

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 590 147**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/04** (2006.01)

**G01N 33/44** (2006.01)

**G05B 19/418** (2006.01)

**G01N 29/44** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2012 PCT/EP2012/076791**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13093071**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12821018 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016 EP 2795309**

54 Título: **Un método para control en línea de un proceso de fabricación de un material de lámina de múltiples componentes**

30 Prioridad:

**23.12.2011 GB 201122329**  
**01.05.2012 GB 201207609**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.11.2016**

73 Titular/es:

**HEXCEL COMPOSITES LIMITED (100.0%)**  
**Ickleton Road**  
**Duxford, Cambridgeshire CB22 4QD, GB**

72 Inventor/es:

**ELLIS, JOHN y**  
**CABALLERO, ANDREA**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 590 147 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

Un método para control en línea de un proceso de fabricación de un material de lámina de múltiples componentes

Este invento se refiere a un método para calibrar un aparato de señal de medición para utilizar en un método para controlar un proceso para la fabricación de material en láminas de múltiples componentes, particularmente un material pre-impregnado.

Se han utilizado materiales compuestos para producir tanto estructuras ligeramente cargadas como estructuras muy cargadas, útil en aplicaciones que no soportan carga y que soportan carga, respectivamente. Los ejemplos de lo anterior incluyen cascos de barcos y paneles de carrocería de automóvil, mientras que los ejemplos de lo último incluyen recipientes a presión, bastidores, aplicaciones de equipamientos y aeroespaciales, por ejemplo fuselajes de aviones. Debido a su amplia aplicabilidad, los materiales compuestos han encontrado uso en un amplio rango de industrias incluyendo la industria del automóvil, marina y aeroespacial. Sin embargo, debido a su capacidad para ser fabricado en formas adecuadas para soportar cargas pesadas, los materiales compuestos son especialmente útiles en el diseño de miembros estructurales de soporte de carga, particularmente donde la resistencia mecánica, ligereza y facilidad de conformado pueden ser requeridas. Asegurar la fiabilidad en la construcción del material en láminas y el control de calidad es imperativo.

Los materiales compuestos incluyen típicamente un material fibroso, tal como carbono, aramida, vidrio o cuarzo, unidos juntos con un material de resina por ejemplo una epoxi. La carga de tales materiales compuestos es soportada en primer lugar por el material fibroso, y así, las propiedades de compuesto que soporta la carga pueden ser alteradas alterando la orientación de las fibras en el material compuesto. Por ejemplo, los materiales compuestos con fibras unidireccionales, tales como cintas o haces de filamentos, pueden exhibir generalmente la resistencia mecánica a tracción más fuerte a lo largo del eje de las fibras. Las telas tejidas y mantas bidireccionales son típicamente las más fuertes en el plano del material. Así, cuando se diseñan materiales compuestos, la orientación de la fibra y el número de capas, también conocido como pliegos, es típicamente especificado en consideración de la carga anticipada que experimentará el elemento de compuesto.

Los estratificados o partes de compuesto de fibra pueden ser fabricados típicamente impregnando en primer lugar el refuerzo de fibra con resina para formar un pre-impregnado, y a continuación consolidando dos o más capas de pre-impregnado en un estratificado en un proceso así llamado "prensado de capas". La formación de una variedad de defectos, incluyendo arrugas, huecos, desestratificados, y similares es inherente en el proceso de prensado de capas. Por ejemplo, los huecos en el pre-impregnado y/o estratificado, puede resultar de la penetración ineficiente de la resina en el haz de fibras, haz de filamentos, o fibra para hilar, o de la desgasificación durante el proceso de consolidación. Tales defectos pueden ser formados en mayor número cuando el artículo compuesto que es formado es relativamente grande, o incorpora un contorno, u otra forma cualquiera compleja.

Tales defectos pueden no ser fácilmente identificables, detectables o aparentes sobre la superficie durante el proceso de prensado de capas, o, tales defectos pueden resultar visibles o exacerbados durante el proceso de curado posterior. La presencia de tales defectos en el artículo finalizado puede comprometer la resistencia mecánica del material en tanto como en un factor de 2, y así, puede requerirse que el artículo sea reparado, o puede incluso requerirse que la parte sea desechada, contribuyendo así a un aumento en el coste de fabricación debido ya sea al coste de reparación y/o al tiempo de espera requerido para reemplazar los artículos a desechar.

Un amplio rango de métodos de inspección ha sido aplicado independientemente a los materiales de compuesto. Sin embargo, la resolución de defectos cuando se utilizan algunos de estos materiales compuestos puede estar limitada en algunas aplicaciones. Por ejemplo, en materiales compuestos en que las fibras o haces de filamentos tienen una orientación aleatoria, o en materiales compuestos en los que las fibras comprenden de manera deseable carbono, bien la estructura o bien el carbono puede dispersar la señal medida. Además, en muchas aplicaciones, puede ser deseable, o incluso necesario, obtener múltiples mediciones, incluyendo tanto mediciones de parámetros físicos como propiedades del material, del material compuesto. Muchos aparatos de inspección son capaces de proporcionar solamente una medición, o un tipo de medición, o proporcionar datos con una desviación estándar inaceptable en algunas aplicaciones. En algunos casos, el equipamiento capaz de realizar mediciones más sofisticadas puede ser caro y así no rentable en aplicaciones en las que el margen de beneficio del artículo que es fabricado no garantiza el gasto.

Es conocido un procedimiento denominado como prueba de absorción de agua para determinar el grado de impermeabilización o impregnación de un material pre-impregnado unidireccional. Para este propósito, una muestra de material pre-impregnado unidireccional es inicialmente pesado y sujeto entre dos placas de tal modo que una tira de muestra, sobresale típicamente alrededor de 5 mm de ancho. Esta disposición es suspendida en la dirección de las fibras en un baño de agua durante 5 minutos a temperatura ambiente (21 °C). Después de retirar las placas, la muestra es pesada otra vez. La diferencia de peso es utilizada como un valor medido para el grado de impregnación. Cuando más pequeña es la cantidad de agua absorbida, más elevado es el grado de impermeabilización o impregnación. Una desventaja de la prueba de absorción de agua es que no permite que sea extraída ninguna conclusión por ejemplo en lo que se refiere a la distribución de resina en el material pre-impregnado o el acabado superficial del material pre-impregnado. El procedimiento de prueba de absorción de agua proporciona meramente información de un efecto de

volumen general, no siendo posible diferenciar entre las variables de influencia individuales o los parámetros característicos.

Además la prueba de absorción de agua es empleada típicamente fuera de línea como una medida de control de calidad en muestras de un material. Esto significa necesariamente que un fallo local en calidad puede no ser identificado o, si lo es, una gran cantidad de material puede ser considerada que falla la prueba y conducir a desperdicio.

A partir del documento US2011/135872 A1 son conocidos procesos de bucle cerrado para la fabricación de pre-impregnados y estratificados, donde se utilizan ultrasonidos para ajustar los parámetros de fabricación. Existe una necesidad de un método perfeccionado de calibrar un proceso para la fabricación de un material en láminas de múltiples componentes y de un método de inspección que limita o resuelve problemas asociados con métodos conocidos.

La invención proporciona métodos como se han definido por las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención puede ser empleado en combinación con otros métodos de control de calidad. Cualesquiera métodos adicionales pueden ser seleccionados basándose en el parámetro o propiedad o propiedades que son medidos. Métodos de medición adicional incluyen técnicas de formación de imágenes, tales como holografía acústica, metrología óptica y muchas variedades de cámaras, por ejemplo cámaras de microondas, para mediciones dimensionales, tales como longitud, anchura, profundidad, o mediciones hechas en más de una dimensión; termómetros o termopares para la medición de conductividad térmica; magnetómetros tales como sensores de efecto hall, sensores magneto-resistivos gigantes, sensores magneto-resistivos anisótropos, magnetómetros atómicos, dispositivos de interferencia cuánticos superconductores (SQUIDS) o bobinas de corrientes de Eddy para la medición de permeabilidad magnética; placas o tiras capacitivas para la medición de la constante dieléctrica y, ohmímetros o bobinas de corrientes de Eddy para la medición de conductividad eléctrica; densitómetros o rayos X para la medición de densidad o porosidad; y magnetómetros y bobinas para la medición de frecuencia de resonancia cuádruple nuclear.

La presente invención puede ser empleada en combinación con el método descrito en el documento US2010/0065760 para determinar al menos un parámetro característico de una muestra de CRP, en particular una muestra de material pre-impregnado para el sector aeroespacial, que comprende los siguientes operaciones del método: presentar la muestra, irradiar la muestra con un espectro predeterminado de radiación electromagnética, grabar la interacción entre la muestra y la radiación electromagnética en un registro de datos y determinar el parámetro característico a partir del registro de datos grabado.

Preferiblemente, el método comprende la operación de medir la velocidad a través del grosor de una señal de ultrasonidos, y correlacionar la velocidad con otro modelo de calibración para determinar otro parámetro o propiedad de la estructura o estratificado, preferiblemente la otra propiedad es el grosor del estratificado o estructura.

En algunas realizaciones se obtiene adecuadamente información dimensional, tal como longitud, anchura, profundidad o mediciones hechas en más de una dimensión. Hay disponibles muchas técnicas de formación de imágenes capaces de proporcionar tales mediciones, bien directa, o bien indirectamente mediante una imagen puede ser analizada además para proporcionar la información dimensional deseada. Los ejemplos de tales técnicas de formación de imágenes incluyen holografía acústica, formación de imágenes de matriz de corrientes de Eddy, metrología óptica y muchas variedades de cámaras, por ejemplo cámaras de microondas.

En algunas realizaciones, la metrología óptica puede ser utilizada además de ultrasonidos y es capaz ventajosamente de proporcionar información relacionada a las arrugas u ondulación presente en el material de refuerzo, pre-impregnado y/o estratificado. Las técnicas para conducir las mediciones de metrología óptica, así como analizar los resultados de las mismas, son bien conocidas por los expertos en la técnica, y están descritas generalmente en Yoshizawa, Taoru, Manual de principios y aplicaciones de metrología óptica ("Handbook of optical metrology principals and applications"), Taylor & Francis, Boca Ratón, co. 2008 incorporadas aquí por referencia en esta memoria en su totalidad. Además, el equipamiento para conducir tales mediciones está comercialmente disponible en una variedad de fuentes incluyendo General Electric Company, FARO y Minolta.

En una realización preferida, las mediciones de ultrasonidos son tomadas ventajosamente durante la infusión, y/o antes de, o durante la compactación, cuando se espera que proporcionen información relacionada con la porosidad del pre-impregnado. Adecuadamente una sonda o sondas de ultrasonidos son empleadas y pueden ser colocadas muy cerca de la operación de infusión de resina y/o de la operación de compresión/compactación, donde recogerá datos indicativos de la porosidad del pre-impregnado/estratificado a una profundidad dada.

Los datos son a continuación procesados por un procesador para proporcionar datos, por ejemplo indicativos del efecto de cualesquiera defectos del pre-impregnado y/o estratificado en el estado verde en el número y la gravedad de defectos de la parte curada y/o del impacto de cualesquiera de tales defectos sobre la resistencia mecánica de la parte curada. Los datos procesados son proporcionados al controlador, que pueden a continuación ajustar parámetros del proceso, si se desea o se requiere, para reducir la cantidad, o magnitud, de defectos generados en el pre-impregnado y/o estratificado por el proceso.

Los ajustes del proceso que pueden impactar la presencia, número o impacto de defectos en el pre-impregnado y/o

estratificado de estado verde incluyen, pero no están limitados a, tracción de haz de filamentos, temperaturas, velocidad de prensado de capas en molde, presión del rodillo, y contenido de resina. Y, los datos procesados pueden indicar, y así el controlador puede ajustar cualquiera de éstos manual o automáticamente. El control automático puede ser ventajoso en algunas realizaciones, ya que proporciona la oportunidad para un proceso de bucle cerrado.

- 5 Las técnicas para llevar a cabo mediciones de ultrasonidos, así como para analizar los resultados de las mismas, son conocidas por los expertos en la técnica, y están descritas generalmente en Data, S.K. y Shah, A.H., Ondas elásticas en medios y estructuras de compuesto con aplicaciones para evaluación no destructiva ultrasónica ("Elastic waves in composite media and structures with applications to ultrasonic non-destructive evaluation"), Press CRC, Boca Ratón, co. 2009, incorporado aquí por referencia en esta memoria en su totalidad. Además, el equipamiento para llevar a cabo tales mediciones está parcialmente disponible en una variedad de fuentes incluyendo General Electric, Olympus y NDT Systems.

15 El aparato empleado para llevar la invención a efecto comprende adecuadamente sensores apropiados, o agrupaciones de sensores, dispuestos operativamente relativos al pre-impregnado y o estratificado, o equipo de tratamiento en el punto del proceso de fabricación en que se obtiene de manera deseable la información de medición. En algunas realizaciones, el sensor o agrupación o agrupaciones de sensores puede ser colocado ventajosamente proximal a, distal, o cerca de donde la resina es infundida de manera deseable en el material de refuerzo, y/o tiene lugar la compactación/compresión del pre-impregnado, prensado de capas de uno o más pre-impregnados para proporcionar el estratificado, o la consolidación del estratificado. Dicho de otro modo, al menos una de las mediciones es tomada antes, durante o después de la infusión de una resina sobre un material de refuerzo, una operación de compactación, una operación de estratificación/prensado de capas, una operación de consolidación y/o una operación de curado.

25 En una realización preferida el transmisor y receptor de ultrasonidos están ubicados por encima y por debajo del material de lámina. Preferiblemente el transmisor y el receptor no hacen contacto con el material en láminas. La señal de ultrasonidos puede ser reflejada desde la superficie superior o desde la superficie inferior o desde las capas intermedias del material en láminas. La señal puede ser transmitida o absorbida también a través del grosor de la lámina o pre-impregnado. La absorción de la señal (cuando es medida por la diferencia entre la energía de la señal transmitida y la señal recibida que sigue a la transmisión a través del pre-impregnado o de la lámina) proporciona una medición de uno o más parámetros de la lámina o pre-impregnado tal como el grosor de la capa de resina o el grosor o densidad de la lámina o pre-impregnado.

30 La velocidad de la señal a través de la lámina puede proporcionar también una indicación de la densidad o porosidad o variaciones de densidad son porosidad en el pre-impregnado o en la lámina. La velocidad puede ser medida por la diferencia entre la velocidad de la señal transmitida y la señal recibida que sigue a la transmisión a través del pre-impregnado o de la lámina.

La diferencia de fase entre la señal original transmitida y la señal recibida puede ser también indicativa de ciertas propiedades del pre-impregnado o de la lámina tal como la porosidad o defectos superficiales.

- 35 Los elementos de transmisor y de sensor, o agrupaciones de los mismos, son montados preferiblemente de manera que sus superficies de emisión y recepción estén alineadas y opuestas entre sí. El transmisor y el receptor son montados preferiblemente en las extremidades de un miembro rígido en forma de "C" o estructura abierta similar, para permitir que ambos elementos sean colocados o retirados desde alrededor del material en láminas. El miembro rígido es montado preferiblemente sobre una pista de deslizamiento o de pórtico de manera que el transmisor y el sensor pueden ser colocados alrededor del pre-impregnado y retirados para mantenimiento o calibración sin perturbar la alineación de los elementos. Preferiblemente la estructura de montaje incorpora provisiones para la amortiguación de vibración.

45 Los circuitos de detección necesarios para la operación de elementos del sensor pueden ser propensos a interferencias electromagnéticas (EM). Por lo tanto es necesario mantener los cables fuera del cortocircuito del sensor. Es preferible que el circuito de detección y la electrónica necesaria para recibir una entrada desde los sensores debieran estar ubicados cerca del sensor, y aislados de la radiación EM. Preferiblemente esto estará dentro de un alcance de 7 m del sensor, preferiblemente aún, montado sobre la misma pista de deslizamiento o de pórtico que los elementos del sensor. Preferiblemente los sistemas electrónicos no asociados con el circuito de detección (por ejemplo, la fuente de alimentación), son aislados para impedir interferencias EM que afectan al circuito de detección. Preferiblemente toda la electrónica asociada con los elementos transmisor y sensor están alojados en compartimentos aislados de EM, con el circuito de detección en un compartimento separado.

Un subproducto indeseable del manejo de fibras de carbono es la producción de partículas en el aire conductoras que pueden interrumpir componentes eléctricos. Es por tanto preferible que todos los componentes eléctricos de la presente invención estén alojados en entornos de presión positiva para impedir la entrada de partículas conductoras de aire para impedir el daño.

- 55 En aquellas realizaciones en que la metrología óptica es empleada para obtener una de las mediciones, puede ser empleado ventajosamente durante la prensado de capas, cuando se espera proporcionar información relacionada con la topografía de la superficie del estratificado.

- De manera adecuada, los datos obtenidos a partir de al menos una medición son utilizados ventajosamente para controlar y/o modificar el proceso de fabricación. En otras palabras, los datos obtenidos a partir de las mediciones pueden ser proporcionados a un procesador capaz de manipular los datos. Por ejemplo, los datos pueden ser manipulados para proporcionar una visión histórica de la propiedad medida del pre-impregnado y/o estratificado, o, los datos pueden ser manipulados con el fin de predecir cómo las propiedades y/o defectos dentro del pre-impregnado y/o estratificado pueden desarrollarse durante otro tratamiento y/o almacenamiento.
- En algunas realizaciones, los datos pueden ser manipulados con el fin de predecir cómo los defectos en el pre-impregnado y/o en el estratificado sin curar o en "estado verde", pueden estar presente en la parte curada. En la misma, u otras realizaciones, los datos pueden ser manipulados con el fin de correlacionar algunos defectos detectados en las operaciones de medición para la resistencia mecánica de la parte curada. En otras palabras, los datos pueden ser manipulados de más de una manera, para proporcionar más de una indicación. En algunas realizaciones, por ejemplo, los datos pueden ser manipulados para proporcionar tanto una predicción de cómo los defectos en las partes de estado verde estarán presentes en las partes curadas, como que impacto tendrán estos defectos en la resistencia mecánica de la parte curada.
- Son conocidos en la técnica software y técnicas de modelación de procesos, y estos pueden ser aplicados también a los datos obtenidos durante la práctica de los métodos para predecir, por ejemplo defectos que pueden permanecer, o ser exacerbados en una parte curada a partir de indicaciones en estado verde, y el impacto que pueden tener algunos de tales defectos sobre la resistencia mecánica de la parte curada. Por ejemplo, los métodos adecuados para llevar a cabo tales análisis están descritos, por ejemplo, en Sridhar Ranganathann, Suresh G. Advani, y Mark A. Lamontia, "Un Modelo de Proceso No Isotérmico para Consolidación y Reducción de Huecos durante la Colocación del Haz de filamentos In Situ de Compuestos Termoplásticos" ("A Non-Isothermal Process Model for Consolidation and Void Reduction during In-Situ Tow Placement of Thermoplastic Composites") *Journal of Composites Materials*, 1995 vol. 29, pp. 1040-1062; Yerramalli, C. S., Waas, A. M., "Un número no dimensional para clasificar fallo de compresión de material compuesto" ("A nondimensional number to classify composite compressive failure"), *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*, 2004, vol. 71, no. 3, pp. 402-408 y Yerramalli, C.S., Waas, A. M., "Un criterio de fallo para material compuesto de polímero reforzado con fibra bajo carga de compresión-torsión combinada" ("A failure criterion for fibre reinforced polymer composites under combined compression-torsion loading", *International Journal of Solids and Structures*, 2003, vol. 40, no. 5, pp. 1139-1164, incorporado aquí por referencia para cualquier propósito y para todos ellos.
- Tal análisis puede ser utilizado, en algunas realizaciones, para hacer cambios en el proceso con el fin de minimizar, o incluso eliminar, la formación de defectos. Tales realizaciones proporcionan así la ventaja de una reducción en la reelaboración, o desechado, de los artículos defectuosos fabricados por el proceso. Tales modificaciones del proceso pueden ser hechas bien manualmente, o bien mediante un controlador automatizado dispuesto operativamente con relación al procesador con el fin de recibir información del mismo, y con relación al pre-impregnado y/o al aparato de prensado de capas, con el fin de proporcionar información al mismo.
- Los métodos actuales son ventajosa y fácilmente incorporados en cualquier aparato para la fabricación de un pre-impregnado y/o estratificado, y así, tales aparatos están previstos también aquí. Hablando en términos generales, el aparato comprende un controlador, un aparato de infusión de resina, al menos un aparato de medición, y un procesador. El procesador está dispuesto operativamente con relación al aparato de medición y controlador de manera que la información puede ser transmitida entre ellos. El aparato puede comprender también un aparato de prensado de capas.
- Al menos un aparato de medición puede ser posicionado en cualquier ubicación donde los datos relacionados con el pre-impregnado y/o estratificado pueden ser, y son de manera deseable, recogidos. En algunas realizaciones, el mismo tipo de aparatos de medición puede ser utilizado en más de una ubicación, mientras en la misma, o en otras realizaciones, al menos son utilizados dos aparatos de medición. El aparato de medición dependerá de los datos obtenidos de manera deseable, y puede ser elegido basado en los mismos. En algunas realizaciones, una unidad de metrología óptica es utilizada en combinación con un dispositivo de medición de ultrasonidos.
- Por ejemplo, en esas realizaciones, en donde al menos una medición proporciona datos dimensionales, y la medición es tomada con uno o más dispositivos de metrología óptica, el o los dispositivos pueden ser posicionados, por ejemplo cerca de prensado de capas, y donde generará imágenes en 2-D de la topografía de superficie del estratificado que, a su vez, puede ser analizada para detectar y caracterizar cualesquiera arrugas en la superficie del estratificado.
- Los métodos actuales pueden ser utilizados en conexión con el fabricante de cualquier pre-impregnado y/o estratificado, independientemente de la composición del mismo. Los pre-impregnados comprenden típicamente una o más resinas curables, y uno o más materiales de refuerzo, mientras los estratificados comprenden típicamente múltiples pre-impregnados, depositados en capas una sobre otra.
- Hablando en términos generales, resinas curables adecuadas para utilizar en pre-impregnados y estratificados incluyen composiciones poliméricas termoplásticas tales como poliestireno, tereftalato de polietileno, polimetilmetacrilato, polietileno, polipropileno, polivinilacetato, poliamida, poli(cloruro de vinilo), poli(acrilonitrilo), poliésteres, poli(cloruro de vinilo), naftalato polietileno, poliéter cetona, polisulfona, policarbonato y copolímeros de los mismos.

Los pre-impregnados y estratificados pueden utilizar también resinas termoendurecibles, ejemplos adecuados de las cuales incluyen, pero no están limitados a epoxi, poliésteres, vinilésteres, resinas fenólicas, poliuretanos, poliamidas, o combinaciones de dos o más de estos. Composiciones adhesivas particularmente bien adecuadas para utilizar en la presente invención incluyen sistemas termoendurecibles reticulados tales como poliésteres, epoxis ésteres de vinilo (incluyendo epoxis ácidas, básicas y curadas por adición), poliuretanos, resinas de silicona, polímeros de acrilato, polisiloxanos, poliorganosiloxanos, y fenólicos, así como mezclas o híbridos de cualquiera de estos. Adhesivos estructurales son utilizados a menudo en pre-impregnados y estratificados, y pueden ser utilizados en los pre-impregnados y estratificados preparados por los métodos y/o aparatos actuales. Los adhesivos estructurales preferidos para utilizar en los sistemas de material compuesto actuales incluyen poliésteres, metilmetacrilatos, y similares.

5  
10  
15  
Cualquier material de refuerzo adecuado puede ser infundido utilizando los aparatos, sistemas y métodos descritos. Por ejemplo, fibras relativamente continuas, o haces de filamentos, pueden estar previstas para formar una agrupación unidireccional de fibras, una agrupación de fibras de capa cruzada, o atadas en haces de filamentos que están dispuestos para formar una agrupación unidireccional de haces de filamentos, o que están tejidas o con capa cruzada para formar una agrupación de dos dimensiones, o que son tejidas o trenzadas para formar un tejido tridimensional. Para tejidos tridimensionales, conjuntos de haces de filamentos unidireccionales pueden, por ejemplo, ser entretejidos transversalmente entre sí.

20  
Fibras útiles para ser incluidas en tales materiales de refuerzo, tales como cintas o tejidos, incluyen sin limitación, fibras de vidrio, fibras de carbono y de grafito, fibras de basalto, fibras poliméricas, incluyendo fibras de aramida, filamentos de boro, fibras de cerámica, fibras de metal, fibras de amianto, fibras de berilio, fibras de sílice, fibras de carburo de silicio, y similares. Las fibras pueden ser no conductoras o conductoras, dependiendo de la aplicación deseada del pre-impregnado.

25  
30  
35  
Los métodos actuales pueden ser aplicados en la fabricación de cualquier artículo que comprende un pre-impregnado y/o estratificado y son particularmente ventajosos cuando son aplicados a grandes artículos debido al coste asociado con la fabricación de tales artículos, y así, el coste de reelaboración o desechado del mismo. Los métodos actuales pueden proporcionar también beneficio particular cuando son aplicados a pre-impregnados, estratificados y/o artículos que comprenden éstos en los que el material de refuerzo comprende filamentos o fibras de carbono. El carbono tiene una rigidez significativamente más elevada y una masa más baja que muchos otros materiales de refuerzo, por ejemplo compuestos de vidrio. Así, su uso como un material de refuerzo puede permitir la fabricación de pre-impregnados, estratificados y artículos que pueden ser más grandes, y más ligeros aún, con una resistencia mecánica aún aceptable para la aplicación deseada. Sin embargo, la resistencia mecánica final de los componentes hechos de pre-impregnados y/o de estratificados que comprenden carbono pueden depender ampliamente el proceso de fabricación. Los defectos tales como arrugas, desestratificados, porosidad y huecos pueden reducir en gran medida la resistencia mecánica final del material compuesto introduciendo concentradores de tensiones en la estructura del material que pueden provocar un fallo prematuro localizado o redirigir tensiones desde cargas aplicadas en caminos que no son tenidos en cuenta en el diseño del componente.

40  
Ejemplos de industrias en que artículos de gran escala son fabricados rutinariamente a partir de pre-impregnados y/o estratificados, y/o pre-impregnados y/o estratificados que comprenden un material de refuerzo que contiene carbono incluyen la industria de la energía, donde grandes segmentos de, por ejemplo tuberías u otros aparatos de planta, pueden encontrar beneficios en la aplicación de los principios descritos aquí. Ejemplos de aplicaciones particulares incluyen además componentes de turbinas eólicas, tal como álabes de turbina o subcomponentes de tales, por ejemplo mástiles, capuchones de mástiles, pieles o revestimientos de la superficie de sustentación, o la sección de raíz cilíndrica o secciones de torre de las turbinas eólicas. Los estratificados preparados a partir de pre-impregnados preparados utilizando los métodos y aparatos descritos pueden ser utilizados también en aplicaciones de aviación, tales como revestimientos de alas, revestimientos de fuselaje, mástiles, o estratificados planos tales como nervios o costillas.

45  
La invención está ilustrada con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La fig. 1 es un diagrama de flujo que representa operaciones en un método de inspección en línea para usar con algunas realizaciones de la invención;

La fig. 2 es un diagrama de flujo que representa operaciones en un método de inspección en línea ejemplar para usar con algunas realizaciones de la invención; y

50  
La fig. 3 es un diagrama que representa una implementación del método de la invención de acuerdo con otra realización de la invención.

55  
La fig. 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método adecuado para ser utilizado con la invención. Como se ha mostrado, el método 100 implica fabricación de un pre-impregnado y/o estratificado en la operación 102, y medición de un parámetro o propiedad del pre-impregnado y/o estratificado utilizando un método de ultrasonidos durante la fabricación del mismo en la operación 104. Las mediciones pueden ser tomadas generalmente en cualquier punto en el proceso de fabricación de un pre-impregnado o estratificado incluyendo, infusión, compresión/compactación, laminación/prensado de capas, consolidación y curado de resina.

En la fig. 2, el método 400 comprende llevar a cabo una operación de un proceso de fabricación de pre-impregnado/estratificado en la operación 404, midiendo al menos dos propiedades del pre-impregnado/estratificado en la operación 406, y analizando los datos obtenidos en la operación 408. El análisis de los datos puede ser a continuación utilizado para ajustar el proceso de fabricación, si fuera necesario o deseado, como se ha mostrado en la operación 402.

- 5 La fig. 3 es un diagrama que presenta una implementación del método de la invención 614 de acuerdo con otra realización. Un material pre-impregnado y/o estratificado 612 es formado alimentando material de refuerzo 602 a través de los rodillos 606 con una película de resina curable 604. Cuatro transmisores de ultrasonidos 610 están posicionados después de los rodillos y alineados paralelos a la anchura del pre-impregnado a intervalos espaciados a un lado del pre-impregnado, enfrente de la lámina de pre-impregnado. Cuatro receptores de ultrasonidos 608 son colocados en el lado opuesto del pre-impregnado a los transmisores en posiciones opuestas a los transmisores. Una señal de ultrasonidos es producida por cada uno de los transmisores de ultrasonidos 610 que es transmitida a través del pre-impregnado y recibida por los receptores 608. La salida de los receptores de ultrasonidos 608 es convertida a una señal digital con un convertidor analógico a digital 620 y recibida por un sistema de adquisición de datos 622. Una unidad de tratamiento de señal 624 compara a continuación la señal recibida con una señal de referencia que corresponde con la señal transmitida original. El cambio de la señal transmitida es correlacionado con el nivel de impregnación del pre-impregnado para proporcionar la impregnación de resina del material de refuerzo, que puede ser presentada en tiempo real. Los datos son comparados con valores predeterminados y utilizados para ajustar un parámetro del proceso de fabricación (por ejemplo fuerza del rodillo) con control de bucle cerrado, para asegurar la impregnación uniforme de resina en el material de refuerzo. Los datos de grosor de la resina son grabados también para asociar esto con un lote correspondiente de pre-impregnado. Este sistema puede ser utilizado también para detectar errores y fluctuaciones de resina que ocurren, por ejemplo, después de un cambio de rollo de película o de carrete de fibras. Se proporciona así un método para controlar un proceso de impregnación de resina y materiales impregnados de resina como son controlados por tal método. El método puede ser utilizado también para determinar el nivel de impregnación de resina en materiales impregnados con resina, y en particular en materiales compuestos que comprenden un material de refuerzo fibroso y un material de resina. De este modo, se puede medir la calidad de los materiales impregnados con resina.
- 10
- 15
- 20
- 25

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para calibrar un aparato de señal de medición para utilizar en un método para controlar un proceso para la fabricación de un material en láminas de múltiples componentes que comprende una estructura reforzada de fibra pre-impregnada que tiene un parámetro predeterminados deseado que comprende:

- 5 a. Fabricar un material en láminas de múltiples componentes aplicando una señal de ultrasonidos para interactuar con el material en láminas durante su producción,
- b. Detectar la señal de medición después de la interacción con el material en láminas,
- c. Analizar uno o más parámetros del material en láminas por un método de absorción de agua y
- 10 d. Correlacionar las señales de medición detectadas con los resultados del método de absorción de agua para calibrar por ello los resultados de señal de medición detectada con uno o más parámetros del material en láminas.

2. Un método para cuantificar el nivel de impregnación de un estratificado o estructura por una resina, que comprende:

- a. Medir la transmitancia y/o reflexión de una señal de ultrasonidos a través del grosor de la estructura del estratificado; y
- 15 b. Correlacionar la transmitancia y/o reflexión medida con un método de calibración de acuerdo con la reivindicación 1.

3. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la señal de ultrasonidos está en el rango de frecuencias de 200 kHz a 1 MHz, preferiblemente desde 300 kHz a 550 kHz.

FIGURA 1

100 →

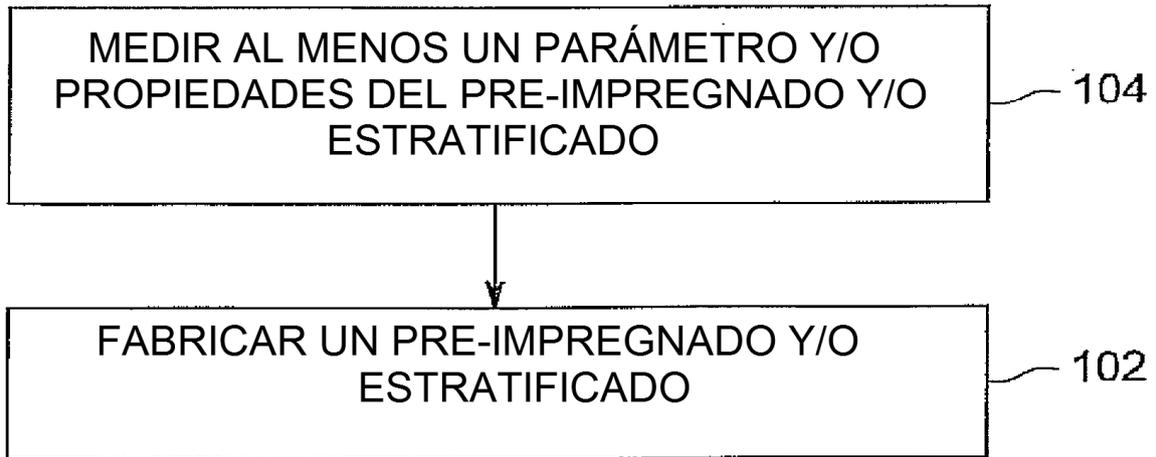
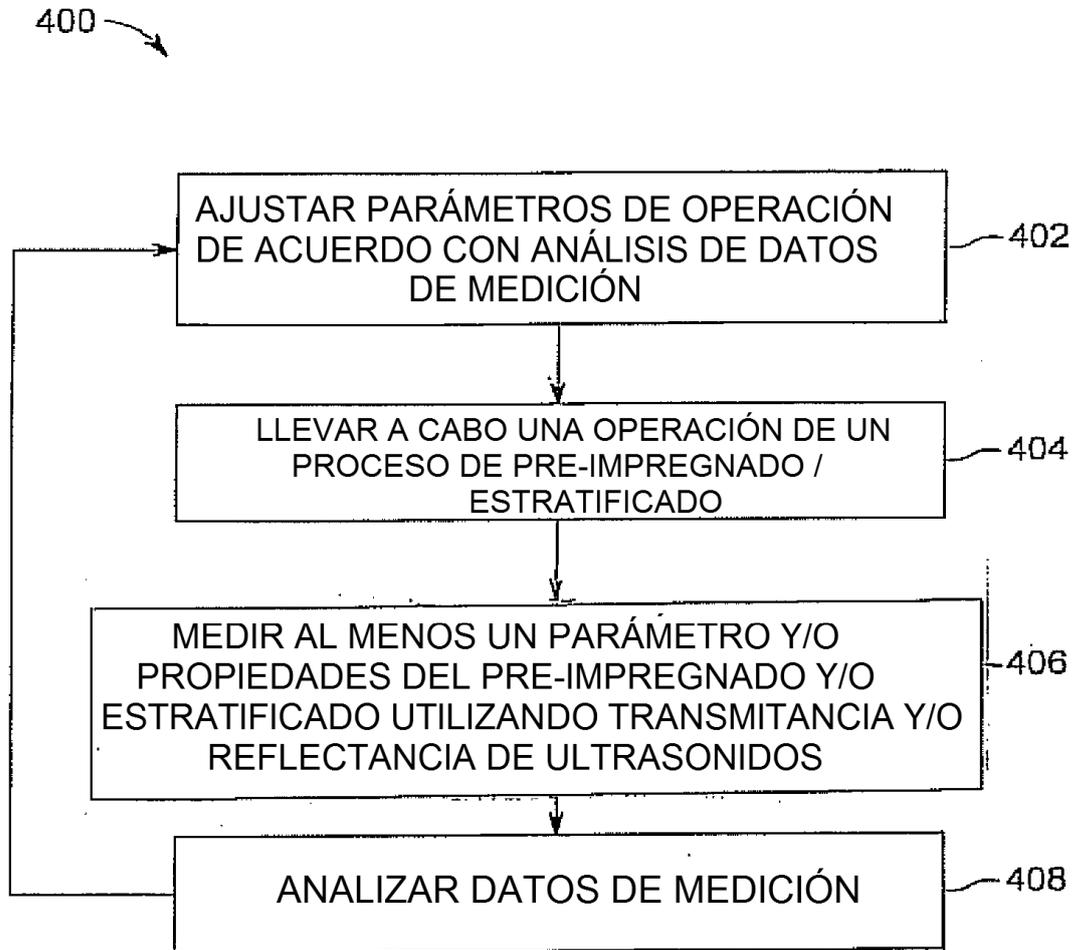


FIGURA 2



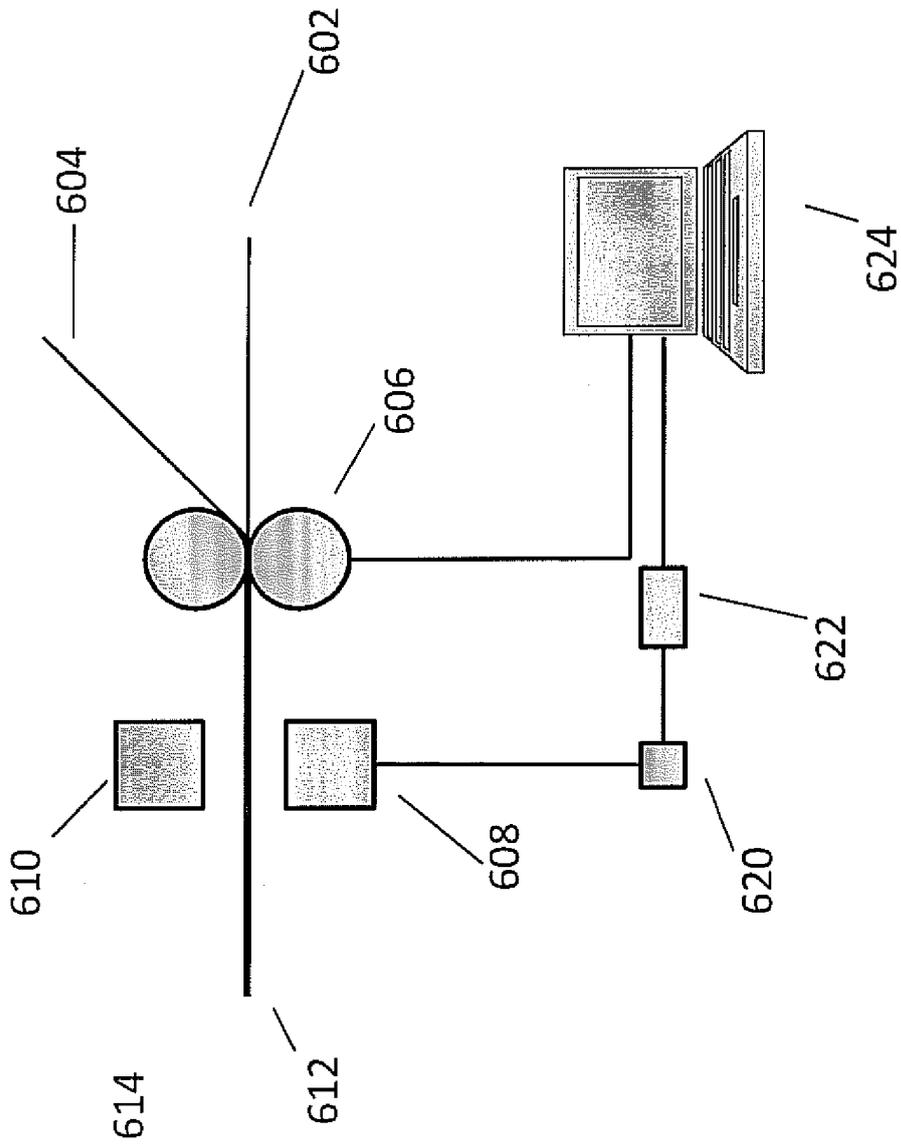


FIGURA 3