

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 536**

51 Int. Cl.:
B29B 11/16 (2006.01)
B29C 70/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07022393 .8**
96 Fecha de presentación: **06.03.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1892071**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.02.2008**

54 Título: **Procedimiento de preparación de una preforma**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.03.2012

73 Titular/es:
Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:
Bech, Anton

74 Agente/Representante:
Arias Sanz, Juan

ES 2 377 536 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

Procedimiento de preparación de una preforma

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

La invención se refiere a materiales compuestos reforzados con fibra. En particular, la invención se refiere a un material semielaborado que comprende una resina y varias láminas de estopas de fibras.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

En la técnica anterior son conocidas preformas que comprenden resina y fibras.

La patente de EE.UU. 6.139.942 desvela una preforma con una pila de tela parcialmente impregnada y tela no impregnada. Las capas de esta pila pueden deslizarse antes del curado y, por tanto, pueden ser difíciles de manipular. Para evitar esto, se sugiere usar un pespunte con pliegues transversales, sin embargo, este procedimiento es tedioso y puede introducir restricciones no deseadas en la forma de la pila durante el curado.

La patente EP 0 475 883 también desvela una preforma con diversas capas de fibras orientadas. Sin embargo, la preforma requiere la infusión de una resina para el curado, lo que puede ser laborioso y evitar hasta cierto punto la reorganización de las fibras y de la resina durante el curado.

El documento WO 02/090089 desvela un material de moldeo que tiene una estructura de ventilación en las capas de resina, por otro lado, continuas. La estructura de ventilación se diseña de modo que permita que se elimine el gas del material de moldeo durante el procesamiento en el plano de la resina y/o en el plano del material de refuerzo. A medida que aumenta el plano horizontal del material de moldeo, esto se convertirá en una forma aún menos segura de eliminar el gas del material de moldeo debido al aumento del riesgo de obstrucciones durante el procesamiento.

El documento EP 0 033 224 que desvela las características del preámbulo de la reivindicación 1 se refiere a un material para formar estructuras reforzadas con fibra con una resina termoplástica. La resina termoplástica se proporciona pasando las fibras por un baño con la resina termoplástica o mezclando fibras secas con fibras termoplásticas y calentando el conjunto. A partir de estas fibras recubiertas se forma una tela por tejeduría plana o de punto. La descripción enseña específicamente en contra del uso de resinas termoendurecibles.

El documento EP 1 145 841 se refiere a un material que consiste en "capas de manojos de fibras". Cada capa de haces de fibras consiste en haces de fibras aparentemente completamente humedecidos y resina termoendurecible y las capas individuales están orientadas de manera que las fibras de capas diferentes estén orientadas de forma diferente.

El documento DE 198 09 264 refiere a un material que consiste en varias capas de fibras, teniendo cada capa una orientación individual, y un adhesivo termofusible. Los adhesivos termofusibles preferidos y sólo descritos son adhesivos termoplásticos (Schmelzklebergebinde aus thermoplastischem Polymermaterial, pág. 3, l. 3-7).

OBJETOS DE LA INVENCIÓN

Es un objeto de la invención proporcionar una preforma que pueda usarse para fabricar materiales compuestos reforzados y que posea una buena reproductibilidad, baja porosidad y buenas propiedades físicas.

Es un objeto adicional de la invención proporcionar un procedimiento de producción de una preforma que se pueda adaptar al procesamiento automatizado.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Los objetos anteriores y otros se realizan mediante la invención como se describe y explica en las figuras, realizaciones preferidas y reivindicaciones.

Una preforma es un material compuesto que comprende fibras y, siempre que no se especifique lo contrario, una resina no curada. Las fibras se proporcionan en capas de estopas de fibras orientadas. Las estopas de fibras presentan ventajas sobre las fibras preimpregnadas, ya que las fibras individuales están menos unidas y, por tanto, pueden reorganizarse más fácilmente durante el posterior procesamiento. Además, las estopas de fibras tienen ventajas sobre las fibras preimpregnadas en que se pueden proporcionar a la preforma con mayor libertad, el precio es más bajo y, además, la cantidad de residuos puede ser menor. La invención proporciona una preforma que comprende una resina y al menos dos capas de haces de estopas orientadas, sin embargo, la ventaja de utilizar un procedimiento según la presente invención aumentará si aumenta el número de capas de estopas de fibras orientadas. Por tanto, la preforma comprende preferiblemente al menos tres capas de estopas de fibras orientadas. Dentro del alcance de la invención, puede utilizarse un número mayor de capas como, por ejemplo, 4, 5, 8, 10, 15,

20, 50, 100 o más capas.

Además de las fibras y de la resina, una preforma puede contener, por ejemplo, uno o más materiales de carga (por ejemplo, un material inerte barato) y/o disolventes y/o diluyentes y/o agentes reológicos y/o un agente para ajustar la viscosidad.

Las capas de fibras orientadas son estopas de fibras opuestas a las fibras preimpregnadas, ya que esto proporciona un grado más elevado de libertad de diseño y permitirá una menor viscosidad y movilidad de las fibras durante el procesamiento posterior de una preforma, por ejemplo, en la preconsolidación o curado. Además, las preformas preparadas a partir de estopas de fibras son ventajosas sobre las preformas preparadas a partir de fibras preimpregnadas porque el coste de producción es menor así como, normalmente, la cantidad de residuos es menor. Las estopas de fibras son manojos de un número elevado de fibras individuales, por ejemplo, miles, decenas de miles o cientos de miles de fibras. Las estopas de fibras preimpregnadas son estopas de fibras al menos parcialmente impregnadas.

Se puede teorizar que la resistencia de un material compuesto depende, entre otros aspectos, de la resistencia de la interfaz entre las fibras y el material de la matriz (es decir, la resina curada). Conforme aumenta la rigidez de la fibra, también aumenta la sensibilidad de la resistencia de la interfaz. La presencia de porosidad puede debilitar la interfaz, pero el efecto real de la porosidad depende, por ejemplo, de la colocación y el tamaño de los poros. En general, cuanto más grandes sean los poros y mayor sea la cantidad de ellos, peor. Otro aspecto es el humedecimiento de las fibras. La dificultad para obtener un buen humedecimiento de las fibras aumenta conforme disminuye el diámetro de la misma. Los procedimientos y productos de la presente invención son especialmente ventajosos para preformas que comprenden fibras finas y rígidas como, por ejemplo, fibras de carbono, sin embargo, estos procedimientos y productos también son superiores a los de la técnica anterior cuando se han usado otros tipos de fibras como refuerzo tales como, por ejemplo, fibras de vidrio, fibras de aramida, fibras sintéticas (por ejemplo, fibras acrílicas, de poliéster, PAN, PET, PE, PP o PBO), biofibras (por ejemplo, fibras de cáñamo, yute, celulosa, etc.), fibras minerales (por ejemplo, RockwoolTM), fibras metálicas (por ejemplo, acero, aluminio, latón, cobre, etc.) o fibras de boro.

Tradicionalmente, el gas incluido en la preforma previamente y durante el curado se eliminaba tradicionalmente siguiendo la dirección de las fibras, es decir, en el plano de la capa de resina. Por tanto, cuanto mayor sea la estructura, más tendrá que viajar el gas para salir de la misma. Por tanto, el riesgo de que el gas quede atrapado dentro de la estructura curada aumenta con el tamaño de la misma. Parece que el problema del gas atrapado es especialmente pronunciado cuando el refuerzo está compuesto de fibras unidireccionales. Puede especularse que esto es debido al empaquetamiento tan cercano de las fibras, lo que puede producirse en algunas áreas de un material compuesto reforzado por fibras unidireccionales. Sin embargo, los problemas con respecto al gas atrapado también pueden presentarse en otro tipo de orientaciones de la fibra, por ejemplo, orientaciones biaxiales o aleatorias, y la idea inventiva de la presente invención supone, por tanto, una ventaja para cualquier tipo de orientación, incluso si la ventaja es mayor cuando se utiliza una orientación unidireccional de la fibra.

Por gas se hace referencia en este documento, al aire atmosférico atrapado, así como a productos gaseosos, subproductos y materiales de partida relacionados con el procedimiento de preparación.

Las fibras pueden ser una mezcla de más de un tipo de fibras. Por ejemplo, puede usarse una combinación de fibras de vidrio y fibras de carbono, pero es posible cualquier combinación de dos o más de los tipos de fibras mencionadas en este documento. La mezcla puede ser homogénea, con concentraciones diferentes en las capas de fibras individuales o con concentraciones diferentes de fibras dentro de cualquier capa de fibras. La mezcla de fibras puede ser ventajosa, ya que abre la posibilidad de adaptar las propiedades del material, por ejemplo, desde una perspectiva combinada de resistencia/coste, o pueden proporcionarse partes de una preforma especialmente adecuadas para la conexión con otros materiales. Sin embargo, en una realización preferida, las fibras son principal o exclusivamente fibras de carbono.

Por fibras de carbono se entiende, a partir de ahora en este documento, fibras en las que el componente principal es el carbono. Por tanto, según esta definición, las fibras de carbono comprenden fibras con grafito, carbono amorfo o nanotubos de carbono. Por tanto, esta definición comprende las fibras de carbono producidas, por ejemplo, mediante una ruta de poliácilonitrilo y una ruta basada en alquitrán.

Por fibras se entiende, a partir de ahora en este documento, partículas que tienen una relación de aspecto (longitud/diámetro equivalente) de más de 10. Por diámetro equivalente se entiende el diámetro de un círculo que tiene la misma área que el área de la sección transversal de la partícula. Sin embargo, en una realización preferida, las fibras son fibras continuas, es decir, fibras que, sustancialmente, van de un extremo al otro de la preforma.

La resina puede ser una resina termoplástica o termoendurecible, sin embargo, se prefiere usar una resina termoendurecible por razones de estabilidad química y térmica, así como porque es fácil de procesar. Además, se prefiere que la resina sea una resina basada en epoxi o poliéster, más preferiblemente, una resina basada en epoxi. La resina puede comprender más de un sistema de resina. Puede ser una ventaja utilizar más de un sistema de resina para que puedan optimizarse las propiedades de la resina para las etapas posteriores del procesamiento, por

ejemplo, con respecto a la viscosidad y sincronización/control del procedimiento de curado. Estos sistemas pueden estar basados o no en el mismo tipo de resina, sin embargo, se prefiere que estos sistemas estén basados en el mismo tipo de resina, como por ejemplo, sistemas basados en dos o más epoxi. En otra realización preferida, los tipos de resina difieren pero las resinas son compatibles.

5

El procedimiento según la invención se adapta a un procesamiento automatizado. Por ejemplo, las capas de estopas de fibras orientadas, el adhesivo y la resina pueden distribuirse ventajosamente mediante un robot. La automatización se facilita mediante, al menos, una inmovilización parcial de las fibras mediante un adhesivo, lo que evitará o, al menos, reducirá en gran medida la alteración en las capas de las estopas de fibras orientadas. Cuando el adhesivo sólo se aplica a áreas seleccionadas del plano horizontal de la preforma, se ahorra tiempo adicional, en comparación con la distribución de la resina sobre el plano horizontal completo.

Los sistemas de resina pueden contener componentes que pueden ser irritantes o dañinos cuando entran en contacto con la piel desnuda, si se ingieren o inhalan. Por tanto, es muy deseable evitar el contacto directo. Puesto que los productos y procedimientos según la invención son especialmente adecuados para la automatización, los productos y procedimientos según la invención representan una mejora significativa para el ambiente de trabajo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 La Fig. 1 muestra una vista transversal esquemática de una preforma.

La Fig. 2 muestra una vista esquemática de los planos geométricos horizontales y orientaciones preferidos de las fibras en una preforma.

25 La Fig. 3 muestra una vista esquemática de las configuraciones preferidas de una capa de resina.

La Fig. 4 muestra una vista esquemática de las configuraciones preferidas de un adhesivo.

La Fig. 5 muestra ejemplos de preformas con partes estrechadas.

30

La Fig. 6 muestra una vista esquemática de un procedimiento preferido de preparación de una resina.

La Fig. 7 muestra un ejemplo de una preforma que tiene partes estrechadas preparadas a partir de capas de fibras que tienen sustancialmente el mismo tamaño.

35

La Fig. 8 muestra un ejemplo de una preforma potenciada para el acoplamiento de dos miembros de materiales compuestos que comprenden dos tipos diferentes de fibras de refuerzo.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

40

En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de una vista esquemática en sección de una preforma que indica un ejemplo del orden de los componentes. En una preforma real, la distancia entre las capas sería mucho menor y la resina y el adhesivo normalmente estarían parcialmente absorbidos en las capas de fibras. Se proporcionan la capas de fibras orientadas 2 con tiras de adhesivo 6 (véase la Fig. 4) formando un ángulo (en este caso aproximadamente ortogonal) con respecto a las capas de estopas de fibras orientadas 2. También se proporcionan dos capas de resina 4. La resina 4 se distribuye en varias líneas (véase la Fig. 3) formando un ángulo (en este caso aproximadamente ortogonal) con respecto a las capas de estopas de fibras orientadas 2. Por tanto, la resina se distribuye en una capa no continua para permitir que el gas escape desde la preforma ortogonal a la dirección de las estopas de fibras.

50

En la Fig. 1, se proporciona la resina entre dos capas de estopas de fibras. Esta es la colocación preferida de la resina y, cuando se utiliza esta colocación, es muy deseable que la resina se distribuya en capas no continuas. Sin embargo, la resina también puede proporcionarse en contacto sólo con una capa de estopas de fibras, es decir, en la parte superior o inferior de la preforma. En este caso, se prefiere proporcionar la resina en la parte inferior de la preforma y la resina puede proporcionarse como una capa continua, ya que el gas normalmente no tendrá que escapar a través de la capa de resina. En una realización preferida, la resina sólo se proporciona en la parte superior y/o inferior de la preforma, es decir, sólo se proporciona adhesivo entre las capas de fibras. En otra realización preferida, la resina sólo se proporciona en la parte inferior de la preforma, es decir, entre las capas de fibras sólo se proporciona adhesivo.

60

El adhesivo 6 debería inmovilizar, al menos parcialmente, las fibras que se proporcionan por encima del mismo. El adhesivo puede ser cualquier tipo de adhesivo, sin embargo, el adhesivo debería ser compatible con la resina, preferiblemente, el adhesivo es un adhesivo de tipo resina y relacionado con la resina de la preforma, en el sentido de que comprende el mismo tipo de sustancia química. Por ejemplo, el adhesivo puede comprender al menos uno de los componentes de la resina (por ejemplo, un componente epoxi común). Una manera de asegurar la compatibilidad entre la resina y el adhesivo es utilizar sustancialmente la misma composición. En una realización

65

preferida, la composición del adhesivo es igual a la composición del adhesivo. Está dentro del alcance de la invención utilizar más de un adhesivo en una preforma. Por ejemplo, algunas porciones de adhesivo puede tener la misma composición que la resina, mientras que otras porciones pueden tener una composición diferente.

5 En la Fig. 2 se muestran ejemplos de realizaciones preferidas de planos geométricos horizontales 10 de preformas. Las líneas 2 indican la principal orientación u orientaciones de las fibras de una capa de fibras. Cada capa de fibras comprende típicamente un número grande (por ejemplo, varios millones) de fibras orientadas en las orientaciones principales y, opcionalmente, en otras orientaciones. Un experto en la técnica será capaz de proporcionar otros planos geométricos horizontales sin apartarse de la idea inventiva de la invención. La Fig. 2A muestra una preforma
10 rectangular, que puede ser especialmente adecuada para estructuras planas o cilíndricas. Las Fig. 2B a 2F muestran preformas con planos horizontales sustancialmente trapezoidales. Los ángulos α y β pueden ser iguales o diferentes, sin embargo, se prefiere que estos ángulos sean sustancialmente iguales, puesto que la preforma puede utilizarse entonces para la producción de, por ejemplo, estructuras cónicas.

15 La relación de la distancia entre los lados paralelos y la longitud de cualquier de los lados paralelos es, preferiblemente, de al menos 3 y, más preferiblemente, de al menos 5, puesto que dichas preformas son especialmente útiles para la producción de estructuras alargadas ligeramente cónicas, similares a los mástiles de las palas de las turbinas eólicas. El plano horizontal de la Fig. 2F tiene una relación de aproximadamente 6.

20 La Fig. 2G muestra una preforma con un plano horizontal triangular. Una vez más, se prefiere que los ángulos α y β sean sustancialmente iguales. Esta preforma puede ser especialmente útil para reforzar una estructura con un canto relativamente afilado. La preforma de la Fig. 2H tiene un plano horizontal cuadrangular más irregular. Estos planos horizontales cuadrangulares pueden tener o no uno o más ángulos de 90°.

25 En la Fig. 2I aparece un ejemplo de una capa que tienen dos orientaciones principales de fibras. Aquí, las fibras se orientan principalmente en paralelo con respecto a los bordes más largos, sin embargo, son posibles otras orientaciones así como más de dos orientaciones principales. La Fig. 2J muestra un ejemplo de una capa que tiene fibras que no están rectas. Las fibras se orientan preferiblemente para optimizar la estructura final (tras el conformado y el curado) con respecto a la resistencia y/o a otras propiedades.

30 Las fibras 2 pueden proporcionarse en cualquier orientación deseada como, por ejemplo, unidireccional, biaxial o aleatoria. Sin embargo, las fibras deben orientarse para reforzar zonas de la estructura final, las cuales se expondrán a una tensión mayor durante su servicio. Típicamente, esto puede realizarse orientando las fibras principalmente de forma unidireccional y, sustancialmente, en paralelo u ortogonal con respecto a un borde de la preforma. En las Fig. 2A, C, D, H e I, las fibras se colocan sustancialmente en paralelo con respecto a al menos un
35 borde de la preforma y en las Fig. 2A, B, E, F, G y H, las estopas de fibras se colocan sustancialmente ortogonales con respecto a al menos un borde de la preforma. Si el plano horizontal tiene dos lados paralelos y la relación entre la distancia entre los lados paralelos y la longitud de cualquiera de los lados paralelos es muy grande, es decir >5 , entonces, las fibras unidireccionales colocadas entre los dos lados paralelos pueden considerarse como
40 sustancialmente en paralelo con respecto a los bordes más largos (véase, por ejemplo, la Fig. 2F). Un experto en la materia puede proporcionar otras formas de orientar las fibras sin apartarse de la idea inventiva de la invención.

La orientación de las fibras puede ser o no la misma en todas las capas de fibras; sin embargo, en una realización preferida las fibras se orientan sustancialmente de la misma forma en todas las capas de las fibras. El hecho de que
45 se orienten una o más capas de fibras en dirección distinta a otras capas puede ser, por ejemplo, porque el análisis de tensión sugiera la colocación de una fibra multiaxial, pero la colocación de fibras unidireccionales es favorable por razones de fabricación.

Otra forma de reforzar el área de la estructura final, que se verá expuesta a una tensión más elevada durante el servicio, es aumentar la cantidad de fibras en estas áreas. Un ejemplo de esto se muestra en la Fig. 2E, donde el
50 área próximo a la parte central de la preforma tiene una mayor cantidad de haces de fibras que las partes externas de la misma.

Se prefiere que se proporcione la resina para formar una o varias capas no continuas, incluso si esto no es un
55 requisito para las capas de resina donde el gas no podrá escapar durante la consolidación y/o curado posterior de la preforma. La resina es preferiblemente semisólida y puede adherirse a y/o inmovilizar, al menos parcialmente, las fibras de una o más capas. En una realización preferida, la resina se distribuye para formar un patrón de partículas 4b sólidas o semisólidas, estas partículas pueden, por ejemplo, rociarse sobre una capa de fibras como se muestra en la Fig. 3B. Alternativamente pueden formarse aplicaciones puntuales discretas a partir de una resina
60 proporcionada en forma líquida. También puede proporcionarse una resina líquida a modo de una o varias líneas, que pueden seguir un patrón orientado, un patrón aleatorio o un patrón combinado. En la Fig. 3A se muestra un ejemplo de patrón orientado, donde la resina se distribuye como líneas de resina 4a, ortogonales con respecto a la orientación principal de la fibra. Como variación de la distribución mostrada en la Fig. 3A, la resina puede proporcionarse parcialmente sobre el borde, es decir, la parte curva de la tira puede salirse del plano horizontal,
65 proporcionando incluso mayor densidad de resina. Sin embargo, esto dará lugar a un residuo no deseado y debería omitirse, por ejemplo, controlando el flujo de la resina durante la aplicación. En la Fig. 3C se muestra un ejemplo de

patrón aleatorio, donde la resina se distribuye en forma de líneas rizadas. En la Fig. 3D se muestra una aproximación diferente a la capa no continua de resina, donde se proporciona una lámina de resina 4d que tiene varios orificios pasantes 12. Como resulta obvio de estos ejemplos de patrones de resina, un experto en la técnica será capaz de proporcionar otros patrones sin apartarse de la idea inventiva de la invención.

5

El adhesivo 6 puede proporcionarse, fundamentalmente, con patrones similares a los de la resina, sin embargo, se prefiere proporcionar un patrón menos denso al adhesivo para ahorrar tiempo. En la Fig. 4 se muestran algunas realizaciones preferidas de la distribución del adhesivo. Es importante no olvidar que la finalidad del adhesivo es asegurar que las fibras están al menos parcialmente inmovilizadas para facilitar el tendido de la fibra. Además, el adhesivo a menudo aumentará la resistencia mecánica y, por tanto, la manejabilidad de una preforma no consolidada y no curada mediante la fijación entre sí, al menos parcialmente, de capas adyacentes de fibras. Una manera de asegurar la facilitación del tendido de la fibra es proporcionar una tira de adhesivo próxima o exactamente en donde se inician las fibras durante el tendido de las mismas. En la Fig. 4A, la flecha 14 indica la dirección del tendido de la fibra. Por tanto, las fibras se inician próximas al adhesivo 6a. Una manera preferida de asegurar una fijación relativamente buena de las fibras es proporcionar el adhesivo 6b próximo a la terminación de las fibras. Si el adhesivo en 6a y 6b no proporciona una fijación suficiente de las fibras, puede proporcionarse adhesivo adicional 6c. En la Fig. 4A, el adhesivo se proporciona en forma de tiras, sin embargo, también son posibles otras realizaciones, por ejemplo, en líneas punteadas, quebradas o curvas, etc. En algunos casos, la automatización puede favorecer un patrón de adhesivo, donde éste se aplica como una línea continua, por ejemplo, un patrón en zigzag, como se muestra en la Fig. 4B. Éste es un ejemplo de patrón donde el número de puntos de inicio y terminación del adhesivo se reduce en comparación con el patrón de la Fig. 4A. Un experto en la técnica apreciará la ventaja de proporcionar sólo una cantidad limitada de adhesivo en comparación con una capa completa o casi completa de resina o con pespunte con pliegues transversales, especialmente con respecto al tiempo ahorrado durante el procesamiento y a la facilidad para su automatización.

25

En algunas aplicaciones, se pretende utilizar la preforma para reforzar estructuras con una sección no circular similar, por ejemplo, a un mástil que tiene una sección sustancialmente rectangular, donde la preforma debe doblarse alrededor de un borde relativamente afilado. En este caso, la orientación preferida de las fibras es aquella en la que la orientación principal de la fibra es paralela al borde, por ejemplo, en la dirección I-I de la Fig. 5. A continuación, puede ser ventajoso dar una conformación tridimensional al menos a parte de la preforma para potenciar el conformado de la preforma. Para obtener un resultado significativo de conformación tridimensional, la preforma normalmente debería comprender preferiblemente al menos tres capas de estopas de fibras orientadas, puesto que si la preforma está compuesta sólo de dos capas, ésta puede normalmente doblarse sin un moldeado tridimensional de la misma. Cuanto mayor sea el número de capas, mayor es el beneficio de la configuración tridimensional de la preforma. En una realización preferida, se proporciona una preforma con dos secciones estrechadas 22 hacia los bordes, sustancialmente paralelas con respecto a la orientación de la fibra como se indica en la Fig. 5; sin embargo, un experto en la técnica puede obtener diversas variaciones sin apartarse de la idea inventiva de la invención. Estas variaciones pueden, por ejemplo, utilizar una, tres u otro número de partes estrechadas, usando una o más etapas en lugar de partes estrechadas, colocando una parte estrechada lejos del borde, por ejemplo, cerca del centro, etc.

30

Por adquirir conformación tridimensional se entiende en este documento que el espesor (es decir, el número de capas o cantidad de fibras y/o resina) y/o la forma del plano horizontal se ajustan en una parte (por ejemplo, 20, 22) de la preforma con respeto al volumen total (por ejemplo, 24) de la preforma.

45

La adquisición de conformación tridimensional también puede aplicarse a la reducción de la tensión interfacial entre una preforma y una estructura adyacente. Ejemplos de estas estructuras adyacentes son otras preformas y parte de estructuras más grandes, por ejemplo, el encastre de una pala de una turbina eólica. Típicamente, estas conformaciones tridimensionales implicarán la creación de un área de contacto grande ortogonal a la dirección principal de tensión en al menos un eje. La parte 20 de la Fig. 5 representa un ejemplo de una forma tridimensional para reducir la tensión interfacial entre la preforma y una estructura adyacente conectada. Como se observa a lo largo de la sección transversal I-I de la Fig. 5, una distancia mucho mayor que la distancia ortogonal separa las terminaciones de las capas de fibras de la sección estrechada 20 y, por tanto, esto hará que se reduzca la tensión interfacial.

50

Puede realizarse un plano horizontal o una conformación tridimensional en particular, por ejemplo, por la iniciación y/o terminación selectiva de estopas de fibras durante el tendido de la fibra.

55

La función principal del adhesivo es inmovilizar las fibras cuando se colocan sobre el adhesivo. Esto puede lograrse teniendo un adhesivo pegajoso, por lo que las fibras se adhieren al adhesivo pegajoso. El adhesivo puede ser cualquier material pegajoso o un sólido con una superficie pegajosa, y el adhesivo puede, por ejemplo, comprender poliéster, poliuretano, epoxi o compuestos similares o una combinación de estos. Está dentro del alcance de la invención utilizar cualquier material o combinación de materiales que tengan una superficie pegajosa, incluyendo materiales sólidos con superficies pegajosas. Puede usarse más de un tipo de adhesivo dentro de una preforma. Por ejemplo, está dentro del alcance de la invención utilizar la resina como adhesivo entre las capas de las estopas de fibras donde se proporciona una resina o se utiliza un segundo tipo de resina por debajo de la primera capa de

60

65

estopas de fibras.

La resina puede ser material líquido, semisólido o sólido. La resina puede, por ejemplo, estar basada en poliéster insaturado, poliuretano, epoxi, termoplásticos o compuestos químicos similares, incluyendo combinaciones de estos.

5

En una realización preferida de la invención, la resina es un líquido y ésta se introduce mediante moldeado por inyección de resinas (RTM, *Resin Transfer Moulding*) o moldeado por inyección de resinas al vacío (VARTM, *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding*) dentro de una entidad que comprende varias capas de estopas de fibras orientadas que se inmovilizan previamente durante el tendido de las fibras mediante un adhesivo.

10

En otra realización preferida, la resina es un sólido. Una entidad que comprende varias capas de estopas de fibras orientadas que se inmovilizaron previamente durante el tendido de fibras por un adhesivo, y un sistema de resina sólida se calienta a vacío con el fin de preparar una preforma preconsolidada.

15 En otra realización preferida, la resina es un semisólido y sirve tanto de resina como de adhesivo, es decir, durante el tendido de fibras, la resina inmovilizará las fibras y durante el posterior procesamiento servirá de material de matriz.

La resina puede comprender más de un sistema, por ejemplo, la resina puede comprender dos sistemas o incluso más sistemas. Estos sistemas pueden ser cualquier combinación de tipos de sistemas iguales o diferentes, sin embargo, se prefiere que la resina comprenda dos sistemas sustancialmente basados en epoxi. En una realización preferida, dos sistemas basados en epoxi comprenden un componente común. El componente común puede, por ejemplo, ser un catalizador común, un componente amina común o un componente epoxi común, sin embargo, se prefiere que el componente común sea un componente epoxi. Una resina que comprende dos sistemas basados en epoxi con un componente epoxi común puede comprender un componente amina de un primer sistema basado en epoxi que reaccionará con el componente epoxi común a una primera temperatura relativamente baja, tal como, por ejemplo, por debajo de 50°C, preferiblemente próxima a la temperatura ambiente. A esta primera temperatura, el segundo sistema basado en epoxi, es preferiblemente no reactivo, o la reacción se produce a una velocidad muy baja. Puesto que la velocidad de reacción del segundo sistema basado en epoxi debe ser muy baja, puede estar catalizada de forma ventajosa por un catalizador, que no es activo hasta que se activa. Esta activación puede darse, por ejemplo, mediante luz ultravioleta, adición de un compuesto o por calentamiento, sin embargo, se prefiere que el catalizador se active por calentamiento.

En la Fig. 6, una mezcla previa 36 comprende los componentes amina 30a y 30b, y un catalizador 32, preferiblemente para catalizar el curado de un segundo sistema basado en epoxi. La mezcla previa debe ser una solución o una suspensión estable y, si la viscosidad es demasiado baja para evitar la precipitación de un componente sólido como, por ejemplo, un catalizador, puede añadirse una cantidad pequeña de un componente epoxi, preferiblemente un componente epoxi común de los sistemas. Típicamente, debería ser suficiente del 0,1 al 5% en peso de epoxi para ajustar la viscosidad. La mezcla previa y el componente epoxi común deben mezclarse inmediatamente antes de la distribución de la resina 40. La resina puede calentarse para disminuir la viscosidad, pero la resina es preferiblemente semisólida a temperatura ambiente.

Las resinas que se utilizan según la presente invención pueden prepararse de la mayoría de las maneras tradicionales, familiares para un experto en la técnica, y la realización con respecto a la preparación de la resina que se incluye en la Fig. 6 debe considerarse como un ejemplo de cómo puede prepararse una resina. Esta realización no debería considerarse como una limitación del alcance de la invención.

Alternativamente, puede proporcionarse una forma tridimensional simple como se muestra en la Fig. 7, en la que varios planos horizontales idénticos de las fibras orientadas 50 se colocan unos sobre otros, pero ligeramente desplazados. Las líneas mostradas en los planos horizontales 50 no indican la orientación de las estopas de fibras sino que simplemente se incluyen para hacer que sea más fácil distinguir las diferentes capas cuando se combinan. En la sección central de la Fig. 7, las capas se colocan una sobre la anterior paso a paso formándose, por tanto, una preforma en la parte inferior de la Fig. 7, que tiene partes 52 con un número bajo de capas de fibras, partes 54 con un número intermedio de capas de fibras y una parte 56 con un número elevado de capas de fibras. Cuando se proporcionan un número superior de capas, entonces las partes 52 y 54 pueden prepararse de modo que parezcan prácticamente estrechadas. Este procedimiento puede proporcionar simultáneamente una preforma que tenga dos, tres, cuatro o más partes estrechadas.

Las propiedades de un material compuesto reforzado con fibra dependen en gran medida de las propiedades de la fibra. Sin embargo, las propiedades de los diferentes tipos de fibras varían considerablemente. Por ejemplo, el coeficiente de expansión térmica de las fibras de carbono es muy bajo y, en algunos casos, incluso negativo. Por tanto, puede ser muy difícil conectar materiales compuestos reforzados con fibras de carbono con materiales compuestos reforzados con otros tipos de fibras, y una preforma que comprenda fibras de carbono puede, por tanto, potenciarse de forma ventajosa para acoplarse con un miembro de material compuesto que comprende fibras de un segundo tipo y una resina. Ejemplos de fibras del segundo tipo son fibras de vidrio, fibras de aramida, fibras sintéticas (por ejemplo, fibras acrílicas, de poliéster, PAN, PET, PE, PP o PBO), biofibras (por ejemplo, fibras de

cáñamo, yute, celulosa, etc.), fibras minerales (por ejemplo, Rockwool™), fibras metálicas (por ejemplo, acero, aluminio, latón, cobre, etc.) o fibras de boro.

En una realización preferida, la preforma se potencia para su conexión proporcionando a la preforma fibras de un segundo tipo. Estas fibras del segundo tipo deben extenderse más allá de la preforma para proporcionar una parte para la conexión. Las fibras del segundo tipo, así como las fibras de carbono, pueden proporcionarse en capas entrelazadas ricas en las respectivas fibras. Por ejemplo, las capas pueden tener exclusivamente un único tipo de fibras. En una realización preferida, las capas que comprenden fibras del segundo tipo se proporcionan como fibras preimpregnadas. Las fibras preimpregnadas pueden ser fibras preimpregnadas unidireccionales, sin embargo, los resultados experimentales sugieren, sorprendentemente, que las fibras preimpregnadas biaxiales que comprenden las fibras del segundo tipo proporcionan una base mejor para la conexión de la preforma a una estructura reforzada con fibras del segundo tipo.

Cerca del extremo de una capa de fibras entrelazadas con un material que tiene propiedades diferentes aumentará la concentración de tensiones. Para reducir o evitar el acoplamiento de tensiones desde los extremos de una capa a los extremos de la siguiente capa, la distancia del entrelazado debería ser mayor que la magnitud de la concentración de tensiones. Puesto que es difícil establecer la magnitud de la concentración de tensiones, se prefiere utilizar un margen seguro y, por tanto, separar los extremos de dos capas adyacentes mediante al menos 2 veces la magnitud de la concentración de tensiones.

También es razonable asegurar que la distancia entre el extremo de la capa más próxima del mismo tipo de fibras debería estar separado por una distancia que se corresponda con la magnitud de la concentración de tensiones, preferiblemente con un margen de seguridad y, por tanto, usando un factor de 2.

La magnitud de la concentración de tensiones depende de varios factores como, por ejemplo, el grosor de las capas, el tipo de fibras, el tipo de resina, etc., y puede establecerse mediante modelado o mediante procedimientos empíricos.

Las preformas proporcionadas por un procedimiento según la invención, son muy útiles para la preconsolidación, puesto que el escape de gas de la preforma se facilita debido a la presencia de capas no continuas de resina. Las preformas pueden utilizarse alternativamente para la preparación directa de miembros de material compuesto mediante el curado. Particularmente, las preformas son muy útiles para la preparación de miembros para las palas de las turbinas eólicas, puesto que pueden fabricarse materiales compuestos que cumplen por completo los requisitos de calidad y los requisitos de reproducibilidad.

Cuando se tienen que fabricar estructuras más grandes que comprenden preformas producidas mediante un procedimiento según la invención, esto puede hacerse siguiendo un procedimiento en el que la preforma se conforma plásticamente, al menos de forma parcial. La preforma puede conectarse con otras preformas antes o después del conformado para proporcionar una estructura más grande. La preforma también puede conectarse con otras estructuras. Se prefiere, aunque no es necesario, que las conexiones incluyan una parte estrechada o capas que comprenden fibras del segundo tipo. La estructura combinada puede colocarse en una cámara de vacío y se somete a vacío antes del curado. Finalmente, la estructura de preforma se cura.

La Fig. 8 muestra un ejemplo de una sección transversal de una preforma que se potencia para su conexión a una estructura o a otras preformas que se hayan reforzado mediante fibras del segundo tipo. Son especialmente importantes conexiones más enlazantes cuando las propiedades físicas de las estructuras que se van a conectar difieren significativamente. Típicamente, las propiedades físicas vienen dictadas en gran medida por las fibras de refuerzo y son ejemplos de propiedades físicas destacables el coeficiente de expansión térmica (CET) y el módulo de Young. Por tanto, estos tipos de conexiones son importantes, por ejemplo, cuando un material compuesto que comprende fibras de carbono se conecta con un material compuesto reforzado con otro tipo de fibras, ya que los CET de las fibras de carbono son muy bajos y pueden incluso ser negativos. Sin embargo, pueden usarse iguales tipo de conexiones para conexiones resistentes entre materiales compuestos reforzados con otros tipos de fibras. El segundo tipo de fibras puede ser cualquiera de los tipos de fibras mencionados previamente en la descripción y, por ejemplo, este tipo de conexión puede usarse para conectar un material compuesto reforzado con fibras de carbono a un material compuesto reforzado con fibras de vidrio. La preforma de la Fig. 8 tiene capas de fibras del segundo tipo (por ejemplo, fibras de vidrio) entrelazadas entre las capas de fibras de carbono del volumen total de la preforma.

La distancia de superposición del entrelazado puede ser mayor que la magnitud de la condición final de la tensión interfacial entre capas ricas en o que contienen exclusivamente fibras de carbono y capas ricas en o que contienen exclusivamente el segundo tipo de fibras, puesto que esto evitará un acoplamiento o aparición de tensión entre las capas entrelazadas. Por la misma razón y por razones de introducción de un margen de seguridad, es más preferible que la distancia del entrelazado sea mayor de 2 veces la magnitud de la condición final de la tensión interfacial.

La distancia entre los extremos de las capas ricas en fibras del segundo tipo que se entrelazan entre capas ricas

en fibras de carbono, están separadas por una distancia mayor que la magnitud de la condición final de la tensión interfacial entre capas ricas en fibras de carbono y capas ricas en las fibras del segundo tipo. Una vez más, esto es para evitar un acoplamiento o aparición de tensión entre las capas entrelazadas. Por la misma razón y por razones de introducción de un margen de seguridad, es más preferible que la distancia entre los extremos de las capas ricas en fibras del segundo tipo es mayor de 2 veces la magnitud de la condición final de la tensión interfacial.

En una realización preferida, la preforma se trata además mediante preconsolidación para formar una preforma preconsolidada, como se describe en la siguiente sección. La preconsolidación es especialmente útil cuando las fibras se proporcionan como fibras individuales, estopas de fibras, fibras preimpregnadas en estopas de fibras en comparación con las fibras proporcionadas como fibras preimpregnadas, debido a una viscosidad menor durante el procedimiento de preconsolidación. Esto aumentará la redistribución de la resina y/o de las fibras, lo que es muy deseable, ya que aumentará la homogeneidad del producto resultante.

Por preconsolidación se denomina en este documento un procedimiento en el que se elimina el gas del interior de una preforma y se produce una preforma de baja porosidad. La preconsolidación implica la redistribución de una resina y, opcionalmente, una redistribución de las fibras. Además, la preconsolidación puede implicar un curado limitado de la resina. La preconsolidación es especialmente útil, ya que produce una preforma densa (denominada a partir de ahora en este documento preforma preconsolidada). Las preformas preconsolidadas y los materiales compuestos preparados a partir de preformas preconsolidadas serán apreciados, entre otros motivos, debido a una buena reproducibilidad, baja porosidad, elevada homogeneidad, elevada resistencia, capacidad de conformado plástico de la preforma preconsolidada, capacidad para conectarse con otras preformas y/u otras estructuras, idoneidad de automatización y periodo de almacenamiento prolongado sin curado precoz.

Cuando la preconsolidación implica un curado limitado, este curado limitado puede implicar una liberación de hasta el 50% de la energía que se liberará mediante el curado completo de la resina. Sin embargo, se prefiere que el grado del curado se limite a un grado que permitirá una deformación plástica de la preforma. El grado de curado que permitirá una deformación plástica de una preforma preconsolidada depende, entre otras razones, de la resina exacta así como del tipo de fibra y del contenido en la misma. Generalmente, se prefiere que el curado limitado implique menos del 20% de la energía que se liberará mediante el curado completo de la resina y, más preferiblemente, que el curado limitado implique entre el 3 y el 15% de la energía que se liberará mediante el curado completo.

En general, el procedimiento de preconsolidación debería reducir la porosidad de una preforma, sin embargo, se prefiere que la porosidad resultante de la preforma preconsolidada sea menor del 5% en volumen, preferiblemente menor del 2% en volumen y, más preferiblemente, menor del 1% en volumen. En algunos casos, una porosidad de incluso el 1% puede reducir considerablemente las propiedades de un material compuesto. En estos casos, se apreciará que el procedimiento y las preformas preconsolidadas puedan producirse con buenas porosidades por debajo del 1%. Por ejemplo, se consiguió una porosidad reproducida de aproximadamente el 0,2% en volumen para un material compuesto con el 60% de fibras de carbono en epoxi. La reducción de la porosidad puede, por ejemplo, ser el resultado de la exposición de la preforma a una presión y/o al vacío en relación con el procedimiento de preconsolidación.

La porosidad de la preforma preconsolidada no puede establecerse directamente, ya que no se conoce la densidad, y ésta puede variar a lo largo del material. Por tanto, la porosidad debe establecerse mediante un procedimiento óptico en una muestra materialográfica. La preparación de muestras materialográficas a partir de una preforma preconsolidada no curada requiere mucho trabajo, ya que el material comprende tanto un elemento muy blando (es decir, una resina) como un elemento muy duro (es decir, la fibra). Para establecer un resultado reproducible, por tanto, es necesario curar la preforma antes de la preparación materialográfica. Este procedimiento de curado debería realizarse sin presión para asegurar que la porosidad no se ve afectada por el procedimiento.

Para asegurar la manejabilidad, la preforma preconsolidada debería ser sustancialmente no pegajosa, es decir, debería desprenderse fácilmente de cualquier superficie importante y no debería dejar cantidades excesivas de resina en la superficie cuando se desprenda.

Para asegurarse un periodo de almacenamiento prolongado y/o la estabilidad durante el transporte, es importante que la reacción de curado del volumen total de la resina sea suficientemente baja a temperatura ambiente y que el catalizador (si está presente) no se active de manera accidental. Por ejemplo, si el catalizador se activa por calor, debería asegurarse que la temperatura de activación sea considerablemente más elevada que la temperatura máxima esperada durante el almacenamiento.

Una de las características de las preformas preconsolidadas es que son, al menos, parcialmente deformables. Esto puede realizarse, por ejemplo, a través del curado equilibrado y limitado durante el procedimiento de preconsolidación. En una realización preferida, al menos parte de la preforma preconsolidada es capaz de doblarse alrededor de un eje paralelo a la orientación principal de las fibras, con un diámetro de más de 1 cm, sin embargo, en algunos casos la preforma preconsolidada puede doblarse mediante deformación plástica con un diámetro de más de 5 cm. Pueden obtenerse diámetros de doblado menores reordenando la resina y/o las fibras o mediante la

conformación tridimensional de una preforma. Por adquirir conformación tridimensional se entiende en este documento que el espesor (es decir, el número de capas o la cantidad de fibras y/o resina) y/o la forma del plano horizontal de parte de la preforma se ajustan con respecto al volumen total de la preforma. Típicamente, sólo una parte de la preforma preconsolidada se prepara para un doblado muy agudo, mientras que el doblado alrededor de ejes de diámetros mayores, por ejemplo de 50 cm, puede realizarse a menudo a partir de todas las partes de la preforma preconsolidada.

La rigidez de una preforma realizada durante un procedimiento de preconsolidación debería asegurar que la preforma preconsolidada es lo suficientemente rígida para evitar la relajación de la preforma preconsolidada en la dirección de la longitud de las fibras cuando se coloca en una superficie no plana y permitir aún una deformación plástica alrededor de un eje paralelo a la dirección longitudinal de las fibras. En particular, cuando una preforma preconsolidada que comprende fibras de carbono se coloca sobre capas entrecruzadas de fibras de vidrio o sobre fibras de vidrio preimpregnadas con superposición parcial, entonces, la preforma preconsolidada debe permanecer sustancialmente plana durante el tendido y el curado, mientras que las fibras de vidrio deberían ajustarse a la configuración o forma de la preforma preconsolidada. Por tanto, las fibras de carbono permanecerán rectas llevando a un aumento de la resistencia de la estructura combinada.

El procedimiento de preconsolidación a menudo lleva a un aumento de la viscosidad de la resina en la preforma, por ejemplo, mediante un curado parcial. Se prefiere que la viscosidad a temperatura ambiente aumente en un factor de al menos dos o, más preferiblemente en un factor de al menos cinco, ya que a medida que aumenta la viscosidad aumentará la manejabilidad, la resistencia y la falta de adhesividad. En algunos casos, la viscosidad puede aumentar en un factor mucho mayor como, por ejemplo 10, 100 ó 1.000. Este es, por ejemplo, el caso cuando parte de la resina se inyecta en la preforma como un líquido a temperatura ambiente. Otra forma de expresar el aumento de la viscosidad es observar directamente la viscosidad. Se prefiere que la viscosidad de la resina en la preforma sin consolidar está comprendida entre aproximadamente 100 a 10.000 mPa·s (cP) a la temperatura a la cual se realiza el procedimiento de consolidación, preferiblemente entre aproximadamente 500 a 3.000 mPa·s (cP).

La temperatura a la cual se realiza el procedimiento de preconsolidación puede variar considerablemente dependiendo especialmente de la composición de la resina. Típicamente, las temperaturas de preconsolidación para sistemas de resina basada en epoxi son de 50 a 90°C y, preferiblemente, de 60 a 80°C, sin embargo, pueden ser factibles en algunos sistemas temperaturas tanto superiores como inferiores.

El procedimiento de preconsolidación puede llevar a un aumento en la temperatura de transición vítrea (T_g) de la resina, por ejemplo, mediante un curado parcial. Se prefiere que la T_g de la resina aumente durante la preconsolidación en al menos 2°C y, preferiblemente, en al menos 5°C, ya que un aumento en la T_g normalmente indica un aumento del peso molecular medio de la resina, lo que aumentará su manejabilidad, resistencia y falta de adhesividad. En algunos casos, la T_g puede aumentar más. Esto es especialmente el caso en el que la T_g de la preforma sin consolidar sea muy baja.

En general, una preforma preconsolidada con un sistema de resina basado en epoxi típicamente tiene una T_g comprendida entre -10 y +30°C y, preferiblemente, una T_g comprendida entre -5 y 10°C. En una realización preferida, la T_g de la resina de la preforma preconsolidada es superior a aproximadamente 0°C y, preferiblemente, superior a aproximadamente 3°C. Para la preforma sin consolidar, la T_g de la resina debería estar por debajo de aproximadamente 5°C y, preferiblemente, por debajo de aproximadamente 2°C.

En algunos casos, el curado de una preforma preconsolidada sin ser expuesta al vacío dará lugar a un material con propiedades equivalentes a una preforma curada al vacío, ya que la porosidad se ha eliminado o se reduce mucho durante el procedimiento de preconsolidación previo al curado.

La resina puede comprender más de un sistema, por ejemplo, la resina puede comprender dos sistemas. Estos sistemas pueden ser cualquier combinación de sistemas diferentes o del mismo tipo, sin embargo, se prefiere que la resina comprenda dos sistemas sustancialmente basados en epoxi. Los sistemas de resina deben ser compatibles. En una realización preferida, dos sistemas basados en epoxi comprenden un componente común. El componente común puede, por ejemplo, ser un catalizador común, un componente amina común o un componente epoxi común, sin embargo, se prefiere que el componente común sea un componente epoxi. Una resina que comprende dos sistemas basados en epoxi con un componente epoxi común puede comprender un componente amina de un primer sistema basado en epoxi que reaccionará con el componente epoxi común a una primera temperatura relativamente baja, tal como, por ejemplo, por debajo de 50°C, preferiblemente próxima a temperatura ambiente. A esta primera temperatura, un segundo sistema basado en epoxi es preferiblemente no reactivo o la reacción se produce a una velocidad muy baja. Puesto que la velocidad de reacción del segundo sistema basado en epoxi debería ser muy baja, puede estar catalizada de forma ventajosa por un catalizador que no sea activo hasta que se activa. Esta activación puede darse, por ejemplo, mediante luz ultravioleta, adición de un compuesto o por calentamiento, sin embargo, se prefiere que el catalizador se active por calentamiento.

En un procedimiento preferido de preconsolidación de una preforma, se coloca una preforma en la superficie de un reactor, como por ejemplo, una placa, un molde, etc. Se prefiere que la superficie del reactor sea plana y ésta se

pueda soportar calor y/o vacío. A continuación, se aplica presión a la preforma. La presión puede aplicarse mediante una prensa o, preferiblemente, al vacío dentro de una cámara de vacío. Si se utiliza vacío, entonces debe obtenerse una cámara de vacío antes del prensado. La cámara de vacío puede, por ejemplo, comprender una bolsa de vacío o puede comprender una superficie del reactor y una cubierta flexible conectada a través de una vía hermética con la superficie del reactor. Por ejemplo, el gas puede evacuarse a través de la superficie del reactor o a través de una abertura en la bolsa de vacío o en la cubierta flexible. La preconsolidación se activa. La activación puede tener lugar antes y/o durante y/o después de aplicar la presión. La activación comprende una reducción de la viscosidad de la resina. Esto puede, por ejemplo, realizarse mediante medios físicos (por ejemplo, calentando, añadiendo un disolvente, por presión, etc.) y/o mediante una reacción química. Durante el procedimiento de preconsolidación puede tener lugar o no un curado limitado. Cuando se ha reducido la porosidad a un nivel deseado o se ha obtenido otro objeto de la preconsolidación, se termina el procedimiento de preconsolidación. La terminación puede ser, por ejemplo, resultado del agotamiento de un primer sistema de resina o del enfriamiento de la preforma preconsolidada a una temperatura, en la que la reacción de curado sea lo suficientemente lenta y/o la viscosidad sea lo suficientemente baja para que la preforma preconsolidada alcance la estabilidad necesaria para el periodo de almacenamiento deseado.

La preforma que se va a preconsolidar puede tener al menos una capa de resina no continua, a través de la cual puede eliminarse el gas durante el procedimiento de preconsolidación. Por tanto, no es necesario eliminar el gas de la preforma en el plano de una capa de resina o en el plano de una capa de fibras. Las distancia de transporte y el riesgo de que el gas quede atrapado dentro de la preforma preconsolidada se reduce mucho. En una realización más preferida, todas las capas de resina (opcionalmente excepto una capa que se encuentra encima de la capa superior de fibras o por debajo de la capa inferior de fibras) son no continuas.

Un ejemplo de un procedimiento para asegurar que el gas puede eliminarse de forma continua de la preforma durante la preconsolidación implica una activación gradual del procedimiento de preconsolidación que se inicia desde el centro de la preforma y avanza hacia las superficies, o desde un lado o borde y avanza a través de la preforma. Por ejemplo, esto puede realizarse calentando sólo desde la superficie de reacción, activando por tanto gradualmente desde el lado de la preforma en contacto con la superficie de reacción o mediante el calentamiento controlado con microondas, activando por tanto gradualmente desde el interior de la preforma y avanzando hacia las superficies.

Las preformas proporcionadas por el procedimiento según la invención, son muy útiles para la preparación de miembros de materiales compuestos mediante curado. Particularmente, las preformas son muy útiles para la preparación de miembros para las palas de turbinas eólicas y, particularmente, para los mástiles de una pala de una turbina eólica, puesto que estos materiales compuestos cumplen los requisitos de calidad y los requisitos de reproductibilidad.

Cuando se tienen que preparar estructuras más grandes que comprenden preformas según la invención o preformas producidas mediante un procedimiento según la invención, este puede ir seguido de un procedimiento en el que la preforma se moldea plásticamente, al menos parcialmente. La preforma puede estar conectada con una o más preformas preconsolidadas adicionales y/o preformas no consolidadas antes o después del conformado para proporcionar una estructura más grande. La preforma también puede conectarse con otras estructuras. Se prefiere, aunque no es necesario, que las conexiones impliquen una parte estrechada o capas que comprendan fibras de un segundo tipo. La estructura combinada puede colocarse en una cámara de vacío y someterse a vacío antes del curado. Finalmente, la estructura preforma se cura.

Las propiedades de una estructura laminar que tiene capas de fibras orientadas dependen en gran medida de la distribución de los elementos principales de la estructura de resina, fibras y porosidad. La resina posee una resistencia baja en comparación con las fibras y puede, por tanto, proporcionar una vía para la propagación de fisuras a través de la estructura, si están presentes capas demasiado grandes de resina. La porosidad puede reducir drásticamente la resistencia de la estructura pero la adversidad depende del tamaño, la forma y la distribución de los poros, es decir, el efecto de poros pequeños esféricos aislados es limitado, mientras que poros más grandes colocados en la interfaz entre la resina y las fibras pueden ser fatídicos para la estructura. Por tanto, es vital ser capaz de controlar la distribución de los elementos.

El grado de redistribución depende, entre otros, de la viscosidad de la resina durante el procedimiento de compactación, es decir, cuanto más baja sea la viscosidad, más fácil es la redistribución de los elementos. Utilizando un procedimiento de preconsolidación, la viscosidad de la resina puede reducirse más que lo que era posible en la técnica anterior, puesto que la estructura no se limita a apoyar una forma en particular durante el procedimiento. Cuando la preconsolidación incluye un curado limitado de la resina, la viscosidad puede reducirse adicionalmente puesto que el curado aumenta la manejabilidad y reduce la adherencia de la preforma preconsolidada. Por tanto, la preconsolidación permite la redistribución de la resina y/o las fibras en un grado mucho mayor que el que puede obtenerse con la técnica anterior. Las preformas preconsolidadas resultantes pueden tener porosidad muy baja así como una estructura más homogénea. Esto puede dar lugar, por ejemplo, a una estructura de material compuesto que tiene una estructura laminar menos pronunciada, es decir, en la que las capas son menos pronunciadas que una estructura de material compuesto correspondiente que comprende sólo preformas que no se preconsolidan

antes del curado.

TABLA PARA LA IDENTIFICACIÓN

2	Fibras que indican una orientación principal de la fibra
4	Resina
4a	Línea de resina
4b	Puntos o partículas de resina
4c	Línea aleatoria de resina
4d	Lámina de resina
6	Adhesivo
6a	Adhesivo próximo al inicio de la fibra
6b	Adhesivo próximo al final de la fibra
6c	Adhesivo en la parte central de la preforma
6d	Adhesivo en la parte central de la preforma con un patrón en zigzag
10	Plano horizontal de la preforma
12	Orificio pasante
14	Dirección de tendido de la fibra
γ	Ángulo entre los bordes de un plano horizontal de la preforma
α	Ángulo entre los bordes de un plano horizontal de la preforma
β	Ángulo entre los bordes de un plano horizontal de la preforma
20	Parte estrechada de la preforma en la dirección principal de las fibras
22	Parte estrechada de la preforma ortogonal a la dirección principal de las fibras
24	Parte no estrechada de la preforma
30a	Amina de un primer sistema basado en epoxi
30b	Amina de un segundo sistema basado en epoxi
32	Catalizador de un segundo sistema basado en epoxi
34	Componente epoxi
36	Mezcla previa que comprende el componente amina y el catalizador
38	Unidad de mezcla y aplicación
40	Resina mezclada y distribuida
50	Plano horizontal de fibras orientadas
52	Parte que tiene un número menor de capas de fibras
54	Parte que tiene un número intermedio de capas de fibras
56	Parte que tiene un número elevado de capas de fibras
60	Capa de fibras que comprende fibras de carbono
62	Capa de fibras que comprende fibras de un segundo tipo
64	Distancia de superposición del entrelazado
66	Distancia entre los extremos de las capas que comprende fibras de un segundo tipo

5

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para preparar una preforma que comprende las etapas de:
- proporcionar capas de fibras (2)
5
- proporcionar una resina (4) en contacto con al menos una de las capas de fibras (2),
caracterizado porque
- 10 - se proporciona un adhesivo (6) entre dichas capas de fibras (2) para inmovilizar al menos parcialmente las fibras;
- las capas de fibras (2) son estopas de fibras orientadas;
- la etapa de proporcionar capas de estopas de fibras comprende proporcionar una capa de fibras fuera del borde de
15 una capa de fibras precedente a lo largo de una pluralidad de bordes respectivos (20; 22) de la preforma, realizando
por tanto partes estrechadas a lo largo de los bordes respectivos (20; 22) de la preforma.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la resina (4) se proporciona para formar una
20 capa o capas no continuas.
3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la resina (4) se proporciona como capas
continuas y en la que se han introducido orificios pasantes.
4. Un procedimiento según la reivindicación 3, en el que los orificios pasantes se han introducido
25 mediante perforación.
5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la resina (4) se
proporciona como partículas sólidas o semisólidas.
- 30 6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que la resina (4) se proporciona
como líquido.
7. Un procedimiento según la reivindicación 6, en el que la resina (4) se proporciona para formar un
35 patrón orientado o aleatorio de una línea, varias líneas o puntos.
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el adhesivo se
proporciona en capas no continuas.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, en el que el adhesivo se proporciona en líneas que tienen
40 un ángulo con respecto a una orientación de las fibras (2).
10. Un procedimiento según la reivindicación 9, en el que el ángulo es aproximadamente 90° con respecto
a una orientación de las fibras (2).
- 45 11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la resina (4) es
principalmente una resina termoendurecible.
12. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las capas de fibras
50 son estopas de fibras unidireccionalmente orientadas (2) y la orientación de las fibras es sustancialmente la misma
en las capas de fibras.
13. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la parte estrechada
de la preforma comprende partes estrechadas (20; 22) que se extienden a lo largo de los bordes de la preforma en
la dirección principal de las fibras y en una dirección que es ortogonal a la dirección principal de las fibras,
55 respectivamente.
14. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la preforma está
conformada para tener un plano horizontal cuadrangular que tiene al menos dos ángulos diferentes de 90° o un
plano horizontal trapezoidal o triangular.
- 60 15. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento
comprende además la preconsolidación para formar una preforma preconsolidada.

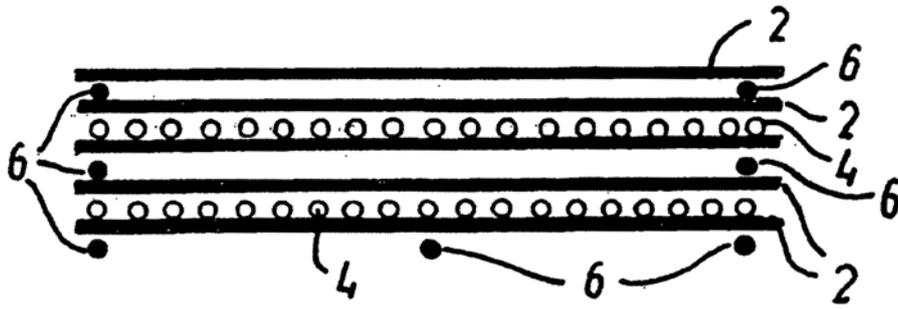


Fig. 1

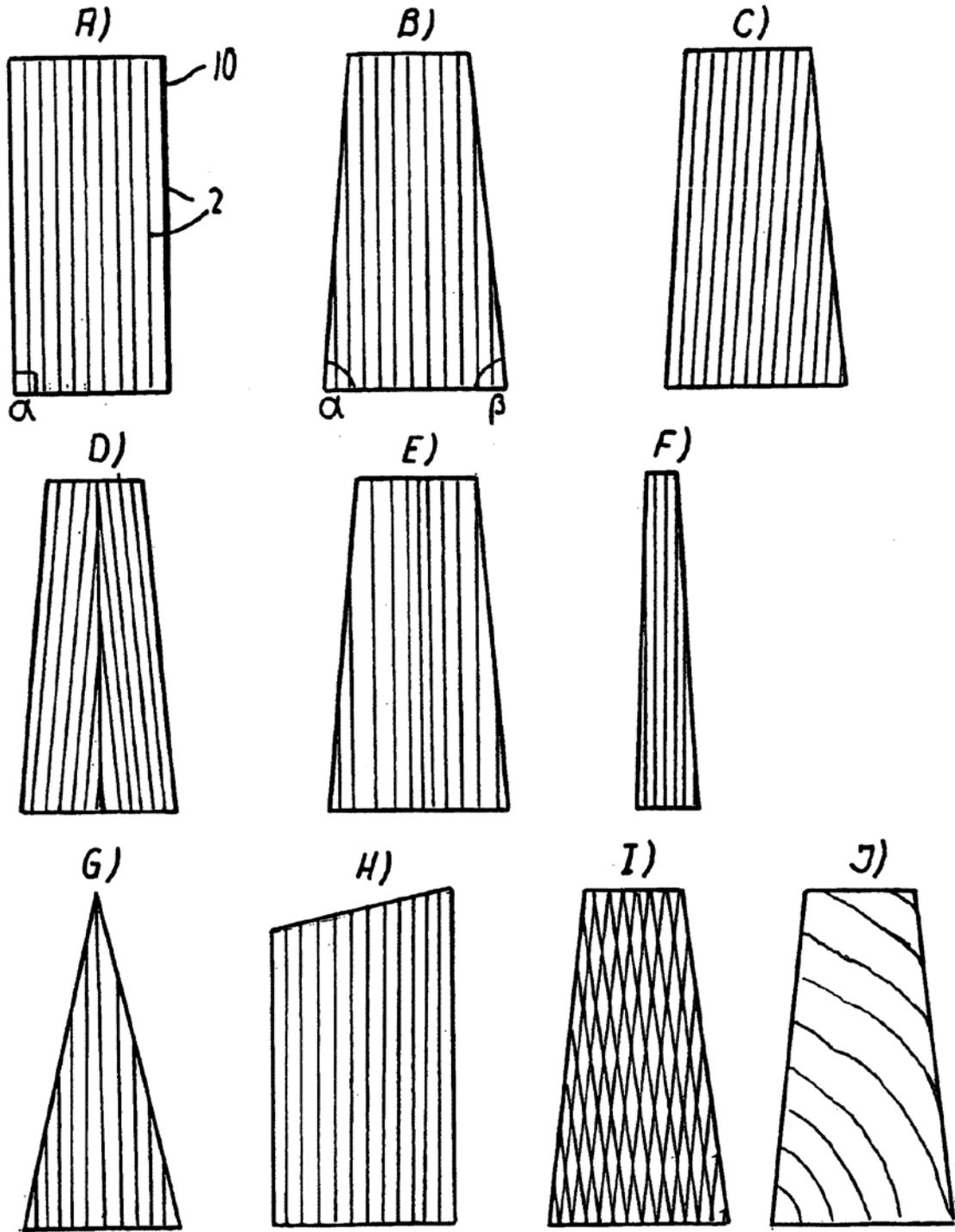


Fig. 2

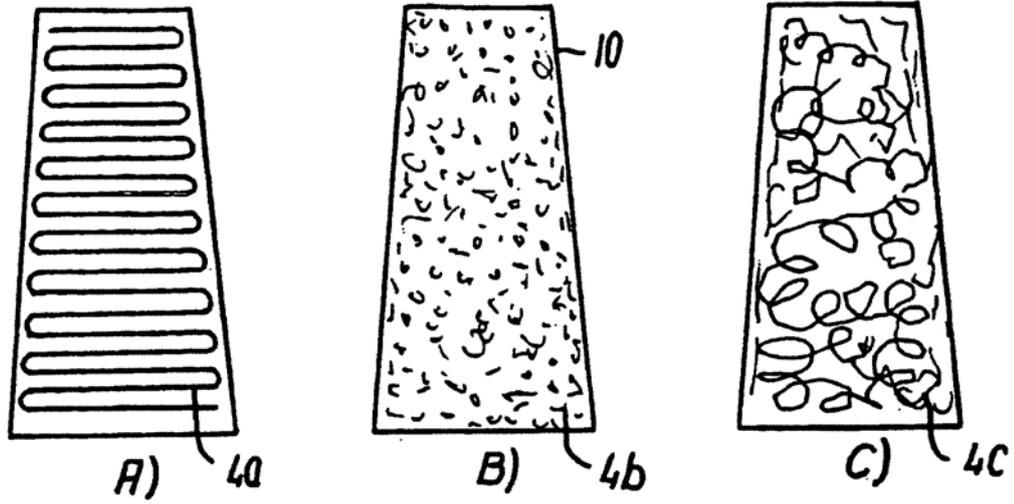


Fig. 3

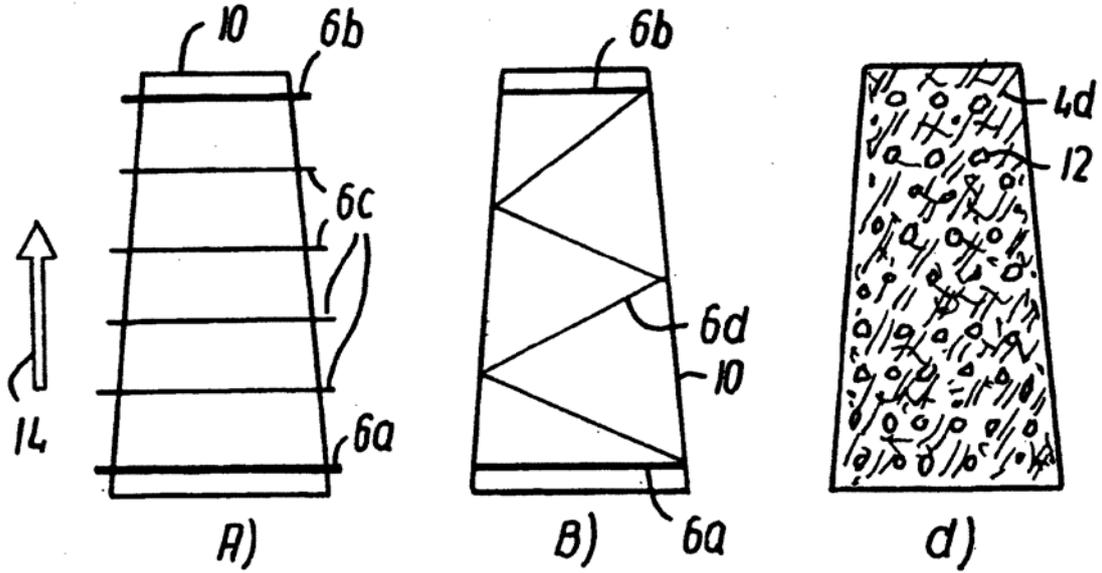


Fig. 4

Fig. 3

Fig. 5

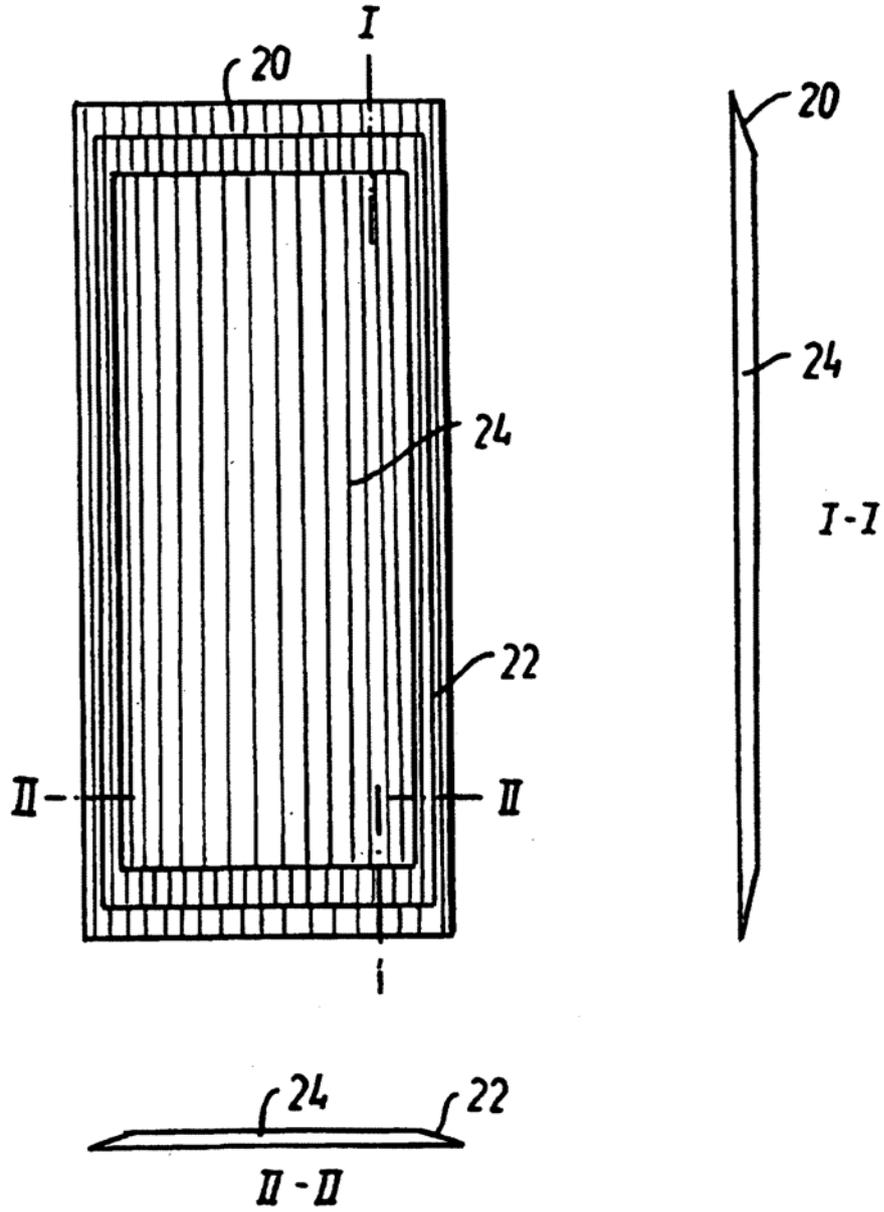


Fig. 6

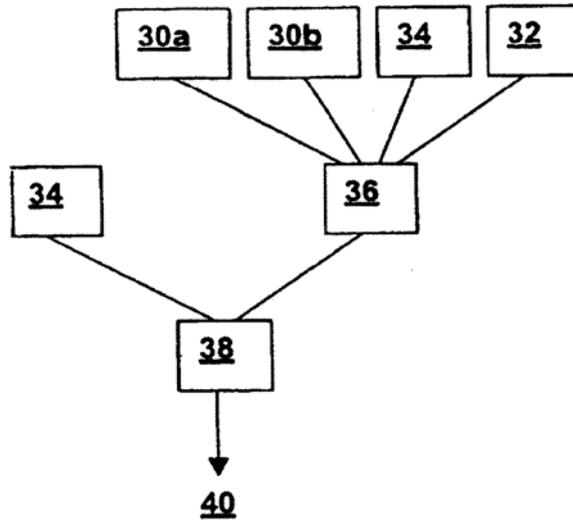


Fig. 7

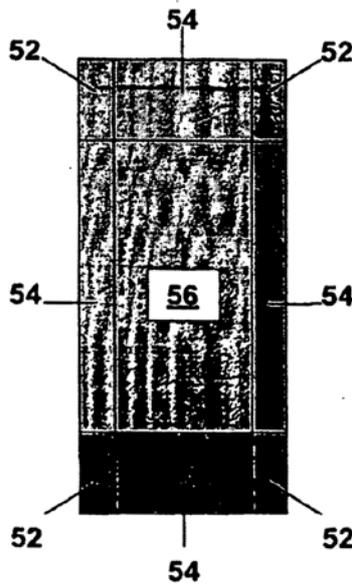
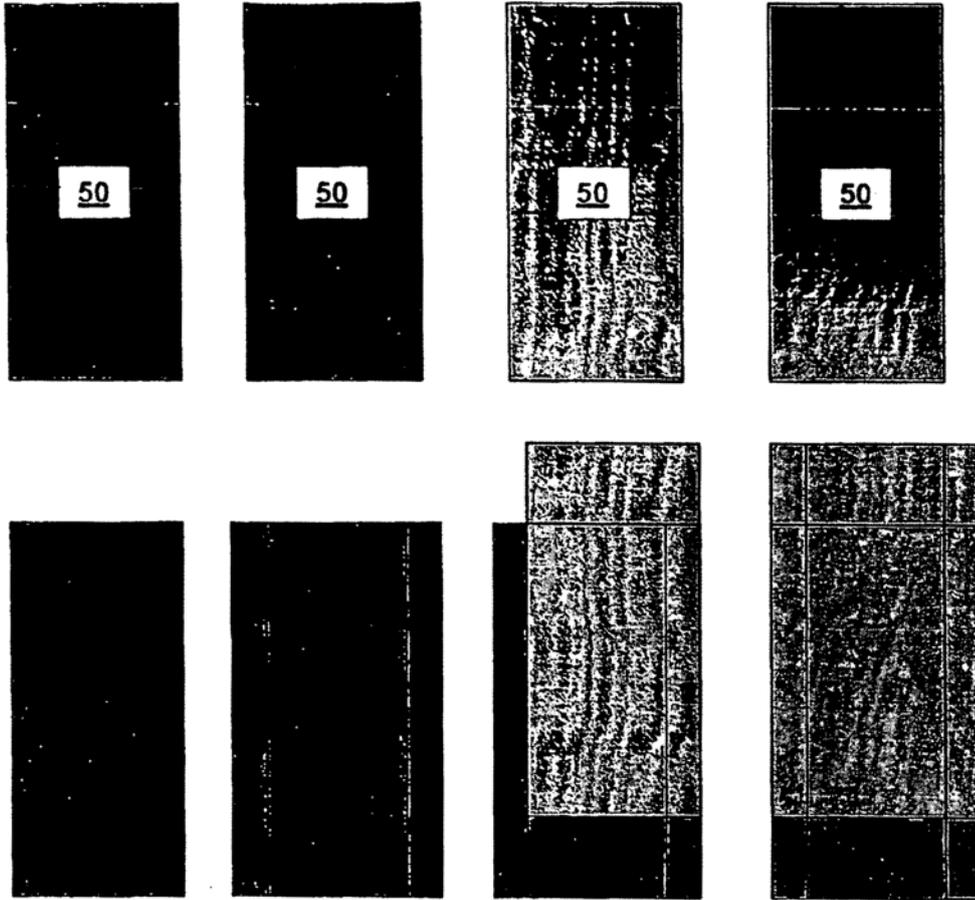




Fig. 8