

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE HILOS DE FIBRAS DE PLÁTANO Y COCO COMO REFUERZO SOSTENIBLE PARA MATERIALES COMPUESTOS Y PRODUCTO OBTENIDO DEL MISMO

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se encuentra en el sector de la ciencia de materiales y la ingeniería de procesos sostenibles. Más específicamente, se refiere a la transformación de residuos agrícolas en refuerzos continuos para materiales compuestos, con aplicación directa en manufactura aditiva y fabricación de tejidos técnicos.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En la actualidad, existe una problemática asociada a la ausencia de métodos eficientes y escalables para el procesamiento de residuos agrícolas, tales como el pseudotallo del plátano y el mesocarpio del coco. Las tecnologías existentes suelen limitar el uso de estas fibras naturales como refuerzos discontinuos (pellets, polvos o fibras cortas) mezclados con matrices poliméricas, como se observa en documentos del estado de la técnica.

Esta discontinuidad limita la efectividad mecánica del refuerzo. Además, el uso de fibras naturales en procesos térmicos como la impresión 3D presenta obstáculos técnicos significativos: la degradación térmica de la fibra a temperaturas de procesamiento de plásticos de ingeniería y la pobre adhesión interfacial entre la fibra hidrofílica y la matriz polimérica hidrofóbica. Las soluciones actuales requieren tratamientos químicos costosos o equipos de impregnación complejos que no garantizan la continuidad ni la uniformidad del diámetro requerida para boquillas estándar de impresión.

El aprovechamiento de residuos agrícolas para el desarrollo de nuevos materiales es un campo de creciente interés. No obstante, el estado de la técnica actual presenta limitaciones significativas en cuanto a la continuidad del refuerzo y la compatibilidad química necesaria para aplicaciones de ingeniería avanzada como la impresión 3D.

Se han identificado diversas soluciones en el estado del arte que, si bien utilizan fibras naturales, no resuelven el problema técnico de obtener un hilo continuo y funcionalizado estructuralmente:

Documentos como la solicitud WO2015013409A1 y la patente US10968323B2 describen procesos de mezclado donde las fibras (como el tallo de banano) se reducen a polvo, partículas o pellets para mezclarse con plásticos. Esta configuración discontinua limita severamente la capacidad de carga mecánica del material compuesto en comparación con un refuerzo continuo. Además, estos documentos no enseñan etapas de funcionalización química (mercerización o recubrimiento) previas a la mezcla, resultando en una adhesión interfacial pobre.

La patente JP2010095805A describe la obtención de fibras para aplicaciones textiles, por ejemplo, prendas de vestir, donde el objetivo es la suavidad al tacto. Por el contrario, la presente invención busca maximizar la resistencia mecánica y la rigidez. Los tratamientos para suavidad descritos en dicha patente son contraproducentes para la adhesión interfacial requerida en materiales compuestos, y no abordan la estabilidad térmica necesaria para soportar temperaturas de más de 200°C sin degradarse.

La patente ES2808106T3 divulga láminas pre-impregnadas para moldeo por compresión. A diferencia de la presente invención, que funcionaliza cada hilo individualmente para garantizar un recubrimiento uniforme antes de cualquier conformación, la tecnología española realiza una impregnación masiva que puede dejar fibras internas sin tratar, y su producto final (una lámina) no es apto para ser alimentado en una impresora 3D o para procesos de tejido técnico detallado.

Los documentos como CN111761844 se basan en fibras sintéticas o comerciales (vidrio, carbono). Si bien son efectivas, no resuelven el problema ambiental de la gestión de residuos agrícolas ni abordan los desafíos químicos específicos (hidrofilicidad) que presentan las fibras naturales crudas como el coco y el plátano.

Por lo tanto, existe una necesidad técnica insatisfecha de un método que transforme residuos agrícolas en un hilo continuo, con diámetro calibrado y superficie funcionalizada químicamente, capaz de soportar las tensiones de tracción y las temperaturas de procesos como la Fabricación con Filamento Fundido (FFF), superando la degradación y discontinuidad presentes en las soluciones anteriores.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1A corresponde a un espectro FITR de las fibras y matrices de plátano obtenidas mediante el método de la presente invención.

- 5 Figura 1B corresponde a un espectro FITR de las fibras y matrices de coco obtenidas mediante el método de la presente invención.

Figura 2A corresponde a fotografías de microscopía de barrido de las fibras de plátano tal como se extraen.

- 10 Figura 2B corresponde a fotografías de microscopía de barrido de las fibras de plátano tratadas con el agente acoplante de acuerdo con el método de la presente invención.

Figura 2C corresponde a fotografías de microscopía de barrido de las fibras de coco individuales tratadas con el agente acoplante de acuerdo con el método de la presente invención.

- 15 Figura 2D corresponde a fotografías de microscopía de barrido de hilos de coco de tres fibras tratados con el agente acoplante de acuerdo con el método de la presente invención.

Figura 3A es una gráfica que muestra las propiedades mecánicas de los hilos de fibra de plátano obtenidos mediante el método de la presente invención.

- 20 Figura 3B es una gráfica que muestra las propiedades mecánicas de los hilos de fibra de coco obtenidos mediante el método de la presente invención.

DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LA INVENCION

- 25 La presente invención supera los inconvenientes mencionados mediante un método integral para la obtención de hilos continuos funcionalizados. El método se caracteriza por una secuencia sinérgica de selección micrométrica de fibras, mercerización controlada, hilado con velocidades de rotación adaptadas al tipo de fibra (coco o plátano) y un recubrimiento final con agente acoplante calibrado.

Este proceso permite obtener un hilo continuo con diámetro controlado, alta estabilidad térmica y una adhesión interfacial mejorada, apto para ser utilizado como filamento o refuerzo en impresión 3D o para la confección de tejidos bidireccionales.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un método para la elaboración de hilos continuos a partir de mesocarpio de coco y pseudotallo del plátano y su incorporación como elemento de refuerzo en materiales de impresión 3D. El método de acuerdo con la presente invención comprende los pasos de

- 10 1. Se obtienen fibras del mesocarpio de coco (frutos >380 días) y pseudotallo de plátano (postcosecha, L=1.5-2m). La extracción se realiza mediante remojo y cardado para el coco, y decortinado manual por fricción para el plátano.
2. Las fibras de coco se secan a 90°C por 1 hora y las de pseudotallo de plátano se secan a 40°C por 4 horas, hasta alcanzar una humedad <15%.
- 15 3. Se seleccionan fibras basándose en rangos de diámetro específicos para garantizar la uniformidad del hilo resultante, de la siguiente manera:
 - Coco: delgadas con un diámetro < 250 µm, intermedias con un diámetro entre 250 y 450 µm, y gruesas con un diámetro > 450 µm.
 - Plátano: diámetro entre 100 y 250 µm.
- 20 4. Las fibras seleccionadas se tratan en una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 5% p/p durante 1 hora, eliminando impurezas no celulósicas y activando grupos hidroxilo.
5. Se unen los extremos de fibras individuales (100-200 mm de longitud) utilizando un adhesivo, tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a, cianoacrilato, para
25 formar una hebra continua. Se realiza el hilado y enrollado en rueca a una velocidad de entre 110 y 180 rpm para fibra de coco y de entre 250 y 320 rpm para fibra de plátano.
6. El hilo resultante se sumerge en un baño de agente acoplante, por ejemplo, resina epóxica flexible, silanos, anhídrido maleico, y se pasa a través de una

boquilla de calibración de 0.8 a 2 mm. Posteriormente se seca con flujo de aire caliente.

Este recubrimiento actúa como puente químico, evidenciado por bandas en espectroscopía FTIR, mejorando la compatibilidad con matrices como PLA y protegiendo la fibra de la degradación térmica.

EJEMPLOS

Ejemplo 1

Propiedades mecánicas mejoradas

Como resultado directo del método objeto de esta invención, se obtienen hilos con propiedades técnicas mejoradas que los hacen aptos para su uso en manufactura aditiva y otros procesos usados para fabricación de compuestos:

Mejora de la adhesión interfacial: el tratamiento combinado de mercerizado y recubrimiento genera una mejora sustancial en la interfaz fibra-matriz. El mercerizado incrementa la rugosidad superficial de la fibra, lo que facilita su anclaje mecánico con el polímero. El recubrimiento con REF actúa como un puente químico entre los grupos hidroxilo (-OH) de la fibra y los grupos funcionales (por ejemplo, el grupo carbonilo C=O) de las matrices poliméricas, como el ácido poliláctico (PLA). Esto facilita una mejor adhesión química interfacial entre el refuerzo y la matriz. Lo anteriormente mencionado se hace evidente mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los espectros FTIR de las Figs. 1A y 1B demuestran la presencia de nuevos grupos funcionales en las fibras recubiertas, especialmente en las bandas a 822 cm^{-1} de grupos epoxi y la banda a 3350 cm^{-1} de grupos OH, que pueden interactuar formando enlaces secundarios de hidrógeno con el grupo C=O del PLA (banda a 1700 cm^{-1}). Por lo tanto, este enfoque elimina la necesidad de crear equipos o funcionalizar las matrices poliméricas, superando las limitaciones previas para el uso de estas fibras naturales como refuerzo. La solución propuesta facilita una transición más accesible y práctica hacia la producción de materiales compuestos sostenibles.

Morfología: La Fig. 2A permite apreciar las fibras naturales de plátano, antes de la aplicación del acolplante de acuerdo con una modalidad preferida del método de la presente invención, en donde los hilos finales presentan un diámetro nominal uniforme

dentro del rango de 0,5 a 2,0 mm, siendo posible alcanzar diámetros inferiores a 0,8 mm, lo que los hace compatibles con las boquillas estándar de las impresoras 3D FFF (que suelen ser de hasta 1,0 mm o más). Tal como se aprecia en las Figs. 2B y 2C, la aplicación del agente acoplante, como la REF, causa la disminución de los defectos superficiales en los hilos de fibras del plátano y el coco, ayudando a mantener la integridad estructural de la fibra al evitar que las irregularidades se conviertan en puntos de inicio de fallos mecánicos. Asimismo, la figura 2D muestra que las irregularidades de las fibras enrolladas debidas a su arquitectura de torsión se minimizan, lo que da como resultado un hilo más consistente. Estabilidad térmica mejorada: El recubrimiento con agentes acoplantes termoestables, como la REF, de acuerdo con la modalidad preferida descrita de la presente invención, confiere a los hilos una mayor estabilidad térmica, por lo que pueden soportar las temperaturas de procesamiento de termoplásticos de ingeniería, como el PLA, el ABS o el nylon (entre 180 °C y 240 °C), sin sufrir una degradación térmica significativa.

resistencia mecánica y manejabilidad: Las figuras 3A y 3B muestran las propiedades mecánicas de los hilos resultantes: a. plátano y b. coco. sr: sin recubrimiento y sin tratamiento químico; cr: con recubrimiento y con tratamiento químico; y cr-no tratadas: con recubrimiento y sin tratamiento químico. El proceso de hilado a velocidades controladas produce hilos continuos con una resistencia a la tensión de 150 a 600 Mpa, suficiente para poder ser manejados durante los procesos de fabricación posteriores (tejido, bobinado e impregnación) sin que se rompan con frecuencia. Tal como se muestra en la FIG 3A y 3B, el enrollado de acuerdo con el método descrito en la presente invención, cambia la respuesta mecánica de los hilos debido al nivel de torsión.

Si bien hasta ahora se ha hecho una descripción de una modalidad preferida de la presente invención, el técnico medio con habilidad en la materia podrá apreciar que es posible realizar modificaciones y variaciones al mismo sin alejarse del espíritu de la invención. Los ejemplos y figuras que se incluyen en la presente invención solo cumplen una función aclaratoria y no pretenden limitar de ningún modo el alcance de la protección deseada. Se le recuerda amablemente al examinador que la presente descripción no es limitante y el objeto y alcance de la protección deseada está definido únicamente por el capítulo reivindicatorio adjunto.