(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 628 002**

(51) Int. Cl.:

C08J 5/04 (2006.01)
C08J 5/24 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2013** **PCT/EP2013/050866**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2013** **WO13107829**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2013** **E 13700403 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017** **EP 2804894**

(54) Título: **Material preimpregnado para la fabricación de materiales compuestos**

(30) Prioridad:

17.01.2012 GB 201200741

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.08.2017

(73) Titular/es:

GURIT (UK) LIMITED (100.0%)
St. Cross Business Park,
Newport, Isle of Wight PO30 5WU, GB

(72) Inventor/es:

CREASER, BENJAMIN EDWARD y
SPENCER PAUL JOHN

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 628 002 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

Material preimpregnado para la fabricación de materiales compuestos

La presente invención se refiere a un material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra y a un método de fabricación de tal material preimpregnado. La presente invención además se refiere a demás al uso de tal material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra.

Desde hace muchos años se conoce la provisión en el campo de los materiales compuestos reforzados con fibra de un material preimpregnado que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con una resina polimérica estructural. La cantidad de resina polimérica estructural se combina cuidadosamente con la cantidad de refuerzo fibroso. Por consiguiente, el material preimpregnado puede usarse en un método para la formación de un material compuesto reforzado con fibra, en el que se proporciona un apilamiento multicapa de materiales preimpregnados que tiene una forma y configuración deseadas y después se somete a calentamiento de manera que la resina polimérica estructural se fusiona y después se solidifica para formar una única matriz de resina unificada en la que el refuerzo fibroso está dispuesto en la orientación de fibra deseada. La cantidad de resina en el apilamiento es suficiente para elaborar un artículo estructural reforzado con fibra del apilamiento de materiales compuestos que tiene las propiedades mecánicas deseadas. Típicamente, la resina polimérica estructural es una resina termoestable, más típicamente una resina de epoxi, que se cura para formar una matriz de resina sólida. Las fibras pueden seleccionarse entre una diversidad de materiales, que comprenden más típicamente fibras de vidrio o fibras de carbono.

Se conoce muy bien la provisión de materiales preimpregnados en los que la resina de polímero estructural está totalmente impregnada en la capa de refuerzo fibroso. Esto proporciona a las superficies principales externas del material preimpregnado una superficie de resina, distribuye las fibras sustancial y uniformemente a lo largo de la resina de material preimpregnado de manera que las fibras se incrustan uniformemente dentro de la resina y minimizan la presencia de huecos inadvertidos dentro de la capa de resina inicial. Esto proporciona la ventaja de que la superficie de resina puede ser ligeramente adherente para ayudar a la colocación del material preimpregnado en el molde soportando el material preimpregnado en una posición deseada como resultado de la adhesión del material preimpregnado por la superficie de resina adherente a una superficie adyacente. Además, la impregnación completa del refuerzo fibroso obvia la necesidad de que la resina polimérica estructural fluya significativamente en la fase de curado, y asegura que las fibras se impregnen uniformemente durante la fase de curado.

Sin embargo, un problema particular con los materiales preimpregnados completamente impregnados es que cuando se forma un apilamiento de tales materiales preimpregnados, el aire puede atraparse entre las láminas de material preimpregnado adyacente, con el resultado de que en la matriz de resina curada final del material compuesto reforzado con fibra pueden existir huecos entre láminas. La presencia de estos huecos puede reducir significativamente las propiedades mecánicas del material compuesto. A medida que las capas de materiales preimpregnados completamente impregnados se acumulan progresivamente para formar un apilamiento multicapa durante el proceso de laminado del material preimpregnado, el aire puede quedar atrapado entre las capas adyacentes del material preimpregnado. La adherencia de las superficies de resina de las capas de material preimpregnado adyacentes aumenta la posibilidad de que el aire quede atrapado entre las láminas en las interfaces de material preimpregnado.

Además, con el fin de proporcionar un material preimpregnado completamente impregnado con baja adherencia, la viscosidad de la resina de matriz afecta a la drapeabilidad del material preimpregnado, es decir, la capacidad del material preimpregnado para adoptar una forma tridimensional de una superficie de molde. Por regla general, una resina de mayor drapeado tiene mayor adherencia de superficie. Existe una necesidad en la técnica de un material preimpregnado que tenga una combinación de baja adherencia y alto drapeado.

Se conoce el uso de materiales preimpregnados para la fabricación de una amplia diversidad de productos, que tienen una amplia diversidad de espesores, formas y volúmenes, y las propiedades mecánicas deseadas. Una aplicación particular para materiales compuestos es la fabricación de elementos estructurales en forma de largueros o vigas alargados que se requieren para presentar una alta rigidez mecánica y resistencia a la compresión. Una «tapa de larguero» es un laminado de larguero alargado que se incorpora a un laminado particular para la fabricación de un álabe de turbina eólica, tal como se conoce en la técnica. La tapa de larguero es una capa de laminado de cubierta alargada externa sobre los lados opuestos de un elemento estructural central para formar una viga alargada de resistencia mecánica mejorada similar a una construcción de viga «I». Para tales largueros o vigas, con el fin de maximizar la rigidez mecánica y la resistencia a la compresión, se desea proporcionar fibras que se orientan principalmente a lo largo de la dirección del larguero o viga alargados, en particular, son fibras unidireccionales.

Por el contrario, para proporcionar materiales compuestos que tienen una construcción tipo hoja, o que proporcionan una resistencia a la torsión, sería deseable proporcionar fibras biaxialmente orientadas.

Los elementos alargados típicos que forman el refuerzo estructural principal en la energía eólica y las secciones de larguero mareomotriz son de 15-70 m de largo y de 10 a 100 mm de espesor. Se hacen predominantemente a partir de fibras unidireccionales para dar la resistencia longitudinal y rigidez. Una sección de tapa de larguero típica puede contener del 85 al 100 % de fibra unidireccional con algún material fuera del eje para la transferencia de cizalla, rigidez torsional, y estabilidad de pandeo de la tapa de larguero dependiendo del diseño. Típicamente, el espesor y/o el ancho pueden cambiar a lo largo de la longitud del larguero para que coincida con la rigidez y tensiones de diseño requeridas. También puede haber un cambio de espesor en cualquier sección transversal dada para proporcionar una transición geométrica y de carga adecuada a los almas de cizallamiento. Además de los cambios de espesor, la geometría de la tapa de larguero puede tener curvatura en una o más direcciones para que coincida con el perfil aerodinámico deseado y hacer un uso beneficioso de la curvatura para reducir la tendencia de la tapa de larguero a pandeo bajo carga.

Disponiendo de la geometría y espesor cambiantes, el laminado se acumula típicamente a partir de láminas de refuerzo de fibra para dar un equilibrio económico de tasa de deposición de molde, coste de material y flexibilidad geométrica en el proceso de diseño. Típicamente se usan tejidos de refuerzo de vidrio o materiales preimpregnados con un peso de fibra superficial de 500-2.400 gsm, o tejido de refuerzo de carbono o materiales preimpregnados de 100-900 gsm de peso superficial. Estas láminas, o capas, pueden cortarse previamente en formas geométricas o usarse en formato de rollo. Disponiendo de la curvatura cambiante se necesita normalmente algún cizallamiento para acomodar las longitudes variables entre fibras adyacentes en una hoja o rollo de material reforzado con fibra. El ancho y el espesor de un refuerzo de fibra dado se limitan normalmente a drapear el material en la forma de molde sin pandeo significativo de la fibra o inducir la ondulación de la fibra.

En comparación con los materiales cosidos, multiaxiales y tejidos, múltiples capas de fibras unidireccionales se anidan y compactan eficazmente dejando un espacio de volumen libre limitado, lo que reduce la permeabilidad del aire y la resina. Las fibras de carbono típicamente son más pequeñas en diámetro (7 micrómetros) que las fibras de vidrio (17-24 micrómetros) y, por lo tanto, tales apilamientos de fibra de carbono son más difíciles de procesar de manera fiable, ya que son inherentemente menos permeables al aire y la resina.

En el método de VARTM (moldeo por transferencia de resina asistida por vacío), las fibras secas se ponen en un molde y después se impregnan con una resina líquida de baja viscosidad de bajo coste. Las fibras normalmente se cosen previamente o se estabilizan con aglutinante termoplástico para permitir que la fibra sea manipulada en el molde y para proporcionar un espaciado controlado entre las fibras para formar huecos que ayuden al flujo de la resina. Esto añade ambas áreas de material de resina no reforzado y peso parasitario al larguero. La estructura de soporte de la fibra causa la ondulación de las fibras, reduciendo la capacidad de carga final, especialmente en compresión. Este método se ha usado con éxito para producir las generaciones actuales de turbinas eólicas de fibra de vidrio donde el diseño normalmente está limitado por la rigidez y el laminado no necesita la mayor resistencia a la compresión. Se requiere un mayor rendimiento del material para álabes más grandes y generaciones más recientes de turbinas aerodinámicas más eficaces donde se ha reducido el espaciado de la tapa de larguero para dar una sección de álabe más delgada con una eficacia aerodinámica mejorada. En este caso, se requieren laminados de fibra de carbono o fibra de vidrio de mayor rendimiento.

Las secciones espesas de fibra de carbono han demostrado ser difíciles de infundir de manera fiable con el método de VARTM debido a la baja permeabilidad del refuerzo. En el diseño de largueros de carbono, la resistencia a la compresión se vuelve un factor clave de diseño. Los ahorros económicos son posibles mediante el uso de propiedades de material mejoradas de materiales preimpregnados que permiten que se use fibra colimada pura.

La resina de material preimpregnado semisólida de mayor viscosidad retiene entonces las fibras más rectas en un formato colimado durante el proceso de laminado y fabricación de material preimpregnado para dar laminados con menos ondulación inherente de fibra y mayor resistencia a la compresión. Además, es posible seleccionar materiales de mayor peso molecular y aditivos de endurecimiento para formular resinas de material preimpregnado que tengan tanto un módulo de resina alto como un buen equilibrio de endurecimiento y resistencia para mejorar adicionalmente las propiedades de compresión y resistencia a la fatiga.

Para maximizar adicionalmente la resistencia, es deseable retirar cualquier defecto de hueco intralaminar e interlaminar en las secciones de tapa de larguero alargadas y espesas. Tradicionalmente, esto se hizo en la industria aeroespacial usando autoclaves de alta presión para comprimir cualquier aire atrapado y volátiles del material. Posteriormente se han desarrollado varias tecnologías de material preimpregnado posterior al curado en autoclave para usar procesamiento de vacío solamente, en aplicaciones donde el coste de usar un autoclave se vuelve prohibitivo para producir secciones grandes tales como turbinas de viento y largueros mareomotrices.

Estos materiales posteriores al curado en autoclave actuales que usan capas de fibra parcialmente impregnadas o secas proporcionan buenos resultados en los laminados que contienen una mezcla de orientaciones de fibra porque las fibras se puentean sobre sí mismas para formar conductos de aire naturales. Estos materiales no proporcionan laminados con niveles de vacío muy bajos, altos niveles de alineación de las fibras y tolerancia a las condiciones de alta y baja temperatura de taller cuando se construyen laminados grandes y espesos a partir de materiales predominantemente unidireccionales.

Para mejorar la economía de la producción de estas secciones de turbina de mayor carga es deseable proporcionar un material preimpregnado drapeable adecuado para el laminado directo o preformado fuera de línea, en un intervalo más amplio de condiciones de temperatura ambiente, que se puede curar usando los métodos de procesamiento de vacío posteriores al curado en autoclave para dar laminados reforzados con fibra bien alineados con mínimos defectos de huecos intralaminares e interlaminares

Para que un preimpregnado impregnado tenga un alto drapeado, la resina debe ser de baja viscosidad con un módulo de almacenamiento bajo para permitir que el cizallamiento de drapeado se acomode como flujo de resina viscoso sin que el material preimpregnado tienda a volver a su posición original.

Se conoce la provisión de un material preimpregnado con una resina que tiene una baja adherencia y una alta viscosidad y módulo de almacenamiento. Cuando se forma un apilamiento laminado de tales materiales preimpregnados y se somete a una etapa de descarga de vacío para retirar el aire, la resina mantiene un grado de textura superficial para proporcionar vías de ventilación de aire para eliminar el aire atrapado durante el ciclo de descarga. Durante el moldeo, la resina después fluye en y da un material homogéneo.

Tal material con una resina de alta viscosidad es muy adecuado para la producción de laminados delgados cuando no se requiere una curvatura significativa. Para drapear el producto, se necesita un grado de calor para ablandar la resina. El calentamiento disminuye la viscosidad de la resina, pero entonces la resina se vuelve propensa al flujo y pueden perderse los canales de aire. Este flujo puede producirse antes de que se aplique el vacío, en particular, con un poco de preflujo de la resina durante la fase de laminación a menudo resultante de variaciones en la presión y puntos de contacto que causan zonas de aire bloqueadas. Al aplicar el vacío puede fluir la resina más blanda, que cierra los canales restantes, reduciendo de este modo la permeabilidad del laminado antes de que el aire haya tenido tiempo de ser extraído del apilamiento de laminado.

El material preimpregnado de menor viscosidad puede entonces volverse muy sensible a su manipulación y a cualquier descarga antes de comenzar el curado. Si se inicia un ciclo de vacío y se abandona, el material puede consolidarse y se puede perder cualquier vía de ventilación de textura superficial. Esto es a menudo más pronunciado alrededor de los bordes del perímetro que pueden ver mayores fuerzas dependiendo del detalle de laminación por saco de vacío. Al retirar el vacío, el aire puede filtrarse lentamente de nuevo entre el material pero, al volver a aplicar el vacío la segunda y posteriores veces, el apilamiento de laminado ahora compactado es mucho menos permeable al aire debido al flujo viscoso previo de la resina de material preimpregnado más blanda.

De este modo, si se requiere el drapeado y la transpirabilidad del aire, se puede reducir la ventana de proceso, lo que lleva a la necesidad de controlar con precisión la temperatura ambiente del taller, añadiendo un coste significativo al proceso de fabricación.

Un intento alternativo para superar esta formación no deseable de huecos entre láminas, también ha sido proporcionar materiales preimpregnados que están solo parcialmente impregnados con la resina polimérica estructural de manera que una capa de refuerzo de fibra seca está presente en una o ambas de las superficies principales del material preimpregnado. Tal material preimpregnado, o semiimpregnado, parcialmente impregnado conocido es fabricado por el solicitante y se vende con la marca comercial registrada SPRINT ®.

Además, cuando tales materiales preimpregnados parcialmente impregnados se ensamblan entre sí en un apilamiento multilaminar para formar un elemento estructural, durante la consolidación al vacío de los materiales preimpregnados, el apilamiento multilaminar de los materiales preimpregnados puede reducirse en espesor, un fenómeno conocido en la técnica como «desolevación». Esta «desolevación» induce alguna ondulación fuera de plano a la fibra unidireccional que disminuye las propiedades mecánicas de compresión, ya que las fibras se pandearán antes bajo cargas de compresión.

Varias memorias descriptivas de patente han abordado el problema de retirar el aire atrapado en laminados de materiales preimpregnados con el fin de reducir el contenido de huecos del material compuesto reforzado con fibra curada. En particular, el documento WO-A-2001/000405 divulga un material preimpregnado parcialmente impregnado, que tiene fibras secas en el centro; El documento EP-A-1128958 divulga un material preimpregnado con una capa de resina central y capas de fibra seca externas; El documento EP-A-1379376 divulga la provisión de una capa de resina no continua en un material preimpregnado con una capa de resina central y capas de fibra seca externas; El documento WO-A-2002/088231 divulga la provisión de bandas de película de resina sobre la superficie fibrosa; El documento EP-A-2268720 divulga la provisión de una resina rígida de alta viscosidad al menos en la superficie del material preimpregnado, combinada con una superficie de resina gofrada para proporcionar un canal de aire; El documento EP-A-1595689 divulga una gasa difusora impresa parcialmente en una superficie de resina de un material preimpregnado completamente impregnado; El documento EP-A-2254936 divulga la impresión de regiones de resina sobre un material preimpregnado; y el documento WO-A-2012052272 divulga la provisión de canales de fibra seca en una superficie del material preimpregnado, opcionalmente combinada con una gasa difusora impresa parcialmente en una superficie de resina del material preimpregnado.

Todas estas divulgaciones anteriores experimentan diversos problemas en la producción fiable y rentable de

elementos estructurales de gran dimensión sin huecos, particularmente la incorporación de fibras unidireccionales, donde la combinación de alta permeabilidad de aire del apilamiento de resina, alto drapeado, baja adherencia, bajo solevado y alta colimación de fibra puede lograrse para proporcionar un elemento estructural con altas propiedades mecánicas.

Por lo tanto, aún existe la necesidad de un material preimpregnado, que tenga una aplicación particular para la fabricación de elementos estructurales tales como largueros, en particular, para álabes de turbina eólica, que supere los problemas de materiales preimpregnados completamente impregnados, materiales preimpregnados completamente impregnados recubiertos con gasa difusora y materiales preimpregnados parcialmente impregnados tal como se ha discutido anteriormente.

Se conoce muy bien en la técnica de material compuesto la provisión de un sistema de resina de matriz de dos fases en donde la resina de matriz, así como el refuerzo fibroso circundante, incluye una segunda fase de partículas finas que potencia el endurecimiento, en particular, la resistencia al impacto, el material compuesto de resina reforzada con fibra. Se conocen diversos métodos para la incorporación de las partículas a la resina de matriz. Por ejemplo, los documentos US-A-5057353, EP-A-0274889 y EP-A-0745640 divulgan la incorporación de partículas a la resina de matriz usando una diversidad de técnicas, incluyendo la aplicación de partículas, tales como partículas termoplásticas, a la superficie de material preimpregnado antes del laminado y de la curación de manera que, después del curado, las partículas se concentren en una capa de resina de matriz en la/s superficie/s interna/s del compuesto curado correspondiente a las capas de material preimpregnado original. No hay ninguna divulgación de cómo proporcionar un material preimpregnado con una estructura o propiedades que proporcionen un apilamiento de material preimpregnado laminado con una ventilación de aire aumentada.

La presente invención tiene el objetivo al menos parcialmente de superar estos problemas técnicos de materiales preimpregnados conocidos para la fabricación de elementos estructurales, en particular, elementos estructurales en la forma de largueros o vigas.

Por consiguiente, la presente invención proporciona un material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el material preimpregnado un cuerpo que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con un material de resina de matriz, y una capa de recubrimiento de polvo sobre al menos una superficie principal del cuerpo y adherida al material de resina de matriz, incluyendo la capa de recubrimiento de polvo partículas que sobresalen hacia fuera del material de resina de matriz y siendo porosa al flujo de aire en una dirección a lo largo del plano de la capa de revestimiento de polvo, donde las partículas comprenden un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz.

También se divulga en el presente documento un método de producción de un material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el método las etapas de:

(a) proporcionar un sustrato que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con un material de resina de matriz; y
(b) aplicar una capa de recubrimiento de polvo en al menos una superficie principal de la capa de refuerzo fibroso, incluyendo la capa de recubrimiento de polvo partículas que sobresalen hacia fuera del material de resina de matriz y siendo porosa al flujo de aire en una dirección a lo largo del plano de la capa de revestimiento de polvo, comprendiendo las partículas un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz.

La presente invención proporciona además un método de fabricación de un elemento estructural de material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el método las etapas de:

i. proporcionar una pluralidad de materiales preimpregnados según la presente invención;
ii. ensamblar la pluralidad de materiales preimpregnados como un apilamiento de los mismos de manera que la capa de recubrimiento de polvo de al menos uno de los materiales preimpregnados es adyacente a una capa de recubrimiento de polvo o superficie de resina de matriz de un material preimpregnado adyacente para formar al menos un paso de aire entre los materiales preimpregnados;
iii. someter el apilamiento a un vacío para consolidar el apilamiento y retirar el aire de entre los materiales preimpregnados adyacentes del apilamiento, ventilando el al menos un paso de aire el aire de entre los materiales preimpregnados; y
iv. curar el material de resina de matriz para formar el elemento estructural.

La presente invención proporciona además el uso de un material preimpregnado según la presente invención para la fabricación de un elemento estructural alargado de material compuesto reforzado con fibra, en particular, un larguero o viga.

También se divulga en el presente documento un método de fabricación de un elemento estructural de material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el método las etapas de:

(a) proporcionar un material preimpregnado que comprende un cuerpo que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con un material de resina de matriz, y una capa de recubrimiento de polvo sobre al menos una superficie principal del cuerpo y adherida al material de resina de matriz, incluyendo el recubrimiento de polvo partículas que sobresalen hacia fuera del material de resina de matriz, donde las partículas comprenden un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz;
(b) ensamblar una pluralidad de los materiales preimpregnados como un apilamiento de los mismos de manera que la capa recubierta de polvo de al menos uno de los materiales preimpregnados es adyacente a una capa de recubrimiento de polvo o superficie de resina de matriz de un material preimpregnado adyacente para formar al menos un paso de aire entre los materiales preimpregnados;
(c) someter el apilamiento a un vacío para consolidar el apilamiento y retirar el aire de entre los materiales preimpregnados adyacentes del apilamiento, ventilando el al menos un paso de aire el aire de entre los materiales preimpregnados; y
(d) curar el material de resina de matriz para formar el elemento estructural.

La capa de recubrimiento de polvo es porosa al flujo de aire en una dirección a lo largo del plano de la capa de recubrimiento.

El término «material preimpregnado» en esta memoria descriptiva de patente se refiere no solo a fibra completamente impregnada de resina sino también a productos secos y parcialmente impregnados que proporcionan una cantidad controlada de resina y refuerzo de fibra de manera que es un material de moldeo listo para usar que formará un laminado reforzado con fibra durante el procesamiento y curado posterior.

La presente invención se basa en el hallazgo por parte de los presentes inventores de que un material preimpregnado, que puede ser un material preimpregnado completamente impregnado, puede estar provisto de una combinación de propiedades de volumen y de superficie, en particular, un alto drapeado y una baja tenacidad superficial, que puede proporcionar una mejora en la retirada de aire de un apilamiento de materiales preimpregnados. El resultado es un material preimpregnado que puede proporcionar un contenido de huecos aún más bajo en los materiales compuestos de matriz de resina reforzada con fibra curada resultantes. El material preimpregnado puede manipularse fácilmente, debido a la baja tenacidad superficial, y laminarse en tres moldes perfilados dimensionalmente, debido al alto drapeado. El material preimpregnado tiene una aplicación particular para la fabricación de un elemento estructural alargado, tal como un larguero o viga, lo más particularmente una tapa de larguero para un álabe de turbina eólica.

El material preimpregnado tiene una capa de recubrimiento, de partículas de resina, capa de recubrimiento que es porosa al flujo de aire en una dirección a lo largo del plano del recubrimiento.

Cada lámina de material preimpregnado completamente impregnado puede tener un contenido de aire inicial bajo dentro del material preimpregnado, más bajo que para un material preimpregnado parcialmente impregnado, y esto, a su vez, ayuda a la reducción de la presencia de huecos dentro del material compuesto curado.

Tal estructura de material preimpregnado completamente impregnado retiene las fibras unidireccionales en la alineación longitudinal correcta, y hay poca o ninguna distorsión de las fibras en una dirección transversal o a través del espesor. El recubrimiento de polvo no afecta materialmente a la alineación de fibra longitudinal. Esto no solo aumenta las propiedades mecánicas del elemento estructural, en particular, en comparación con el uso de materiales semiimpregnados en donde la desalineación es problemática, sino que reduce los tiempos de laminado en comparación con los materiales semiimpregnados, porque los materiales semiimpregnados requieren un posicionamiento cuidadoso cuando se forma el apilamiento de material preimpregnado con el fin de minimizar la distorsión inadvertida de las fibras secas externas expuestas. La estructura de material preimpregnado completamente impregnado también evita los problemas de desolevación y de ondulación en el plano asociados con el uso de materiales semiimpregnados.

Las realizaciones preferidas de la presente invención proporcionan, por tanto, un material preimpregnado que está impregnado con una primera resina que tiene propiedades viscoelásticas para dar niveles altos de drapeado e impregnación fácil y rápida del material fibroso durante la fabricación. El material preimpregnado impregnado después se recubre sustancialmente con polvo, preferentemente sobre las superficies tanto superior como inferior para formar después un material preimpregnado de baja tenacidad con un recubrimiento de polvo permeable al aire y tolerante a la temperatura. En algunas realizaciones, el recubrimiento cubre sustancialmente la superficie para evitar la migración de la resina subyacente durante el almacenamiento y el laminado. En otras realizaciones, el recubrimiento cubre sustancialmente la superficie para evitar la migración de la resina subyacente durante el almacenamiento y el laminado excepto en puntos localizados en los que puede omitirse para proporcionar zonas pequeñas de resina adherente suficientes para adherir el material preimpregnado a las superficies de molde y otras pilas de material sin reducir las propiedades generales de ventilación del material preimpregnado.

El recubrimiento de polvo se compone de un material de resina, de manera que el material de resina de las partículas es copolimerizable con el material de resina de matriz.

El recubrimiento de polvo puede componerse adicionalmente de otro material, que puede no ser una resina, siempre que el recubrimiento de polvo incluya partículas que sobresalen hacia fuera del material de resina de matriz de manera que cuando una pluralidad de los materiales preimpregnados se ensamblen como un apilamiento de los mismos de manera que la capa de recubrimiento de polvo de al menos uno de los materiales preimpregnados sea adyacente a una capa recubierta de polvo o superficie de resina de matriz de un material preimpregnado adyacente, la capa de recubrimiento de polvo forme al menos un paso de aire entre los materiales preimpregnados. Durante la consolidación al vacío del apilamiento de material preimpregnado, que retira el aire de entre los materiales preimpregnados adyacentes del apilamiento, el al menos un paso de aire ventila el aire de entre los materiales preimpregnados.

Preferentemente, el recubrimiento de polvo tiene una baja densidad aparente. Preferentemente, el recubrimiento de polvo tiene temperaturas de fusión y de transición vítrea mayores que las temperaturas de laminado y de almacenamiento previstas o especificadas para evitar el flujo y la sinterización de partículas para mantener de este modo las propiedades de ventilación de aire del recubrimiento durante el almacenamiento y posterior consolidación al vacío. Este recubrimiento proporciona una permeabilidad al aire mejorada sin exceso de desolevación durante el curado para mantener la alineación de fibra.

El recubrimiento de polvo puede formar una capa de partículas continua o discontinua sobre la superficie de resina de matriz.

Preferentemente, el recubrimiento después se fusiona y/o disuelve durante el proceso de curación y es cocurable con la resina de matriz para evitar planos débiles potenciales de resina no reforzada.

El material preimpregnado puede calentarse para ayudar a la adhesión del polvo y el exceso de polvo no adherido también puede retirarse usando métodos de cepillado o de cuchillo de aire para dejar al menos una capa de polvo adherida sobre una superficie de material preimpregnado respectiva.

Disponiendo del recubrimiento de polvo, se hace posible usar una resina que tiene una viscosidad más baja y que hubiera sido demasiado adherente para manipular como un material preimpregnado convencional. Esto permite que se forme un material preimpregnado más drapeable a una temperatura de aplicación dada y la viscosidad más baja permite una impregnación por fusión en caliente más rápida y más fiable del refuerzo de carbono.

Se ha descubierto que las resinas conocidas para su uso en otras aplicaciones de recubrimiento de resina mediante los métodos de recubrimiento de polvo son ideales para el recubrimiento de materiales preimpregnados porque las resinas pueden fluir durante la etapa de curado a temperatura elevada y después cocurarse con la resina de matriz primaria. Estos materiales de resina están diseñados para no sinterizarse en el almacenamiento, la temperatura de transición vítrea Tg y la temperatura de fusión Tm de estas resinas de recubrimiento son cada una típicamente superiores a 55 °C. Como tales, las resinas de recubrimiento son más rígidas durante las temperaturas de laminado y no tienen tendencia a sinterizarse y fluir, manteniendo de este modo la estructura de ventilación de aire del recubrimiento de polvo antes de y durante la consolidación al vacío. Las partículas de polvo individuales no se fusionan y, por lo tanto, no añaden rigidez al material preimpregnado, a diferencia de una película de resina sólida o gasa difusora de fibra, y se mantiene el drapeado del material preimpregnado recubierto central. A diferencia de los recubrimientos de resina sólida que se usan para formar canales o gasas difusoras de tejido que proporcionan pasos de aire junto a las fibras de gasas difusoras mediante un efecto de puenteado de láminas, se obtiene un espesor más uniforme mediante el uso del recubrimiento de polvo, conduciendo a una ondulación de fibra reducida después de la consolidación posterior.

Mediante la provisión de un recubrimiento de polvo entre láminas de material preimpregnado del laminado, se maximizan las propiedades de ventilación de aire interlaminar del laminado para una consolidación de espesor dada, porque el espacio de ventilación y la porosidad se concentran en la región interlaminar. El recubrimiento de polvo proporciona una permeabilidad al aire interlaminar mejorada sin excesiva consolidación de espesor durante el curado, porque el material preimpregnado se ha impregnado completamente y la porosidad que proporciona permeabilidad al transporte de aire se dirige después en la región interlaminar solo.

La porosidad formada entre dos láminas de material preimpregnado mediante el recubrimiento de polvo proporciona múltiples redes de aire para ventilar el aire interlaminar. Además, el recubrimiento de polvo tiene un espesor muy uniforme. Estas características estructurales juntas proporcionan una mejor tolerancia a la laminación localizada o presión en los bordes, que de otro modo podrían tender a causar un flujo de resina temprano y un bloqueo de vía de aire antes o durante la consolidación al vacío.

El recubrimiento de polvo permite que se use una resina de viscosidad más baja y más adherente como la resina de matriz primaria en comparación con las propiedades correspondientes de la resina de matriz primaria que se requerirían en ausencia de un recubrimiento de polvo con el fin de presentar una adherencia suficientemente baja para que el material preimpregnado sea fácilmente manipulable. Por lo tanto, el material preimpregnado recubierto de polvo permite que el material preimpregnado con una adherencia dada emplee una resina de matriz primaria de baja viscosidad. Esto proporciona la ventaja de que tal resina de viscosidad más baja es más fácil de impregnarse

por fusión en caliente en el refuerzo fibroso, proporcionando una velocidad de línea más rápida durante el proceso de impregnación. Además, el material preimpregnado es más drapeable, porque se emplea una resina de matriz primaria de viscosidad más baja, y el material preimpregnado puede emplearse a temperaturas de laminado más bajas y puede usarse en una ventana de proceso extendida en comparación con los materiales preimpregnados que emplean resinas de matriz de viscosidad más alta.

El recubrimiento de polvo se adhiere de manera fiable y uniforme a la resina de matriz primaria adherente de baja viscosidad, y puede cubrir fácilmente y con seguridad la superficie completa con una alta carga de polvo. Tal cobertura completa con alta carga de polvo proporciona propiedades mejoradas de ventilación de aire de la capa de recubrimiento de polvo sobre la superficie de material preimpregnado.

En algunas realizaciones preferidas de la presente invención, el recubrimiento de polvo puede proporcionar una superficie suficientemente seca y libre de adherencia que cuando el material preimpregnado se enrolla en un rollo, las capas de material preimpregnado adyacentes no se adhieren entre sí y el rollo puede desenrollarse de manera fiable cuando se requiere para su uso. Esto permite que el material preimpregnado se haga sin intercalación de las capas con capas de material de soporte de liberación, tal como polietileno, para reducir el coste eliminando este residuo consumible.

De acuerdo con las realizaciones preferidas de la presente invención, un polvo de resina que tiene un tamaño de partícula controlado se aplica en una cantidad controlada a una o más superficies de material preimpregnado después de la impregnación de material preimpregnado para dar la combinación de (a) una estructura de ventilación de aire sobre la/s superficie/s de material preimpregnado y (b) un nivel controlado de propiedades de manipulación y adherencia sobre un amplio intervalo de temperatura, por ejemplo, de 10 a 45 °C, que es un intervalo de temperatura típico para temperaturas de laminado de material preimpregnado. El tamaño de partícula de polvo se selecciona para dar buenas propiedades de transpiración y posterior almacenamiento de rollo de material preimpregnado.

Las partículas de polvo se prefieren para fusionarse o disolverse en la resina de matriz durante el curado de la resina de matriz a temperatura elevada para evitar los huecos de aire y para evitar que se cause desorientación de fibra por las partículas. La resina de las partículas y la resina de matriz cuando se curan pueden formar una matriz de resina curada de una sola fase.

Las partículas de polvo pueden seleccionarse para tener un beneficio funcional secundario tal como uno o más de endurecimiento, propiedades pirorresistentes, reducción de impresión superficial y control de adherencia.

En las realizaciones preferidas de la invención, las partículas se componen de resina, en particular, resina que forma una sola fase con la resina de matriz después del curado, tal como las partículas que incluyen o consisten en una resina termoestable. Sin embargo, algunas o todas las partículas de la capa de recubrimiento de polvo pueden componerse de otros materiales, tales como uno o más de materiales inorgánicos (por ejemplo, para proporcionar endurecimiento y/o pirorresistencia), resinas termoplásticas (por ejemplo, para proporcionar endurecimiento), o materiales elastoméricos (por ejemplo, para proporcionar endurecimiento), para proporcionar una función adicional, así como proporcionar una superficie porosa de aire y baja adherencia al material preimpregnado.

Las partículas particularmente preferidas se componen de resina de epoxi molida de alto peso molecular (Pm). Se ha descubierto que tales partículas de resina de epoxi pueden comprender una composición de resina curable que no incluye un agente de curación. Esto puede emplearse sin ninguna reducción significativa en las propiedades mecánicas del material compuesto finalmente curado. En cambio, la resina de partícula se disuelve en y se difunde a través de la resina de matriz, y después reacciona con el agente de curación en la resina de matriz, que también reacciona como el agente de curación en la resina de partícula que se cocura, y se copolimeriza así, con la resina de matriz.

Las partículas de polvo pueden tener una Tg suficientemente alta para evitar la sinterización cuando el polvo se procesa y se manipula durante la fabricación de material preimpregnado y posterior almacenamiento del material preimpregnado en forma de rollo. La ausencia de sinterización proporciona que la superficie de material preimpregnado recubierta con el polvo retenga una vía de ventilación permeable al aire hasta el laminado del material preimpregnado.

La superficie de polvo recubierta de polvo del material preimpregnado promueve el deslizamiento de las láminas de material preimpregnado durante el laminado y posterior consolidación al vacío. Esto proporciona un drapeado mejorado, y evita los defectos de puenteado de láminas, durante el laminado, particularmente cuando se fabrican las tapas de larguero de álabes de turbina eólica.

La viscosidad de la resina de matriz primaria del material preimpregnado, la distribución de partículas, y la aplicación de fabricación se seleccionan para evitar que las partículas se incorporen completamente a la resina durante la fabricación de material preimpregnado y posteriores almacenamiento del material preimpregnado en forma de rollo. Las partículas de polvo solo se adhieren a la superficie de material preimpregnado de manera que se forma una

porosidad de superficie interlaminar cuando las láminas de material preimpregnado se laminan entre sí.

Las realizaciones preferidas de la presente invención permiten, por lo tanto, la producción de materiales preimpregnados de alta calidad, que pueden estar impregnados completa o parcialmente, con orientación de fibra recta y ningún hueco intralaminar, que después de la laminación, la consolidación al vacío y el curado minimizan cualquier solevado y ondulación en el curado proporcionando permeabilidad al aire en las regiones interlaminares del apilamiento de laminado.

De acuerdo con un aspecto adicional de la presente invención, el recubrimiento de polvo comprende un material de aditivo de endurecimiento que se dispersa posteriormente en el material de resina de matriz durante el procesamiento del material preimpregnado, por ejemplo, cuando se fabrica el material compuesto reforzado con fibra, y actúa como un aditivo de endurecimiento para el material compuesto reforzado con fibra.

En algunas realizaciones, el aditivo de endurecimiento puede fusionarse y/o disolverse durante el proceso de curación y después puede separarse en fases para formar una distribución fina de dominios de endurecimiento. Como alternativa, en otras realizaciones, el aditivo de endurecimiento puede tener una dispersión fina inicial y puede no fusionarse o disolverse durante el proceso de curación, disponiendo de la dispersión que forma una fase de una distribución fina de dominios de endurecimiento.

Tal partícula de tenacidad puede proporcionar no solo un endurecimiento aumentado sino también una transpiración de aire aumentada durante el procesamiento, tal como se ha descrito en el presente documento.

Los inventores han descubierto que el uso de un recubrimiento de polvo de partículas de polvo termoplástico o elastomérico para aumentar el endurecimiento a la fractura también aumenta la transpiración de aire para crear un laminado de contenido de huecos más bajo. Además, después del procesamiento se proporciona una región interlaminar endurecida entre las láminas de material preimpregnado adyacentes. El laminado compuesto puede endurecerse eficazmente sin dispersión del aditivo de endurecimiento por toda la resina de matriz, pero mediante dispersión de las partículas de endurecimiento en regiones interlaminares.

Las partículas de polvo pueden no solo aumentar las propiedades de transpiración de aire del material preimpregnado sino que también pueden aumentar las propiedades de manipulación, incluso si las partículas se presionan completamente o se impregnan en el material de resina de matriz, porque al cubren al menos parcialmente el material de resina de matriz adherente y reducen la adherencia de la superficie de material preimpregnado.

El polvo de material de aditivo de endurecimiento puede recubrirse en una superficie principal o ambas superficies principales del material preimpregnado. Típicamente, las partículas de polvo pueden comprender una resina termoplástica o caucho elastomérico tal como, por ejemplo, uno o más de los materiales seleccionados entre copolímeros en bloque, poliimidas, poliéter imidas, puliéter sulfonas, poliarilatos, óxidos de polifenileno, poliéter éter cetonas, polifenilsulfonas, cauchos acrílicos, cauchos de silicona, termoplásticos de fenoxi, poliésteres, cauchos de nitrilo, u otras partículas de resina polimérica conocidas para endurecer los materiales compuestos termoestables.

El polvo de material de aditivo de endurecimiento puede impregnarse completamente en, o impregnarse parcialmente en, o no impregnarse pero adherirse a, la respectiva superficie principal del material preimpregnado.

Típicamente, las partículas de polvo pueden aplicarse a un peso de recubrimiento de 5-40 g/m^2, aunque pueden usarse mayores cantidades de recubrimiento para aumentar adicionalmente el endurecimiento a la fractura.

En algunas realizaciones, las partículas de endurecimiento pueden mezclarse con un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz, por ejemplo, el material de resina que comprende una resina de epóxido, o cualquier otra resina copolimerizable divulgada en el presente documento.

El tamaño de partícula debe ser lo suficientemente pequeño para lograr una mejora de endurecimiento, siendo típicamente menor que 250 micrómetros, por ejemplo, de 50 a 200 micrómetros.

En algunas realizaciones, el punto de fusión de la partícula de endurecimiento está por debajo de la temperatura de curación del material de resina de matriz del material preimpregnado con el fin de mejorar la dispersión de partículas y, por tanto, el endurecimiento.

Se ha descubierto que los parámetros de endurecimiento GIC y GIIC de materiales compuestos aumentan en un 50-200 % usando el recubrimiento de polvo de aditivo de endurecimiento de acuerdo con la invención, sin reducir otras propiedades mecánicas.

En este aspecto de la invención, el objetivo es proporcionar una región de intercalación endurecida para aumentar las propiedades de endurecimiento a la fractura. Tradicionalmente, los termoplásticos o elastómeros se dispersan por toda la matriz de resina termoestable. Durante el curado del laminado, estas forman fases de caucho separadas

dentro de la matriz de resina. La presencia de estas fases aumenta las propiedades de endurecimiento a través de varios mecanismos diferentes; a saber, puenteado de grietas, bandas de cizallamiento y cavitación. Existen varias desventajas de este enfoque: el uso de termoplásticos o elastómeros aumenta el coste del sistema, la viscosidad del sistema de resina aumenta significativamente y se reducen otras propiedades (tales como las propiedades relacionadas con la rigidez).

De acuerdo con este aspecto de la invención, mediante la provisión de las partículas de endurecimiento solo en las regiones interlaminares del material compuesto, se aumenta el endurecimiento con una reducción mínima de las propiedades relacionadas con la rigidez. Además, se reduce el coste del material, porque se usa una cantidad neta más baja de aditivo endurecedor, y la viscosidad de la resina permanece sin cambios.

Por lo tanto, en el presente documento se divulga un material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el material preimpregnado un cuerpo que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con un material de resina de matriz, y una capa de recubrimiento de polvo en al menos una superficie principal del cuerpo e incrustada en el material de resina de matriz en la superficie principal del cuerpo, donde la capa de recubrimiento de polvo comprende un material de aditivo de endurecimiento comprendido de una resina polimérica seleccionada entre al menos una o más de una resina termoplástica y un caucho elastomérico.

En una realización, el cuerpo tiene dos superficies principales opuestas y la capa de recubrimiento de polvo está sobre ambas superficies principales. En otra realización, la capa de recubrimiento de polvo cubre sustancialmente la al menos una superficie principal.

Opcionalmente, la capa de refuerzo fibroso está completamente impregnada por el material de resina de matriz.

Típicamente, el material preimpregnado es alargado y se extiende en una dirección longitudinal y la capa de refuerzo fibroso es un refuerzo fibroso unidireccional que se extiende en la dirección longitudinal del material preimpregnado.

Opcionalmente, el material de resina de matriz se compone de una resina termoestable, por ejemplo, resina de epoxi.

Opcionalmente, el material de aditivo de endurecimiento está comprendido de uno o más materiales seleccionados entre copolímeros en bloque, poliimidas, poliéter imidas, puliéter sulfonas, poliarilatos, óxidos de polifenileno, poliéter éter cetonas, polifenilsulfonas, cauchos acrílicos, cauchos de silicona, termoplásticos de fenoxi, poliésteres, cauchos de nitrilo, u otras partículas de resina polimérica conocidas para endurecer los materiales compuestos termoestables.

Opcionalmente, el material de aditivo de endurecimiento se mezcla con un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz.

Opcionalmente, el material de aditivo de endurecimiento se aplica a un peso de recubrimiento de 5 a 40 g/m^2.

Opcionalmente, el material de aditivo de endurecimiento tiene un tamaño de partícula menor que 250 micrómetros, opcionalmente de 50 a 200 micrómetros.

Opcionalmente, el material de aditivo de endurecimiento tiene un punto de fusión por debajo de la temperatura de curación del material de resina de matriz del material preimpregnado.

Preferentemente, el material preimpregnado se forma como un rollo enrollado del material preimpregnado, opcionalmente donde las capas de material preimpregnado adyacentes del rollo no estaban adheridas sustancialmente entre sí.

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

la Figura 1 es un dibujo en sección transversal esquemático de un material preimpregnado para formar un material compuesto reforzado con fibra de acuerdo con una primera realización de la presente invención;
la Figura 2 es un dibujo en sección transversal esquemático de un laminado que comprende un apilamiento de dos materiales preimpregnados de la Figura 1;
la Figura 3 es un dibujo en sección transversal esquemático de un material preimpregnado para formar un material compuesto reforzado con fibra de acuerdo con segunda realización de la presente invención;
la Figura 4 es un dibujo en sección transversal esquemático de un laminado que comprende un apilamiento de dos materiales preimpregnados de la Figura 3;
la Figura 5 es una vista lateral esquemática de una realización de un aparato para la fabricación de un material preimpregnado de la Figura 3;
la Figura 6 es una vista lateral esquemática de otra realización de un aparato para la fabricación de un material

preimpregnado de la Figura 3;
la Figura 7 es una vista lateral esquemática de una realización adicional de un aparato para la fabricación de un material preimpregnado de la Figura 3;
la Figura 8 es un dibujo en sección transversal esquemático de un aparato para someter a ensayo la permeabilidad al aire de un laminado que comprende un apilamiento de dos materiales preimpregnados;
la Figura 9 es una gráfica que muestra la relación entre las resinas de matriz de material preimpregnado de viscosidad y temperatura compleja usadas en los Ejemplos de la invención y Ejemplos comparativos no según la invención;
las Figuras 10 a 15 son gráficas que muestran la relación entre la permeabilidad al aire y el tiempo para los materiales preimpregnados según los Ejemplos de la invención y materiales preimpregnados de los Ejemplos comparativos no según la invención;
la Figura 16 es una vista en planta esquemática de una gasa difusora de poliéster aplicada a las superficies principales de un material preimpregnado de los Ejemplos comparativos no según la invención; y
la Figura 17 es una fotomicrografía que muestra una vista en perspectiva de un material preimpregnado recubierto con una capa de recubrimiento de polvo según una realización de la presente invención.

En referencia a las Figuras 1 y 2, se muestra un material preimpregnado 2 de acuerdo con una primera realización de la presente invención. Para mayor claridad de ilustración, algunas dimensiones de los dibujos están exageradas y solo se muestran algunas de las fibras.

El material preimpregnado 2 comprende una capa de refuerzo fibroso 4, ilustrado como una pluralidad de filamentos o haces de fibra 5, que está sustancial y completamente impregnada de una resina 6 de matriz. La completa impregnación proporciona que las superficies 8, 10 principales opuestas del material preimpregnado 2 comprenden superficies de resina. La resina 6 es típicamente una resina funcional epoxi que incluye un agente de curación latente, tal como se conoce en la técnica. Pueden emplearse otras resinas, particularmente resinas termoestables. El refuerzo fibroso 4 comprende fibras 14 hechas de vidrio, carbono, aramida o materiales similares. Las fibras 14 son unidireccionales (UD), orientándose en una dirección longitudinal común perpendicular al plano de los dibujos de las Figuras 1 y 2. Preferentemente, el material preimpregnado 2 es alargado y se extiende en una dirección longitudinal y la capa de refuerzo fibroso 4 es un refuerzo fibroso unidireccional que se extiende en la dirección longitudinal del material preimpregnado 2.

Lo más típicamente, para la fabricación de un elemento estructural de fibra de carbono tal como una tapa de larguero, el refuerzo fibroso 4 comprende 100-900 g/m^2, y más preferentemente de 400 a 800 g/m^2, típicamente 600 g/m^2, de fibra de carbono unidireccional en una matriz de resina de epoxi o vinil éster.

Lo más típicamente, para la fabricación de un elemento estructural de fibra de vidrio tal como una tapa de larguero, el refuerzo fibroso 4 comprende 500-2.400 g/m^2, y más preferentemente 1.200-1.600 g/m^2 de fibra de vidrio unidireccional en una matriz de resina de epoxi o vinil éster.

El espesor del material preimpregnado puede variar típicamente de 0,1 a 1,5 mm. Un espesor de material de preimpregnado típico para fibra de vidrio, en particular, fibra de vidrio unidireccional, es aproximadamente de 1,2 mm, mientras que un espesor de material preimpregnado típico para fibra de carbono, en particular, fibra de carbono unidireccional, es aproximadamente de 0,6 mm.

Una capa de recubrimiento de polvo 16 de material de resina está sobre al menos una superficie 8 principal del cuerpo 18 que comprende el refuerzo fibroso 4 y la resina 6 de matriz. La capa de recubrimiento de polvo 16 se adhiere a la resina 6 de matriz. Las partículas de polvo se adhieren a la superficie de resina de matriz primaria externa mediante la adherencia inherente de la resina 6 de matriz primaria. En la realización de las Figuras 1 y 2, la capa de recubrimiento de polvo 16 sobre solo una superficie 8 principal del cuerpo 18.

En la realización ilustrada, la capa de recubrimiento de polvo 16 cubre sustancialmente la al menos una superficie principal 8. Como alternativa, la capa de recubrimiento de polvo 16 cubre parcialmente la al menos una superficie 8 principal y deja al menos algunas áreas no recubiertas 20, tal como se muestra en la Figura 1 solo, que exponen el material de resina 6 de matriz. Opcionalmente, las áreas no recubiertas 20 se disponen en un conjunto mutuamente espaciado.

La capa de recubrimiento de polvo 16 incluye partículas 21 de resina que típicamente tienen un tamaño de partícula de 25 a 2.000 micrómetros, opcionalmente de 50 a 1.000 micrómetros, más opcionalmente de 75 a 750 micrómetros, aún más opcionalmente de 100 a 600 micrómetros, todavía más opcionalmente de 175 a 500 micrómetros, aún más opcionalmente de 250 a 500 micrómetros. Preferentemente, al menos el 50 % de las partículas 21 de la capa de recubrimiento de polvo 16 tienen un tamaño de partícula de 25 a 2.000 micrómetros, opcionalmente de 50 a 1.000 micrómetros, más opcionalmente de 75 a 750 micrómetros, aún más opcionalmente de 100 a 600 micrómetros, todavía más opcionalmente de 175 a 500 micrómetros, aún más opcionalmente de 250 a 500 micrómetros.

En las Figuras 1 a 4, las partículas 21 se muestran esquemáticamente como esféricas. Esto es meramente ilustrativo y las partículas pueden ser esféricas o más típicamente irregulares en forma tridimensional. Tal forma tridimensional

irregular proporciona la ventaja de que las partículas tienen una incidencia reducida de impregnarse de la resina de matriz y, por lo tanto, sumergirse dentro de la resina de matriz, y también la forma irregular aumenta la propensión de los pasos de aire a formarse entre la/s capa/s de recubrimiento de polvo o la capa de recubrimiento de polvo y una superficie de resina de matriz, tal como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

Las partículas 21 sobresalen hacia fuera de la superficie de resina de matriz, y típicamente para al menos una mayoría (50 %) de las partículas en la capa de recubrimiento de polvo, mayor del 50 %, más típicamente mayor del 75 % de la altura de partícula se expone por encima de la superficie de resina de matriz.

La capa de recubrimiento de polvo 16 de material de resina típicamente tiene un peso de recubrimiento de 5 a 50 gramos por metro cuadrado, opcionalmente de 10 a 30 gramos por metro cuadrado, más opcionalmente de 15 a 25 gramos por metro cuadrado.

En algunas realizaciones, la capa de recubrimiento de polvo 16 comprende partículas 21 de polvo que tienen un peso de recubrimiento de 15 a 25 gramos por metro cuadrado de partículas 21 que tienen un tamaño de partícula de 250-500 micrómetros, comprendiendo opcional y adicionalmente partículas 21 de polvo en un peso de recubrimiento de 1 a 5 gramos por metro cuadrado de partículas 21 que tienen un tamaño de partícula de 2-100 micrómetros. Las partículas más pequeñas 21 pueden encajar entre las partículas 21 más grandes para reducir la adherencia de la superficie 8 de resina recubierta de polvo.

Típicamente, la capa de recubrimiento de polvo 16 comprende sustancialmente una monocapa de partículas de polvo 21 sobre la superficie 8 principal del cuerpo 18. La monocapa puede ser continua o discontinua. Las partículas 21 de polvo típicamente se incrustan parcialmente en el material de resina 6 de matriz en la superficie 8 principal del cuerpo 18.

El material de resina 6 de matriz y el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 típicamente se componen ambos de una resina termoestable, y típicamente el material de resina 6 de matriz y el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 son cada uno una resina de epoxi. Por consiguiente, el material de resina 6 de matriz y el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 son copolimerizables.

En una realización preferida, cuando tanto el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 como el material de resina 6 de matriz está en un estado fundido, el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 es soluble en el material de resina 6 de matriz. Típicamente, el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 tiene un punto de fusión más alto que el material de resina 6 de matriz, y adicionalmente el material de resina de la capa de recubrimiento de polvo 16 tiene una Tg más alta que el material de resina 6 de matriz. Opcionalmente, el punto de fusión del polvo está por debajo de 85 °C.

En referencia a la Figura 2, plural (por ejemplo, dos, tal como se ilustra, o más) de los materiales preimpregnados 2 de la Figura 1 se laminan como un apilamiento 22, disponiendo de la capa de recubrimiento de polvo 16 de un material preimpregnado 2 que es adyacente a y está en contacto con la superficie 10 de material de resina de matriz no recubierta del material preimpregnado 2 adyacente del apilamiento 22. Las partículas 21 de polvo de la capa de recubrimiento de polvo 16 se intercalan entre y están en contacto con las superficies 10, 8 de resina opuestas y proporcionan uno o más pasos 24 entre las superficies 10, 8 de resina opuestas de los materiales preimpregnados 2 adyacentes. En consecuencia, el aire es libre de circular a través del/de los paso/s en una dirección a lo largo de la capa de recubrimiento de polvo 16 a lo largo de la interfaz 23 entre las superficies 10, 8 de resina opuestas de los materiales preimpregnados 2 adyacentes.

El tamaño de partícula y la distribución de las partículas 21 de polvo de la capa de recubrimiento de polvo 16 se seleccionan para proporcionar una vía de transporte de aire que es suficiente para la estructura, el área y la configuración del producto que se va a fabricar a su vez, de manera que la vía de transporte de aire general para cualquier área dada del producto es suficiente. Se ha descubierto que un tamaño y distribución de partículas, tal como se ha descrito anteriormente, proporciona de manera fiable una retirada de aire eficaz para una diversidad de configuraciones de laminado diferentes sin proporcionar inmiscibilidad de resina que, a su vez, podría dar como resultado problemas de huecos.

En la realización alternativa de la Figura 3, una capa de recubrimiento de polvo 16 respectiva tal como se ha descrito anteriormente está sobre una respectiva de dos superficies 8, 10 principales opuestas del cuerpo 18 de un material preimpregnado 26 que tiene la estructura tal como se ha descrito anteriormente. Esto proporciona que, cuando varios materiales preimpregnados 26 se laminan como un apilamiento 28, tal como se muestra en la Figura 4, dos capas de recubrimiento de polvo 16, una sobre cada superficie 10, 8 de material preimpregnado opuesta, se acoplan juntas entre cada par de materiales preimpregnados 26 para proporcionar uno o más pasos 25 entre las capas de recubrimiento de polvo opuestas 16 de los materiales preimpregnados adyacentes 26. Esta modificación proporciona un contenido de paso de aire aún más alto entre las capas de material de resina de matriz 6 con el fin de potenciar además las propiedades de transporte de aire entre los materiales preimpregnados 26 adyacentes.

Para cualquier realización, cuando el material preimpregnado 2, 26 recubierto se forma como un rollo enrollado del

material preimpregnado, donde los recubrimientos de polvo 16 de capas de material preimpregnado adyacente del rollo están en contacto directamente entre sí o en contacto con la superficie 10 de resina opuesta, los recubrimientos de polvo 16 adyacentes o el recubrimiento 16 y la superficie de resina opuesta 10 pueden no adherirse sustancialmente entre sí de manera que una capa intermedia de material de liberación, tal como polietileno, pueda evitarse. Esto reduce los costes de producción y evita la necesidad de eliminación de la lámina de liberación de la capa intermedia.

Las realizaciones de las Figuras 1 a 4 ilustran los materiales preimpregnados 2, 26 completamente impregnados en donde no están presentes sustancialmente ninguna fibra seca y sustancialmente todo el esfuerzo fibroso 4 está impregnado con la resina 6 de matriz. Sin embargo, la invención también puede emplearse con materiales preimpregnados parcialmente impregnados o incluso no impregnados donde está presente una superficie de resina externa que se recubre con la capa de recubrimiento de polvo 16. Tal material preimpregnado parcialmente impregnado puede incluir una capa central de fibras secas entre capas de resina externas, o canales de fibra seca en una superficie de resina externa. Tal material preimpregnado parcialmente impregnado o no impregnado puede incluir una o más capas de fibras secas adyacentes a al menos una capa de resina, estando una superficie de resina externa recubierta con el recubrimiento de polvo. Para cualquiera de estas realizaciones, el recubrimiento de polvo puede controlar la adherencia de la película de resina que es más uniforme a través de un intervalo de temperatura más amplio y, opcionalmente, las áreas de resina libres de polvo pueden proporcionar puntos de resina adherentes si se requieren para algunas aplicaciones.

En referencia a la Figura 5, se muestra un dibujo en perspectiva esquemático que muestra una realización de un método para la fabricación del material preimpregnado de la Figura 3. En la realización ilustrada, el material preimpregnado 26 se fabrica típicamente mediante la impregnación del refuerzo fibroso 4 desde los lados opuestos, usando dos películas de resina y disponiendo del refuerzo fibroso 4 intercalado entre las mismas. Durante la etapa de impregnación, cada película de resina se impregna hacia el centro de la capa de refuerzo fibroso 4, y las dos resinas se unen en el centro para formar un material preimpregnado completamente impregnado con resina 6 que se extiende a través de todo el espesor del refuerzo fibroso 4. Después de la impregnación, las superficies 8, 10 principales opuestas del material preimpregnado 26 se protegen temporalmente del daño o depósitos inadvertidos recubriéndose de almas protectoras respectivas, por ejemplo, hojas de papel.

En una realización alternativa, el material preimpregnado se fabrica mediante la provisión de una capa de resina entre dos capas de refuerzo fibroso y la resina se impregna hacia fuera en las fibras. En una realización alternativa adicional, el material preimpregnado se fabrica mediante la provisión de una capa de resina adyacente a entre una capa de refuerzo fibroso y la resina se impregna hacia fuera en la superficie adyacente de la capa fibrosa.

Tal como se muestra en la Figura 5, que muestra dimensiones exageradas para mayor claridad de ilustración, el material preimpregnado 26 que lleva las hojas de papel protectoras 30, 32 se alimenta mediante un par de rodillos de presión 34 hacia una estación de recubrimiento 36. Antes de la estación de recubrimiento 36, las hojas de papel protectoras 30, 32 se retiran tirándose parcialmente alrededor de los respectivos rodillos 38, 40 y enrollándose alrededor de los respectivos rodillos de recogida 42, 44. El material preimpregnado 26 con las superficies 8, 10 superior e inferior expuestas se transporta después a través de la estación de recubrimiento 36.

En la estación de recubrimiento 36, las partículas 46 del recubrimiento de polvo de material de resina se aplican simultáneamente a las superficies 8, 10 principales opuestas mediante un par de cepillos magnéticos electrostáticos 48, enfrentándose cada uno a una superficie 8, 10 respectiva a recubrir. Tal cepillo magnético electrostático 48 se conoce en la técnica. Una racleta 50 controla la carga de partículas 46 de material de resina en el rodillo de cepillo 52 para proporcionar una capa 53 uniforme de partículas 46 que recubren toda la superficie 8, 10 del material preimpregnado 26. El material preimpregnado 26 recubierto se hace pasar después a través de un par de rodillos de consolidación 54 que tienen típicamente una superficie 56 compuesta de un material liberable tal como PTFE. Los rodillos de consolidación 54 aplican presión y, opcionalmente, calor, para asegurar que las partículas 46 se adhieren con seguridad a las superficies 8, 10 de resina de matriz primarias para formar una capa 53 de recubrimiento homogénea uniforme. Los rodillos de consolidación 54 pueden calentarse opcionalmente para ayudar a la etapa de adhesión, pero a una temperatura que no causa la fusión o curación de la resina o causa que las partículas se sumerjan en la resina de matriz, por ejemplo, a una temperatura mayor que la temperatura ambiente (20 °C) hasta 40 °C.

Después, el material preimpregnado 26 recubierto se transporta a una estación de aplicación 58 de la capa de soporte en la que un alma de soporte 60, 62 de material de liberación, tal como papel recubierto con silicona o material de plástico, por ejemplo, polietileno o polipropileno, se aplica a cada superficie 8, 10 recubierta de polvo. Los almas de soporte 60, 62 se desenrollan cada una a partir de un carrete respectivo 64, 66 y el intercalado 65 del alma de soporte 60, material preimpregnado 26 recubierto, alma de soporte 62 se hace pasar continuamente entre un par de rodillos de aplicación 67 y después a través de un par de rodillos de presión 68.

El conjunto resultante comprende un intercalado 69 de tres capas de capa de material de resina de recubrimiento de polvo/capa de material preimpregnado que comprende refuerzo de fibra en la capa de material de resina de matriz primaria/capa de material de resina de recubrimiento de polvo que se localiza temporalmente entre las capas de

alma de soporte 60, 62.

Tal como se ha descrito anteriormente, en algunas realizaciones, las capas de alma de soporte 60, 62 pueden omitirse cuando las capas de material de resina de recubrimiento de polvo no se autoadhieren cuando el material preimpregnado se enrolla en un rollo.

Típicamente, el material preimpregnado 2, 26 tiene una longitud indeterminada o no específica en la dirección longitudinal de orientación de las fibras 14, y se suministra como un rollo, por ejemplo, sobre un núcleo cilíndrico. El material preimpregnado 2, 26, cuando se usa para fabricar un elemento estructural alargado tal como una tapa de larguero, tal como se ha descrito anteriormente en el presente documento, tiene un ancho relativamente estrecho, de manera que puede fabricarse un larguero o viga alargados. Sin embargo, el material preimpregnado puede fabricarse mediante la formación de una hoja más ancha inicial de longitud no específica, disponiendo de la hoja que posteriormente se corta longitudinalmente en una pluralidad de tiras más estrechas, o se corta para proporcionar una forma plana deseada, definiendo cada una un material preimpregnado respectivo 2.

En referencia a la Figura 6, se muestra un dibujo en perspectiva esquemático que muestra otra realización de un método para la fabricación del material preimpregnado de la Figura 3. En la realización ilustrada, tal como para la realización de la Figura 5, el material preimpregnado 26, disponiendo de las hojas de papel protectoras 30, 32, se retira en los rodillos 38, 40, y después el material preimpregnado 26 se alimenta a través de dos estaciones de recubrimiento 70, 71 sucesivas.

En las estaciones de recubrimiento 70, 71 primera y segunda, las partículas 46 del recubrimiento de polvo de material de resina se aplican sucesivamente a las superficies 8, 10 principales opuestas mediante una dispersión del polvo sobre la superficies 8, 10 bajo la acción de la gravedad. Después de que la superficie superior 8 se haya recubierto en la primera estación de recubrimiento 70, el material preimpregnado 26 recubierto se hace pasar después a través de un primer par de rodillos de consolidación 72 que se calientan opcionalmente y típicamente tienen una superficie 75 compuesta de un material liberable tal como PTFE. Los rodillos de consolidación 72 aplican presión, y calor opcional, para asegurar que las partículas 46 se adhieran con seguridad a la superficie 8 de resina de matriz primaria para formar una capa de recubrimiento homogénea uniforme. Después, el material preimpregnado 26 se hace pasar alrededor de un primer rodillo de inversión 73 para que gire en un ángulo de 180 grados, convirtiéndose la superficie 10 inferior previa en la superficie superior. En el primer rodillo de inversión 73, la superficie 8 recubierta de polvo externa radialmente está recubierta por un primer alma de soporte alargado 74 de material de liberación, tal como papel recubierto con silicona o material de plástico, por ejemplo, polietileno o polipropileno, que se aplica a la superficie 8 recubierta de polvo. El alma de soporte 74 se desenrolla de un carrete 76.

La superficie 10 superior ahora invertida se recubre después mediante partículas 46 del recubrimiento de polvo de material de resina que se aplican a la superficie 10 mediante dispersión del polvo sobre la superficie bajo la acción de gravedad en la segunda estación de recubrimiento 71. El material preimpregnado 26 recubierto de polvo de doble cara se hace pasar después a través de un par de rodillos de consolidación 78 que se calientan opcionalmente y que tienen típicamente una superficie 80 compuesta de un material liberable tal como PTFE. Los rodillos de consolidación 78 aplican presión, y calor opcional, para asegurar que las partículas 46 se adhieran con seguridad a la superficie 10 de resina de matriz primaria para formar una capa de recubrimiento homogénea uniforme. Después, el material preimpregnado 26 se hace pasar alrededor de un segundo rodillo de inversión 82 para que gire en un ángulo de 180 grados, convirtiéndose de nuevo la superficie 8 inferior previa en la superficie superior. El conjunto del material preimpregnado 26 recubierto de polvo de doble cara y el alma de soporte 74 de material de liberación se transporta después a una estación 84 de aplicación de capa de soporte en la que un segundo alma de soporte 86 alargado de material de liberación, tal como papel recubierto con silicona o material de plástico, por ejemplo, polietileno o polipropileno, se aplica a la superficie recubierta de polvo 10. El alma de soporte 86 se desenrolla de un carrete 88 respectivo y el intercalado del primer alma de soporte 74, el material preimpregnado 2 recubierto, el segundo alma de soporte 86 se hace pasar continuamente entre un par de rodillos de aplicación 90.

En referencia a la Figura 7, se muestra un dibujo en perspectiva esquemático que muestra una realización adicional de un método para la fabricación del material preimpregnado de la Figura 3. En la realización ilustrada, tal como para la realización de la Figura 5, el material preimpregnado 26, disponiendo de las hojas de papel protectoras 30, 32, se retira en los rodillos 38, 40, se alimenta a través de una estación de recubrimiento 100 que recubre simultáneamente ambas superficies 8, 10 con una capa de recubrimiento de polvo respectiva.

En la estación de recubrimiento 100, las partículas 46 del recubrimiento de polvo de material de resina se aplican simultáneamente a las superficies 8, 10 principales opuestas mediante respectivas pistolas de pulverización triboelectrostáticas 102, cada una de las cuales pulveriza el polvo sobre una respectiva de las superficies 8, 10 de material preimpregnado opuestas. Las pistolas de pulverización triboelectrostáticas 102 se localizan dentro de una cabina 104 de pulverización cerrada sustancialmente que tiene aberturas 106, 108 aguas arriba y aguas abajo para recibir y emitir el material preimpregnado 26. En la parte inferior de la cabina 104 se proporciona un recolector 136 para pulverizar en exceso el polvo. Aguas abajo de cada pistola de pulverización triboelectrostática 102 hay un respectivo chorro de aire 110, 112 procedente de una respectiva boquilla 114, 116 que está dirigida hacia una

superficie 8, 10 de material preimpregnado respectiva en una orientación trasera aguas arriba. Los chorros de aire 110, 112 empujan las partículas 46 de polvo aguas arriba contra el transporte aguas abajo del material preimpregnado 26 de manera que las partículas 46 de polvo se recubren uniformemente sobre las respectivas superficies 8, 10 de material preimpregnado.

El material preimpregnado 26 recubierto se hace pasar después a través de un par de rodillos de consolidación 118 que se calientan opcionalmente y que tienen típicamente una superficie 120 compuesta de un material liberable tal como PTFE. Los rodillos de consolidación 118 aplican presión, y calor opcional, para asegurar que las partículas 46 se adhieren con seguridad a las superficies 8, 10 de resina de matriz primarias para formar una capa de recubrimiento homogénea uniforme.

Después, el material preimpregnado 26 recubierto se transporta a una estación de aplicación 122 de la capa de soporte en la que un alma de soporte 124, 126 de material de liberación, tal como papel recubierto con silicona o material de plástico, por ejemplo, polietileno o polipropileno, se aplica a cada superficie 8, 10 recubierta de polvo. Los almas de soporte 124, 126 se desenrollan cada una a partir de un carrete 128, 130 respectivo y el intercalado del alma de soporte 124, material preimpregnado 26 recubierto, alma de soporte 126 se hace pasar continuamente entre un par de rodillos de aplicación 132 y después a través de un par de rodillos de presión 134.

Con el fin de fabricar un material compuesto de resina de matriz reforzado con fibra a partir de los materiales preimpregnados de la presente invención, los materiales preimpregnados se laminan como un apilamiento y después se someten a consolidación al vacío y curación.

Durante el laminado de los materiales preimpregnados, tal como se muestra en las Figuras 2 y 4, cada capa de recubrimiento de polvo se dispone adyacente a una capa de recubrimiento de polvo o, si está presente, una superficie de resina de matriz primaria, de un material preimpregnado adyacente del apilamiento. El laminado resultante, particularmente para formar un larguero, puede comprender un único cuerpo plano, aunque pueden emplearse otras formas y configuraciones. Con el fin de modificar el módulo de flexión del larguero a lo largo de su longitud, se conoce el cambio del ancho de sección. En este caso, las secciones en forma de trapecio o triangular, así como las tiras paralelas, también pueden cortarse de la hoja más ancha para evitar el desperdicio de cualquier material preimpregnado.

Las capas de recubrimiento de polvo del material preimpregnado tienen propiedades de transporte de aire de manera que cuando se forma un apilamiento multilaminar de materiales preimpregnados, y el apilamiento multilaminar se somete a vacío en una etapa de consolidación, se puede evacuar fácilmente el aire que está presente cerca de las superficies de los materiales preimpregnados y entre las láminas de material preimpregnado en las interfaces entre las mismas.

En particular, la resina de la capa de recubrimiento de polvo se selecciona de manera que tenga una viscosidad relativamente alta y una adherencia relativamente baja para proporcionar pasos de aire entre los materiales preimpregnados adyacentes que se mantienen durante la consolidación al vacío, mientras que, en comparación, la resina de matriz primaria del material preimpregnado se selecciona de manera que tenga una viscosidad relativamente baja y una adherencia relativamente alta.

La combinación de la resina de matriz primaria y las fibras unidireccionales se selecciona típicamente de manera que proporcione una drapeabilidad relativamente alta y rigidez baja, tanto en (a) dirección de longitud longitudinal, que es la longitud de orientación de las fibras unidireccionales, como en (b) dirección transversal ortogonal a la misma. Las capas de recubrimiento de polvo evitan que las capas de material preimpregnado adyacentes se unan prematuramente entre sí o a las superficies del molde e incluso pueden permitir que las capas de material preimpregnado se deslicen una sobre otra después del laminado y la drapeabilidad del preimpregnado no se disminuye por la presencia de las capas de recubrimiento de polvo.

La capa de recubrimiento de polvo proporciona una rugosidad superficial que incorpora pasos entre las partículas de polvo que mejora la creación y el mantenimiento de la separación entre las superficies de resina de matriz primaria de las capas de material preimpregnado adyacentes en el apilamiento de laminado. Los pasos actúan para proporcionar pasos de aire a lo largo de la longitud de laminado y a través del ancho de laminado que aumenta considerablemente la retirada de aire durante la consolidación al vacío. Esto, a su vez, proporciona un contenido de huecos reducido.

Durante la curación posterior, cuando se fabrica el artículo de material compuesto de matriz de resina reforzado con fibra, los materiales preimpregnados se someten a una temperatura de curación elevada. Esto causa que tanto la resina de matriz fluya como que las partículas de resina se fusionen o disuelvan en la matriz de resina. La resina de las partículas se fusiona o disuelve en la resina de matriz para formar una mezcla de resina que, al menos en las superficies externas de los materiales preimpregnados, es sustancialmente homogénea. Esta mezcla de resina se cura después, y la resina de las partículas se cocura con la resina de matriz para formar un copolímero curado. Por consiguiente, en el material compuesto curado final, la matriz de resina curada final es una única fase, una matriz de resina sustancialmente homogénea que tiene propiedades mecánicas sustancialmente uniformes y altas.

Los materiales preimpregnados de la presente invención tienen una aplicación particular en la fabricación de tapas de larguero de fibra de carbono o fibra de vidrio como parte de un larguero moldeado macho, que comprende un larguero y un conjunto de alma de cizallamiento, para los álabes de turbina eólica fabricados usando materiales preimpregnados en técnicas de fabricación de álabes conocidas típicas. Como alternativa, las tapas de largueros de fibra de carbono o fibra de vidrio pueden formarse como un artículo discreto, por ejemplo, para emplearse en combinación con álabes de turbina eólica fabricados usando una infusión de resina típica. Los materiales preimpregnados de la presente invención también pueden usarse en otras aplicaciones para la fabricación de laminados de material compuesto reforzados con fibra unidireccional de sección espesa.

El material preimpregnado de la presente invención, en particular, permite la producción de laminados de fibra de carbono de bajo contenido de huecos en tapas de largueros moldeados machos.

Cuando se fabrica un producto en donde el elemento estructural alargado se forma integralmente dentro de otras secciones de laminado compuesto del producto, tal como un álabe de turbina eólica donde cada larguero unidireccional está rodeado por material compuesto biaxial, la evacuación de aire puede estar ayudada por el apilamiento de materiales preimpregnados para formar el elemento estructural alargado que está rodeado, durante la fase de consolidación al vacío, por el refuerzo fibroso seco. Estas fibras secas tienen alta permeabilidad y permiten el transporte de gases atrapados de vuelta a la fuente de vacío en un molde de compuesto grande. Tal refuerzo fibroso seco puede estar presente en un material preimpregnado parcialmente impregnado, tal como un material semiimpregnado, o en un producto tal como el material SPRINT® del solicitante, que comprende una capa de resina central discreta con superficies externas de fibra seca.

Cuando los materiales preimpregnados se forman en un apilamiento multilaminar para formar un elemento alargado estructural tal como un larguero, típicamente de 2 a 30 capas de material preimpregnado unidireccional se apilan para proporcionar un espesor de material unidireccional. Dependiendo del diseño de larguero, el material multiaxial se añade después seguido de capas repetidas del material preimpregnado unidireccional, de nuevo otro típicamente de 2 a 30 capas de material preimpregnado unidireccional que se apilan para proporcionar un espesor adicional de material unidireccional en la tapa de larguero. Este proceso puede repetirse para dar un espesor final en la tapa de larguero final de aproximadamente 25 a 75 mm.

El objetivo es maximizar la cantidad de material unidireccional en la tapa de larguero pero añadir las fibras multiaxiales en puntos estratégicos para evitar que la tapa de larguero se someta a una resistencia de pandeo transversal baja, proporcionar una transferencia de cizallamiento suficiente a los almas, y rigidez de torsión, y limitar el espesor de material unidireccional para evitar el agrietamiento por cizallamiento en el apilamiento unidireccional, En general, si se usa material preimpregnado unidireccional de fibra de vidrio, el espesor de los elementos unidireccionales es mayor que si se usa material preimpregnado unidireccional de carbono.

En una realización particularmente preferida, se fabrica un larguero para un álabe de turbina eólica, que contiene secciones unidireccionales de vidrio formadas de típica y aproximadamente 10-25 capas de material preimpregnado apiladas entre sí para proporcionar un espesor unidireccional de 10 a 30 mm y un espesor de tapa de larguero final de 20 a 100 mm. En otra realización preferida, se fabrica un larguero para un álabe de turbina eólica, conteniendo el larguero secciones unidireccionales de carbono formadas de típica y aproximadamente 6 a 40 capas de material preimpregnado apiladas entre sí para proporcionar un espesor unidireccional de 3 a 20 mm y un espesor final de 20 a 60 mm.

La presente invención se describirá ahora en más detalle con referencia a los siguientes Ejemplos no limitantes.

Ejemplo 1

Se fabricó un material preimpregnado completamente impregnado que tiene una resina de matriz de epoxi. Las fibras de carbono eran fibras unidireccionales (UD) que tienen un peso de fibra de 600 gramos por metro cuadrado. El material preimpregnado tenía un contenido de resina del 35 % en peso, basado en el peso del material preimpregnado. La resina de epoxi era una resina de material preimpregnado comercialmente disponible, en particular, una resina de material preimpregnado de epoxi de diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA) que incorpora un sistema de curación de diciandiamida/urea. La resina tenía baja adherencia (clasificación de adherencia QC-2 a 20 °C). La resina está disponible comercialmente a través de Gurit (UK) Limited, Newport, Reino Unido, con el nombre comercial Gurit SPX17551. La resina de matriz de epoxi, denominada resina A, tenía el perfil de viscosidad/temperatura tal como se muestra en la Figura 9.

La clasificación de adherencia es como sigue: ZT: cero adherencia; QC-0: no se adhiere apenas. Superficie seca al tacto; LT-Adherencia baja: dedo enguantado retirado fácilmente después de tocar la superficie; QC-1: se adhiere solo con presión firme. Se separa con mucha facilidad. Superficie bastante seca al tacto; QC-2: se adhiere con presión media. Se separa con mucha facilidad. La superficie tiene alguna adherencia; QC-3: se adhiere con presión ligera. Se separa fácilmente. La superficie tiene alguna adherencia; MT-Adherencia media: dedo enguantado no retirado fácilmente después de tocar la superficie; QC-4: se adhiere con poca presión.

Se separa fácilmente. Ningún movimiento de fibra en la separación; QC-5: se adhiere con poca presión. Se separa con algún esfuerzo. Poco movimiento de fibra en la separación; QC-6: se adhiere con poca/ninguna presión. Se separa con algún esfuerzo. Algún movimiento de fibra en la separación; HT-Adherencia alta: dedo enguantado izquierdo con resina después de tocar la superficie; QC-7: se adhiere sin presión. Se separa con esfuerzo. Fibra deformada en la separación; QC-8: se adhiere sin presión. Se separa con mucho esfuerzo. Deformación de fibra en la separación y «tiras» de resina; QC-9: se adhiere sin presión. Se separa con mucho esfuerzo. Alta deformación de fibra en la separación y «tiras de resina; XT-Adherencia extrema: guante estirado o rasgado al intentar retirarlo de la superficie; QC-10: se adhiere sin presión. No se puede despegar sin destruir la alineación de tejido/fibra.

La producción de un recubrimiento de polvo era como sigue. Se proporcionó una resina de epoxi de DGEBA que tiene un peso equivalente de epoxi de 510-570 $gmol^{-1}$ (medido según la EN ISO 3001) y un punto de ablandamiento de 74-82 °C (medido según la EN ISO 4625). La resina está disponible comercialmente a través de Nan Ya Plastics Corporation of Taipei, Taiwán, con el nombre comercial NPES 601. La resina se molió para dar un polvo que tenía un tamaño de partícula de por debajo de 1.000 micrómetros y una densidad aparente 656 kg/m^3. El polvo no se calibró en un tamaño de partícula controlado.

El material preimpregnado se pesó inicialmente. El polvo se aplicó mediante dispersión uniforme por gravedad a 22 °C sucesivamente a ambas superficies principales del material preimpregnado. El polvo en exceso se cepilló de cada superficie para dejar solo polvo fino adherido a la superficie mediante la adherencia de la resina de matriz de material preimpregnado. El material preimpregnado recubierto de polvo se pesó de nuevo después de cada aplicación de polvo a la superficie respectiva. El recubrimiento de polvo era de 5 gramos por metro cuadrado sobre cada superficie del material preimpregnado. El material preimpregnado resultante se recubrió sustancialmente y estaba libre de adherencia de resina.

El material preimpregnado recubierto de polvo se sometió a ensayo después para determinar su límite de drapeado, límite de adherencia, límite de huecos e intervalo de temperatura para el procesamiento, tal como se ha descrito anteriormente.

Para evaluar la ventana de temperatura para el procesamiento de material preimpregnado, el material preimpregnado se sometió a ensayos a temperaturas incrementales variables para evaluar el drapeado, nivel de huecos, y límites de proceso de adherencia para el material preimpregnado.

Ensayo de drapeado

Se proporcionó un molde con una curvatura en forma de silla de montar que tenía una curvatura seleccionada de manera que cuando se coloca un material preimpregnado sobre el molde, la curvatura convexa induce un aumento progresivo de la presión entre las fibras de material preimpregnado para inducir arrugas en el material preimpregnado, y pandeos de las capas en materiales preimpregnados más rígidos. El material preimpregnado sometido a ensayo usado para evaluar el drapeado comprendía un rollo de 300 mm de ancho del material preimpregnado de fibra de carbono. Después de dejar que el material preimpregnado y el molde se acondicionen a la temperatura de laminado diana, 5 láminas del material preimpregnado se laminaron sobre el molde. Después de que cada capa se había drapeado sobre el molde, se inspeccionó para ondulación de fibra, arrugas y pandeos. La temperatura se redujo progresivamente para encontrar la temperatura límite a la que se formaron ondulaciones de la fibra, arrugas o pandeos en el laminado de apilamiento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo 1 tenía un límite de temperatura de drapeado de 16 °C, que representaba la temperatura mínima a la que podría laminarse el laminado sobre el molde sin dar lugar a la formación de ondulación de fibra, arrugas o pandeos.

Ensayo de adherencia

La adherencia del material preimpregnado se determinó mediante contacto manual y reposicionamiento de los materiales preimpregnados en un apilamiento. Se determinó el límite de adherencia que representaba la temperatura máxima a la que podría manipularse el material preimpregnado en un laminado sobre un molde sin dar lugar a adherencia superficial o una incapacidad para reposicionar el material preimpregnado durante el proceso de laminado.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo 1 tenía un límite de adherencia de 36 °C, que representaba la temperatura máxima a la que podría laminarse el laminado sobre el molde sin dar lugar a una adherencia excesiva.

Ensayo de medición de huecos

Se proporcionó una placa de molde de aluminio cubierta de teflón. Después de dejar que el material preimpregnado y la placa de molde se acondicionen a la temperatura de laminado diana, 20 capas rectangulares del material preimpregnado UD, dimensionadas de 500 mm en la dirección de fibra y 300 mm en la dirección transversal, se

laminaron en la dirección de 0 grados sobre la placa de molde. Un termopar central se usó para supervisar la curación de los materiales preimpregnados del apilamiento de laminado. Para simular el procesamiento al vacío, tal como se conoce bien en la técnica, el apilamiento se recubría en una capa sobredimensionada de capa pelable para proporcionar las conexiones de aire iniciales a los bordes de láminas y superiores del apilamiento. La película de liberación perforada, el tejido transpirable y una bolsa de vacío se ajustaron sobre el conjunto. Los pliegues se usaron en la bolsa de vacío para acomodar la altura del apilamiento de laminado. Después de revisar y corregir cualquier filtración de vacío, el apilamiento se mantuvo con un vacío total durante 1 hora.

El panel de laminado de material preimpregnado consolidado al vacío laminado se sometió después a curación de resina a temperatura elevada, colocándose el panel en un horno ayudado por un ventilador y curándose usando el siguiente ciclo de curación: aumentar la temperatura de laminado hasta 85 °C a 0,16 °C/min; dejar reposar durante 6 horas; aumentar a 2 °C/min hasta 120 °C; después curar durante 3 horas.

El contenido de huecos promedio del material compuesto curado resultante se analizó usando un método óptico. Se tomó una sección transversal a 200 mm de un borde y se pulió. Se tomaron tres imágenes digitales, capturando cada una un área aproximada de 60 mm^2 de laminado, usando un microscopio óptico con una cámara digital. El software de análisis de imágenes Struers Scentis se usó para identificar primero el área de huecos usando un algoritmo de contraste digital y con una etapa de verificación manual antes de calcular el porcentaje de área de huecos.

El contenido de huecos se determinó usando un intervalo de temperaturas de laminado. El límite de huecos se determinó como la temperatura de laminado máxima que se encontró que daba menos del 2 % de contenido de huecos, que se consideraba un nivel de huecos aceptable.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo 1 tenía un límite de huecos mayor de 35 °C, que representaba la temperatura máxima a la que podría laminarse el laminado sobre el molde sin dar lugar a un contenido de huecos excesivo.

A partir de los resultados de ensayo de límite de drapeado, límite de adherencia y límite de huecos del Ejemplo 1, tal como se muestra en la Tabla 1, puede observarse que el material preimpregnado recubierto de polvo del Ejemplo 1 tenía una ventana de temperatura para el procesamiento aceptable de 16 °C a mayor de 35 °C.

Ejemplo 2

El Ejemplo 2 produjo un material preimpregnado recubierto de polvo de manera similar al Ejemplo 1. Sin embargo, la resina de matriz de material preimpregnado era diferente, y se modificó la cantidad de polvo aplicado a las superficies de material preimpregnado.

La resina de matriz de epoxi del material preimpregnado era una resina de material preimpregnado comercialmente disponible, en particular, una resina de material preimpregnado de epoxi de diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA) que incorpora un sistema de curación de diciandiamida/urea disponible comercialmente a través de Gurit (UK) Limited, Newport, Reino Unido, con el nombre comercial Gurit WE91-2. La resina tenía adherencia media (clasificación de adherencia QC-3 a 22 °C). La resina de matriz de epoxi, denominada resina B, tenía el perfil de viscosidad/temperatura tal como se muestra en la Figura 9.

El recubrimiento de polvo era de 7 gramos por metro cuadrado sobre cada superficie del material preimpregnado. El material preimpregnado resultante se recubrió sustancialmente y estaba libre de adherencia de resina.

El material preimpregnado recubierto de polvo se sometió a ensayo después para determinar su límite de drapeado, límite de adherencia, límite de huecos e intervalo de temperatura para el procesamiento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo 2 tenía un límite de temperatura de drapeado de 10 °C, un límite de adherencia de 35 °C, y un límite de huecos mayor de 35 °C, y correspondientemente una ventana de temperatura para el procesamiento aceptable de 10 °C a mayor de 35 °C.

El material preimpregnado recubierto de polvo del Ejemplo 2 también se sometió a ensayo para determinar su permeabilidad al aire

<u>Ensayo de permeabilidad al aire</u>

Un ensayo para permeabilidad en el plano del material preimpregnado proporcionó muestras circulares del material preimpregnado que se sometieron a ensayo para cuantificar la permeabilidad al aire relativa durante el procesamiento de la bolsa de vacío del material preimpregnado. Se midió el tiempo tomado para evacuar un volumen fijo de aire entre dos láminas del material preimpregnado.

La Figura 8 muestra una sección transversal del aparato 800 usado para medir la permeabilidad en el plano radial

del apilamiento de laminado de material preimpregnado de dos láminas. El aparato 800 comprende un placa de aluminio plana 801 que tiene un agujero 802 de entrada de aire radialmente periférico y un agujero 804 de evacuación de salida de aire central. Un conducto de aire respectivo y los conjuntos de válvula 806, 808 de control de estanqueidad de aire se ajustaron a cada agujero 802, 804, y un manómetro respectivo (no mostrado) se proporciona para medir la presión en las posiciones radiales centrales y externas. Una primera muestra de ensayo 810 de material preimpregnado anular que tiene un diámetro externo de 250 mm y un diámetro interno de 36 mm se colocó de manera que el agujero 804 de evacuación estaba en el centro axial circular de la muestra de ensayo 810 anular. Un disco 812 de 46 mm de diámetro de material de malla altamente permeable al aire (disponible comercialmente a través de Airtech con el nombre comercial Breatherflow 20) se colocó después centralmente sobre la abertura 813 circular central en la muestra de ensayo 810. Un disco 814 anular más grande del mismo material de malla altamente permeable que tiene un diámetro externo de 400 mm y un diámetro interno de 240 mm se colocó después centralmente para solapar el borde 815 circunferencial periférico de la muestra de ensayo 810. Una segunda muestra de ensayo 816 de material preimpregnado anular que tiene un diámetro externo de 250 mm y un diámetro interno de 36 mm se colocó coaxialmente sobre la parte superior de la muestra de ensayo 810 y los discos 812, 814 de malla de manera que la malla permeable se localizó entre las dos muestras de ensayo 810, 816 de material preimpregnado. El espesor de los discos 812, 814 de malla proporcionaron un volumen de aire dentro del material de malla. Los agujeros 802, 804 de entrada y de salida estaban conectados mediante los discos 812, 814 de malla. El volumen de aire en el disco 814 de malla externo debe fluir entre las dos muestras de ensayo 810, 816 de material preimpregnado para evacuarse desde el agujero 804 de salida.

Una capa 822 autoadhesiva no porosa se colocó en la parte superior del apilamiento 824 de material preimpregnado y se aplicó un sello 826 perimetral, tal como es bien conocido por los expertos en la materia. Después, se ajustaron una capa de tejido transpirable y una bolsa 828 de vacío externa, de nuevo tal como es bien conocido por los expertos en la materia.

Este conjunto de ensayo aísla un volumen fijo de aire en el disco 814 de malla radial externo que tiene que fluir radialmente al agujero 804 de salida central. Mediante la supervisión de la presión en el conducto de aire y de los conjuntos de válvula 806, 808 de control de estanqueidad de aire en las posiciones radiales externas y centrales, puede determinarse el tiempo para evacuar el apilamiento laminado de material preimpregnado y la permeabilidad relativa del material preimpregnado.

Inicialmente, los conjuntos de válvula 806, 808 radiales centrales y externos se abrieron para ventilar el apilamiento 824 de muestra de ensayo de material preimpregnado a presión atmosférica. El conjunto de válvula 806 para el agujero 802 de entrada se cerró y después se aplicó vacío mediante una bomba de vacío (no mostrada) conectada al agujero 804 de salida central, que después evacuó la bolsa 828 externa para simular el procesamiento de vacío normal. Los conjuntos de válvula 806, 808 se cerraron después.

El conjunto de válvula 806 de entrada radial externo se abrió después para permitir que el aire entrara en el disco 814 de malla externo y después se cerró para sellar un volumen fijo de aire en la bolsa 828 que contiene el apilamiento 824 de muestra de ensayo de material preimpregnado. El conjunto de válvula 808 que aísla el agujero 804 de salida central se abrió después y las presiones en los agujeros 802, 804 de entrada externos y de salida centrales se supervisaron para registrar el cambio de presión con respecto al tiempo para evacuar el sistema. Después se dejó entrar de vuelta el aire atmosférico en el apilamiento 824 de la muestra de ensayo de material preimpregnado y el ensayo se repitió para examinar la permeabilidad al aire después de un ciclo de descarga de vacío fijo para evaluar la robustez del material para consolidar las fuerzas que pueden cerrar localmente las vías de ventilación.

Los resultados de permeabilidad al aire para el Ejemplo 2, que muestran la relación entre % de vacío y tiempo, para diversas temperaturas y condiciones se muestran en la Tabla 2 y las Figuras 10 a 13.

El ensayo de permeabilidad al aire se llevó a cabo en los materiales preimpregnados del Ejemplo 2 a una temperatura de 17,6 °C sin una descarga de vacío (Figura 10) y a una temperatura de 17,6 °C después de una descarga de vacío (Figura 11), y también a una temperatura de 25,1 °C sin una descarga de vacío (Figura 12) y a una temperatura de 25,5 °C después de una descarga de vacío (Figura 13).

Puede observarse que en estos ensayos se alcanzó consistentemente un nivel de vacío alto, un nivel de vacío alto que indica alta permeabilidad al aire de la interfaz entre las láminas de resina.

Ejemplo comparativo 1

Tal como el Ejemplo comparativo 1, el material preimpregnado del Ejemplo 1 no se recubrió con ningún polvo de resina y se sometió a los mismos ensayos de drapeado, adherencia y huecos tal como el material preimpregnado del Ejemplo 1. En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1 tenía un límite de temperatura de drapeado de 16 °C, un límite de adherencia de 27 °C, y un límite de huecos de 18 °C. En otras palabras, una comparación del Ejemplo 1 y el Ejemplo comparativo 1 muestra que la adición del recubrimiento de polvo sobre las superficies de material preimpregnado disminuyó la adherencia y disminuyó el contenido de

huecos, mientras que el drapeado permaneció igual. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1 tenía una ventana de temperatura inferior para un procesamiento aceptable de 16 °C a 18 °C.

Por lo tanto, la adición del recubrimiento de polvo al material preimpregnado aumentó con la ventana de temperatura de procesamiento del material preimpregnado.

El ensayo de permeabilidad al aire se llevó a cabo en los materiales preimpregnados del Ejemplo comparativo 1 a una temperatura de 18,1 °C sin una descarga de vacío (Figura 10) y a una temperatura de 17,3 °C después de una descarga de vacío (Figura 11), y también a una temperatura de 24,1 °C sin una descarga de vacío (Figura 12) y a una temperatura 24,1 °C después de una descarga de vacío (Figura 13). En la Tabla 2 se muestran los resultados.

Ejemplo comparativo 2

Tal como el Ejemplo comparativo 2, el material preimpregnado del Ejemplo 2 no se recubrió con ningún polvo de resina y se sometió a los mismos ensayos de drapeado, adherencia y huecos tal como el material preimpregnado del Ejemplo 2.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1 tenía un límite de temperatura de drapeado de 10 °C, un límite de adherencia de 24 °C, y un límite de huecos de 12 °C.

En otras palabras, una comparación del Ejemplo 2 y el Ejemplo comparativo 2 muestra que la adición del recubrimiento de polvo sobre las superficies de material preimpregnado disminuyó la adherencia y disminuyó el contenido de huecos, mientras que el drapeado permaneció igual. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1 tenía una ventana de temperatura inferior para un procesamiento aceptable de 10°C a 12°C.

Ejemplo comparativo 3

Tal como el Ejemplo comparativo 3, el material preimpregnado del Ejemplo 2, incluyendo la resina B de matriz, no se recubrió con ningún polvo de resina. En cambio, las superficies principales de material preimpregnado se recubrieron con una gasa difusora de poliéster unida a PVAC, que tiene un peso de tejido de 3,3 g/m^2, y estructura fibrosa tal como se ilustra en la Figura 16, tal como se divulga generalmente en el documento EP-A-1595689. El material preimpregnado recubierto de gasa difusora se sometió a los mismos ensayos de drapeado, adherencia y huecos que el material preimpregnado del Ejemplo 2, y los resultados se muestran en la Tabla 1. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 3 tenía un límite de temperatura de drapeado de 10 °C, un límite de adherencia de 24 °C, y un límite de huecos de 31 °C. En otras palabras, una comparación del Ejemplo 2 y el Ejemplo comparativo 3 muestra que la adición del polvo, según la invención, sobre las superficies de material preimpregnado, en lugar de la gasa difusora de poliéster conocida, disminuyó la adherencia y disminuyó el contenido de huecos, mientras que el drapeado permaneció igual. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 3 tenía una ventana de temperatura inferior para un procesamiento aceptable de 10 °C a 24 °C, en comparación con el Ejemplo 2 que tenía un intervalo de 10 °C a mayor de 35 °C.

El ensayo de permeabilidad al aire se llevó a cabo en los materiales preimpregnados del Ejemplo comparativo 3 a una temperatura de 17,7 °C sin una descarga de vacío (Figura 10) y a una temperatura de 18 °C después de una descarga de vacío (Figura 11), y también a una temperatura de 24,9 °C sin una descarga de vacío (Figura 12) y a una temperatura de 22,4 °C después de una descarga de vacío (Figura 13), y también a una temperatura de 38,0 °C sin una descarga de vacío (Figura 14) y a una temperatura de 38,0 °C después de una descarga de vacío (Figura 15). En la Tabla 2 se muestran los resultados.

Ejemplos comparativos 4 y 5

Tal como el Ejemplo comparativo 4, el material preimpregnado del Ejemplo 1, incluyendo la resina A de matriz, no se recubrió con ningún polvo de resina. En cambio, durante la fabricación del material preimpregnado, en donde dos películas de resina se impregnaron en los lados opuestos de una capa de tejido central, se aplicó una de las películas de resina como tiras paralelas. En el material preimpregnado resultante, una superficie de material preimpregnado tenía bandas paralelas de fibras no impregnadas. Las bandas tenían un ancho de 6 mm y se espaciaron en centros de 40 mm. Tal estructura de material preimpregnado se divulga generalmente en el documento WO-A-2012/052272 en el nombre de Gurit (UK) Limited. Ambas superficies principales de material preimpregnado se recubrieron también con una gasa difusora de poliéster unida a PVAC tal como se usa en el Ejemplo comparativo 3. El material preimpregnado recubierto de gasa difusora con áreas de canal de tejido seco se sometió a los mismos ensayos de drapeado, adherencia y huecos que el material preimpregnado del Ejemplo 1, y los resultados se muestran en la Tabla 1. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 4 tenía un límite de temperatura de drapeado de 16 °C, un límite de adherencia de 27 °C, y un límite de huecos de 33 °C.

En otras palabras, una comparación del Ejemplo 1 y el Ejemplo comparativo 4 muestra que la adición del polvo, según la invención, sobre las superficies de material preimpregnado, en lugar de la combinación de la gasa difusora de poliéster y los canales de fibra seca conocidos, disminuyó la adherencia y disminuyó el contenido de huecos,

mientras que el drapeado permaneció igual. El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 4 tenía una ventana de temperatura inferior para un procesamiento aceptable de 16°C a 27°C, en comparación con el Ejemplo 1 que tenía un intervalo de 16°C a mayor de 35 °C.

El material preimpregnado del Ejemplo comparativo 5 era el mismo que el del Ejemplo comparativo 4 excepto que incluye la resina B de matriz en lugar de la resina A de matriz.

El ensayo de permeabilidad al aire se llevó a cabo en los materiales preimpregnados del Ejemplo comparativo 5 a una temperatura de 17,8 °C sin una descarga de vacío (Figura 10) y a una temperatura de 17,6 °C después de una descarga de vacío (Figura 11), y también a unas temperaturas de 23 y 25,7 °C sin una descarga de vacío (Figura 12) y a unas temperaturas de 22,4 y 24,3 °C después de una descarga de vacío (Figura 13). En la Tabla 2 se muestran los resultados.

Ejemplos 3 a 8

Los Ejemplos 3 a 8 produjeron cada uno un material preimpregnado recubierto de polvo de manera similar al Ejemplo 2. Sin embargo, la resina de matriz de material preimpregnado era diferente, el tamaño de partícula de polvo era diferente, se modificó la cantidad de polvo aplicado a las superficies de material preimpregnado, y se modificaron el proceso y las condiciones de aplicación de polvo.

El material preimpregnado era el mismo que el del Ejemplo 2, que incorpora la resina de matriz de epoxi denominada resina B.

La producción de un recubrimiento de polvo era como sigue. Se proporcionó una resina de epoxi de DGEBA que tiene un peso equivalente de epoxi de 840-900 $gmol^{-1}$ (medido según la EN ISO 3001) y un punto de ablandamiento de 110-112°C (medido según la EN ISO 4625). La resina está disponible comercialmente a través de Nan Ya Plastics Corporation of Taipei, Taiwán, con el nombre comercial NPES 904H. La resina se molió para dar un polvo y después se calibró en una serie de intervalos de tamaño de partícula usando una serie de tamices de malla de alambre tejido conforme a la IOS 3310.

El Ejemplo 3 tenía un tamaño de partícula de 88-125 micrómetros. El Ejemplo 4 tenía un tamaño de partícula de 125-177 micrómetros. El Ejemplo 5 tenía un tamaño de partícula de 177-250 micrómetros. El Ejemplo 6 tenía un tamaño de partícula de 250-354 micrómetros. El Ejemplo 7 tenía un tamaño de partícula de 354-500 micrómetros. El Ejemplo 8 tenía un tamaño de partícula de 500-707 micrómetros.

El polvo de particulado se dispersó sobre cada superficie principal de material preimpregnado. En cada Ejemplo, el recubrimiento de polvo era de 20 gramos por metro cuadrado sobre cada superficie del material preimpregnado.

La Figura 17 es una fotomicrografía que muestra una vista en perspectiva de un material preimpregnado recubierto con una capa de recubrimiento de polvo según una realización de la presente invención. La imagen se toma con el material preimpregnado en un ángulo inclinado para dar una mejor perspectiva lateral de las partículas que sobresalen de la superficie de, y parcialmente incrustadas en, la resina de matriz. Debido a una profundidad de campo limitada en la fotomicrografía, la imagen está ligeramente fuera de foco en el borde próximo (en la parte inferior de la imagen). En este ejemplo, el material preimpregnado incluye una resina de matriz de Resina B como los Ejemplos 3 a 8 y las partículas de polvo se aplican en un peso de recubrimiento de 20 gsm y comprenden polvo de CHS-Epoxy 160, disponiendo de un tamaño de partícula calibrado para que sea de 250 a 500 micrómetros. CHS-Epoxy 160 es una resina de epoxi de DGEBA que tiene un peso equivalente de epoxi de 600-650 $gmol^{-1}$ (medido según la EN ISO 3001) y un punto de ablandamiento de 83-93 °C (medido según la EN ISO 4625) y está disponible comercialmente a través de Spolchemie, República Checa, con el nombre comercial CHS-Epoxy 160. Las marcas de regla están a 1 mm de espacio. El patrón de diamante en la superficie de resina de matriz es la textura original, incluyendo las líneas rebajadas formadas en la superficie de la resina de matriz, que se imprimen mediante un soporte de polietileno en relieve que cubre las superficies del material preimpregnado inicial antes del recubrimiento de polvo. El recubrimiento de polvo en esta realización forma una capa de partículas discontinua sobre la superficie de resina de matriz, aunque en otras realizaciones la capa de partículas puede ser continua.

En referencia de nuevo a los Ejemplos 3 a 8, después de la aplicación del recubrimiento de polvo, cada superficie recubierta se recubrió con una capa de soporte polimérica y se aplicó una presión de consolidación de 0,1 MPa (1 bar) a una temperatura ambiente de 23 °C durante 2 minutos para presionar el polvo sobre las superficies de material preimpregnado. El material preimpregnado resultante se recubrió sustancialmente y estaba libre de adherencia de resina. Las partículas de polvo se presionaron parcialmente en, y sobresalieron por encima de, la superficie de resina de matriz mediante la presión de consolidación aplicada.

El material preimpregnado recubierto de polvo de estos Ejemplos se sometió a ensayo después para determinar su límite de drapeado, límite de adherencia, límite de huecos e intervalo de temperatura para el procesamiento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado de los Ejemplos 3 a 8 tenían todos un límite de

temperatura de drapeado de 10 °C, un límite de adherencia mayor de 38 °C, y un límite de huecos mayor de 38 °C, y correspondientemente una ventana de temperatura para el procesamiento aceptable de 10 °C a mayor de 38 °C.

El material preimpregnado recubierto de polvo de los Ejemplos 3 a 8 también se sometió a ensayo para determinar su permeabilidad al aire.

Los resultados de permeabilidad al aire para los Ejemplos 3 a 8, que muestran la relación entre % de vacío y tiempo, para diversas temperaturas y condiciones se muestran en la Tabla 2 y las Figuras 14 a 15.

El ensayo de permeabilidad al aire se llevó a cabo en los materiales preimpregnados de los Ejemplos 3 a 8 a una temperatura de 36 o 37 °C tanto sin una descarga de vacío (Figura 14) como después de una descarga de vacío (Figura 15).

Puede observarse que en estos ensayos se alcanzó consistentemente un nivel de vacío alto, un nivel de vacío alto que indica alta permeabilidad al aire de la interfaz entre las láminas de resina.

Ejemplos 9 a 11

Los Ejemplos 9 a 11 produjeron cada uno un material preimpregnado recubierto de polvo de manera similar al Ejemplo 2. Sin embargo, la resina de matriz de material preimpregnado era diferente, el tamaño de partícula de polvo era diferente, se modificó la cantidad de polvo aplicado a las superficies de material preimpregnado, y se modificaron el proceso y las condiciones de aplicación de polvo.

El material preimpregnado era el mismo que el del Ejemplo 2, que incorpora la resina de matriz de epoxi denominada resina B.

La producción de un recubrimiento de polvo era como sigue. Se proporcionó una resina de epoxi de DGEBA que tiene un peso equivalente de epoxi de 600-650 $gmol^{-1}$ (medido según la EN ISO 3001) y un punto de ablandamiento de 83-93°C (medido según la EN ISO 4625). La resina está disponible comercialmente a través de Spolchemie, República Checa, con el nombre comercial CHS-Epoxy 160. La resina se molió para dar un polvo y después se calibró en una serie de intervalos de tamaño de partícula usando una serie de tamices de malla de alambre tejido conforme a la IOS 3310.

El Ejemplo 9 tenía un tamaño de partícula de 250-354 micrómetros. El Ejemplo 10 tenía un tamaño de partícula de 354-500 micrómetros. El Ejemplo 11 tenía un tamaño de partícula de 500-707 micrómetros.

El polvo de particulado se dispersó sobre cada superficie principal de material preimpregnado. En cada Ejemplo, el recubrimiento de polvo era de 20 gramos por metro cuadrado sobre cada superficie del material preimpregnado.

Después de la aplicación del recubrimiento de polvo, cada superficie recubierta se recubrió con una capa de soporte polimérica y se aplicó una presión de consolidación de 0,1 MPa (1 bar) a una temperatura ambiente de 23 °C durante 2 minutos para presionar el polvo sobre las superficies de material preimpregnado. El material preimpregnado resultante se recubrió sustancialmente y estaba libre de adherencia de resina. Las partículas de polvo se presionaron parcialmente en, y sobresalieron por encima de, la superficie de resina de matriz mediante la presión de consolidación aplicada.

El material preimpregnado recubierto de polvo de estos Ejemplos se sometió a ensayo después para determinar su límite de drapeado, límite de adherencia, límite de huecos e intervalo de temperatura para el procesamiento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados. El material preimpregnado de los Ejemplos 9 a 11 tenían todos un límite de temperatura de drapeado de 10 °C, un límite de adherencia mayor de 38 °C, y un límite de huecos mayor de 38 °C, y correspondientemente una ventana de temperatura para el procesamiento aceptable de 10 °C a mayor de 38 °C.

<u>Ejemplo comparativo 6</u>

Tal como el Ejemplo comparativo 6, se aplicó talco a la superficie de resina del material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1. El talco tenía un intervalo de tamaño de partícula entre 0,07 y 4 micrómetros y proporcionó una transpiración deficiente de un apilamiento de laminado y las partículas de talco se impregnan rápidamente de la resina durante el almacenamiento del material preimpregnado recubierto de talco.

<u>Ejemplo comparativo 7</u>

Tal como el Ejemplo comparativo 7, las esferas de vidrio, tal como un producto que está disponible comercialmente a través de 3M con el nombre comercial K20, se aplicaron a la superficie de resina del material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1. La especificación de partícula del fabricante para este grado era d(0,1)=30 micrómetros,

d(0,5)=60, d(0,9)= 90 micrómetros. Los niveles de huecos y de adherencia se redujeron por debajo de 30 °C pero las esferas de vidrio produjeron niveles de huecos más altos con transpiración deficiente de un apilamiento de laminado por encima de 30 °C. Las esferas de vidrio se impregnaron de resina durante el almacenamiento del material preimpregnado recubierto de esferas de vidrio.

Ejemplo comparativo 8

Tal como el Ejemplo comparativo 8, las partículas de diciandiamida con d(0,5) de 1-2 micrómetros, d(0.9)< menor de 5 micrómetros, se aplicaron a la superficie de resina del material preimpregnado del Ejemplo comparativo 1. Las partículas de diciandiamida proporcionaron una transpiración deficiente de un apilamiento de laminado y las partículas de diciandiamida se impregnaron rápidamente de resina durante el almacenamiento del material preimpregnado recubierto de partículas de diciandiamida.

Cabe destacar que los Ejemplos comparativos mostraron todos un gran descenso en la permeabilidad después del ciclo de descarga indicando que eran sensibles a la aplicación de presión. Esto puede conducir a un mayor riesgo de defectos resultantes de presiones más altas localizadas, por ejemplo, en los puntos de puenteado de material preimpregnado, bordes de panel de material preimpregnado), y si se detiene y reinicia el ciclo de curación. Los materiales de resina preferidos para el recubrimiento de polvo puede mantener la permeabilidad incluso después de un ciclo de descarga.

Ejemplos 12 y 13

Un material preimpregnado de fibra de carbono unidireccional que comprende un material de matriz de resina de epoxi (SE84LV) se recubrió con una selección de termoplásticos tal como se desglosa en la Tabla 3. El peso de recubrimiento era de 5 a 40 g/m^2. Se recubrió un lado del material preimpregnado se recubrió para asegurar que el material tuviera suficiente adherencia para crear un laminado. Todo el laminado se curó durante una hora a 120 °C usando curación de bolsa de vacío.

El endurecimiento resultante, tal como se mide mediante los experimentos de GIC y/o GIIC, también se muestra en la Tabla 3.

Puede observarse que las partículas de aditivo de endurecimiento termoplástico aumentaron significativamente el endurecimiento a la fractura del material compuesto resultante.

Tabla 1

	Resina	**Formato**	**°C de límite de drapeado**	**°C de límite de adherencia**	**°C de límite de huecos**	**°C de ventana de proceso**
Ej. comp. 1	A	Material preimpregnado convencional/sin polvo	16	27	18	16-18
Ej. comp. 2	B	Material preimpregnado convencional/sin polvo	10	24	12	10-12
Ej. comp. 3	B	Ambos lados de gasa difusora/sin polvo	10	24	31	10-24
Ej. comp. 4	A	Un lado de canales secos/ambos lados de gasa difusora/sin polvo	16	27	33	16-27
Ejemplo 1	A	2 x 5 gsm de polvo (no calibrado)	16	36	>35	16-35+
Ejemplo 2	B	2 x 7 g/m^2 (no calibrado)	10	35	>35	10-35+
Ejemplo 6	B	2 x (250-354 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+
Ejemplo 7	B	2 x (354-500 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+
Ejemplo 8	B	2 x (500-707 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+

	Resina	Formato	°C de límite de drapeado	°C de límite de adherencia	°C de límite de huecos	°C de ventana de proceso
Ejemplo 9	B	2 x (250-354 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+
Ejemplo 10	B	2 x (354-500 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+
Ejemplo 11	B	2 x (500-707 µm 20 g/m^2)	10	>38	>38	10-38+

Tabla 2

			Temp. de ensayo 17-18 °C		**Temp. de ensayo 22-26 °C**		**Temp. de ensayo 36-38 °C**	
	Resina	Formato de material preimpregnado	Antes de descarga	Después de 20 min de descarga	Antes de descarga	Después de 20 min de descarga	Antes de descarga	Después de 20 min de descarga
Ej. comp. 1	A	Material preimpregnado convencional/sin polvo	49,0 %	0,8 %	17,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Ej. comp. 2	B	Material preimpregnado convencional/sin polvo			0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Ej. comp. 3	B	Ambos lados de gasa difusora/sin polvo	69,6 %	47,1 %	43,0 %	14,6 %	21,0 %	18,8 %
Ej. comp. 5	B	Un lado de canales secos/ambos lados de gasa difusora/sin polvo	85,3 %	75,3 %	52,1 %	53,0 %		
Ej. 2	B	2 x 7 gsm (no calibrado)	91,6 %	80,3 %	85,9 %	78,5 %		
Ej. 3	B	2 x (88-125 µm 20 g/m^2)					86,9 %	87,7 %
Ej. 4	B	2 x (125-177 µm 20 g/m^2)					96,4 %	94,0 %
Ej. 5	B	2 x (177-250 µm 20 g/m^2)					96,0 %	94,1 %
Ej. 6	B	2 x (250-354 µm 20 g/m^2)					98,6 %	97,2 %
Ej. 7	B	2 x (354-500 µm 20 g/m^2)					96,9 %	96,1 %
Ej. 8	B	2 x (500-707 µm 20 g/m^2)					99,4 %	99,4 %

Tabla 3

	Partícula	Tamaño de partícula	Punto de fusión	Endurecimiento
Ejemplo 12	Termoplástico de fenoxi	110-200 micrómetros	~110 °C	aumento del 50 % en GIC en comparación con el mismo material preimpregnado sin recubrimiento de partícula
Ejemplo 13	Caucho de nitrilo	50 micrómetros (mediana)	>160 °C	aumento del 50-200 % en GIIC (mayor con mayores pesos de recubrimiento) en comparación con el mismo material preimpregnado sin recubrimiento de partícula

REIVINDICACIONES

1. Un material preimpregnado para la fabricación de un material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el material preimpregnado un cuerpo que comprende una capa de refuerzo fibroso impregnado con un material de resina de matriz, y una capa de recubrimiento de polvo sobre al menos una superficie principal del cuerpo y adherida al material de resina de matriz, incluyendo la capa de recubrimiento de polvo partículas que sobresalen hacia fuera del material de resina de matriz y siendo porosa al flujo de aire en una dirección a lo largo del plano de la capa de revestimiento de polvo, donde las partículas comprenden un material de resina que es copolimerizable con el material de resina de matriz.

2. Un material preimpregnado según la reivindicación 1, donde el cuerpo tiene dos superficies principales opuestas y la capa de recubrimiento de polvo está en ambas superficies principales.

3. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la capa de refuerzo fibroso está completamente impregnada del material de resina de matriz.

4. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el material preimpregnado es alargado y se extiende en una dirección longitudinal y la capa de refuerzo fibroso es un refuerzo fibroso unidireccional que se extiende en la dirección longitudinal del material preimpregnado.

5. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la capa de recubrimiento de polvo incluye partículas que tienen un tamaño de partícula de 25 a 2.000 µm, opcionalmente de 50 a 1.000 µm, más opcionalmente de 75 a 750 µm, aún más opcionalmente de 100 a 600 µm, todavía más opcionalmente de 175 a 500 µm, aún más opcionalmente de 250 a 500 µm, preferentemente, donde al menos el 50 % de las partículas de la capa de recubrimiento de polvo son partículas que tienen un tamaño de partícula de 25 a 2.000 µm, opcionalmente de 50 a 1.000 µm, más opcionalmente de 75 a 750 µm, aún más opcionalmente de 100 a 600 µm, todavía más opcionalmente de 175 a 500 µm, aún más opcionalmente de 250 a 500 µm.

6. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la capa de recubrimiento de polvo tiene un peso de recubrimiento de 5 a 50 gramos por metro cuadrado, opcionalmente de 10 a 30 gramos por metro cuadrado, más opcionalmente de 15 a 25 gramos por metro cuadrado.

7. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la capa de recubrimiento de polvo comprende sustancialmente una monocapa de partículas de polvo sobre la superficie principal del cuerpo, siendo la monocapa opcionalmente continua o discontinua, y/o donde la capa de recubrimiento de polvo comprende partículas de polvo parcialmente incrustadas en el material de resina de matriz en la superficie principal del cuerpo.

8. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la capa de recubrimiento de polvo comprende partículas de polvo que tienen un peso de recubrimiento de 15 a 25 gramos por metro cuadrado de partículas que tienen un tamaño de partícula de 250-500 µm, comprendiendo más opcionalmente partículas de polvo adicionales en un peso de recubrimiento de 1 a 5 gramos por metro cuadrado de partículas que tienen un tamaño de partícula de 2-100 µm.

9. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el material de resina de matriz y el material de resina del recubrimiento de polvo se componen ambos de una resina termoestable, donde opcionalmente la resina de las partículas y la resina de matriz cuando se curan forman una matriz de resina curada de fase única, donde más opcionalmente el material de resina de matriz y el material de resina del recubrimiento de polvo son ambos resina de epoxi.

10. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde cuando el material de resina del recubrimiento de polvo y el material de resina de matriz están en un estado fundido, el material de resina del recubrimiento de polvo es soluble en el material de resina de matriz y/o donde el material de resina del recubrimiento de polvo tiene un punto de fusión más alto que el material de resina de matriz, donde opcionalmente el punto de fusión del polvo está por debajo de 85 °C, y/o donde el material de resina del recubrimiento de polvo tiene una Tg más alta que el material de resina de matriz.

11. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde para al menos una mayoría de las partículas en la capa de recubrimiento de polvo, más del 50 % de la altura de partícula se expone por encima de la superficie de resina de matriz.

12. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el material de resina del recubrimiento de polvo tiene una adherencia más baja que el material de resina de matriz al menos sobre un intervalo de temperatura de 20 a 30 °C, opcionalmente al menos sobre un intervalo de temperatura de 10 a 35 °C, u opcionalmente al menos sobre un intervalo de temperatura de 20 a 40 °C.

13. Un material preimpregnado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores formado como un rollo enrollado

del material preimpregnado, donde las capas de recubrimiento de polvo de capas de material preimpregnado adyacentes del rollo directamente entran en contacto entre sí, estando las capas de recubrimiento de polvo adyacentes sustancialmente no adheridas entre sí.

14. Un método de fabricación de un elemento estructural de material compuesto reforzado con fibra, comprendiendo el método las etapas de:

(a) proporcionar una pluralidad de materiales preimpregnados según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13;
(b) ensamblar la pluralidad de materiales preimpregnados como un apilamiento de los mismos de manera que la capa de recubrimiento de polvo de al menos uno de los materiales preimpregnados es adyacente a una capa recubierta de polvo o superficie de resina de matriz de un material preimpregnado adyacente para formar al menos un paso de aire entre los materiales preimpregnados;
(c) someter el apilamiento a un vacío para consolidar el apilamiento y retirar el aire de entre los materiales preimpregnados adyacentes del apilamiento, ventilando el al menos un paso de aire el aire de entre los materiales preimpregnados; y
(d) curar el material de resina de matriz para formar el elemento estructural.

15. Uso de un material preimpregnado según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 para la fabricación de un elemento estructural alargado de material compuesto reforzado con fibra, en particular, un larguero o viga.

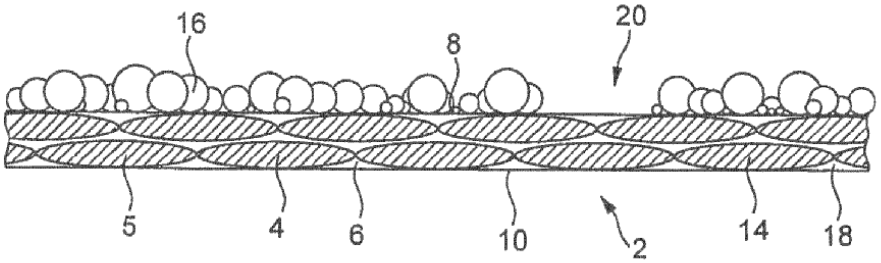

FIG. 1

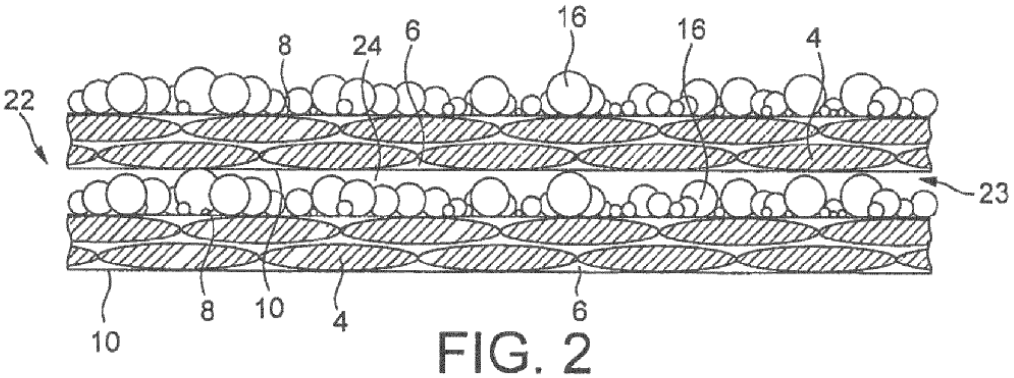

FIG. 2

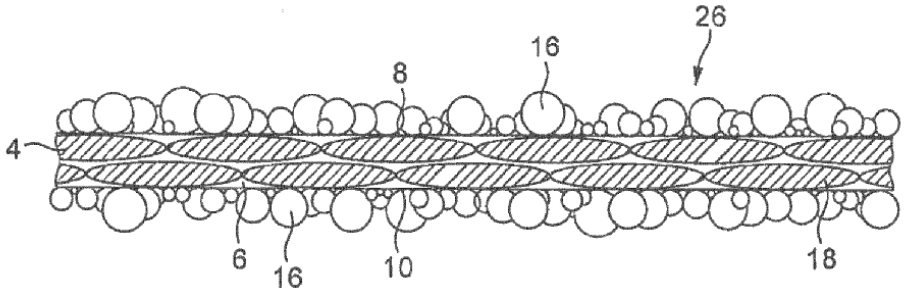

FIG. 3

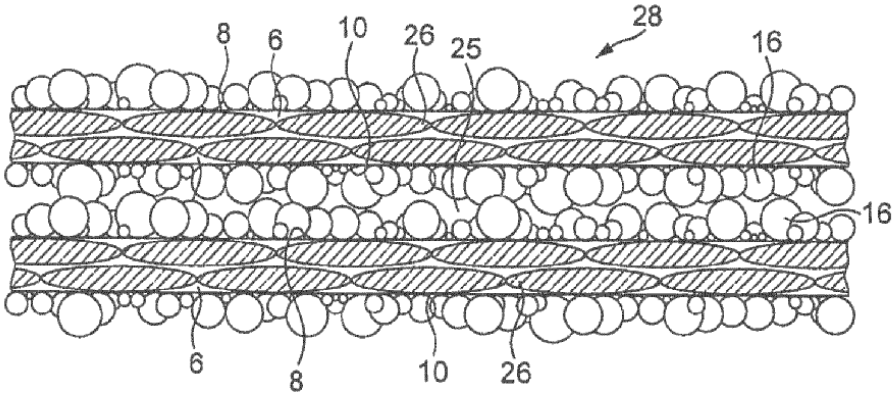

FIG. 4

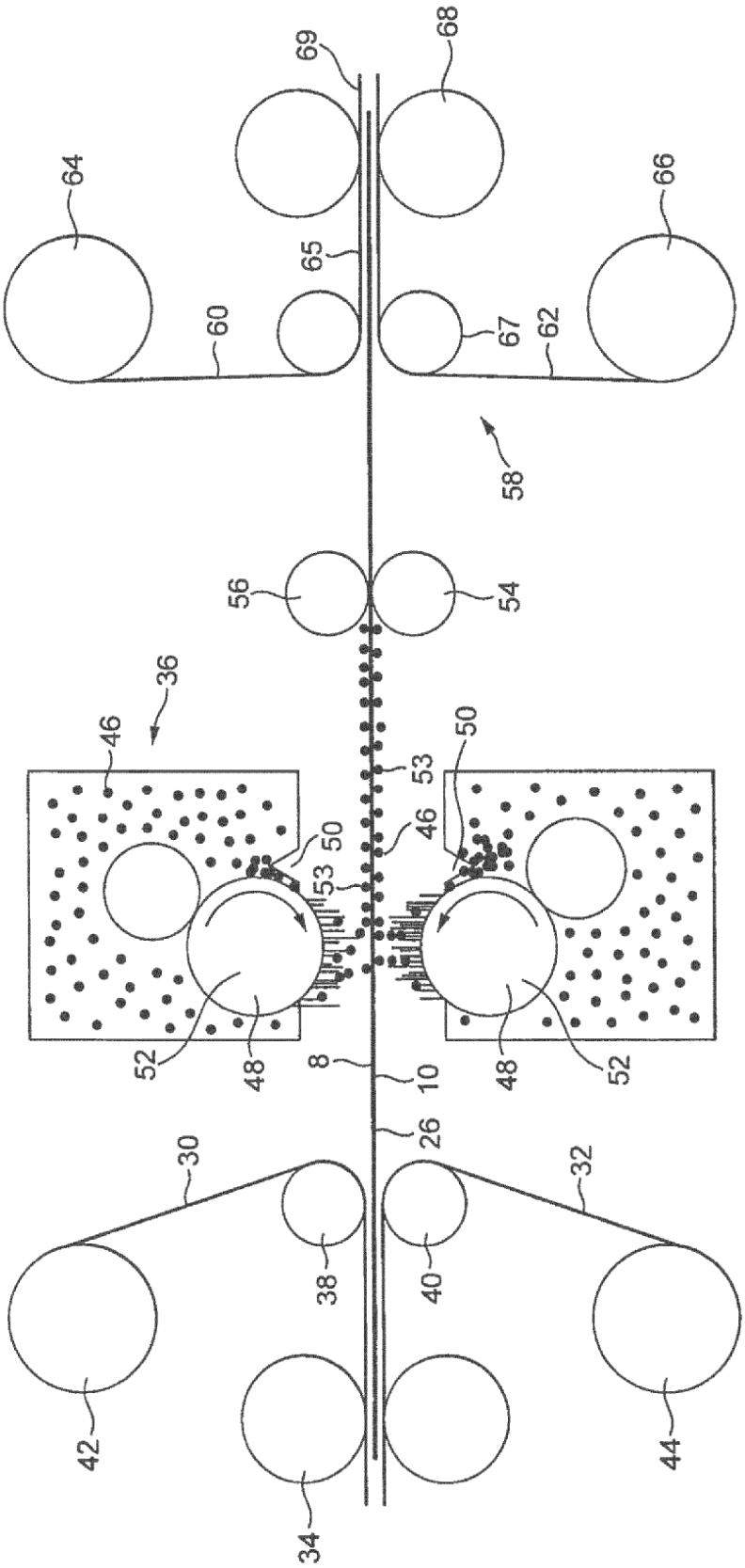
64
60
69
65
68
67
62
66
58
56
54
36
46
50
53
52
48
8
10
26
30
38
40
32
42
34
44

FIG. 5

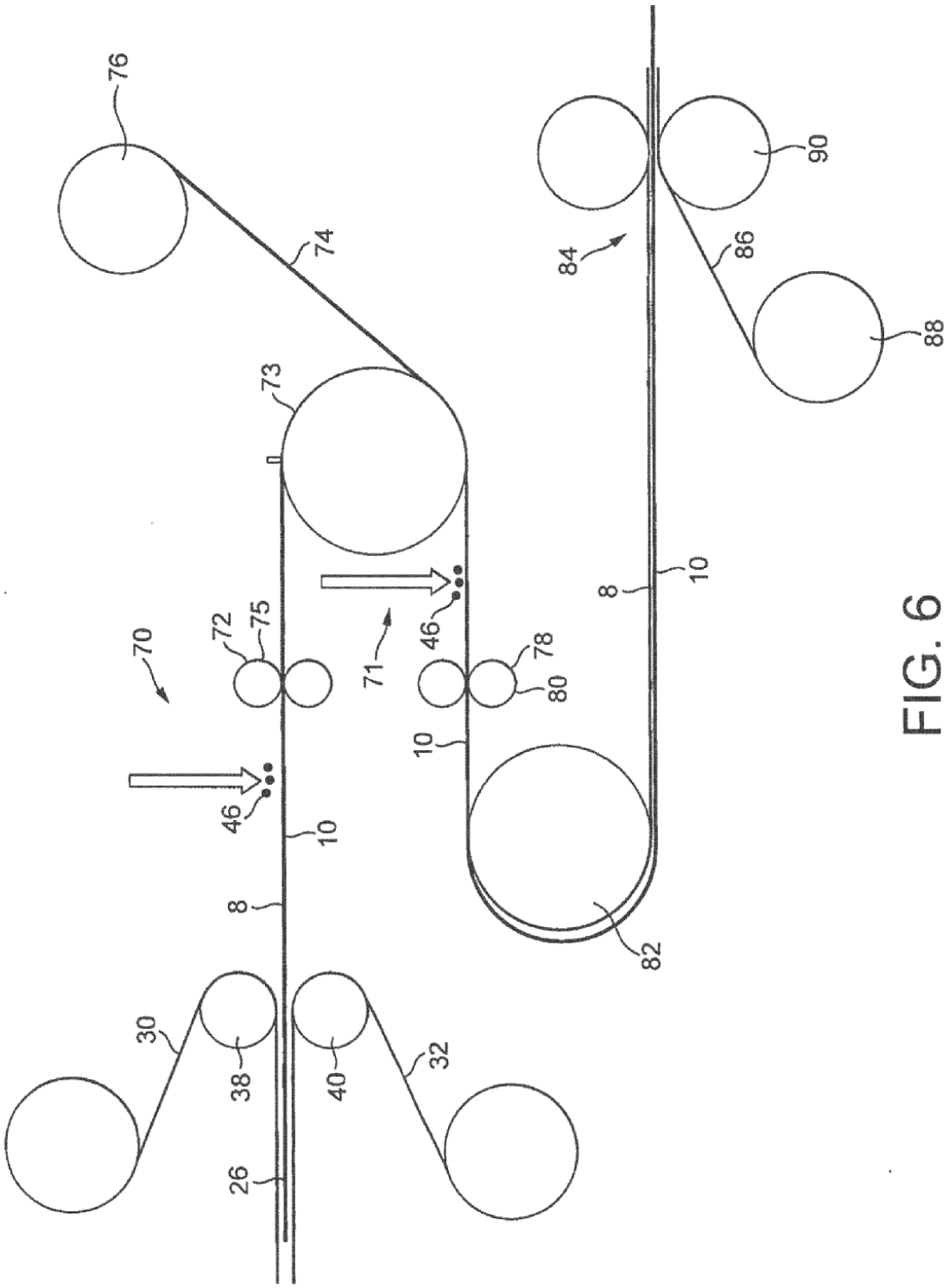

FIG. 6

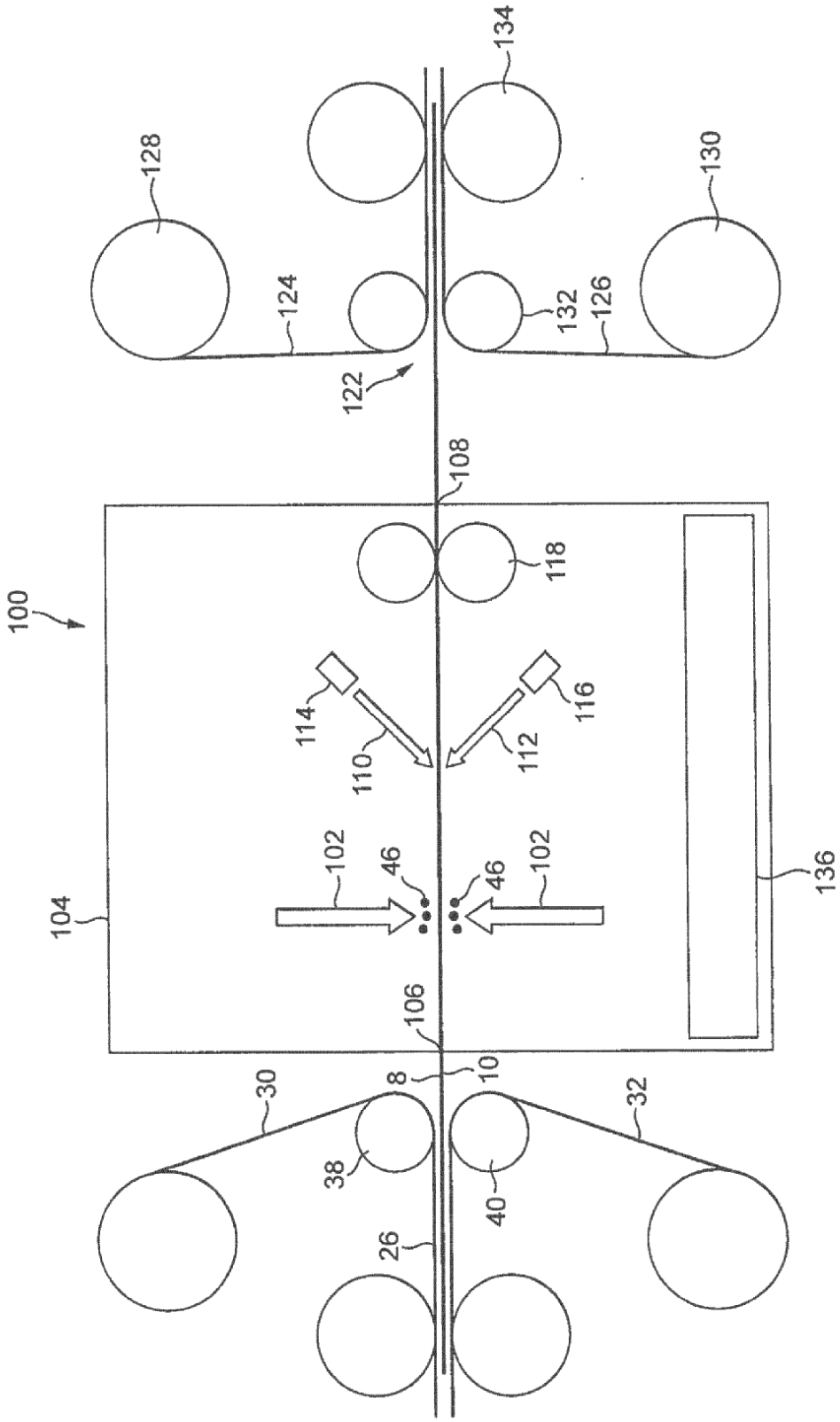
100
104
102
46
46
102
106
108
110
112
114
116
118
122
124
126
128
130
132
134
136
8
10
26
30
32
38
40

FIG. 7

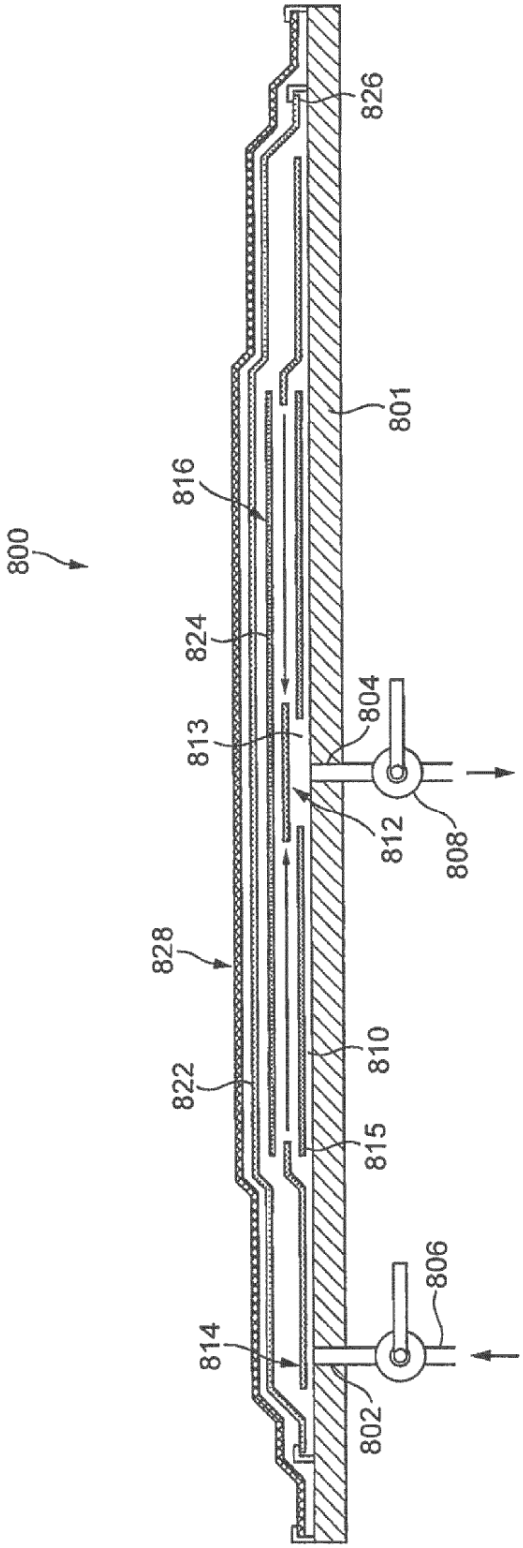

FIG. 8

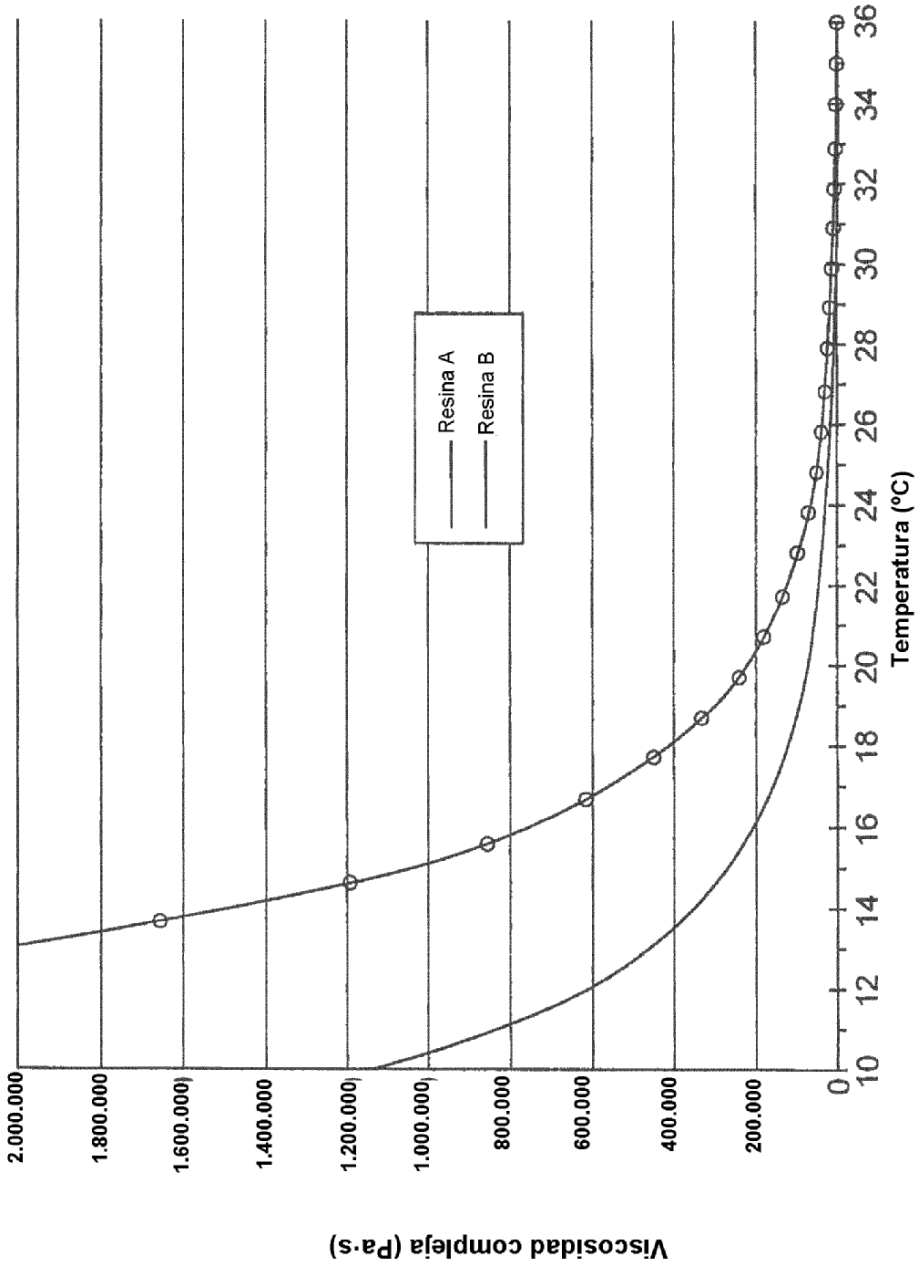
Viscosidad compleja (Pa·s)
2.000.000
1.800.000
1.600.000
1.400.000
1.200.000
1.000.000
800.000
600.000
400.000
200.000
0
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
Temperatura (ºC)
Resina A
Resina B

FIG. 9

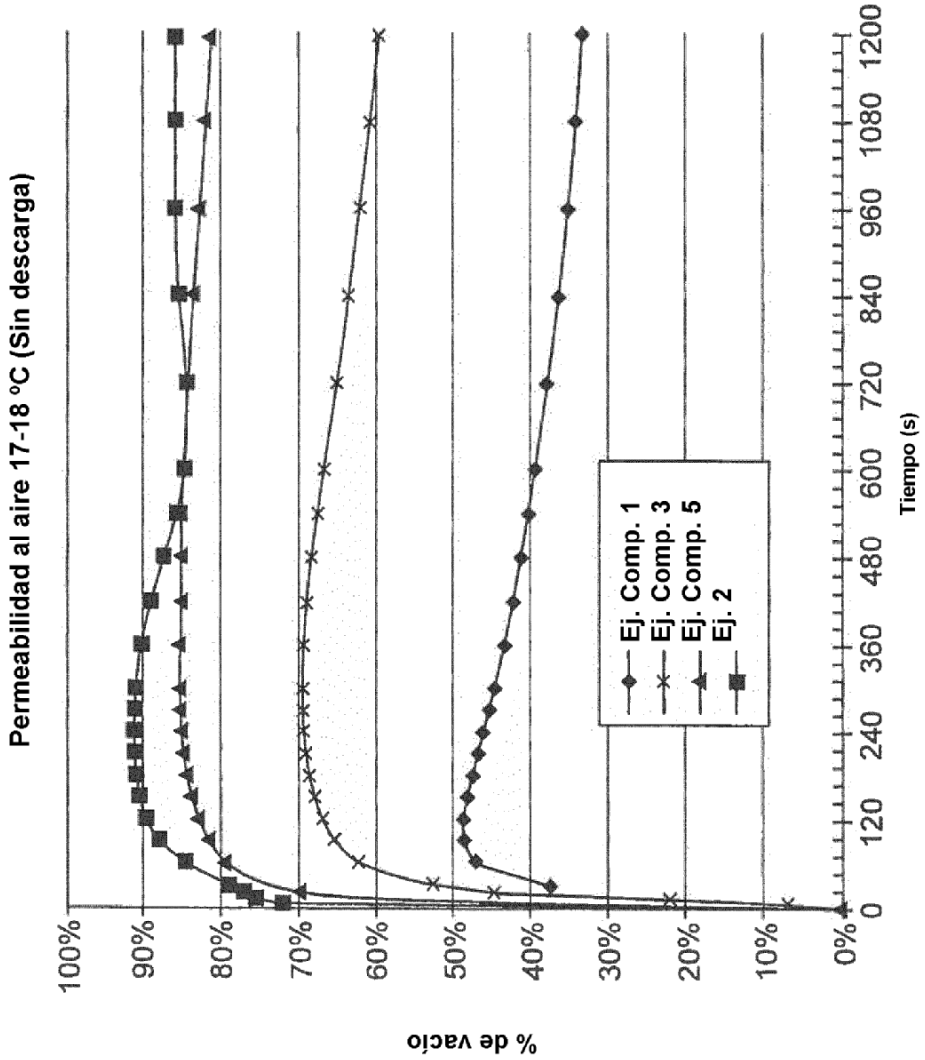
Permeabilidad al aire 17-18 ºC (Sin descarga)
% de vacío
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
120
240
360
480
600
720
840
960
1080
1200
Tiempo (s)
Ej. Comp. 1
Ej. Comp. 3
Ej. Comp. 5
Ej. 2

FIG. 10

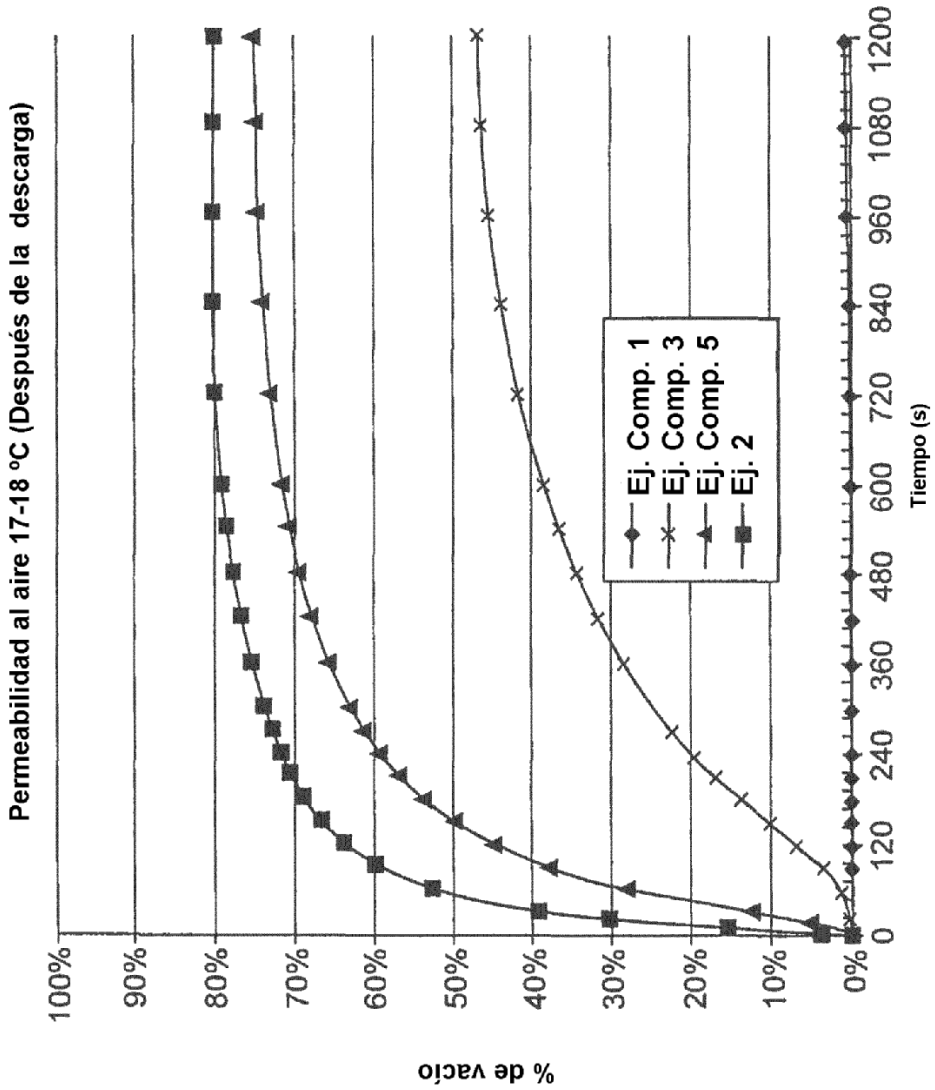
Permeabilidad al aire 17-18 ºC (Después de la descarga)
% de vacío
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
120
240
360
480
600
720
840
960
1080
1200
Tiempo (s)
Ej. Comp. 1
Ej. Comp. 3
Ej. Comp. 5
Ej. 2

FIG. 11

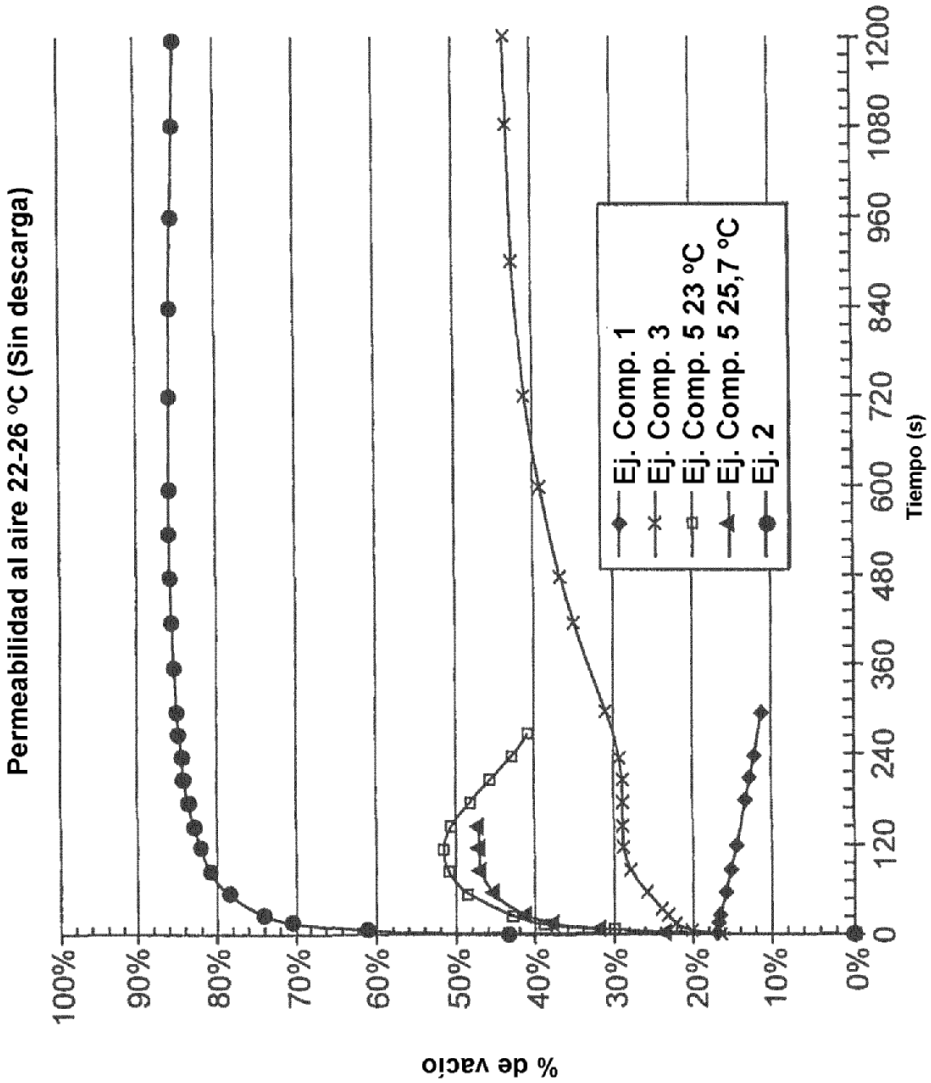
Permeabilidad al aire 22-26 ºC (Sin descarga)
% de vacío
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
120
240
360
480
600
720
840
960
1080
1200
Tiempo (s)
Ej. Comp. 1
Ej. Comp. 3
Ej. Comp. 5 23 ºC
Ej. Comp. 5 25,7 ºC
Ej. 2

FIG. 12

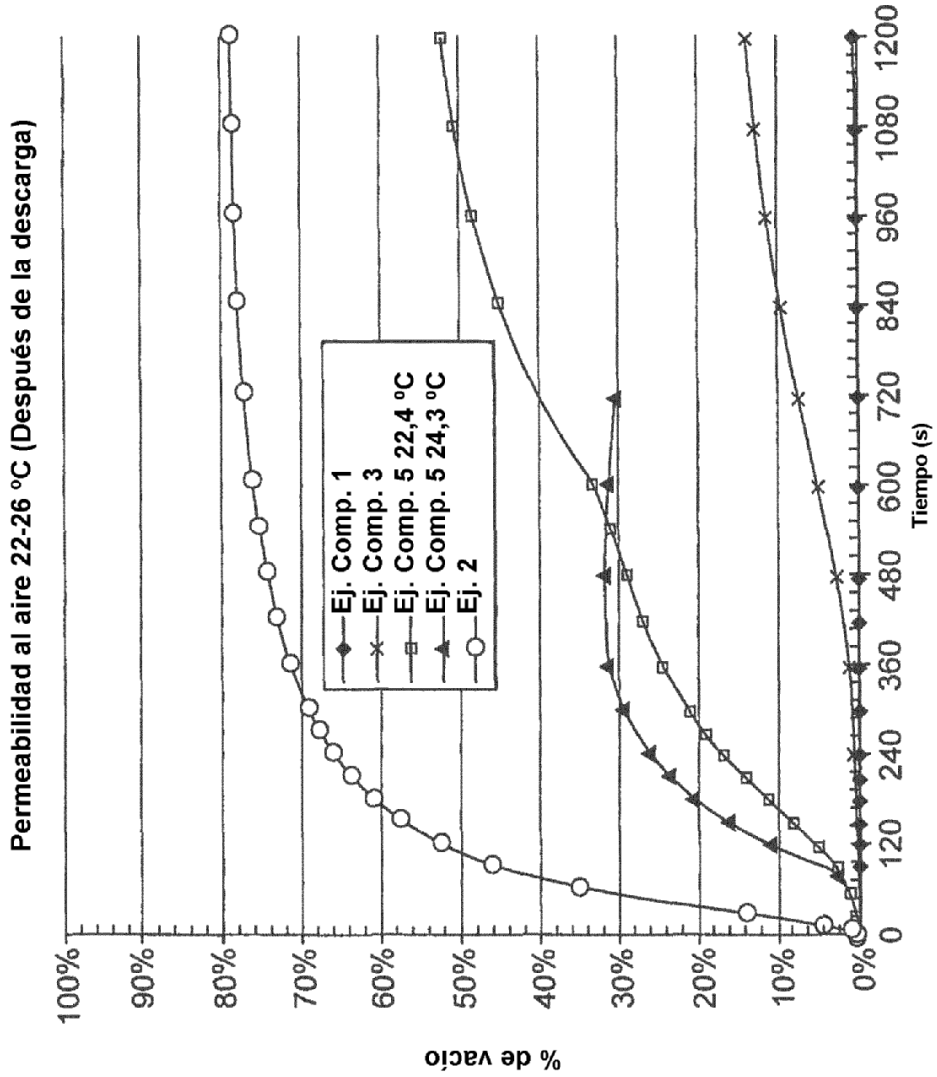
Permeabilidad al aire 22-26 ºC (Después de la descarga)
% de vacío
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
120
240
360
480
600
720
840
960
1080
1200
Tiempo (s)
Ej. Comp. 1
Ej. Comp. 3
Ej. Comp. 5 22,4 ºC
Ej. Comp. 5 24,3 ºC
Ej. 2

FIG. 13

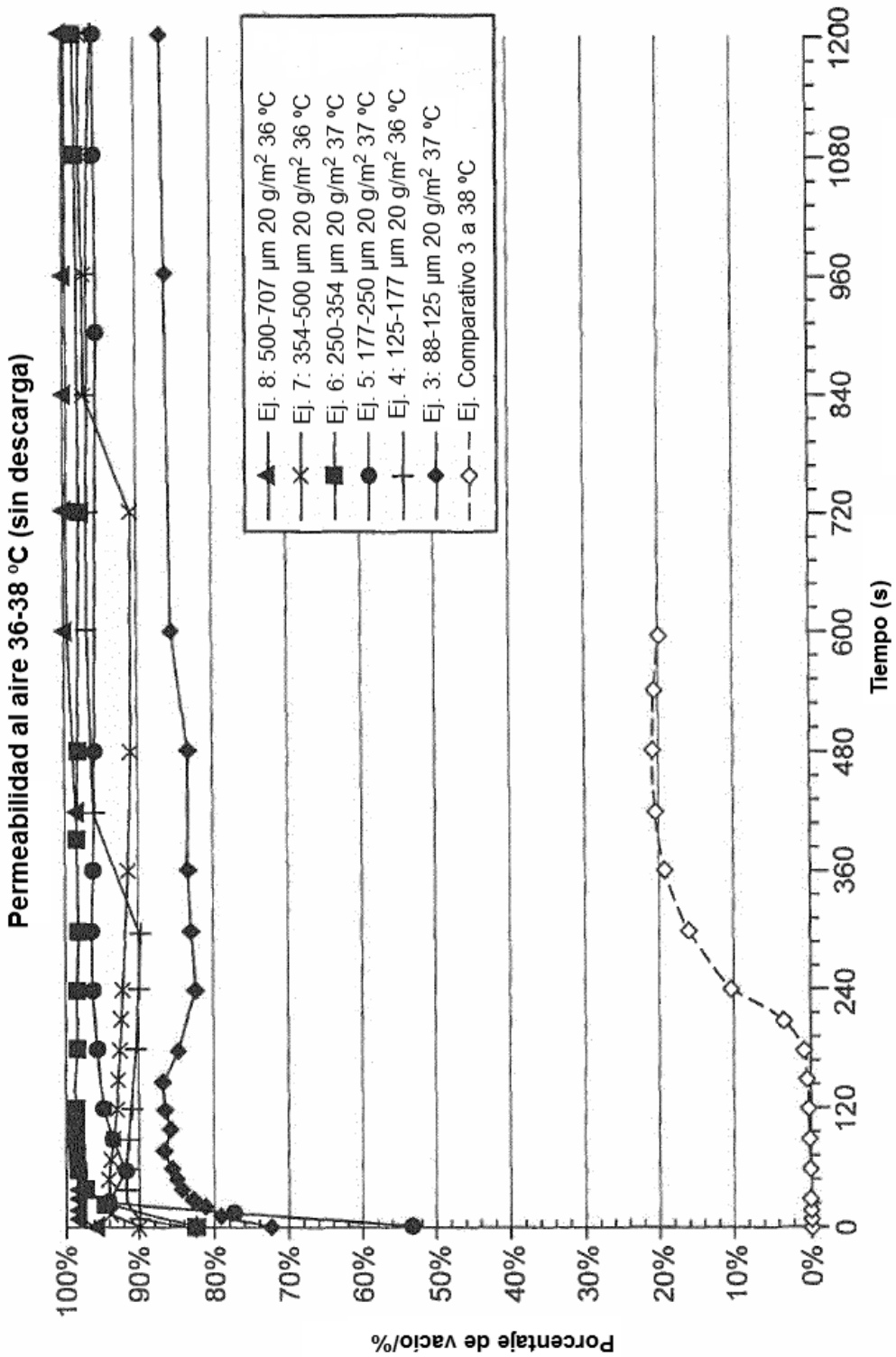
Permeabilidad al aire 36-38 ºC (sin descarga)
Porcentaje de vacío/%
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
120
240
360
480
600
720
840
960
1080
1200
Tiempo (s)
Ej. 8: 500-707 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 7: 354-500 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 6: 250-354 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. 5: 177-250 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. 4: 125-177 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 3: 88-125 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. Comparativo 3 a 38 ºC

FIG. 14

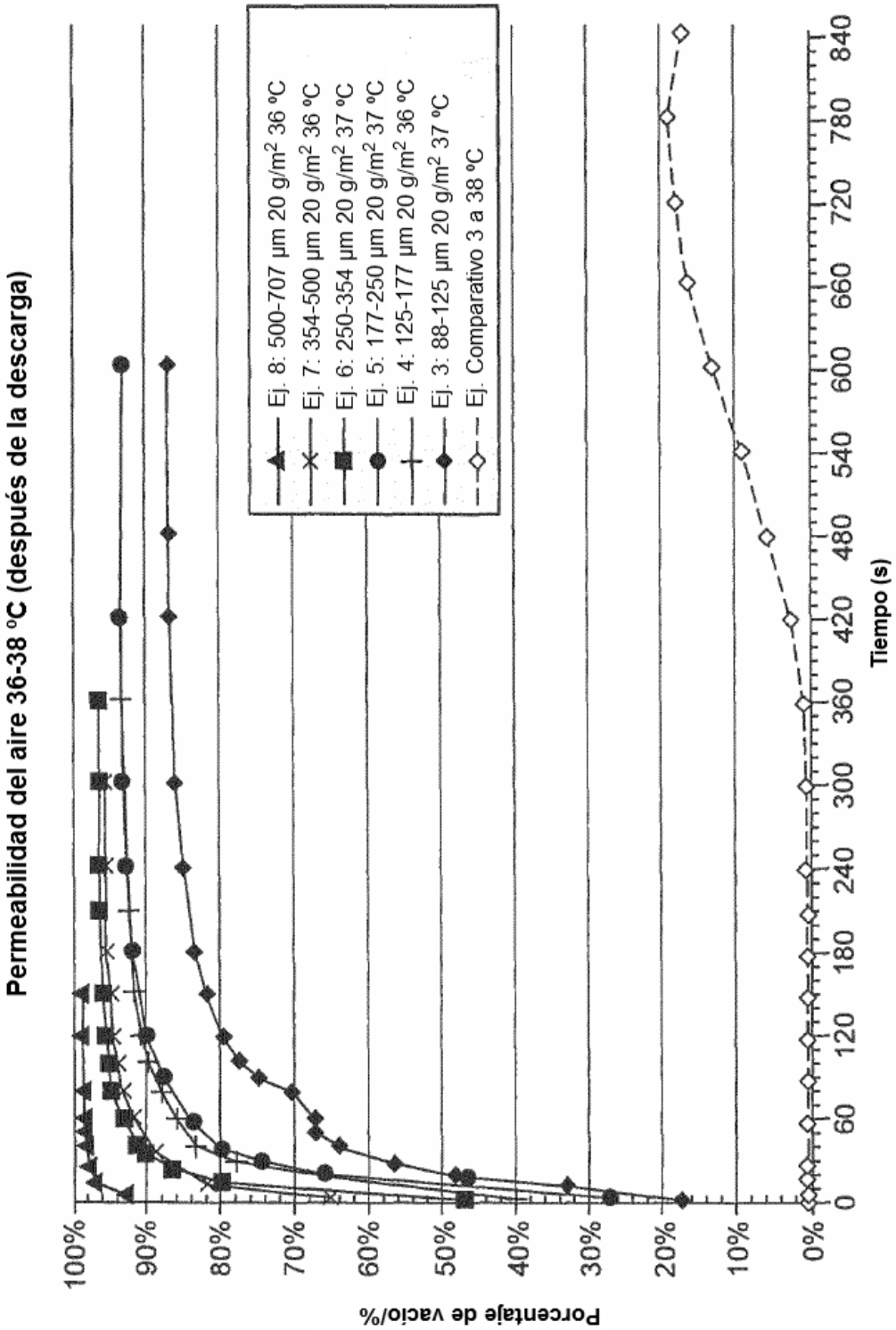
Permeabilidad del aire 36-38 ºC (después de la descarga)
Porcentaje de vacío/%
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
0
60
120
180
240
300
360
420
480
540
600
660
720
780
840
Tiempo (s)
Ej. 8: 500-707 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 7: 354-500 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 6: 250-354 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. 5: 177-250 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. 4: 125-177 µm 20 g/m2 36 ºC
Ej. 3: 88-125 µm 20 g/m2 37 ºC
Ej. Comparativo 3 a 38 ºC

FIG. 15

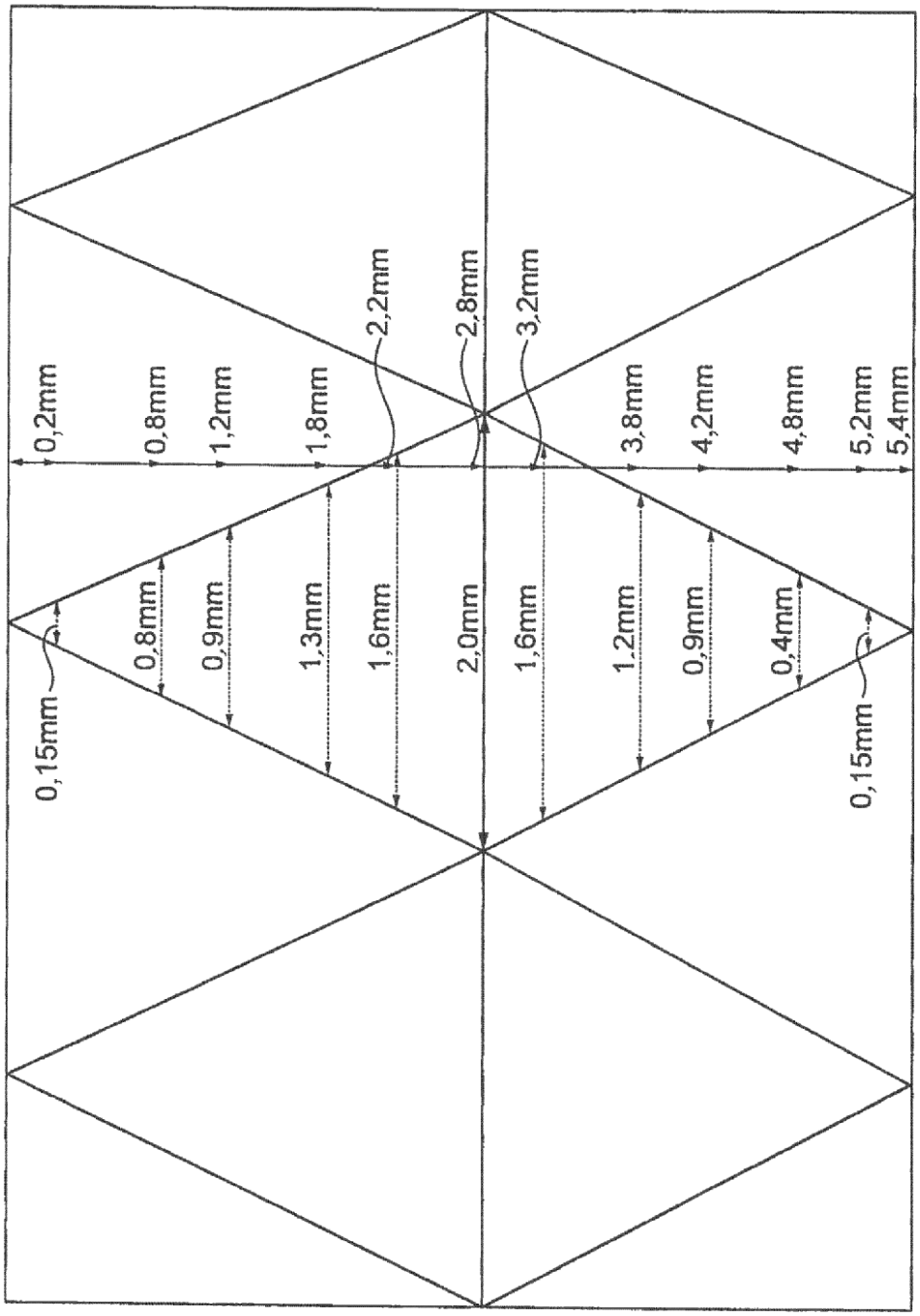
0,2mm
0,8mm
1,2mm
1,8mm
2,2mm
2,8mm
3,2mm
3,8mm
4,2mm
4,8mm
5,2mm
5,4mm
0,15mm
0,8mm
0,9mm
1,3mm
1,6mm
2,0mm
1,6mm
1,2mm
0,9mm
0,4mm
0,15mm

FIG. 16

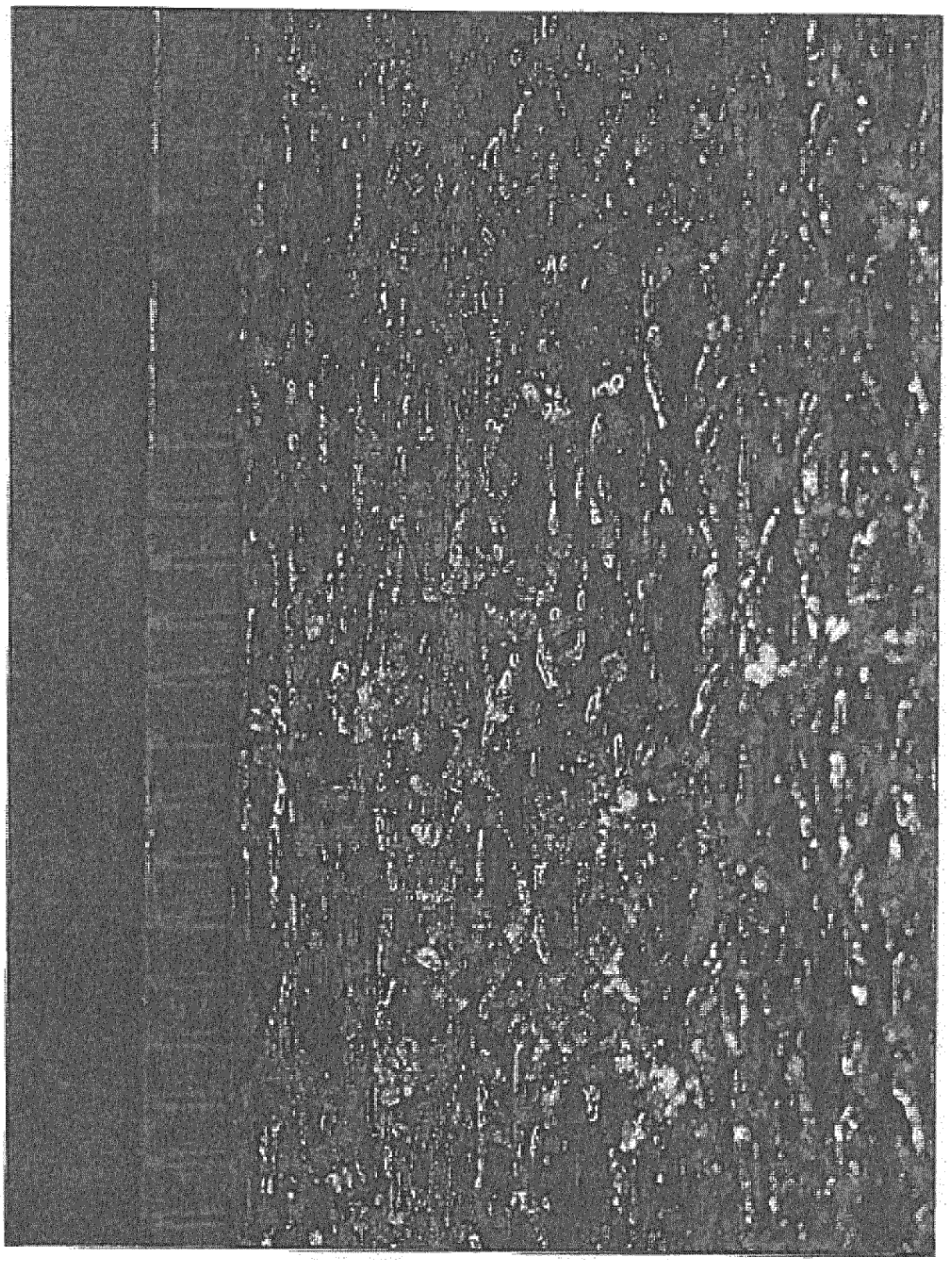

FIG. 17