lograrse en un montaje en cardán. Por tanto, estos objetos de formas complejas actúan igualmente como colectores y pueden recubrirse de manera homogénea mediante el material que va a depositarse, que puede alcanzar todas las partes de las superficies del objeto.

Por tanto, el objeto montado sobre el colector va a recubrirse mediante una estera delgada de fibra no tejida.

- 15 Preferiblemente, tanto la varilla giratoria como el soporte giratorio están configurados para girar a una velocidad angular variable. En una solución preferida, cuando un objeto complejo tiene que recubrirse de manera homogénea, se monta para que sea giratorio alrededor de dos ejes (a y b, o a y c, o b y c), cuando la razón de sus frecuencias angulares es un número no racional.

- 20 Debe indicarse que un colector configurado para girar alrededor de dos o tres ejes (a, b, c) es de especial relevancia para depositar biomateriales sobre armazones de formas complejas tales como huesos humanos o animales, órganos animales o partes de los mismos. Además, pueden preverse soportes de laboratorio, portadores y soportes de biomateriales, tales como viales, pocillos, placas, portaobjetos, etc. como formas complejas.

- 25 En una realización particular, el colector es un cilindro configurado para girar con una velocidad predeterminada, y/o que gira alrededor de dos o tres ejes (a, b, c). En realizaciones preferidas, la velocidad predeterminada está en el intervalo de 0 a 5000 rpm.

Los ejes a, b, c pueden ser paralelos o estar en ángulo con respecto a las direcciones x, y y z definidas por el sistema. Por ejemplo, el colector puede pivotar como cardán que permite su giro alrededor de un único eje, y/o el giro alrededor de dos o tres ejes (a, b, c).

- 30 Mediante el uso de un colector giratorio, es posible alinear sustancialmente las fibras no tejidas a escala nanométrica.

A continuación en el presente documento, se describen diversos equipos adicionales que pueden integrarse dentro del sistema según la invención.

- 35 En una realización particular, la bomba del primer dispositivo es una bomba distribuidora de fluido de precisión. En una realización preferida, la bomba es un sistema neumático en conexión de fluido con un recipiente hermético en el que se almacena el material.

- 40 En esta realización el suministro de disolución solidificable a través de la primera boquilla se acciona con un sistema neumático gracias al control de la presión aplicada. El sistema según esta realización comprende un recipiente hermético unido a la primera boquilla a través de la cual se dispensa el material. Dicho recipiente hermético comprende además una conexión de fluido con un tubo neumático que aplica una presión neumática controlada de manera precisa y que transporta flujo al interior del recipiente. Al controlar la presión aplicada, también puede controlarse la velocidad de flujo del material suministrado a través de la primera boquilla.

En una realización particular, el primer cabezal y/o el segundo cabezal son intercambiables.

En una realización particular, el primer cabezal está configurado para dispensar de manera coaxial disoluciones solidificables como una corriente de fibras para el funcionamiento en electrohilado coaxial.

- 45 En una realización particular, el primer dispositivo comprende una bomba adicional, preferiblemente una bomba distribuidora de fluido de precisión adicional, para el control del flujo independiente de un fluido adicional.

En una realización particular, el segundo cabezal es uno de la siguiente lista:

- un cabezal de extrusión configurado para trabajar mediante la técnica de fabricación de filamentos fusionados;
- 50 - un cabezal configurado para trabajar mediante la técnica de escritura por electrohilado de fusión;
- un cabezal con una fuente de luz, tal como un LED, para curado UV de fotopolímeros; o

- un cabezal configurado para imprimir un gel.

Mediante la escritura por electrohilado de fusión (denominada MEW), la corriente de fibras fundidas sigue una trayectoria más predecible que permite que las fibras de polímero se depositen de manera precisa sobre el colector. Al mover el segundo cabezal en relación con el colector a una velocidad suficiente, las fibras pueden depositarse capa por capa.

Por otro lado, el segundo cabezal puede estar configurado para dispensar un fotopolímero, es decir, una sustancia sintética que experimenta un cambio en sus propiedades (polimerización, reticulación o despolimerización) mediante la acción de la luz, habitualmente ultravioleta. Para desencadenar este cambio, en una realización el segundo cabezal comprende además una fuente de luz, preferiblemente un LED.

Se usan fotopolímeros para la fabricación de formas de impresión, para prototipado rápido, en la fabricación de circuitos impresos, en la producción de sellos, en estereolitografía para impresión 3D, para prótesis dentales en odontología, así como en otras áreas.

En una realización preferida, el sistema comprende además medios de control electrónicos configurados para realizar de manera automática la fabricación de estructuras de fibras compuestas.

Durante la fabricación, es conveniente controlar, entre otras, la tensión entre las boquillas y el colector, la temperatura de la extrusora, la velocidad de flujo de los materiales y la velocidad de giro del colector giratorio (si es aplicable), ya que son parámetros importantes en la generación de fibras.

Los medios de control electrónicos del presente sistema comprenden preferiblemente un circuito electrónico junto con uno o varios sensores, configurados para controlar manual o automáticamente ejecutando un programa, y para monitorizar uno o varios de los parámetros anteriores a través de una interfaz de usuario

En esta realización, la unidad de control electrónico puede alimentarse con archivos de código G generados mediante un software de segmentación 3D. Este software de segmentación 3D usa modelos 3D en "formato stl" contruidos con un software de modelización 3D (diseño asistido por ordenador o CAD), en el que el modelo 3D, tal como un boceto de CAD, es un modelo electrónico 3D del objeto tridimensional final que va a construirse. Los parámetros del procedimiento tales como tensión, velocidad de movimiento, velocidad de alimentación, grosor, temperaturas de fusión, y otras se incluyen en el archivo de código G. La unidad de control electrónico está configurada para leer en los datos del archivo de código G y para controlar la colocación o depósito de sucesivas capas de fibras no tejidas o alineadas por los correspondientes cabezales de una manera capa por capa para fabricar el objeto tridimensional.

Por tanto, mediante el control electrónico, el sistema puede ejecutar de manera automática un procedimiento completo de un código G a partir de un archivo de CAD para un material compuesto de fibras complejo, y reproduce el mismo material compuesto de fibras tantas veces como se desee.

Para ese fin, los medios de control electrónicos no sólo coordinan la movilidad en el plano xy de los cabezales primero y segundo, sino que también coordinan de manera automática el sistema global que ejecuta las instrucciones del programa.

En una realización particular, el sistema está configurado para cambiar de manera automática el primer y/o el segundo cabezal durante la fabricación de la estructura de fibra compuesta.

En una realización particular, el sistema comprende además al menos un sensor de humedad y/o sensor de temperatura, al menos un actuador de humedad del aire (tal como un humidificador y/o deshumidificador), y/o al menos un actuador de temperatura (tal como una resistencia de calentamiento y/o sistema de enfriamiento), y los medios de control electrónicos están configurados para regular las condiciones de fabricación mediante órdenes a los actuadores basándose en los datos capturados por el sensor de humedad del aire y/o el sensor de temperatura.

En una realización preferida, el sistema comprende al menos un sensor de humedad y temperatura.

Dicho de otro modo, el sistema según esta realización se basa en un sistema de control de temperatura y humedad para la atmósfera del alojamiento interno.

En una realización en la que el sistema comprende el alojamiento que encierra los cabezales y el colector, el sistema comprende además una entrada y una salida, para o bien aire o bien gas. Además, pueden proporcionarse filtros adecuados en la entrada de aire y la salida de aire para asegurar que se mantienen determinadas condiciones en el interior del alojamiento.

En una realización preferida, los medios de conmutación comprenden uno o varios relés de alta tensión. Es decir, los medios de conmutación tienen un sistema de desconexión automática que permite conectar el colector a la fuente de alta tensión mientras que trabaja mediante electrohilado de fusión, y que va a conectarse a tierra de otro modo.

Todas las características descritas en esta memoria descriptiva (incluyendo las reivindicaciones, la descripción y los

dibujos) y/o todas las etapas del método descrito pueden combinarse en cualquier combinación, con la excepción de combinaciones de tales características y/o etapas mutuamente exclusivas.

Descripción de los dibujos

- 5 Estas y otras características y ventajas de la invención se entenderán claramente en vista de la descripción detallada de la invención que resulta evidente a partir de una realización preferida de la invención, proporcionada únicamente como ejemplo y que no está limitada a la misma, con referencia a los dibujos.

Las figuras 1a-c muestran (a) un dispositivo de electrohilado en disolución, (b) un aparato para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibras, y (c) un dispositivo de electrohilado de fusión.

Las figuras 2a-b muestran fibras nanométricas no tejidas y fibras micrométricas alineadas, respectivamente.

- 10 La figura 3 muestra una realización del sistema para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La figura 1a representa un aparato que trabaja en electrohilado para fabricar una estructura de fibras.

- 15 En resumen, un aparato electrohilado convencional comprende un cabezal que finaliza en una boquilla a través de la cual se bombea un fluido (tal como una disolución solidificable para electrohilado en disolución). La boquilla puede adoptar la forma de una aguja.

Debajo de tal cabezal, está posicionado un colector en el que van a depositarse las fibras sometidas a electrohilado.

- 20 Ambos, cabezal y colector, actúan como un electrodo o terminal ya que cada uno está eléctricamente conectado con una fuente de alimentación de alta tensión con diferente polaridad, o a tierra. Por consiguiente, se crea un campo eléctrico entre los mismos para atraer el material cargado inyectado por la boquilla o aguja hacia el colector.

Los medios de impulsión están normalmente en una posición fija cerca del cabezal en movimiento y el fluido (disolución solidificable para electrohilado en disolución) se transporta a la boquilla a través de un tubo flexible. En una realización particular, los medios de impulsión están dispuestos en el cabezal del aparato para suministrar el material a través de la boquilla.

- 25 Dependiendo de la técnica de electrohilado usada, se consideran diferentes configuraciones. Por ejemplo, la figura 1b representa una representación esquemática de un dispositivo (1) de electrohilado en disolución, en el que se carga la disolución solidificable y se bombea a través de una primera boquilla (2.1) hacia el colector (5).

- 30 Tal como ya se mencionó, la técnica de electrohilado en disolución crea un campo eléctrico para atraer una disolución cargada desde un sitio de inyección de alta tensión (2.1) (por ejemplo, la boquilla o aguja) hacia un sustrato conectado a tierra (5) (es decir, un colector). A medida que se bombea la disolución en el campo eléctrico, se acumula carga positiva sobre su superficie, haciendo que sobresalga en una trayectoria compleja, limitada por una forma cónica, con la abertura ancha del cono sobre el colector, y el extremo agudo en la boquilla o aguja.

- 35 Como resultado, una distribución al azar de nanofibras continuas se deposita normalmente sobre el colector conectado a tierra (5) en forma de estera. La distribución de nanofibras no tejidas (8) puede observarse en la figura 2a.

En particular, la figura 2a representa una imagen obtenida mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) de un ejemplo de nanofibras de nailon (8) obtenidas mediante electrohilado en disolución. En particular, puede apreciarse la deposición de fibras al azar típica del electrohilado en disolución.

- 40 La distribución no tejida es el resultado de un sistema complejo de inestabilidades, no sólo en el sitio emisor (2.1) y a lo largo de la trayectoria de chorro, sino también en el punto de la deposición (5).

Aunque los patrones de deposición al azar pueden usarse bien para algunas aplicaciones, se prefiere algunas veces en el presente documento una arquitectura más estructurada y fibrosa o una combinación de ambos tipos para una funcionalidad mejorada en la ingeniería de tejidos.

- 45 Por tanto, la otra configuración de la técnica de electrohilado usada por la presente invención puede observarse en la figura 1c, en la que se representa una representación esquemática de un dispositivo (3) de electrohilado de fusión. En resumen, se calienta material fusible mediante los medios de calentamiento y se extruye a través de una segunda boquilla (4.1) hacia el colector (5).

- 50 Tal como se ha mencionado, esta tecnología permite construir armazones alineados (9) para aplicaciones de ingeniería de tejidos, por ejemplo. En particular, controlando la velocidad axial del chorro emitido (por ejemplo, alrededor de 0 - 5 m/s) y haciéndola comparable al desplazamiento del segundo cabezal (4), se evita una

acumulación excesiva de material sobre el colector (5). Específicamente, el movimiento mecánico compensa la variabilidad de la deposición al no permitir que se acumulen segmentos de fibra en el mismo punto sobre el colector (5) (en intervalos de tiempo cortos). Además, la manipulación eléctrica aborda el problema de orientación cambiando la electrodinámica subyacente del chorro emitido.

- 5 Un ejemplo de fibras a microescala alineadas (9) puede observarse en la figura 2b. Más particularmente, se muestra una imagen obtenida mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) de un ejemplo de almacén de policaprolactona (9) producido mediante electrohilado de fusión.

El chorro cargado tiene una trayectoria más predecible, y las fibras de polímero se depositan de manera precisa sobre el colector (5). Al controlar el movimiento de la boquilla (4.1) con respecto al colector (5) o el movimiento del colector con respecto a la boquilla (4.1) a una velocidad suficiente, se depositan fibras sometidas a electrohilado de fusión rectas en un enfoque de capa sobre capa (aplicación específica de escritura por electrohilado de fusión).

La invención define un sistema (10) para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta. Un ejemplo particular de este sistema (10) puede observarse en la figura 3.

El sistema (10) mostrado comprende:

- 15
- un primer dispositivo (1) de electrohilado en disolución que comprende
 - un primer cabezal (2) con una primera boquilla (2.1), estando configurado el primer cabezal (2) para polarizarse a una primera tensión, y
 - una bomba en comunicación de fluido con tal primer cabezal (2);
 - un segundo dispositivo (3) de electrohilado de fusión que comprende
 - 20 ○ un segundo cabezal (4) con una segunda boquilla (4.1), estando el segundo cabezal (4) eléctricamente conectado a tierra, y
 - medios de calentamiento y una extrusora en comunicación de fluido con tal segundo cabezal (4);
 - un colector móvil (5) dispuesto separado de los cabezales primero (2) y segundo (4), en el que el colector (5) está configurado para o bien conectarse eléctricamente a tierra o bien polarizarse a una segunda
 25 tensión; y
 - medios de conmutación (no mostrados en la figura) configurados para asignar selectivamente el estado eléctrico del colector (5) de modo que:
 - 30 ○ cuando está funcionando el primer dispositivo (1), el colector está eléctricamente conectado a tierra de modo que existe una primera diferencia de tensión entre el primer cabezal (2) y el colector (5); y
 - cuando está funcionando el segundo dispositivo (3), el colector (5) se polariza a una segunda tensión de modo que existe una segunda diferencia de tensión entre el segundo cabezal (4) y el colector (5).

35 Los cabezales primero (2) y segundo (4) están eléctricamente aislados entre sí para asegurar que no existe ningún arco eléctrico ni cortocircuito. En particular, pueden existir dos configuraciones para los cabezales:

- opción 1, un único carro: ambos cabezales están eléctricamente aislados entre sí, pero montados juntos en un único carro móvil en las direcciones de los x e y (tal como se muestra en la figura 3). Además, existe una pared de aislamiento (6) entre la primera boquilla (2.1) y la segunda boquilla (4.1) tal como se ha representado en la figura 3; o
- 40 - opción 2, carros independientes dobles: cada cabezal está montado en un carro que se mueve independientemente en la dirección del eje x, pero ambos carros están montados sobre el pórtico (7) que se mueve en la dirección del eje y.

En una realización, la fabricación de estructuras de fibras compuestas adecuadas mediante técnicas de electrohilado para aplicaciones de ingeniería de tejidos según la invención comprende controlar una o varias de las siguientes
 45 variables de fabricación:

Propiedades del material:

- Naturaleza de la materia prima de la fibra (polímero, metal, materiales compuestos, óxidos metálicos, sales, nanopartículas, proteínas, péptidos, etc.).
- Pesos moleculares, estructura química, polaridad de la molécula.

- Propiedades reológicas tales como viscosidad y viscoelasticidad de masa fundida o disolución, etc.
- Conductividad eléctrica
- Tensión superficial
- Concentración de la disolución (si aplica).

5 Propiedades de la punta de la boquilla (o punta de la aguja):

- Potencial eléctrico aplicado al cabezal correspondiente.
- Distancia entre la punta de la boquilla correspondiente y el colector.
- Diámetro de la punta de la boquilla, y del orificio de la boquilla, y generalmente su forma.
- Número de boquillas usadas.

10 Propiedades ambientales y del colector:

- Condiciones ambientales tales como humedad, flujo de aire o gas, temperatura, o similares.
- Forma y tamaño del colector, o bien de placa o bien de cilindro o bien de otra forma, incluyendo cuerpo/objetos complejos.
- Movimiento del colector/de la boquilla, o bien de traslación o bien de giro, o bien ambos

15 El control de estas variables de fabricación conlleva controlar el tamaño, diámetro y cantidad y de fibras sometidas a electrohilado formadas.

El sistema (10) de la figura 3 muestra el primer cabezal (2) y el segundo cabezal (4) dispuestos en el mismo sitio. En particular, el primer cabezal (2) y el segundo cabezal (4) están montados de manera deslizante en un pórtico (7) y, por tanto, pueden moverse sobre el colector (5) en direcciones horizontales (x, y), independientemente en la dirección x o juntos en un único carro.

Ya que la distancia entre las puntas de las boquillas (de las respectivas boquillas primera (2.1) y segunda (4.1)) y el colector (5) es una variable importante que se debe monitorizar durante la generación de fibras (8, 9), el colector (5) puede moverse en la dirección Z usando órdenes o siguiendo un programa automático.

25 Ventajosamente, al contrario que los aparatos de electrohilado independientes de cada una de las técnicas, dentro del sistema (10) de la presente invención no es necesario mover la muestra desde un aparato a otro para depositar diferentes capas de fibras.

Se debe observar que, en realizaciones particulares no mostradas en estas figuras, el colector está configurado para girar alrededor de uno, dos o tres ejes (a, b, c). Los ejes pueden ser paralelos, o estar en ángulos con respecto a las direcciones de movimiento lineales x, y, z. En otras realizaciones no mostradas, el colector puede ser un cilindro configurado para girar con una velocidad predeterminada.

30 Además, el sistema (10) puede comprender un alojamiento para encerrar los cabezales y el colector, aunque no se muestra en estas figuras.

Puede observarse que los cabezales primero y segundo de la invención están configurados para moverse sobre el colector y depositar al mismo tiempo el material, preferiblemente polimérico, para trazar el patrón superficial para cada capa particular con el material que se endurece antes de la aplicación de la capa posterior.

35 Específicamente, los cabezales están configurados para moverse sobre el colector en dos ejes de traslación (x, y), es decir, en las direcciones horizontales, mientras que el movimiento en la dirección horizontal z se realiza mediante el colector, implementando de ese modo la denominada fabricación 2.5D. El movimiento de los cabezales y/o del colector pueden lograrse mediante actuadores y/o servoactuadores, uno para cada dirección y/o giros.

40 El material usado en cada uno del primer (1) y el segundo (3) dispositivo puede almacenar de manera remota o dentro del respectivo cabezal. Si se almacena de manera remota tal como en un carrete o receptáculo, se conduce al respectivo cabezal en el que la cantidad requerida de material que va a depositarse sobre el colector se impulsa a través de la boquilla por medios de impulsión (bomba o extrusora según el primer o segundo cabezal).

45 El segundo cabezal puede comprender además medios de calentamiento tales como un bloque calentador para calentar el material fusible hasta una temperatura precisa, por ejemplo, de hasta 300 °C. Una vez que se calienta el material, es forzado a salir de la boquilla por la extrusora, particularmente, por una extrusora de gránulos.

Por otro lado, en el primer dispositivo (1), el primer cabezal puede adoptar la forma de una jeringa y, por tanto,

permitir almacenar el material solidificable en la misma. Sin embargo, es ventajoso, pero no se requiere siempre, que al menos la punta de la jeringa sea metálica para actuar como electrodo.

5 Por ejemplo, aunque se usa habitualmente una aguja como electrodo, cualquier elemento metálico puede actuar como electrodo siempre que la disolución de material permanezca bajo la influencia del campo eléctrico que se induce.

De hecho, mediante la presente invención, un anillo metálico ligeramente por encima de la punta de aguja (boquilla primera o segunda según la reivindicación 1), pero no en contacto con la misma, también puede actuar como electrodo. El uso de electrodos con diferentes geometrías y posición con respecto a la punta de la aguja afecta a la manera en que se crean las fibras y la manera en que el chorro de fibras se propulsa hacia el colector.

10

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para fabricar mediante electrohilado una estructura de fibra compuesta; en el que el sistema (10) comprende:
 - un primer dispositivo (1) de electrohilado en disolución que comprende
 - un primer cabezal con una primera boquilla, estando configurado el primer cabezal para polarizarse a una primera tensión, y
 - una bomba en comunicación de fluido con tal primer cabezal;
 - un segundo dispositivo (3) de electrohilado de fusión que comprende
 - un segundo cabezal con una segunda boquilla, estando configurado el segundo cabezal para conectarse eléctricamente a tierra, y
 - medios de calentamiento y una extrusora en comunicación de fluido con tal segundo cabezal;
 - un colector dispuesto separado de los cabezales primero y segundo, en el que el colector está configurado para o bien conectarse eléctricamente a tierra o bien polarizarse a una segunda tensión; y
 - medios de conmutación configurados para asignar selectivamente el estado eléctrico del colector de modo que:
 - cuando está funcionando el primer dispositivo (1), el colector está eléctricamente conectado a tierra de modo que existe una primera diferencia de tensión entre el primer cabezal y el colector; y
 - cuando está funcionando el segundo dispositivo (3), el colector se polariza a una segunda tensión de modo que existe una segunda diferencia de tensión entre el segundo cabezal y el colector.
2. El sistema (10) según la reivindicación 1, en el que los cabezales primero y segundo están eléctricamente aislados entre sí.
3. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que:
 - la primera tensión es de entre 0 y 100 kV; y/o
 - la segunda tensión es de entre - 100 kV y 0 kV.
4. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sistema (10) comprende además un pórtico, en el que ambos del primer cabezal y el segundo cabezal están montados de manera deslizante para moverse sobre el colector.
5. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el sistema (10) comprende además un alojamiento para encerrar al menos los cabezales primero y segundo y el colector, y en el que la superficie interna del alojamiento está sustancialmente cubierta por un recubrimiento eléctricamente aislante.
6. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el colector es un cilindro configurado para girar con una velocidad predeterminada, y/o un cilindro configurado para girar alrededor de dos o tres ejes.
7. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la bomba del primer dispositivo es una bomba distribuidora de fluido de precisión, preferiblemente siendo la bomba un sistema neumático en conexión de fluido con un recipiente hermético para almacenar material.
8. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el primer cabezal y/o el segundo cabezal es intercambiable.
9. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el primer cabezal está configurado para dispensar coaxialmente disoluciones solidificables como corriente de fibras para funcionar en electrohilado coaxial.
10. El sistema (10) según la reivindicación 9, en el que el primer dispositivo (1) comprende una bomba adicional, preferiblemente una bomba distribuidora de fluido de precisión adicional, para el control de flujo

independiente de un fluido adicional.

11. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el segundo cabezal es uno de la siguiente lista:
 - 5 - un cabezal de extrusión configurado para trabajar mediante una técnica de fabricación de filamentos fusionados;
 - un cabezal configurado para trabajar mediante una técnica de escritura por electrohilado de fusión;
 - un cabezal con una fuente de luz, tal como LED, para un curado UV de fotopolímeros; o
 - un cabezal configurado para imprimir un gel.
- 10 12. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el sistema (10) comprende además medios de control electrónicos configurados para realizar automáticamente la fabricación de una estructura de fibra compuesta.
13. El sistema (10) según las reivindicaciones 8 y 12, en el que el sistema (10) está configurado para cambiar automáticamente el primer y/o el segundo cabezal durante la fabricación de la estructura de fibra compuesta.
- 15 14. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, en el que el sistema (10) comprende además al menos un sensor de humedad del aire y/o al menos un sensor de temperatura, y en el que los medios de control electrónicos están configurados para regular las condiciones de fabricación basándose en datos proporcionados por el sensor de humedad del aire y/o el sensor de temperatura.
- 20 15. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que los medios de conmutación comprenden relés de alta tensión.

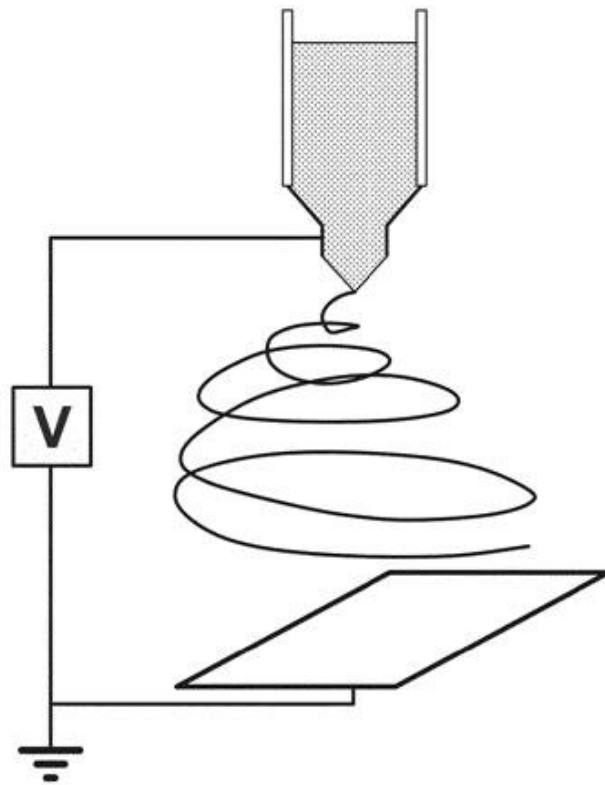


FIG. 1a

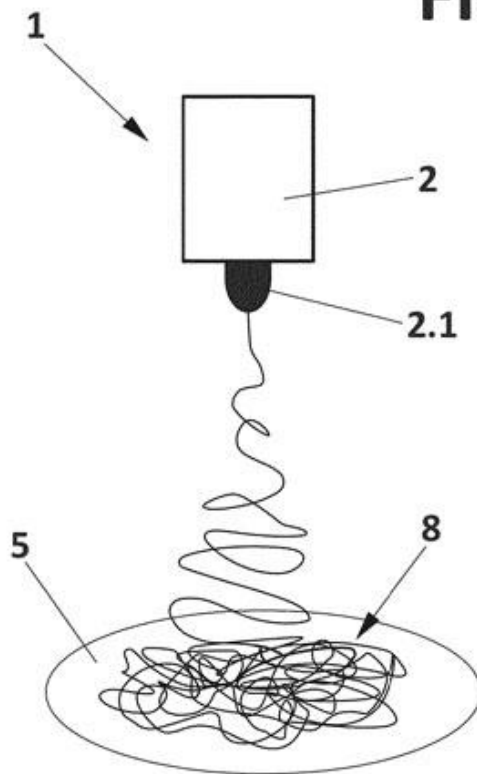


FIG. 1b

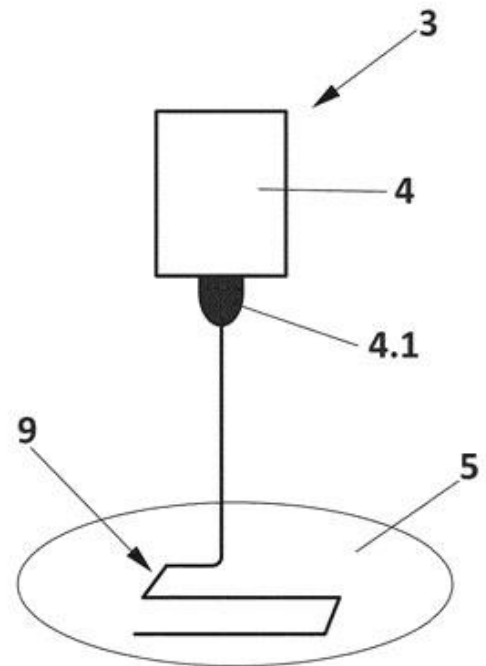


FIG. 1c

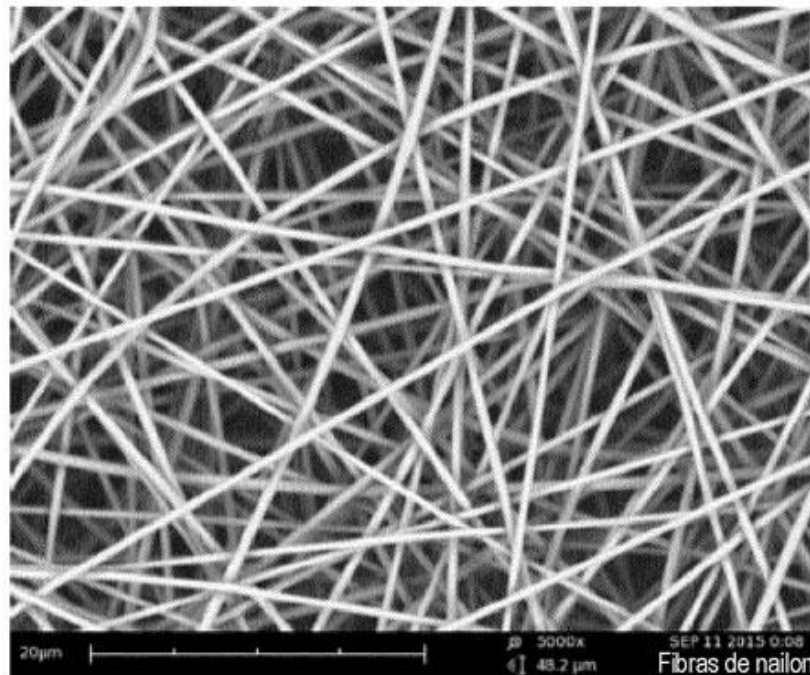


FIG. 2a

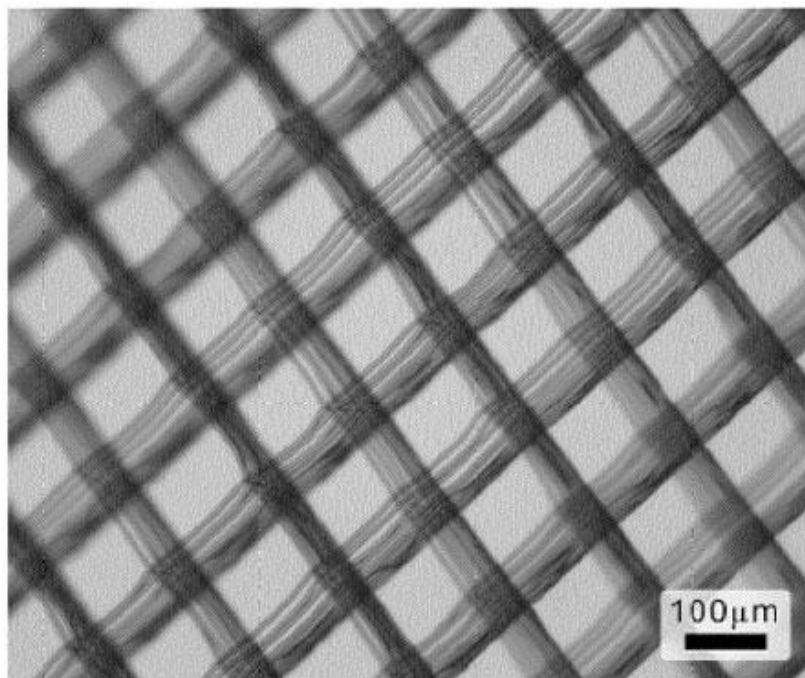


FIG. 2b

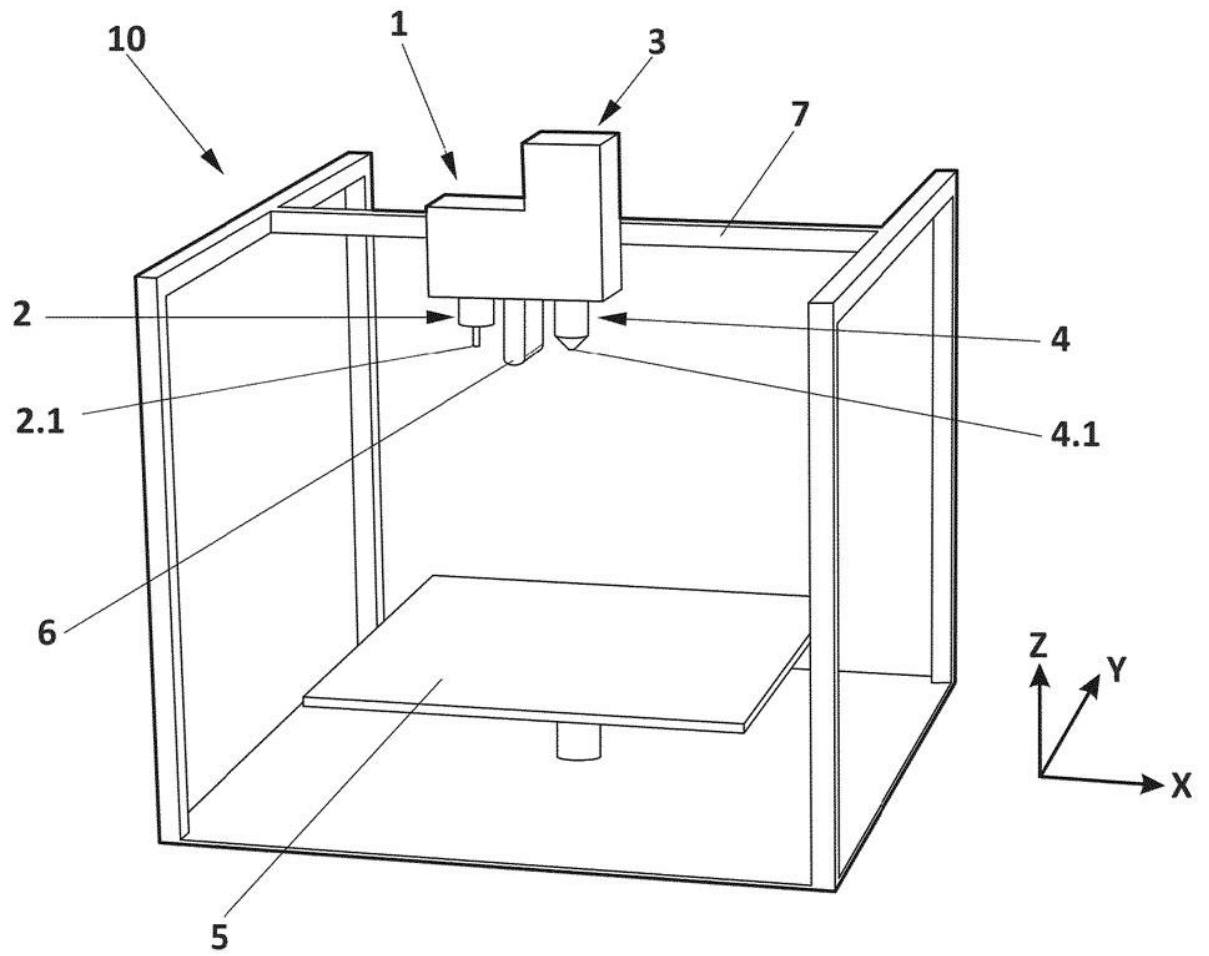


FIG. 3