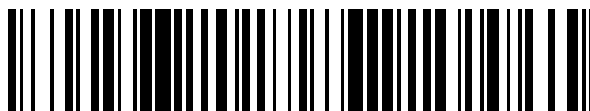


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 510 398**

51 Int. Cl.:

F03D 3/06 (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01)
B29C 70/54 (2006.01)
B29C 70/20 (2006.01)
B29B 11/16 (2006.01)
B29D 99/00 (2010.01)
B29C 70/02 (2006.01)
B29C 70/08 (2006.01)
B29L 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2011** **E 11700788 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014** **EP 2524134**

54 Título: **Componentes de pala de rotor de aerogenerador y métodos para fabricar los mismos**

30 Prioridad:

14.01.2010 US 295006 P

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

21.10.2014

73 Titular/es:

NEPTCO, INC. (100.0%)
30 Hamlet Street
Pawtucket, RI 02861-0323, US

72 Inventor/es:

GRUHN, JOEL D.;
FRANKLIN, ETHAN y
NARASIMHAN, KAMESHWARAN

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 510 398 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

Componentes de pala de rotor de aerogenerador y métodos para fabricar los mismos

5 SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud de patente no provisional reclama la prioridad de la solicitud de patente provisional de Estados Unidos con nº de serie 61/295.006 presentada el 14 de enero de 2010.

10 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere generalmente a palas de rotor de aerogenerador. La invención también se refiere a capas de preforma estructurales de múltiples elementos o varillas rígidas de resistencia para su uso al fabricar componentes de palas eólicas.

15 ANTECEDENTES

Los avances tecnológicos en los aerogeneradores han continuado demostrando que la energía a partir de la potencia eólica ofrece una fuente de energía alternativa comercialmente viable. Las mejoras en el diseño han permitido incrementos en los tamaños de los aerogeneradores y las palas de rotor de manera que estos incrementos en la salida de energía se han realizado. Sin embargo, los costes de fabricación presentan desafíos en cuanto al desarrollo de la tecnología de energía eólica como una fuente de energía alternativa competitiva. En particular, los factores que contribuyen a los costes de fabricación y la eficacia de energía de los aerogeneradores incluyen el diseño y construcción de las palas de rotor.

Los incrementos del tamaño de la pala de rotor han demostrado incrementos en la producción de energía. Los grandes aerogeneradores comerciales incluyen a menudo palas de rotor con envergaduras de 40 a 45 metros o más. La energía extraída a partir de aerogeneradores depende del área del círculo del movimiento circular de la pala de rotor o diámetro del rotor desde una punta de la pala a otra punta de la pala. En particular, los incrementos en la longitud de la pala incrementan el área del círculo del movimiento circular de la pala que puede tener como resultado capturar más potencia eólica e incrementar la salida de energía. Por ejemplo, el área del círculo del movimiento circular de la pala es proporcional al cuadrado de la longitud de la pala, de manera que un 10% de incremento en la longitud de la pala de rotor puede tener como resultado un incremento del 20% en la salida de energía del aerogenerador.

Sin embargo, aumentar el tamaño de la pala de rotor y, en particular, la longitud de la pala tiene como resultado un correspondiente incremento en el peso y espesor de la pala, así como un incremento en los requisitos de resistencia de la pala. El peso de la pala es un factor limitativo clave en el diseño de la pala por el que un incremento del tamaño de la pala provoca que el peso de la pala se incremente más rápido que el correspondiente incremento de la salida de energía de la turbina. En particular, los incrementos en la longitud de la pala pueden tener como resultado incrementos exponenciales en el peso de la pala mediante un factor de 2,5 a 3 debido al incremento en la masa y el área de la pala. Los costes de fabricación consecuentes serían proporcionales a las cantidades incrementadas de materiales consumidos al fabricar palas más grandes y, por tanto, pueden ser desproporcionadamente altos en relación con los incrementos realizados en la salida de energía, provocando rentabilidades decrecientes en tamaños de pala más grandes. Las mejoras tecnológicas han ayudado a mitigar incrementos en el peso de la pala como resultado de los incrementos en el tamaño de la pala. Sin embargo, el peso de la pala sigue siendo un factor limitativo con respecto a mejorar la salida y eficacia de energía de la turbina. De esta manera, incrementar la producción de energía de la turbina a través del tamaño de la pala y, específicamente, a través de la longitud de la pala presenta los desafíos de equilibrar la longitud, peso, resistencia y costes de fabricación de la pala para producir palas que incrementen la salida de energía de manera rentable.

El rendimiento y las eficacias aerodinámicas de las palas de rotor también son un factor crítico para una producción eficaz y rentable de energía eólica. El rendimiento óptimo de las palas de rotor es esencialmente un compromiso en el diseño de la pala entre la forma de la pala y la resistencia de la pala. Una pala ideal define a lo largo de su envergadura una forma relativamente estrecha y retorcida para permitir un rendimiento aerodinámico eficaz, mientras que es relativamente gruesa cerca del pie de la pala o en el mismo para proporcionar a la pala suficiente resistencia para soportar cargas aerodinámicas. Los diseños de pala son normalmente más bulbosos cerca del pie de la pala para proporcionar un espesor y resistencia que compense la envergadura relativamente estrecha y ligera de la pala.

Las palas de rotor de la técnica anterior incluyen palas acopladas por flexión y torsión o palas acopladas por torsión que tienen una estructura que afecta de manera pasiva a las cargas aerodinámicas durante el funcionamiento de un aerogenerador. El diseño y construcción de la pala dictan el rendimiento aerodinámico y, en particular, las propiedades elásticas o de flexión que exhibe la pala cuando se somete a cargas y presiones aerodinámicas. Específicamente, tales propiedades mecánicas deseables pueden usarse para construir estructuras de pala a través de la forma o curvatura de la pala y materiales de fabricación de la pala. En términos generales, una pala acoplada

por torsión se dobla y gira en respuesta a cargas aerodinámicas para ajustar de manera pasiva su ángulo de ataque a lo largo de su longitud. El ángulo de ataque ajusta la carga de viento que actúa en la pala. Un ligero cabeceo pasivo, por ejemplo, de algunos o varios grados, hacia la posición estabilizada permite que la pala distribuya y reparta de manera pasiva cargas de viento durante el funcionamiento. El diseño de la pala, los materiales de fabricación y las técnicas de construcción pueden facilitar el alcance de acoplamiento del momento de flexión de la pala con su rotación de torsión y, por tanto, el nivel de control pasivo del ángulo de ataque que la pala puede lograr. Los altos niveles de acoplamiento del momento de flexión de la pala y la torsión demuestran reducciones en cargas aerodinámicas, particularmente, bajo extremas condiciones de viento, así como reducciones en las cargas de fatiga a través del rotor o aerogenerador. Además, el acoplamiento por flexión y torsión permite que las palas se ajusten constantemente y rápidamente a las ráfagas de viento y efectos rotativos. Como resultado, son posibles los incrementos en las salidas de energía y las disminuciones en los daños por fatiga del rotor y el aerogenerador.

El cabeceo pasivo es el resultado de, en parte, la deformación elástica y el acoplamiento por flexión y torsión en los laminados estructurales, compuestos, u otros materiales que construyen la pala, y en particular, que construyen las estructuras que soportan peso de la pala. Tales materiales sirven como componentes estructurales pasivos que afectan a la respuesta dinámica de la pala y las cargas aerodinámicas que actúan sobre la pala. Los estudios de los diseños de la pala sugieren que una reducción general de la carga puede depender de, entre otros factores, la cantidad de acoplamiento de materiales estructurales y su diseño y fabricación. Además, los materiales estructurales y su diseño pueden afectar al coste, rigidez, peso y resistencia de la pala, así como a la fatiga y vida operativa de la pala.

Los procesos de fabricación de compuestos de la técnica anterior limitan a menudo la rigidez, resistencia y vida de fatiga de los componentes estructurales de la pala, tales como perfiles de doble T, tapas de larguero y almas de esfuerzo cortante, a niveles máximos o por debajo de lo ideal. Las formas disponibles de fibras de refuerzo limitan las mejoras en estos procesos. Por ejemplo, la fibra de vidrio se suministra normalmente como un tela seca o sin relleno, una fibra para hilar o una tela impregnada. En cada caso, el material suministrado se enrolla en una bobina o rodillo para facilitar el manejo y el transporte. Sin embargo, enrollar una capa de material fibroso de un espesor finito en un rodillo propicia la ondulación de la fibra o la falta de colimación total de la fibra en la parte final, que puede no ser removible y que se ha mostrado que reduce la resistencia de compresión. Una reducción en la resistencia de compresión debe compensarse con más material, lo que fabrica un componente más grande, pesado y costoso de manera poco deseable.

Un componente más pesado puede requerir más trabajo. Fabricar tales componentes estructurales como, por ejemplo, una tapa de larguero con materiales fibrosos o fibras, por ejemplo, vidrio, compuestos, mallas, telas, capas y otros materiales, requiere a menudo volúmenes relativamente grandes de materiales para construir un componente estructural. Debido a la naturaleza y diseño de tales compuestos, mallas, telas, capas y materiales fibrosos y de fibras, la fabricación de la tapa de larguero puede ser un trabajo intensivo. Por ejemplo, fabricar tapas de larguero, tal como en un molde, requiere a menudo más de 50 capas de tela de vidrio para producir una tapa de larguero que pueda estar en el orden de 30 a 50 metros o más de longitud y tener un espesor, en algunos puntos a lo largo de su longitud, de aproximadamente 40 mm o más. Claramente, una eficacia de material más baja requiere que se use una mayor cantidad de tela para fabricar una tapa de larguero más gruesa y se requiere más trabajo para rellenar el molde de tapa de larguero.

Además, emplear tales capas de tela reforzadas con fibra y materiales compuestos requiere normalmente la aplicación de una resina apropiada para pegar las capas de tela y materiales compuestos y, por tanto, definir la geometría de la tapa de larguero terminada. Los métodos y técnicas habituales para aplicar resina de unión incluyen la infusión de resina y la inyección de resina. Tales métodos y técnicas implican infundir en vacío o inyectar bajo presión un volumen de resina de unión en, por ejemplo, una pila de capas de tela de fibra de refuerzo y, posteriormente, curar la resina para pegar las capas. Debido a la falta de forma estructural inherente en una tela de fibra, tales materiales de la técnica anterior son susceptibles al lavado de fibras durante la infusión o inyección de resina lo que tiene como resultado arrugas, abolladuras, descolocaciones y desorientaciones poco deseables de las capas de tela y compuestos en la tapa de larguero resultante.

Además, las capas de tela reforzadas con fibra y materiales compuestos son susceptibles al encogimiento durante la curación de la resina de unión. Durante la curación de la resina, la resina de unión puede encogerse sustancialmente de manera que el encogimiento de la resina puede provocar arrugas, retorcimientos y abolladuras no deseables de las capas de tela y materiales compuestos durante la fabricación de los componentes estructurales.

De nuevo, las formas de los materiales de la técnica anterior no soportan procesos de fabricación o moldeado muy controlados, requiriendo a su vez el uso adicional de material. Consecuentemente, los procesos y técnicas de fabricación que usan materiales fibrosos o reforzados con fibra pueden afectar al tiempo y costes totales de fabricación y de producción de la pala de turbina.

El documento WO 2009-077582 es un ejemplo de una preforma de la técnica anterior destinada a su uso en la fabricación de una pala de aerogenerador.

De esta manera, es deseable formar componentes estructurales y de soporte de carga de palas de rotor de turbina usando materiales y técnicas de fabricación mejoradas que admiten incrementos en el tamaño de la pala de rotor, mientras que se disminuye el peso de la pala y se incrementa la resistencia de la pala. Además, es deseable emplear materiales y técnicas de fabricación para producir estructuras de soporte de carga, como tapas de larguero, para mejorar la aerodinámica de la pala del rotor y, en caso de palas de rotor con forma de flecha, moldear tales estructuras para que se adapten a la curvatura o movimiento circular de la pala. También es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que ayuden a evitar o minimizar el lavado y arrugas de las fibras, mientras que se incrementan las fracciones de volumen de fibra para asegurar una resistencia suficiente en tales componentes estructurales, tales como tapas de larguero. También es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que incrementen las eficacias generales de la fabricación de palas.

Además, es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que reduzcan el tiempos y los costes de fabricación asociados con la producción de componentes de palas en términos de la reducción de los costes de materiales y trabajo, incrementando la proporción de infusión / inyección de resina y disminuyendo los tiempos de curación de resina.

SUMARIO

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un elemento estructural para una pala de aerogenerador tal como se expone en la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un elemento estructural alternativo para una pala de aerogenerador tal como se expone en la reivindicación 3.

En general, en un aspecto, la invención proporciona una tapa de larguero para una pala de aerogenerador que comprende una viga compuesta configurada como un componente de soporte estructural de una cubierta de un perfil aerodinámico de pala eólica. La viga compuesta define dimensiones de manera que la tapa de larguero se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura de la pala. La viga compuesta puede incluir una o más capas de preforma con cada capa de preforma que incluye múltiples elementos o varillas de resistencia rígidas y unidireccionales dispuestas adyacentes entre sí y longitudinalmente en relación a su longitud en una única capa a lo largo de un eje longitudinal de la capa de preforma. Los elementos o varillas de resistencia pueden retenerse en la única capa con una estructura de retención que se conecta con los elementos o varillas. Una configuración de una estructura de retención puede incluir una o más capas fibrosas de soporte a las que se unen los elementos o varillas de resistencia. La disposición de capa única de los elementos o varillas de resistencia puede definir la capa de preforma como un elemento o componente estructural prefabricado. Cada elemento o varilla de resistencia puede comprender un material compuesto de fibras estructurales alargadas y sustancialmente rectas saturadas mediante una resina de matriz. La resina de matriz puede distribuirse con una masa de las fibras, que se orientan longitudinalmente y se alinean sustancialmente de manera lineal. Cuando se cura o se solidifica, el material compuesto puede formar un elemento o varilla rígida prefabricada que tiene una distribución sustancialmente uniforme de fibras y un alto grado de colimación de fibras. La rectitud de las fibras y la significativa colimación de las fibras pueden producir elementos o varillas de resistencia con una alta rigidez y una significativa resistencia de comprensión. Tales propiedades son altamente ventajosas y se requieren donde las capas de preforma se usan en estructuras que soportan peso, tal como una viga compuesta de una tapa de larguero, y en refuerzos de pala y otros componentes de pala. La rigidez y resistencia de compresión de las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden proporcionar a la tapa de larguero y a otros componentes de la pala y, por último, a la pala de la turbina, las propiedades mecánicas necesarias para palas más grandes y más largas sin incrementar de manera significativa el peso de la pala y los costes de los materiales y de fabricación.

Cada capa de preforma puede estratificarse o apilarse con una o más de otras capas de preforma para formar estructuras y componentes de pala. En una configuración, múltiples capas de preforma estratificadas o apiladas pueden definir total o parcialmente una longitud y un espesor de una viga compuesta de la capa de larguero. Algunas configuraciones de la viga compuesta pueden construirse y estar dispuestas con múltiples capas de preforma para definir la tapa de larguero con una anchura transversal y un espesor sustancialmente uniformes. Otras configuraciones de la viga compuesta pueden construirse y estar dispuestas con múltiples capas de preforma para definir la tapa de larguero con una anchura transversal que se estrecha, por ejemplo, hacia la punta de la pala. Pueden construirse y disponerse configuraciones adicionales de la viga compuesta con múltiples capas de preforma para definir la tapa de larguero con un espesor ahusado que se estrecha a lo largo de la envergadura de la tapa de larguero hacia la punta de la pala y, opcionalmente, hacia el pie de la pala. Otras configuraciones más de la viga compuesta pueden construirse y estar dispuestas con múltiples capas de preforma para definir la tapa de larguero con un contorno de movimiento circular. El contorno de movimiento circular puede corresponderse con el contorno de un diseño de pala en flecha en el que se incorpora la tapa de larguero.

Las implementaciones de la tapa de larguero pueden incluir uno o más de los siguientes rasgos. Las configuraciones de la viga compuesta de la tapa de larguero construida y dispuesta con múltiples capas de preforma pueden incluir una o más capas de preforma unidas o pegadas a, o intercaladas con, otras capas de preforma y/o múltiples capas fibrosas para definir la viga compuesta con la anchura transversal y espesor requeridos o deseados. La viga

compuesta puede comprender múltiples capas de preforma que definen un determinado porcentaje del peso total por área unitaria de la viga compuesta, de manera que las capas de preforma pueden comprender cualquier porcentaje del peso total de un área determinada de la viga compuesta. Este porcentaje puede depender del diseño y la forma de la pala, las propiedades mecánicas requeridas y/o los requisitos de rendimiento de la pala. Para esas configuraciones de la viga compuesta construida principalmente de capas de preforma múltiples estratificadas o apiladas, las capas de preforma pueden incluir hasta aproximadamente el 100% del peso total de la viga compuesta. En otras configuraciones de la viga compuesta construida y dispuesta con múltiples capa de preforma unidas o pegadas a, o intercaladas con, múltiples capas fibrosas, las capas de preforma pueden incluir un porcentaje relativamente bajo del peso total por área unitaria de la viga compuesta. La construcción y disposición de las capas de preforma de acuerdo con la invención puede proporcionar flexibilidad en este sentido, de manera que las capas de preforma puedan facilitar formar la viga compuesta con cualquier número de capas de preforma, solas o en combinación con múltiples capas fibrosas, para satisfacer cualquier porcentaje requerido o deseado del peso total de la viga compuesta.

Además, la construcción o disposición de las capas de preforma de acuerdo con la invención puede proporcionar oportunidades para incrementar o maximizar la densidad de compacidad de las capas de preforma y, por tanto, los elementos y varillas de resistencia en la viga compuesta, de manera que las capas de preforma pueden incrementar o maximizar la fracción de volumen de fibra de la viga compuesta. Las fibras estructurales de los elementos o varillas de resistencia pueden incrementar la fracción neta y total de volumen de fibra de las capas de preforma. De esta manera, las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden emplearse para manipular la fracción neta y total de volumen de fibra de la capa de preforma y la viga compuesta de la tapa de larguero sin comprometer la tapa de larguero en términos de peso y dimensiones totales.

Las múltiples capas fibrosas a las que se unen o con las que se intercalan una o más capas de preforma pueden incluir capas de fibras, mallas o telas construidas de fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de grafito, fibras de basalto o fibras de cerámica, y combinaciones de las mismas. Donde la viga compuesta se construye principalmente con múltiples capas de preforma, las capas de preforma pueden definir longitudes variables de manera que, cuando las capas de preforma se apilan o se estratifican entre sí para fabricar la viga compuesta, las longitudes variables de las capas de preforma pueden definir un espesor ahusado de la viga compuesta. Donde la viga compuesta se construye principalmente con múltiples capas fibrosas, cada capa de preforma puede definir ciertas dimensiones totales de manera que, cuando las capas de preforma se apilan o se estratifican entre sí y/o con múltiples capas fibrosas para formar la viga compuesta, las capas de preforma pueden servir como refuerzos estructurales o miembros de resistencia de la tapa de larguero y otras porciones de la pala.

Múltiples capas de preforma apiladas o estratificadas unidas a o intercaladas con múltiples capas fibrosas o no pueden definir una formación apilada a la que puede aplicarse una resina de unión para formar finalmente la viga compuesta. La resina de unión puede aplicarse a la formación apilada mediante diversas técnicas incluyendo, pero sin limitarse a, procesos de infusión de resina, moldeado por transferencia de resina, otras técnicas de vacío y técnicas de estratificación a mano. Después de que la resina de unión se cura o solidifica, la viga compuesta puede definir la tapa de larguero con una estructura terminada que tiene dimensiones totales bien definidas con mínimas irregularidades.

En otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma tal como se ha descrito anteriormente. La capa de preforma puede incluir múltiples elementos o varillas unidireccionales de resistencia dispuestos adyacentes entre sí y longitudinalmente con relación a su longitud en una única capa. En algunas configuraciones de la capa de preforma de acuerdo con la invención, los elementos o varillas de resistencia son también sustancialmente paralelos entre sí. La capa de preforma puede incluir además una estructura de retención para sujetar los múltiples elementos o varillas de resistencia en la única capa. La estructura de retención en algunas configuraciones de la capa de preforma puede incluir una o más capas fibrosas de soporte a las que se unen los múltiples elementos o varillas de resistencia. La capa fibrosa de soporte puede incluir una tela no tejida construida de múltiples fibras, hilos y/o fibras para hilar. La capa fibrosa de soporte puede tener la misma longitud y anchura transversal que la capa de preforma. En otras configuraciones, la capa fibrosa de soporte puede tener una anchura transversal más ancha que la capa de preforma para definir al menos un margen u orillo periférico que se extiende hacia fuera desde al menos un borde de la capa de preforma. El margen u orillo puede definir una anchura transversal suficiente para servir como un punto de unión en el que la capa de preforma puede apilarse, estratificarse o intercalarse con una o más de las otras capas de preforma, múltiples capas fibrosas, y/o márgenes u orillos de otras capas de preforma de soporte. De esta manera, la una o más capas de soporte con un margen u orillo pueden permitir que las capas de preforma se conecten o se unan a uno o más de otros componentes de la viga compuesta de la tapa de larguero. Además, la una o más capas de soporte con un margen u orillo pueden permitir que las capas de preforma conecten o unan a la viga compuesta de la tapa de larguero con componentes adyacentes de la pala, tal como un alma de esfuerzo cortante o porción de cubierta del perfil aerodinámico de la pala. La una o más capas de soporte con un margen u orillo pueden permitir también que las capas de preforma se conecten o se unan a capas o componentes de las porciones de cubierta de un perfil aerodinámico de pala.

En una configuración, la capa de soporte fibrosa no tejida, cuando se monta con una o más capas de preforma, puede incluir fibras, hilos y/o fibras para hilar transversales dispuestas en una orientación transversal, o en

aproximadamente 90°, en relación con los elementos o varillas unidireccionales de resistencia de la capa que preforma. La capa fibrosa de soporte puede transmitir resistencia a la capa de preforma y puede incrementar la fracción de volumen de fibra de la capa de preforma. La capa fibrosa de soporte puede incluir también una tela no tejida cosida, incluyendo una tela biaxial o triaxial. Los múltiples elementos o varillas de resistencia pueden unirse o adherirse a una o ambas superficies de la capa fibrosa de soporte. En otras configuraciones de la capa de preforma de acuerdo con la invención, la capa fibrosa de soporte puede incluir una tela tejida.

En otro aspecto, la invención proporciona un componente estructural de múltiples capas o de refuerzo que incluye al menos una capa de preforma unida o intercalada con múltiples capas fibrosas. El componente de múltiples capas puede incluir una o más capas de preforma apiladas, unidas o intercaladas con múltiples capas fibrosas para definir las capas del componente. Las capas fibrosas pueden incluir capas, mallas o telas fibrosas construidas de fibras, hilos y/o fibras para hilar de vidrio, carbono, grafito, basalto o cerámica y combinaciones de las mismas. La composición y la disposición de las capas de preforma y capas fibrosas para formar el componente de múltiples capas puede determinarse en relación con el fin y la ubicación del componente en una pala de aerogenerador. Por ejemplo, una configuración del componente de múltiples capas puede incluir múltiples capas fibrosas dispuestas entre las dos capas de preforma, con los elementos o varillas de resistencia de las capas de preforma que definen una superficie exterior o exoesqueleto del componente de múltiples capas.

En un aspecto adicional, la invención proporciona múltiples capas de preforma configuradas en una tira continua. Una tira continua puede incluir múltiples capas de preforma unidas, adyacentes entre sí, a lo largo de su anchura transversal. La tira puede incluir zonas extremas ahusadas que se extienden en transversal a lo largo de su anchura para definir cada capa de preforma con una longitud determinada. Las zonas extremas ahusadas están dispuestas y configuradas en la tira para separar capas de preforma individuales entre sí. Además, las zonas extremas ahusadas pueden configurarse adicionalmente para permitir que las capas de preforma se separen entre sí y de la tira, tal como mediante corte. De esta manera, las múltiples capas de preforma que se necesitan para fabricar una o más vigas compuestas, o uno o más componentes de la pala de turbina, pueden proporcionarse en la forma de tira continua para fines de almacenamiento y transporte y para proporcionar múltiples capas de preforma durante la fabricación de una viga compuesta u otros componentes de pala.

Los rasgos y ventajas de los aspectos de la invención, junto con la propia invención, se entenderán más a fondo después de una revisión de las siguientes Figuras, descripción detallada y reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista en perspectiva de un aerogenerador;
La Figura 2 es una vista en perspectiva de una pala de aerogenerador;
La Figura 3 es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 2 tomada en las líneas A-A que ilustra una porción de la cuerda de la pala;
La Figura 4A es una vista del borde delantero de la pala que se muestra en las Figuras 2 y 3 que incluye una tapa de larguero de acuerdo con un aspecto de la invención;
La Figura 4B es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 2 tomada en las líneas B-B que ilustra dos tapas de larguero de acuerdo con la invención;
La Figura 4C es una vista transversal en sección transversal de una porción de una cubierta de la pala que incluye una configuración de la tapa de larguero de acuerdo con la invención;
La Figura 4D es una vista lateral de múltiples capas de preforma dispuestas en una formación apilada para formar una viga compuesta de una tapa de larguero de acuerdo con la invención;
La Figura 4E es una vista superior de la formación apilada de las múltiples capas de preforma que se muestran en la Figura 4D;
La Figura 4F es una vista lateral de otro aspecto de la invención que proporciona una viga compuesta que incluye múltiples capas de preforma dispuestas con múltiples capas fibrosas para formar una viga compuesta;
La Figura 4G es una vista lateral de otra configuración de la formación apilada que se muestra en la Figura 4D o en la Figura 4F;
La Figura 4H es una vista del borde delantero de una pala que incluye una tapa de larguero de acuerdo con la invención que define un movimiento circular;
La Figura 4I es una vista del borde delantero de una pala que incluye una tapa de larguero de acuerdo con la invención que define una construcción relativamente recta a lo largo de su longitud;
La Figura 4J es una vista del borde delantero de una pala que incluye una tapa de larguero de acuerdo con la invención que define una anchura transversal de estrechamiento;
La Figura 5A es una vista superior de una configuración de una capa de preforma de acuerdo con otro aspecto de la invención;
La Figura 5B es una vista en sección transversal de una capa de preforma que incluye un tejido textil de fibra;
Las Figuras 5C y 5D son vistas superiores de otras configuraciones de una capa de preforma;
La Figura 6 es una vista de sección transversal de la capa de preforma que se muestra en la Figura 5A tomada en las líneas C-C;
La Figura 7 es una vista de sección transversal de la capa de preforma que se muestra en la Figura 5A tomada en las líneas C-C;

Las Figuras 8A y 8B son vistas en perspectiva de un elemento o varilla de resistencia de acuerdo con la invención;
 Las Figuras 9A-9D son vistas en perspectiva de la capa de preforma unida a una capa fibrosa de soporte de acuerdo con la invención;
 La Figura 9E es una vista en perspectiva de una capa de preforma unida a una capa fibrosa de soporte y a múltiples capas fibrosas de acuerdo con la invención;
 Las Figuras 10A y 10B son vistas en sección transversal de un componente estructural de múltiples capas de acuerdo con otro aspecto de la invención que incluye al menos una capa de preforma;
 La Figura 10C es una vista en perspectiva de un componente estructural de múltiples capas;
 Las Figuras 10D-10H son secciones transversales esquemáticas de configuraciones de componentes estructurales de múltiples capas;
 La Figura 10I es una vista en sección transversal de una viga compuesta de una tapa de larguero que incluye múltiples componentes estructurales;
 Las Figuras 11A-11G son vistas en perspectiva de patrones de apilamiento de múltiples capas de preforma de acuerdo con la invención;
 Las Figuras 12A y 12B son vistas de perspectiva de múltiples capas de preforma que incluyen un margen u orillo periférico de acuerdo con la invención;
 La Figura 12C es una vista en sección transversal de múltiples capas de preforma que definen un borde escalonado;
 Las Figuras 12D y 12E son vistas en sección transversal de capas de preforma que definen un borde escalonado unido a una porción de cubierta de un perfil aerodinámico de pala;
 La Figura 13 es una vista en perspectiva y en sección transversal de una capa de preforma dispuesta a lo largo de una capa fibrosa tejida de soporte de acuerdo con la invención;
 La Figura 14A es una vista en perspectiva de otro aspecto de la invención que incluye una tira continua de múltiples capas de preforma;
 La Figura 14B es una vista lateral alzada de una zona ahusada definida en la tira que se muestra en la Figura 12A;
 La Figura 14C es una vista lateral de una porción de la zona ahusada que se muestra en la Figura 12B; y
 La Figura 15 es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 3 que incluye una o más capas dispuestas en las porciones de cubierta de la pala.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En referencia a las Figuras 1 y 2, en un aspecto, la invención proporciona un aerogenerador 10 que incluye una góndola 12 montada en una torre 14 y un rotor 16 que incluye un buje rotatorio 18 y palas de turbina 20. El rotor 16 se conecta de manera operativa a un generador eléctrico (no se muestra) alojado en la góndola 12. La torre 14 expone las palas 20 al viento. Las palas 20 capturan energía eólica y transforman energía eólica en un movimiento rotativo, que el generador eléctrico convierte en energía eléctrica mediante el generador eléctrico. El aerogenerador 10 ilustrado en la Figura 1 incluye tres palas de turbina 20, aunque la invención no se limita específicamente a tres palas 20 y anticipa que el rotor 16 puede incluir más o menos palas de turbina.

Tal como se muestra en la Figura 2, la pala de turbina 20 incluye una porción de perfil aerodinámico 100 que se extiende entre una punta 116 y un pie 118 de la pala. La porción de perfil aerodinámico 100 define un borde delantero 112 y un borde trasero 114 de la pala 20. El pie 118 se construye y está dispuesto para su conexión con el buje rotatorio 18 del aerogenerador 10. La distancia longitudinal o a lo largo entre el pie 118 y la punta 116 de la pala se menciona como la envergadura o longitud L_1 de la pala 20.

En referencia a la Figura 3, se ilustra una vista en sección transversal de la pala 20 mostrada en la Figura 2 tomada a lo largo de las líneas A-A. La porción de perfil aerodinámico 100 incluye una o más capas 101 y 103 moldeadas para definir la porción de perfil aerodinámico 100 con el borde delantero 112 y el borde trasero 114. La distancia entre el borde delantero 112 y el borde trasero 114 se menciona como la cuerda o anchura W_1 de la pala 20. La cuerda W_1 varía a lo largo de la longitud de la pala 20. La porción de perfil aerodinámico 100 incluye una porción de cubierta 120 primera o superior y una porción de cubierta 122 segunda o inferior, tal como se muestra en la Figura 3. La primera porción de cubierta 120 y la segunda porción de cubierta 122 se adhieren entre sí a lo largo de los perímetros de las porciones de cubierta 120 y 122 y en articulaciones adhesivas (no se muestran) adyacentes al borde delantero 112 y al borde trasero 114.

En referencia adicional a la Figura 3, las primeras y segundas porciones de cubierta 120 y 122 pueden incluir una o más capas de refuerzo 101 y 103 configuradas con materiales reforzados con fibra que incluyen, por ejemplo, compuestos y/o telas reforzadas con fibra. Además, las porciones de cubierta 120 y 122 pueden incluir un núcleo de rigidez 105 y 107 dispuesto entre una o más de las capas de refuerzo 101 y 103 y formado de, por ejemplo, madera de balsa o espuma.

La pala 20 también incluye una estructura longitudinal de soporte de carga o tapa de larguero 126 incorporada con una o más de las capas de las porciones de cubierta 120 y 122 y que se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura o longitud L_1 de la pala 20. Una o más almas de esfuerzo cortante 125, que se extienden transversalmente entre las tapas de larguero 126 y las porciones de cubierta 120 y 122, unen las tapas de larguero 126. Las tapas de larguero 126 y las almas de esfuerzo cortante 125 son estructuras de refuerzo y se construyen y están dispuestas para proporcionar rigidez, resistencia y estabilidad a la pala 20. Estas propiedades de la pala 20

ayudan a soportar el peso de la pala y ayudan a reducir o eliminar sustancialmente los daños a la pala 20 que surjan de la flexión de la pala y de las cargas aerodinámicas que actúan en la pala 20, así como ayuda a reducir o eliminar sustancialmente el riesgo de contacto de la pala 20 con la torre 14 de la turbina.

5 Formación y configuraciones de la tapa de larguero

En referencia a las Figuras 4A–4B y, en referencia adicional a la Figura 3, en otro aspecto, la invención proporciona una tapa de larguero 126 de pala construida y dispuesta como una viga compuesta 127. Tal como se ilustra en la Figura 3, la tapa de larguero 126 puede unirse o pegarse a una o más capas que forman la porción de cubierta 120 primera o superior, y una segunda tapa de larguero 126 puede unirse o pegarse a una o más capas que forman la porción de cubierta 122 segunda o inferior. En una configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la tapa de larguero 126 se construye y está dispuesta para unirse o para incorporarse al menos a la capa intermedia 105 y 107 de una porción de cubierta 120 y 122. La invención no se limita en este respecto y se concibe que la tapa de larguero 126 puede construirse y estar dispuesta en diversas configuraciones y unida o incorporada a las porciones cubierta 120 y 122 de la pala de cualquier manera para formar una estructura de soporte de carga de las porciones de cubierta 120 y 122.

La Figura 4A es una vista del borde delantero 112 de la pala 20 que incluye la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención. La Figura 4B ilustra una vista en sección transversal de la envergadura L_1 de la pala tomada en las líneas B-B de la Figura 2, con la tapa de larguero 126 incluida en las primeras y segundas cubiertas 120 y 122. Tal y como se muestra en la Figura 4A, la tapa de larguero 126 se posiciona en la pala 20 de turbina entre el pie de la pala 118 y la punta de la pala 116 y define una longitud L_2 que se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura L_1 de la pala 20 de turbina. La longitud L_2 de la tapa de larguero 126 es normalmente mayor que su anchura transversal W_2 .

Tal como se muestra en la Figura 4C, la tapa de larguero 126 define una anchura transversal W_2 que es menor que la cuerda W_1 de la pala 20. La anchura transversal W_2 puede ser sustancialmente uniforme a lo largo de la longitud L_2 de la tapa de larguero en una configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención. Tal como se describe a continuación, en otra configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la anchura transversal de la tapa de larguero 126 puede incluir una anchura transversal de estrechamiento, estrechándose o ahusándose a lo largo de la longitud L_2 de la tapa de larguero hacia la punta de la pala 116.

Las tapas de larguero, tal como las ilustradas en la Figura 3 y en las Figuras 4A y 4B, se fabrican a menudo en un molde (no se muestra) configurado como una olla horizontal que tiene un interior definido mediante un panel inferior y dos paredes laterales que se extienden hacia arriba desde el panel inferior y definen una abertura superior del molde. La parte inferior y las paredes laterales tienen dimensiones que ayudan a fabricar la tapa de larguero 126 con la longitud L_2 requerida o deseada y la anchura transversal W_2 requerida o deseada. La altura de las paredes laterales del molde se corresponde frecuentemente con el espesor requerido o deseado de la tapa de larguero 126. Cuando está dispuesto en una posición horizontal con la abertura hacia arriba, el interior del molde puede recibir materiales de fabricación. En una configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, tal como se describe a continuación, múltiples capas de preforma 300A y 300B pueden estratificarse o apilarse entre sí, o pueden estratificarse o apilarse verticalmente dentro del interior del molde para construir la tapa de larguero 126.

Las tapas de larguero también pueden fabricarse en un molde integrado (no se muestra) configurado para formar al menos porciones de la tapa de larguero 126 y las porciones de cubierta 120 y 122 de la pala 20. De manera similar, tales moldes tienen configuraciones y dimensiones para ayudar a fabricar la tapa de larguero 126 con la longitud L_2 , anchura transversal W_2 y espesor requeridos o deseados. Tales moldes pueden permitir también que los materiales de fabricación, tal como las capas de preforma 300A y 300B descritas a continuación, se estratifiquen o se apilen entre sí, o se estratifiquen o se apilen verticalmente dentro del interior del molde.

La Figura 4D ilustra una vista lateral de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención tomada a lo largo de su dimensión longitudinal o longitud L_2 , y la Figura 4E muestra una vista superior de la tapa de larguero 126 mostrada en la Figura 4D. En la configuración ilustrada, la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención comprende una viga compuesta 127 que incluye múltiples capas de preforma 300A y 300B de elementos o varillas de resistencia altamente flexibles, que se describen con detalle a continuación. Las múltiples capas de preforma 300A y 300B están dispuestas en una formación apilada 128 y se fijan en la formación apilada 128 con resina de unión para formar una viga compuesta 127. La viga compuesta 127 se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura L_1 de la pala y define un espesor T_{11-in} . Tal como se muestra en la Figura 4D, el espesor T_{11-in} de la viga compuesta 127 varía a lo largo de su longitud L_2 de manera que la tapa de larguero 126 define un espesor T_{11-in} que se estrecha a lo largo de la envergadura L_1 de la pala. El espesor T_{11-in} de la viga compuesta 127 puede variarse para adaptar aspectos estructurales del diseño de la pala 20 y para proporcionar a la pala 20 propiedades de soporte de carga. En una configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la viga compuesta 127 define un espesor T_{11-in} variable que se estrecha a lo largo de su longitud L_2 desde un área 129 de mayor espesor T_{max} hacia la punta 116 de la pala y hacia el pie 118 de la pala. Diversas estaciones a lo largo de la tapa de larguero 126 definen determinados espesores T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} y T_{i4} , tal como se ilustra la Figura 4D; y tales espesores pueden variar para ayudar a configurar la tapa de larguero 126 y, en al menos una configuración de la tapa de larguero 126 de

acuerdo con la invención, para configurar la tapa del larguero 12 con un espesor de estrechamiento. La invención no se limita en este respecto y anticipa que la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 puede construirse para definir un espesor variable o un espesor sustancialmente uniforme a lo largo de su longitud L_2 .

5 Tal como se muestra en las Figuras 4D y 4E, las múltiples capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes variables se apilan entre sí como capas, o se apilan verticalmente como capas dentro de un molde de tapa de larguero. Cada capa individual de preforma 300A y 300B puede estar dispuesta por encima o por debajo de otra capa de preforma 300A y 300B para construir el espesor de la viga compuesta 127. Tal como se muestra en la Figura 4E, cada capa de preforma 300A y 300B se apila en una posición predeterminada a lo largo de otra capa de preforma adyacente 300A y 300B para ayudar a definir un espesor de estrechamiento T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} y T_{i4} . Dentro de un molde de tapa de larguero, las capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse verticalmente adyacentes a una o más de otras capas de preforma 300A y 300B para construir la tapa de larguero 126. Una o más capas de preforma 300A pueden tener una longitud L_3 que es relativamente la capa de preforma más larga de múltiples capas de preforma 300A y 300B que forman la formación apilada 128 para definir una superficie 127B de la viga compuesta 127. Tal como se muestra en la Figura 4E, otras capas de preforma 300B pueden tener longitudes más cortas y variables L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. Cuando se montan, las longitudes variables L_3 y L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. de las capas de preforma 300A y 300B estrechan el espesor de la viga compuesta 127 a lo largo de su longitud L_2 , tal como se muestra la Figura 4D. La configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención puede, por tanto, adaptarse o adecuarse de inmediato a cualquier longitud, anchura y/o contorno de espesor de la pala.

La formación apilada 128 de las múltiples capas de preforma 300A y 300B puede incluir capas de preforma 300A y 300B apiladas de manera que los bordes laterales 301 de cada capa de preforma individual 300A y 300B se alinean longitudinalmente, tal como se muestra en la Figura 4E. Como alternativa, algunas o todas las capas de preforma 300A y 300B de la formación apilada 128 están dispuestas en relación unas con otras, de manera que los bordes laterales de las capas de preforma 300A y 300B están desalineados (no se muestra) a lo largo de la anchura transversal W_2 de la formación apilada 128. Los bordes laterales no alineados o desalineados de tales capas de preforma 300A y 300B ayudan a crear un área superficial incrementada de la tapa de larguero 126, lo que puede ayudar a incrementar la resistencia de unión a lo largo de los bordes laterales de la tapa de larguero 126 y/o puede ayudar a evitar la formación de juntas a lo largo de la formación apilada 128.

Cuando se montan, las capas de preforma apiladas 300A y 300B pueden ayudar además a configurar una superficie de la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención como una superficie ahusada o escalonada 127A, lo que es resultado de las longitudes variables L_3 y L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc., de las capas de preforma 300A y 300B. Una superficie no ahusada o no escalonada 127B puede ser también resultado de una o más capas de preforma 300A que tienen longitudes más largas o la longitud más larga L_3 de las múltiples capas de preforma de la tapa de larguero 126. En una configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la superficie ahusada o escalonada 127A se orienta hacia fuera hacia una superficie exterior del perfil aerodinámico 100 de la pala, mientras que la superficie no ahusada o no escalonada 127B se orienta hacia dentro hacia un interior vacío del perfil aerodinámico 100 de la pala definido mediante una configuración interna del perfil aerodinámico 100. Como alternativa, en otra configuración de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la superficie ahusada o escalonada 127A se orienta hacia dentro lejos de la superficie exterior del perfil aerodinámico 100 de la pala y hacia el interior vacío del perfil aerodinámico 100 de la pala.

Tal como se ha descrito, las tapas de larguero pueden definir un espesor de estrechamiento T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} y T_{i4} , T_{in} a lo largo de su longitud L_2 , estrechándose hacia la punta 116 de la pala y estrechándose hacia el pie 118 de la pala desde un punto de mayor o máximo espesor T_{max} de la tapa de larguero. Tal como se muestra en la Figura 4D, la superficie de viga ahusada o escalonada 127A tiene un cierto índice de estrechamiento S_1 y S_2 que se corresponde con el espesor requerido o deseado de la viga compuesta 127. El índice de estrechamiento S_1 y S_2 se corresponde con los cambios de espesor de la viga 127 y con una proporción determinada del cambio en el espesor de la viga por unidad de longitud L_2 de la viga. Un índice pequeño de estrechamiento S_1 representa un estrechamiento gradual del espesor de la viga, por ejemplo, T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} , mientras que un índice grande de estrechamiento S_2 representa un estrechamiento brusco o abrupto del espesor de la viga, por ejemplo, T_{i4} . Tal como se muestra en la Figura 4D, la superficie de viga 127A y el espesor T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} se estrechan en un índice gradual S_1 desde el área 129 de mayor espesor T_{max} hacia la punta 116 de la pala. El espesor gradualmente decreciente T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} ayuda a proporcionar a la tapa del larguero 126 suficiente resistencia y flexibilidad, así como un peso decreciente a lo largo de la envergadura L_1 de la pala 20. En comparación, la superficie 127A y el espesor T_{i4} de la viga 127, que se extiende desde el pie 118 de la pala, se incrementa en un índice brusco de estrechamiento S_2 . El índice brusco de estrechamiento S_2 proporciona espesor a la viga y, por tanto, ayuda a proporcionar resistencia y soporte a la porción de la tapa de larguero 126 que se une o se conecta con el pie 118 de la pala.

En un ejemplo, solo con fines ilustrativos, donde la pala 20 define una longitud L_1 de cuarenta (40) metros, la tapa de larguero 126 define una longitud L_2 de aproximadamente treinta y nueve (39) metros (con un punto de mayor espesor T_{max} de aproximadamente 40 mm dispuesto en una estación de aproximadamente 3 metros desde el pie 118 de la pala). La tapa de larguero 126 tiene una anchura transversal W_2 sustancialmente uniforme de aproximadamente 500 mm, y un índice gradual de estrechamiento S_1 de la superficie de la viga 127A puede tener una proporción de aproximadamente 1:900. En esta configuración, un índice brusco S_2 puede tener una proporción

de aproximadamente 1:50. La invención no se limita a ningún índice particular de estrechamiento S_1 y S_2 ni a ningún espesor particular de la viga compuesta 127 ya que estos rasgos de la viga no se limitan ni son constantes necesariamente. Por tanto, la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención puede construirse con cualquier espesor e índice de estrechamiento para ayudar a cumplir los requisitos de resistencia y flexibilidad de un diseño particular de tapa de larguero.

Tal como se muestra en las Figuras 4D y 4E y, como se ha descrito anteriormente, la formación ahusada 128 de la viga compuesta 127 puede ser resultado del apilamiento o estratificación de múltiples capas de preforma 300A y 300B en un molde para definir el espesor de estrechamiento y la anchura transversal W_2 de la viga compuesta 127. Tal como se describe a continuación en referencia a las Figuras 5A-5D y la Figura 6, cada capa de preforma 300A y 300B incluye una única capa de una pluralidad de elementos o varillas de resistencia 202. Cada elemento o varilla de resistencia 202 está dispuesta dentro de una capa individual de preforma 300A y 300B adyacente al menos a otro elemento o varilla de resistencia 202 a lo largo de su dimensión longitudinal o longitud. La construcción y disposición de la pluralidad de elementos o varillas de resistencia 202 orientadas de manera longitudinal de las capas de preforma 300A y 300B ayudan a proporcionar rigidez, flexibilidad y resistencia a la viga compuesta 127 y la tapa de larguero 126.

En referencia a la Figura 4F y, en referencia adicional a las Figuras 4A-4E, en otro aspecto, la invención proporciona la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 que comprende múltiples capas de preforma 300A y 300B, tal como se ha descrito anteriormente y como se describirá con más detalle a continuación, estratificadas con múltiples capas fibrosas, mallas o telas 602. Las capas fibrosas, mallas o telas 602 incluyen, pero no se limitan a, telas o mallas secas o no rellenas, telas o mallas de fibras pre impregnadas, hilos de fibra, fibras para hilar y combinaciones de las mismas, y se les hace referencia en conjunto como "capas fibrosas" con el fin de divulgar las invenciones. Las fibras que comprenden las capas fibrosas 602 pueden incluir fibras, hilos y/o o fibras para hilar de vidrio; fibras, hilos y/o fibras para hilar de carbono; fibras, hilos y/o fibras para hilar de grafito; fibras, hilos y/o fibras para hilar de basalto; fibras, hilos y/o fibras para hilar de cerámica; y combinaciones de las mismas.

Más específicamente, la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención incluye una o más capas de preforma 300A y 300B apiladas, estratificadas o intercaladas con una o más capas fibrosas 602. Tal como se muestra en la vista lateral de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de la Figura 4F, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse o estratificarse con, o estar dispuestas por encima y/o por debajo, de una o más capas fibrosas 602. El espesor de estrechamiento T_{i1-in} , el índice de estrechamiento S_1 y S_2 , la longitud L_2 y la anchura transversal W_2 que se requieren o se desean de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 se logran en esta configuración de acuerdo con la invención apilando, estratificando o intercalando capas de preforma 300A y 300B y múltiples capas fibrosas 602. Donde la tapa de larguero 126 se forma usando un molde de tapa de larguero, o un molde que forma al menos una porción de una tapa de larguero y una porción de cubierta 120 o 122 de la pala 20, las capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse verticalmente por encima y/o por debajo de una o más capas fibrosas 602 y/o o una o más capas de preforma 300A y 300B.

Tal como se muestra la Figura 4F, en una configuración de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención, múltiples capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes variables se apilan, estratifican o intercalan con múltiples capas fibrosas 602 que también tienen longitudes variables para ayudar a conseguir el espesor de estrechamiento T_{i1-in} de la formación apilada 128 o viga compuesta 127. Cada capa de preforma individual 300A y 300B puede estar dispuesta por encima y/o por debajo de otra capa de preforma 300A y 300B o una o más capas fibrosas 602 para construir el espesor de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. La Figura 4E ilustra las longitudes variables L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. de las capas de preforma 300A y 300B de una determinada formación apilada 128 y viga compuesta 127; sin embargo, la Figura 4E puede servir también para ilustrar las posibles longitudes variables L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc., que múltiples capas fibrosas 602 pueden definir para ayudar a conseguir, junto con las múltiples capas de preforma 300A y 300B, el espesor de estrechamiento de la formación apilada 128 y viga compuesta 127. Tal como se muestra en la Figura 4F, una o más capas de preforma 300A y 300B se apilan con o adyacentes a múltiples capas fibrosas 602, de manera que una o más capas de preforma 300A y 300B están dispuestas en una posición predeterminada dentro de la formación apilada 128 o viga compuesta 127 para ayudar a definir el espesor de la formación apilada 128 o viga compuesta 127. En tales posiciones, la una o más capas de preforma 300A y 300B se apilan junto con otras capas de preforma 300A y 300B o a lo largo de una o más capas fibrosas 602. Estratificar las capas de preforma 300A y 300B con múltiples capas fibrosas 602 puede ayudar por tanto a definir el espesor de estrechamiento T_{i1} , T_{i2} , T_{i3} , T_{i4} y el índice de estrechamiento S_1 y S_2 de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127.

Tal como se muestra la Figura 4F y, en referencia adicional a la Figura 4E, una o más capas de preforma 300A y 300B y/o una o más capas fibrosas 602 pueden tener longitudes L_3 que son relativamente largas en comparación con otras capas de preforma y otras capas fibrosas 602 para ayudar a definir una superficie escalonada o ahusada 127 de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Otras capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602 pueden tener en comparación longitudes relativamente más cortas y variables L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. Tal como se muestra en la Figura 4F, las longitudes variables L_3 y L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. de las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602 ayudan a definir el espesor de estrechamiento de la formación apilada 128 y el espesor de la viga compuesta a lo largo de su longitud L_2 . Tal como se muestra en las Figura 4E y 4F, una o más capas fibrosas

602 que tienen ciertas longitudes definidas, por ejemplo, L_{4c-4d} , pueden estratificarse con una o más capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes definidas, por ejemplo, L_{4a-4b} y L_{4e-4f} , para ayudar a conseguir un espesor de estrechamiento requerido T_{i1-in} e índice de estrechamiento S_1 y S_2 de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127. La configuración de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención puede, por tanto, adaptarse y adecuarse de inmediato a cualquier longitud, anchura y/o contorno de espesor de una pala.

La formación apilada 128 y la viga compuesta 127 pueden comprender múltiples capas de preforma 300A y 300B que definen un cierto porcentaje del peso total por área unitaria de la formación apilada 128 o viga compuesta 127. La invención no se limita en esto respecto y anticipa que las capa de preforma 300A y 300B pueden comprender cualquier porcentaje del peso total de un área determinada de la formación apilada 128 y viga compuesta 127. Este porcentaje puede depender del diseño y forma de la pala, las propiedades mecánicas requeridas y/o los requisitos de rendimiento de la pala. Adicionalmente o como alternativa, cualquiera de las configuraciones de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 que se muestran en las Figuras 4D-4G puede incluir una o más capas de preforma 300A y 300B configuradas para reforzar una o más áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 o viga compuesta 127. Por ejemplo, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden configurarse para reforzar parcialmente una o más áreas seleccionadas de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 mostradas en la Figura 4F, por ejemplo, además de las capas de preforma 300A y 300B estratificadas con múltiples capas fibrosas 602 para construir la formación apilada 128 y viga compuesta 127 tal como se ha descrito anteriormente. La colocación selectiva de capas de preforma 300A y 300B dentro de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 puede ayudar a reducir la carga aerodinámica a lo largo de la pala 20 durante condiciones de mucho viento. Por ejemplo, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden estar dispuestas dentro de la formación apilada 128 para definir una densidad mayor de capas de preforma 300A y 300B a lo largo de una porción de la tapa de larguero 126, tal como una o más porciones de la tapa de larguero 126 orientadas hacia el borde delantero de la cubierta de pala 120 y 122. La mayor cantidad de capas de preforma 300A y 300B ayudaría al acople por flexión de la tapa de larguero y la pala con la torsión de la tapa de larguero y la pala que ocurre en respuesta a las cargas aerodinámicas a lo largo de la pala 20 durante el funcionamiento de la turbina. La mayor cantidad de capas de preforma 300A y 300B puede ayudar por tanto a que el ángulo de ataque de la pala 20 reduzca tales cargas aerodinámicas.

En un ejemplo adicional, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden configurarse para reforzar parcialmente una o más áreas seleccionadas de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 construidas principalmente de múltiples capas fibrosas 602, de manera que las capas de preforma 300A y 300B pueden comprender un porcentaje menor del peso total de ciertas áreas seleccionadas. En esta configuración, la una o más capas de preforma 300A y 300B pueden constituir cualquier porcentaje, y tan pequeño como un 1 % o menos, del peso total de un área seleccionada de la formación apilada 128 y viga compuesta 127.

Tal como se analiza a continuación en detalle en referencia a las Figuras 10A-10I, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden unirse o pegarse a, o intercalarse con, una o más capas fibrosas 602 para formar un componente estructural de múltiples capas 702 de la tapa de larguero 126 o porciones de cubierta 120 y 122 de la pala 20. Uno o más componentes 702 también pueden construirse como refuerzos para una o más áreas seleccionadas a lo largo de la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126. Además, uno o más componentes 702 pueden construirse para estratificarse o apilarse con las capas de preforma 300A y 300B y múltiples capas fibrosas 602 que construyen la formación apilada 128 y viga compuesta 127 mostradas en la Figura 4F.

En referencia a la Figura 4G, se ilustra otra configuración de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 de acuerdo con la invención. Las capas de preforma 300A y 300B, solas o en combinación con múltiples capas fibrosas 602, definen la tapa de larguero 126 con un espesor que se estrecha en un determinado índice de estrechamiento S_1 hacia la punta 116 de la pala, mientras que una porción de la tapa de larguero 126 orientada hacia o colocada adyacente o cerca del pie 118 de la pala define un espesor sustancialmente uniforme. En esta configuración, la formación apilada 128 o viga compuesta 127 se estrecha a lo largo de su envergadura L_1 únicamente hacia la punta 116 de la pala y proporciona suficiente espesor a lo largo de un extremo para unir o conectar la tapa de larguero 126 con el pie 118 de la pala o un área del perfil aerodinámico de la pala adyacente al pie 118 de la pala.

En referencia a las Figuras 4H y 4I, la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención puede diseñarse y fabricarse con las capas de preforma 300A y 300B, o las capas de preforma 300A y 300B apiladas, estratificadas o intercaladas con múltiples capas fibrosas 602 para servir como soportes estructurales para diseños de pala en flecha y diseños de pala recta. Tal como se muestra la Figura 4H, la pala 20 puede configurarse con un movimiento circular para manejar cargas aerodinámicas y/o afectar al acoplamiento por flexión-torsión. En tales diseños de palas, las capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602 pueden ayudar a configurar la tapa de larguero 126 con un movimiento circular o envergadura en flecha para que la tapa de larguero 126 pueda exhibir un acoplamiento similar por flexión-torsión a medida que la pala 20 en flecha responde a cargas aerodinámicas. Con una construcción en flecha, las capas de preforma 300A y 300B de la tapa de larguero 126 ayudarían a contener las capas fibrosas 602 a lo largo de un borde interno de una curva o curvatura de la capa de larguero 126 a medida que se dobla y se retuerce en respuesta a cargas aerodinámicas. Las capas fibrosas 602 de contención evitarían o minimizarían las arrugas o abolladuras de las capas fibrosas 602. En comparación, la Figura 4I ilustra la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención con una envergadura relativamente recta.

En referencia a la Figura 4J, en una configuración alternativa de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, la tapa de larguero 126 define una anchura transversal W_2 menor que la cuerda W_1 de la pala 20 y que se estrecha o ahúsa a lo largo de la longitud L_2 de la tapa de larguero hacia la punta 116 de la pala. Al igual que en otras configuraciones de la tapa de larguero 126, la longitud L_2 de la tapa de larguero 126 es normalmente mayor que su anchura transversal W_2 . Tal como se muestra en la Figura 4J, la tapa de larguero 126 tiene una anchura transversal W_2 que se estrecha o se ahúsa desde un extremo, por ejemplo, configurado para unir o conectar la tapa de larguero 126 al pie 118 de la pala, a un extremo opuesto, por ejemplo, orientado hacia la punta 116 de la pala. En otras palabras, la anchura transversal W_2 de la tapa de larguero 126 se estrecha o se ahúsa desde una determinada anchura transversal W_2 , por ejemplo, más cerca del pie 118 de la pala, a una segunda anchura transversal W_2 en un lado opuesto de la tapa de larguero 126, por ejemplo, más cerca de la punta 116 de la pala.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención puede construirse como una viga compuesta 127 precolada o premoldeada, por ejemplo, empleando un molde de tapa de larguero. En este caso, la viga compuesta 127 se construye como un componente separado del perfil aerodinámico 100 de la pala y porciones de cubierta 120 y 122 y, por tanto, se monta con cada porción de cubierta 120 o 122 durante la formación o moldeo de las porciones de cubierta 120 y 122. Como alternativa, la tapa de larguero 126 puede construirse durante, y como parte de, los procesos de formación o moldeo que construyen las porciones de cubierta 120 y 122. En cada configuración, las capas de preforma 300A y 300B, o las capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602 que construyen la viga compuesta 127, definen inicialmente una formación apilada 128 que puede montarse, por ejemplo, dentro de un molde de tapa de larguero, tal como se describe en el presente documento.

Tal como se describirá en detalle a continuación en referencia a la Figuras 11A y 11B, la resina de unión 502 se aplica a la formación apilada 128 una vez que el número requerido de capas de preforma 300A y 300B, o el número requerido de capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602, se apilan, estratifican o intercalan para construir la formación apilada 128. La resina de unión 502 se aplica de acuerdo con métodos y técnicas que facilitan la penetración de la resina dentro de la formación apilada 128. La resina 502 rodea los elementos o varillas individuales de resistencia 202 y penetra a través y rodea capas de preforma adyacentes o apiladas 300A y 300B y capas fibrosas 602, en caso de que existan, de manera que la resina 502 rellena cualquier espacio o vacío 500 entre elementos o varillas individuales 202, entre capas de preforma 300A y 300B, entre capas fibrosas 602 y/o entre capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602. Durante la curación de la resina, la resina 502 une los elementos o varillas individuales de resistencia, las capas de preforma individuales 300A y 300B y/o las capas fibrosas individuales 602 con capas de preforma 300A y 300B apiladas o adyacentes y/u otras capas fibrosas 602 para formar la viga compuesta 127.

Cualquiera de una variedad de métodos y técnicas para aplicar la resina de unión 502 a la formación apilada 128 puede emplearse incluyendo métodos y técnicas que usan presión, calor o vacío que infunde o inyecta resina de unión en la formación apilada 128. Las técnicas de infusión de resina pueden incluir aplicar un vacío a la formación apilada 128 que conduce la resina de unión 502 dentro y a través de las capas de preforma 300A y 300B y capas fibrosas 602. Por ejemplo, donde la formación apilada 128 se construye dentro de un molde, un vacío puede aplicarse a lo largo de la circunferencia del molde. El vacío conduce el suministro de resina dentro del molde a lo largo de la anchura transversal del molde y conduce adicionalmente el suministro de resina a través de la formación apilada 128 a lo largo de su anchura transversal W_2 . Tales métodos de infusión de resina incluyen, pero no se limitan a, Proceso Seaman de Moldeo por Infusión de Resinas Compuestas (SCRIMP), moldeo por transferencia de resina asistido por vacío (VARTM), otras técnicas de vacío y técnicas de estratificación a mano.

Otras técnicas incluyen la inyección de resina por las que el suministro de resina de unión 502 se suministra a un molde cerrado bajo presión y se inyecta en el molde, y, por tanto, dentro y a través de la formación apilada 128 para llenar cualquier espacio o vacío en la formación apilada 128.

Después de la aplicación del volumen requerido de resina de unión 502, la formación apilada 128 rellena de resina se somete a un proceso de curación tal como, por ejemplo, un proceso que emplea calor a cualquier temperatura adecuada durante cualquier tiempo adecuado para curar de manera apropiada la resina de unión 502 y unir las capas de preforma 300A y 300B, elementos o varillas de resistencia individuales y capas fibrosas 602 entre sí. Como alternativa, donde se emplean técnicas de infusión de resina, las fases de infusión y curación pueden superponerse de manera que la curación de la resina de unión 502 comienza después del inicio de la infusión, por ejemplo, aplicando calor al molde en el que la formación apilada 128 reside y antes de que todo el volumen requerido de resina se aplique a la formación apilada 128. Tal como apreciarán los expertos en la materia, son posibles otras técnicas de curación de la formación apilada 128 rellena de resina incluyendo, pero sin limitarse a, curación a temperatura ambiente, curación química, curación ultravioleta, curación por rayos de electrones y curación mediante una combinación de calor y presión.

Capas de preforma de múltiples elementos o varillas de resistencia

En referencia a las Figuras 5A-5D y las Figuras 6-7, en otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma 300A y 300B, tal como se ha descrito anteriormente, y la capa de preforma 400 tal como se describe en referencia a

la Figura 7. La Figura 5A es una vista superior de una realización de la capa de preforma 300A y 300B de acuerdo con la invención y la Figura 6 ilustra una vista en sección transversal de la capa de preforma 300A y 300B mostrada en la Figura 5A. La Figura 7 ilustra una vista en sección transversal de otra realización de la capa de preforma 400 mostrada en la Figura 5A de acuerdo con la invención. La capa de preforma 300A, 300B y 400 se construye y está dispuesta con una pluralidad de elementos o varillas de resistencia 202 y 402 alargados y unidireccionales dispuestos en una única capa y que se extienden sustancialmente a lo largo de un eje longitudinal 304 de la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 exhiben una rigidez y resistencia deseable o requerida. Sin embargo, los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 también demuestran un alto grado de flexibilidad de manera que los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales y las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden ajustarse y adecuarse a las curvas y curvaturas de tales componentes estructurales de pala como tapas de larguero con unas mínimas arrugas y abolladuras o sin ninguna en absoluto. Los elementos o varillas 202 y 402 también pueden exhibir tales propiedades de flexión durante la fabricación de los componentes estructurales, tales como tapas de larguero. Donde se incorpora en una pala 20, tal como la pala 20 acoplada por torsión, la tapa de larguero 126 puede ayudar a permitir que la pala 20 se doble y se retuerza a lo largo de su envergadura en respuesta al viento y las cargas de fatiga que actúan a lo largo de la pala 20.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 puede proporcionarse como un compuesto prefabricado que incluye un número definido de elementos o varillas de resistencia 202 y 402. Los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 están dispuestos en la capa de preforma 300A, 300B y 400 en una única capa. Los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 son unidireccionales con los elementos o varillas individuales 202 y 402 alineados longitudinalmente en relación a la longitud L_5 de otros elementos o varillas 202 y 402 en la capa. Tal como se ilustra en la Figura 5A y las Figuras 6 y 7, los elementos o varillas 202 y 402 individuales están dispuestos en una única capa adyacente a otros elementos o varillas 202 y 402 junto con su dimensión longitudinal o longitud L_5 . En una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 son sustancialmente paralelos entre sí en la capa de preforma.

Tal como se muestra en la Figura 5A, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir opcionalmente una estructura textil de fibra 302 que atraviesa la anchura W_3 , W_4 de la capa 300A, 300B y 400 en una orientación y en un patrón adecuado para retener los elementos o varillas individuales 202 y 402 en una única capa. La estructura textil de fibra 302 se describe en detalle a continuación en referencia a la Figura 5B. Otras estructuras de acuerdo con la invención que sirven para retener los elementos o varillas 202 y 402 en una única capa también se describen en detalle a continuación.

La Figura 6 incluye una sección transversal de la capa de preforma 300A y 300B mostrada en la Figura 5A junto con su anchura transversal W_3 que ilustra la disposición de los elementos o varillas 202 en una única capa. Los elementos o varillas 202 mostrados en la Figura 6 definen una sección transversal circular. Sin embargo, la invención no se limita y concibe que los elementos y varillas de resistencia puedan definir otros perfiles en sección transversal incluyendo, pero sin limitarse a, elementos o varillas 402 que tienen una sección transversal sustancialmente rectangular tal como se muestra la Figura 7.

Tal como ilustran las Figuras 6 y 7, los elementos o varillas 202 y 402 definen sustancialmente los mismos diámetros en sección transversal, de manera que la capa de preforma 300A, 300B y 400 tiene un espesor sustancialmente uniforme T_2 , T_3 . Los elementos o varillas circulares 202 y 402 pueden definir diámetros en sección transversal en un intervalo que va desde aproximadamente 0,25 mm a aproximadamente 20 mm.

En referencia a las Figuras 8A y 8B y, en referencia adicional a las Figuras 6 y 7, cada elemento o varilla de resistencia 202 y 402 es un elemento o varilla curada o, en algunos ejemplos, es un elemento o varilla preformada. Los elementos o varillas 202 y 402 se construyen y están dispuestos para servir como miembros estructurales y proporcionar rigidez, resistencia de compresión y flexibilidad a los materiales compuestos y componentes estructurales a los que los elementos o varillas 202 y 402 se incorporan, tal como la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126. El alto grado de flexibilidad de los elementos o varillas 202 y 402 permite que los elementos o varillas 202 se doblen y retuerzan para ajustarse a las curvas, curvaturas y/o contorno de la tapa de larguero 126 que se necesitan para un diseño particular de pala tal como, por ejemplo, un diseño de pala en flecha.

Cada elemento o varilla de resistencia 202 y 402 se construye de un material compuesto que incluye fibras estructurales 306 alargadas y sustancialmente rectas, saturadas mediante una resina de matriz 308, por ejemplo, una resina termoplástica o curada. Las fibras 306 se orientan longitudinalmente y se alinean sustancialmente de manera lineal. La resina de matriz 308 se distribuye dentro de una masa de las fibras 306 para formar, cuando se cura o se solidifica, un elemento o varilla 202 y 402 prefabricada. Los elementos o varillas 202 y 402 resultantes tienen una distribución de fibras 306 sustancialmente uniformes dentro de la resina de matriz 308. Las fibras 306 también tienen un alto grado de colimación por donde las fibras 306 son unidireccionales y sustancialmente lineales en relación a otras fibras 306 en el elemento o varilla 202 y 402. La relativa rectitud de las fibras 202 y 402 y la significativa colimación de fibra producen los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 que exhiben una alta rigidez y una resistencia de comprensión significativa, que se requieren y son altamente ventajosas donde las capas

de preforma 300A,300B se emplean para fabricar estructuras de soporte de carga, tal como la tapa de larguero 126, y elementos y refuerzos estructurales de componentes de pala. La capa de preforma resultante 300A, 300B y 400 incluye por tanto los elementos o varillas 202 y 402 prefabricados que transmiten la rigidez y resistencia de compresión requeridas y deseadas a cada una de las múltiples capas de preforma 300 que forman la viga compuesta 127 u otros componentes de pala.

El tipo de fibras estructurales 306 alargadas se selecciona con respecto al tipo de fibra, diámetro de fibra y/o filamentización de fibra dependiendo de las propiedades requeridas para la tapa de larguero 126 y otros componentes de pala. Las fibras estructurales 306 alargadas definen generalmente diámetros en un intervalo de aproximadamente 1 micrómetro a aproximadamente 100 micrómetros e incluyen, pero no se limitan a, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de basalto y combinaciones de las mismas.

La resina de matriz 308 que rodea las fibras 306 incluye una matriz de resina adecuada para adherirse y fijarse a las fibras 306 y para proporcionar rigidez y resistencia al elemento o varilla 202 y 402 resultante, así como a la capa de preforma 300A, 300B y 400. La resina de matriz 308 puede incluir resinas que no pueden curarse o resinas curadas por calor/radiación que incluyen, pero no se limitan a, una resina termoplástica o una resina termoestable. La resina de matriz 308 puede seleccionarse en función de las propiedades mecánicas de refuerzo que la resina de matriz 308 proporciona a los elementos o varillas individuales de resistencia 202 y 402 resultantes y las capas de preforma 300A, 300B y 400.

Las capas de preforma 300A, 300B y 400 de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 prefabricados no encojen durante la curación de la resina de unión 502 que se aplica a la formación apilada 128, tal como se describirá a continuación en referencia a las Figuras 11A y 11B. Las capas de preforma 300A, 300B y 400 resultantes exhiben resistencia a las arrugas, retorceduras y abolladuras durante la fabricación de la tapa de larguero 126. A diferencia de los compuestos y telas de fibra de la técnica anterior usados para construir tapas de larguero, los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 prefabricados (que comprenden las fibras 306 incrustadas en la resina de matriz 308 precurada) resisten sustancialmente el encogimiento durante la curación de la resina de unión 502. Los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 ayudan por tanto a eliminar o reducir sustancialmente la incidencia de arrugas, retorceduras y abolladuras en las capas de preforma 300A, 300B y 400 durante la fabricación de las tapas de larguero 126. Además, la resina de matriz 308 precurada y/o las fibras estructurales 306 proporcionan a los elementos o varillas individuales 202 y 402 de la capa de preforma 300A, 300B y 400 resistencia al lavado de fibras durante aplicaciones de la resina de unión 502 en la formación apilada 128.

La resistencia al encogimiento y al lavado de fibras que exhiben las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención ayuda a evitar o al menos minimizar las arrugas, retorceduras y abolladuras y, por tanto, ayuda a eliminar o al menos minimizar cualquier debilidad estructural en la tapa de larguero 126.

Los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 pueden definir además características de superficie y/o química de superficie que ayuda a promover la adhesión de los elementos o varillas 202 y 402 con la resina de unión 502. Las características de superficie de los elementos o varillas 202 o 402 incluyen, pero no se limitan a, una superficie texturada, una superficie áspera, o una superficie tratada químicamente conseguida con diversas técnicas, por ejemplo, aplicar un revestimiento de superficie para producir, por ejemplo, superficies ásperas de los elementos o varillas 202 y 402. Las superficies texturadas o ásperas propician la adhesión de la resina de unión 502 con los elementos o varillas 202 y 402.

Además, las superficies texturadas o ásperas de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 ayudan a facilitar la penetración de la resina de unión 502 entre los elementos o varillas de resistencia 202 y 402, particularmente donde las capas de preforma 300A, 300B y 400 se apilan o estratifican. Las superficies texturadas o ásperas de los elementos o varillas 202 y 402 también ayudan a incrementar la unión entre los elementos o varillas 202 y 402 individuales y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 de manera que se incrementa la gran resistencia laminar interna de las capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas o estratificadas y la viga compuesta de la tapa de larguero 126. Además, las superficies texturadas o ásperas de los elementos o varillas 202 y 402 ayudan a inhibir las grietas de laminación entre la resina de unión 502 y los elementos o varillas de resistencia 202 y 402, incrementando por tanto la vida de fatiga de la capa de preforma 300A, 300B y 400 y la tapa de larguero 126 resultante u otros componentes de pala en los que se incluye la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Tal como se muestra la Figura 5A, la estructura textil de fibra 302 opcional se conecta a los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 para retener los elementos o varillas 202 o 402 en una única capa con elementos individuales 202 y 402 orientados adyacentes, por ejemplo, y sustancialmente paralelos entre sí a lo largo de su dimensión longitudinal o longitud L_5 . La capa de preforma 300A, 300B y 400 mostrada en las Figuras 6 y 7 puede no incluir los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 unidos entre sí. En estas configuraciones, la estructura textil de fibra 302 produce consecuentemente un tejido relativamente holgado de elementos o varillas de resistencia 202 y 402 que define espacios ínfimos 500 entre elementos o varillas 202 y 402 adyacentes.

Los espacios ínfimos 500 entre los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 mejoran la flexibilidad de los elementos o varillas 202 y 402 individuales y facilitan la capacidad de los elementos o varillas para doblarse,

particularmente donde los elementos o varillas 202 y 402 se forman en la capa de preforma 300A, 300B y 400 o se incorporan a la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 u otros componentes de pala. Durante la formación, por ejemplo, el moldeado de la viga compuesta 127, las capacidades de flexión de los elementos o varillas 202 y 402 son ventajosas. Tales capacidades de flexión permiten a los elementos o varillas 202 y 402 realizar ajustes menores a las curvas y curvaturas del diseño de la tapa de larguero 126, de manera que los elementos o varillas 202 y 402 se adaptan sustancialmente a la forma o contorno de la tapa de larguero 126. La tapa de larguero 126 y las capas de preforma 300A, 300B y 400, cada una de acuerdo con la invención, permiten la fabricación de la tapa de larguero 126 con una estructura que se adapta o se corresponde con la forma de la pala 20, mientras que proporcionan a la pala 20 su soporte estructural requerido y propiedades de soporte de carga.

Las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención pueden usarse por tanto para fabricar la tapa de larguero 126 con una configuración adecuada para su uso como estructura de soporte de carga en una pala 20 acoplada por torsión. La tapa de larguero 126 puede incluirse en la pala 20 acoplada por torsión para ayudar a construir la pala 20 con capacidades de acoplamiento por torsión-flexión por donde la pala se retuerce a medida que se dobla a lo largo de su envergadura L_1 o eje horizontal. La construcción de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención puede ayudar a facilitar la capacidad de la pala 20 acoplada por torsión para mitigar las cargas aerodinámicas. Durante el funcionamiento de la turbina, la pala 20 se dobla en respuesta a las cargas aerodinámicas que actúan en la pala 20 y también se retuerce para alterar su rendimiento aerodinámico. Específicamente, la pala 20 cabecea de manera pasiva para estabilizarse en respuesta a cargas de viento de manera que la pala 20 suprime tales cargas de manera pasiva y rápida. Incorporar la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención a una pala 20 acoplada por flexión/torsión puede ayudar a que la pala 20 responda de manera rápida a ráfagas de viento y velocidades rotativas, así como puede ayudar a reducir el daño por fatiga a la pala 20 sobre una variedad de condiciones de velocidad de viento.

Además, los espacios ínfimos 500 entre los elementos o varillas de resistencia 202 individuales ayudan a facilitar la penetración de la resina de unión 502 en una formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 o una formación apilada 128 de múltiples de capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas, estratificadas o intercaladas con múltiples capas fibrosas 602. Los espacios 500 facilitan el flujo y penetración de la resina de unión 502 entre los elementos o varillas 202 y 402 individuales y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 y las múltiples capas fibrosas 602. Tal como se describe a continuación, las velocidades de infusión o inyección de la resina de unión 502, que se logran en formaciones apiladas 128 que incluyen las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, son relativamente rápidas en comparación con las velocidades de infusión o inyección de resina que se obtienen con aplicaciones de resina de unión 502 de materiales y laminados compuestos y fibrosos de la técnica anterior usados para construir tapas de larguero.

La Figura 5B ilustra una configuración de la capa de preforma 300A y 300B de acuerdo con la invención que incluye la estructura textil de fibra 302. La estructura textil de fibra 302 incluye, pero no se limita a, un tejido de fibra textil que se entrelaza, por ejemplo, un tejido plano o cuadrado y una tela fabricada por medio de puntadas. La estructura textil de fibra 302 se extiende a través de la anchura transversal W_3 de la capa de preforma 300A y 300B y conecta con elementos o varillas de resistencia 202 individuales de manera que el tejido de fibra 302 retiene los elementos o varillas 202 en una única capa de preforma 300A y 300B. Tal como se muestra en la Figura 5A, el tejido textil 302 puede definir un tejido que se extiende a través de la anchura W_3 de la capa de preforma 300A y 300B en un patrón en zigzag. Tal como se muestra en la Figura 5B, el tejido textil 302 puede incluir además puntadas que se entrelazan entre los elementos o varillas de resistencia 202. Sin embargo, la invención no se limita específicamente en este respecto y anticipa que cualquiera de una variedad de tipos y patrones de tejidos textiles puede retener los elementos o varillas de resistencia 202 de una única capa de preforma 300A y 300B. Como estructura de retención, la estructura textil de fibra 302 también separa los elementos o varillas de resistencia 202 individuales. La estructura textil de fibra 302 ayuda por tanto a formar el tejido relativamente holgado de los elementos o varillas de resistencia 202 tal como se ha descrito anteriormente. El tejido holgado define espacios ínfimos 500 entre los elementos y varillas 202 que ayudan a mejorar la flexión y las capacidades de torsión/movimiento circular de los elementos y varillas 202 y ayuda a facilitar la penetración de la resina de unión 502 entre los elementos o varillas 202 individuales y entre las capas de preforma 300A y 300B apiladas o estratificadas. De manera similar, la estructura textil de fibra 302 puede incorporarse a la capa de preforma 400 mostrada en la Figura 7 para conectar con elementos o varillas de resistencia 402 individuales de manera que el tejido de fibra 302 retiene los elementos o varillas 402 en una única capa de preforma 400.

En referencia a las Figuras 5C y 5D, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención puede incluir una o más bandas o tiras de un material de unión 310 configurado para servir como una estructura de retención alternativa a la estructura textil de fibra 302. Las bandas o tiras de material 310 atraviesan la anchura W_3 o W_4 de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en determinadas ubicaciones a lo largo de la longitud L_5 de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de manera que las bandas o tiras 310 ayudan a asegurar los elementos o varillas 202 y 402 individuales en una única capa. El material de unión 310 penetra entremedias y rodea los elementos o varillas 202 y 402 individuales en los puntos de su aplicación para ayudar a retener los elementos o varillas 202 y 402. El material de unión 310 incluye cualquier agente o adhesivo de unión adecuado para retener los elementos o varillas individuales 202 y 402 y puede incluir, pero no se limita a, un agente o adhesivo termofusible, un agente o adhesivo de unión curado con UV, un adhesivo elastomérico o una cinta adhesiva o de unión. En una configuración de la capa

de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, el material de unión 310 incluye una masa de hilos adhesivos que se aplican a lo largo de la anchura W_3 o W_4 de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en determinadas ubicaciones. En otra configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, el material de unión 310 incluye un adhesivo elastomérico que es compatible con la resina de unión 502, tal como una resina epoxi, que se aplica a la formación apilada 128.

En referencia a las Figuras 9A y 9B, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención puede incluir una capa de soporte 312 como una estructura de retención alternativa a la estructura textil de fibra 302 y la una o más bandas o tiras de material de unión 310. La capa de soporte incluye, pero no se limita a, una capa fibrosa de soporte 312 construida de una tela no tejida, que sirve como un sustrato al que se unen o se pegan los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales para retener los elementos o varillas 202 y 402 en una única capa. Una o más capas de revestimiento adhesivas no tejidas pueden estar dispuestas a lo largo de una superficie de la capa de soporte 312 en la que los elementos o varillas 202 y 402 están dispuestos. Por tanto, la capa de soporte 312 y los elementos o varillas 202 y 402 pueden laminarse para formar la capa de preforma 300A, 300B y 400. La capa de soporte 312 se construye de uno o más materiales de tela adecuados para facilitar la impregnación y, por tanto, la penetración de la resina de unión 502 entre los elementos o varillas de resistencia 202 individuales y las capas de preforma individuales 300A, 300B, 400 apiladas o adyacentes.

Un número determinado de elementos o varillas de resistencia 202 y 402 está dispuesto a lo largo de la capa de soporte 312 en una única capa con elementos o varillas individuales 202 y 402 adyacentes, por ejemplo, y sustancialmente paralelos entre sí a lo largo de la longitud L_5 de los elementos o varillas 202 y 402. Tal como se menciona, los elementos o varillas 202 y 402 se fijan o se pegan a la capa de soporte 312 con un adhesivo y pueden definir, entre elementos o varillas 202 y 402 adyacentes, espacios ínfimos 500. La capa fibrosa de soporte 312 puede incluir una tela no tejida construida de fibras, hilos y/o fibras para hilar que incluyen, pero no se limitan a, fibras, hilos y/o fibras para hilar de poliéster; fibras, hilos y/o fibras para hilar de poliamida; fibras, hilos y/o fibras para hilar de poliolefina; fibras, hilos y/o fibras para hilar de vidrio; fibras, hilos y/o fibras para hilar de carbono; fibras, hilos y/o fibras para hilar de aramida; fibras, hilos y/o fibras para hilar de grafito; o fibras, hilos y/o fibras para hilar de basalto; y combinaciones de las mismas. En configuraciones preferentes de la capa de soporte 312 de acuerdo con la invención, la capa de soporte comprende fibras, hilos y/o fibras para hilar de vidrio o poliéster.

Las fibras, hilos y/o fibras para hilar de la capa de soporte 312 ayudan a incrementar el volumen de fibra de la capa de preforma 300A, 300B y 400 y, en particular, ayudan a reforzar las capas de preforma 300A, 300B y 400 a lo largo de los espacios 500 entre los elementos o varillas 202 y 402 en los que puede residir el adhesivo aplicado. La capa de soporte 302 ayuda por tanto a incrementar la resistencia transversal y longitudinal de la capa de preforma 300A, 300B y 400, de manera que la tapa de larguero 126 resultante u otros componentes de pala en los que se incorpora la capa de preforma 300A, 300B y 400, ayuda a mitigar las fuerzas de corte en tres dimensiones.

En una realización de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa fibrosa de soporte 312 no tejida incluye una tela que comprende múltiples fibras, hilos y/o fibras para hilar transversales que están dispuestas en una orientación sustancialmente transversal, o en aproximadamente 90°, en relación con los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 cuando se monta la capa de preforma 300A, 300B y 400. En otra realización de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa fibrosa de soporte 312 no tejida incluye una tela cosida, por ejemplo, una tela biaxial o triaxial.

La capa de soporte 312 se construye y está dispuesta para servir como un sustrato al que se unen o se pegan los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 para retener los elementos o varillas 202 y 402 en una única capa. La capa de soporte 312 puede definir dimensiones, por ejemplo, longitud y anchura, similares a las dimensiones de la única capa de los elementos o varillas 202 y 402 que forman la capa de preforma 300A, 300B y 400. La capa 312 puede incluir una o más fibras, hilos y/o fibras para hilar construidas de uno o más materiales, tales como los identificados anteriormente, adecuados para facilitar la impregnación y penetración de la resina de unión 502 entre elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales y entre capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales, cuando la resina de unión 502 se aplica a una formación apilada 128 montada. Coser, pegar y/u otros métodos para configurar la capa fibrosa de soporte 313 pueden interconectar las fibras, hilos y/o fibras para hilar. Tal como se describe a continuación en referencia a la Figura 13, la capa de soporte 312 de acuerdo con la invención puede incluir también una tela tejida que incluye fibras, hilos y/o fibras para hilar tejidas en un tipo o patrón particular de tejido.

Una o más capas adhesivas pueden estar dispuestas a lo largo de al menos una superficie de la capa fibrosa de soporte 312; por tanto, uno o más elementos o varillas de resistencia 202 y 402 están dispuestos a lo largo de la superficie revestida de la capa 312 para formar la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Las configuraciones de la capa de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluir la capa fibrosa de soporte 312 que comprende fibras, hilos y/o fibras para hilar que tienen alrededor de un 3 % a un 15 % del peso total de las fibras unidireccionales 306 de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 de una determinada capa de preforma 300A, 300B y 400.

En referencia a las Figuras 9C y 9D, en configuraciones adicionales de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa fibrosa de soporte 312 puede definir dimensiones como, por ejemplo, longitud y anchura, que son diferentes a las dimensiones de una única capa de elementos o varillas 202 y 402 que forman la capa de preforma 300A, 300B y 400. En una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400, la capa 312 define una anchura transversal W_5 mayor que la anchura transversal W_3 y W_4 de una única capa de elementos o varillas 202 y 402. En esta configuración, la capa 312 define un margen u orillo 314 exterior y periférico a lo largo de al menos un borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400 cuando los elementos o varillas 202 y 402 y la capa 312 se acoplan. El margen u orillo 314 periférico se extiende hacia fuera desde el elemento o varilla 202 y 402 más externo a lo largo de al menos un borde de la capa de preforma.

El margen u orillo 314 periférico tiene una anchura W_6 suficiente para ayudar a que el margen u orillo 314 sirva como un punto de unión de una porción de unión medida y configurada para unir o pegar la capa de preforma 300A, 300B y 400 a uno o más componentes de la tapa de larguero 126 y/o uno o más componentes del perfil aerodinámico 100 de la pala o, más en particular, las porciones de cubierta 120 y 122 de la pala 20. Por ejemplo, el margen u orillo 314 periférico de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 puede intercalarse o cubrirse con una o más capas fibrosas 602 para ayudar a asegurar la capa de preforma 300A, 300B y 400 a uno o más de otros componentes de la tapa de larguero 126. En otro ejemplo, el margen u orillo 314 periférico puede unirse, pegarse o intercalarse directa o indirectamente con uno o más componentes estructurales y/o capas de la porción de cubierta 120 y 122 de la pala 20, tal como cualquiera de las capas 101, 103, 105 o 107 que forman la porción de cubierta 120 o 122. El margen u orillo 314 ayuda por tanto a asegurar las capas de preforma 300A, 300B y 400 a la tapa de larguero 126, la pala 20 y/o cualquier componente de la tapa de larguero 126 o la pala 20.

En referencia a la Figura 9E, se ilustra una vista esquemática en perspectiva de una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención e incluye múltiples elementos o varillas de resistencia 202 y 402 alargados y unidireccionales dispuestos en una única capa que se extienden sustancialmente a lo largo de un eje longitudinal 304 de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Los múltiples elementos o varillas 202 y 402 de resistencia están dispuestos adyacentes entre sí a lo largo de su dimensión longitudinal o L_5 , por ejemplo, y en una orientación sustancialmente paralela a lo largo de la capa fibrosa de soporte 312. Cada elemento o varilla de resistencia 202 y 402 se une o se pega a lo largo de la capa de soporte 312 por medio de una o más capas de adhesivo 316 aplicado a una superficie de la capa de soporte 312. La una o más capas adhesivas 316 en combinación con la capa de soporte 312 retienen los múltiples elementos o varillas 202 y 402 en una única capa.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 ilustrada en la Figura 9E incluye el margen u orillo 314 periférico de la capa de soporte 312 descrita anteriormente, que se extiende hacia fuera a lo largo de un borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Aunque la Figura 9E ilustra el margen u orillo 314 de la capa de soporte 312, la invención no se limita y prevé que la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir también un margen u orillo 314 adicional periférico que se extiende hacia fuera a lo largo de un borde opuesto o adicional de la capa de preforma 300A, 300B y 400. La invención también anticipa que la capa de soporte 312 de la capa de preforma 300A, 300A puede no incluir cualquier margen u orillo 314.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir además una etiqueta o leyenda impresa 340 que proporciona información y/o indicios relacionados con la longitud de la capa de preforma y/o relacionados con la estación o posición de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en la formación apilada 128 y viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 en relación con otras capas de preforma 300A, 300B y 400 y, si existiesen, en relación con una o más capas fibrosas 602. Tal información y/o indicios ayudarían a proporcionar orientación al montar las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400, con o sin múltiples capas fibrosas 602, en la formación apilada 128 y viga compuesta 127. Tal información e indicios pueden incluir además un estrato de capa de preforma o número secuencial que identifica la posición de la capa en la formación apilada 128 y viga compuesta 127 y/u otros detalles o especificaciones de fabricación.

Adicionalmente, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir denominaciones 342 que indican las estaciones o posiciones en las que la capa de preforma debe separarse, por ejemplo, cortarse de otra capa de preforma 300A, 300B y 400 adyacente donde una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 se proporcionan en una tira continua 510, tal como se describe en detalle a continuación en referencia a las Figuras 14A-14C. Tales denominaciones facilitarían también la colocación de las capas de preforma 300A, 300B y 400 en la formación apilada 128 durante el montaje de la formación apilada 128.

Componentes estructurales de múltiples capas

En referencia a las Figuras 10A y 10B, en otro aspecto, la invención proporciona un componente estructural de múltiples capas 702 que incluye al menos una de cualquiera de las capas de preforma 300A, 300B y 400 descritas

anteriormente que pueden unirse o pegarse a o intercalarse con una o más capas fibrosas 602. El componente estructural se diseña y se construye para servir como un elemento estructural de la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126, y/o como un elemento estructural o refuerzo del perfil aerodinámico 100 de la pala, tal como las porciones de cubierta 120 y 122 de la pala 20.

Las Figuras 10A y 10B ilustran secciones transversales del componente estructural de múltiples capas 702 de acuerdo con la invención que incluye al menos una capa de preforma 400 unida o pegada a o intercalada con múltiples capas fibrosas 602. Aunque las configuraciones ilustradas en las Figuras 10A y 10B incluyen la capa de preforma 400 que tiene múltiples elementos o varillas de resistencia 402 con secciones transversales sustancialmente rectangulares, la invención prevé que el componente estructural 702 puede incluir una o más capas de preforma 300A y 300B que incluyen elementos o varillas 202 que tienen secciones transversales circulares, tal como se ha descrito anteriormente, o capas de preforma que tienen elementos o varillas de resistencia que tienen otras configuraciones en sección transversal. Además, aunque las configuraciones del componente estructural 702 mostradas en las Figuras 10A y 10B incluyen la capa de soporte 312, la invención anticipa que otras configuraciones del componente estructural 702 de acuerdo con la invención pueden omitir la capa de soporte 312.

Tal como se muestra en la Figura 10A, una configuración del componente estructural 702 incluye múltiples capas fibrosas 602 unidas a, o intercaladas con, la capa de preforma 400 a lo largo de una superficie de la capa de preforma 400 opuesta a la capa de soporte 312 para formar el componente de múltiples capas 702. Otra configuración del componente estructural 702 mostrado en la Figura 10B incluye la capa de preforma 400 unida a o intercalada con múltiples capas fibrosas 602 a lo largo de cada superficie de la capa de preforma 400, de manera que el componente de múltiples capas 702 incluye la capa de preforma 400 atrapada entre múltiples capas fibrosas 602.

En referencia a la Figura 10C, se ilustra una vista esquemática en perspectiva del componente estructural de múltiples capas 702 mostrado en la Figura 10A. En esta configuración, el componente estructural 702 incluye cinco capas fibrosas 602 unidas a, o intercaladas con, una superficie de la capa de preforma 400 opuesta a esa superficie unida o pegada a la capa fibrosa de soporte 312. Como alternativa, las capas fibrosas 602 pueden unirse o pegarse a una superficie de la capa de soporte 312.

Una configuración del componente estructural 702 mostrado en la Figura 10C incluye en la capa de soporte 312 construida de una capa de tela no tejida que tiene múltiples fibras, hilos y/o fibras para hilar transversales. Cuando la capa de soporte 312 se une a múltiples elementos o varillas de resistencia 402 unidireccionales dispuestos en una única capa, las fibras, hilos y/o fibras para hilar de la capa de soporte 312 están dispuestos en una orientación sustancialmente transversal, o en aproximadamente 90°, en relación con los elementos o varillas de resistencia 402 unidireccionales. En esta configuración, las múltiples capas fibrosas 602 se construyen de tela biaxial. Cuando se montan con la capa de preforma 400, cada capa axial fibrosa 602 puede tener alrededor de un 10 % de sus fibras, hilos y/o fibras para hilar dispuestas en una orientación sustancialmente transversal, o en aproximadamente 90°, en relación con los elementos o varillas de resistencia 402, y alrededor del 90 % de sus fibras, hilos y/o fibras para hilar dispuestas en una orientación sustancialmente longitudinal en relación con un eje longitudinal 305 de la capa de preforma 400. El contenido de fibra o gramos por metro cuadrado (gsm) de fibras, hilos y/o fibras para hilar de la capa de soporte 312 y las capas fibrosas 602 puede manipularse para hacer posible la fabricación del componente estructural 702 con una fracción preferente de volumen de fibra. Por ejemplo, el componente estructural 702 mostrado en la Figura 10C puede incluir cinco capas fibrosas 602 que comprenden alrededor de 800 gsm de fibra de tela, mientras que la capa de soporte 312 comprende alrededor de 100 gsm de fibra de tela con el componente de múltiples capas 702 resultante que tiene una fracción relativamente alta de volumen de fibra.

En algunas configuraciones del componente estructural 702 mostrado en las Figuras 10A-10C, la capa de soporte 312 puede construirse del mismo material que las capas fibrosas 602, tal como tela biaxial. En estos casos, la capa de soporte 312, tal como se ha descrito anteriormente, puede omitirse para realizar ahorros en los costes de materiales.

Otras configuraciones del componente estructural de múltiples capas 702 de acuerdo con la invención se ilustran en las Figuras 10D-10H. Tales componentes 702 pueden usarse como elementos estructurales, por ejemplo, para construir la formación apilada 128 y, por último, para construir la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 y/o pueden usarse como elementos de resistencia o refuerzos, por ejemplo, de las porciones de cubierta de la pala 20 u otros componentes de pala. Las secciones transversales esquemáticas de diversas capas/componentes del componente estructural 702 se muestran en las Figuras 10D-10H, donde la E representa al menos una de cualquiera de las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención que incluye múltiples elementos o varillas de resistencia 202 y 402 unidireccionales dispuestos en una única capa tal como se ha descrito anteriormente; la U representa la capa de soporte 312; y la F representa las múltiples capas fibrosas 602. Las capas de preforma E de acuerdo con la invención pueden ayudar a adaptar el componente de múltiples capas 702 para un diseño particular del componente 702 o para un fin o ubicación particular del componente 702 en la tapa de larguero 126 de la pala, o en las porciones de cubierta 120 y 122 de la pala u otros componentes de pala.

La Figura 10D ilustra una sección transversal de dos capas de preforma E apiladas o intercaladas con una capa de soporte U unida o intercalada entre las dos capas de preforma E para definir un componente de múltiples capas 702 con una configuración E, U, E, U. La Figura 10E ilustra una sección transversal de una disposición alternativa de dos capas de preforma E apiladas o intercaladas con una capa de soporte U de una capa de preforma E unida o intercalada con una capa de soporte U de una capa de preforma E adyacente para definir una configuración E, U, U, E. Esta configuración es un ejemplo ilustrativo de un componente de múltiples capas 702 que tiene un “exoesqueleto” definido mediante los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 de la capa de preforma E.

La Figura 10F ilustra una sección transversal de una variación de la configuración mostrada en la Figura 10E que incluye múltiples capas fibrosas F unidas o intercaladas con las capas de preforma E a lo largo del “exoesqueleto” del componente estructural 702. El componente estructural 702 puede unirse o intercalarse posteriormente con otros componentes estructurales 702, tal como los componentes 702 que tienen la misma configuración de capas, por donde las capas fibrosas exteriores F se unen o se intercalan con las capas fibrosas exteriores E de componentes estructurales 702 apilados o adyacentes. La formación apilada 128 pueda incluir uno o más de los componentes estructurales 702 mostrados en la Figura 10F, de manera que las capas fibrosas F, que son compresibles y menos rígidas que los elementos o varillas de resistencia 202 y 402, se ubican en determinadas estaciones, posiciones o interconexiones a lo largo de la formación apilada 128, por ejemplo, que requieren compresibilidad o menos rigidez.

La Figura 10G ilustra una sección transversal de otra variación de la configuración mostrada en la Figura 10E que incluye múltiples capas fibrosas F unidas o intercaladas con las capas de preforma E, de manera que las capas fibrosas F mayúsculas se orientan hacia dentro y entre las dos capas de preforma E. En esta configuración, las capas fibrosas F se unen o se intercalan con cada capa de soporte U de capas de preforma E apiladas o adyacentes.

Las disposiciones de capa mostradas en las Figuras 10F y 10G ilustran la simetría de las capas U, E y F dentro del componente 702. Tales disposiciones pueden ser ventajosas ya que la simetría de las capas alrededor de un plano intermedio del componente 702 puede ayudar a resistir o minimizar el encogimiento de fibras durante la fabricación del componente 702, lo que puede producir componentes 702 que son preferentemente más planos.

La Figura 10H ilustra una sección transversal de una disposición alternativa de las capas fibrosas F y capas de soporte U mostradas en la Figura 10G por donde las capas de soporte U se orientan a lo largo de una superficie exterior del componente estructural 702.

La invención no se limita a las configuraciones de los componentes estructurales de múltiples capas 702 mostrados en las Figuras 10D-10H y prevé que un componente estructural de múltiples capas 702 puede comprender otras disposiciones apiladas o estratificadas de las capas de preforma E, capas de soporte U y/o múltiples capas fibrosas F.

Uno o más componentes estructurales 702 pueden configurarse y montarse en cualquiera de las configuraciones de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 de acuerdo con la invención, tal como se ha descrito anteriormente. En referencia a la Figura 10I, una sección transversal tomada a lo largo del máximo espesor T_{max} de la viga compuesta 127 mostrada en la Figura 4F (que es resultado de la formación apilada 128 de una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 y múltiples capas fibrosas 602) ilustra múltiples componentes estructurales 702 que pueden incluirse en ciertas estaciones y posiciones dentro de la formación apilada 128 tal como se necesite o se desee para proporcionar a la tapa de larguero 126 la resistencia de compresión requerida y otras propiedades mecánicas.

Adicionalmente o como alternativa, el componente estructural 702 puede configurarse y montarse con la formación apilada 128 y viga compuesta 127 de tal manera que ayuda a reforzar una o más áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 y viga compuesta 127. Por ejemplo, dentro de la formación apilada 128 y viga compuesta 127 construida principalmente de múltiples capas fibrosas 602, uno o más componentes 702 pueden usarse para reforzar al menos parcialmente áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 y viga compuesta 127, por ejemplo, para proporcionar resistencia adicional y/o para eliminar o minimizar las arrugas y abolladuras de las capas fibrosas 602. En tales configuraciones, las una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 del componente estructural 702 pueden definir un bajo porcentaje, tan pequeño como alrededor de un 1 % o menos, del peso total de un área reforzada seleccionada de la formación apilada 128 y viga compuesta 127.

Patrones de apilamiento de la capa de preforma

Las Figuras 11A y 11B ilustran las capas de preforma 300A, 300B y 400 en una formación apilada 128 en dos capas. Tal como se muestra en la Figura 11A, dos capas de preforma 300A, 300B con elementos o varillas 202 que tienen secciones transversales circulares se apilan y los elementos o varillas 202 de una primera capa 301 se alinean con los elementos o varillas 202 de una segunda capa 303 para definir un “patrón de columna”. De manera similar, tal como se muestra en la Figura 11B, dos capas de preforma 400 con elementos o varillas 402, que tienen secciones transversales sustancialmente rectangulares, se apilan y los elementos o varillas 402 de una primera capa 401 se alinean con los elementos o varillas 402 de una segunda capa 403 para definir un patrón de columna. Aunque dos

capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 se ilustran en las Figuras 11A y 11B, la invención no se limita y prevé que cualquier número de capas de preforma 300 y 400 puede definir el patrón de columna, así como los otros patrones que se describirán a continuación.

Además, aunque se muestren elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales en las Figuras 11A y 11B, adyacentes entre sí o en alineación vertical para definir las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 en un patrón de columna, la invención no se limita en este respecto. En referencia a las Figuras 11C y 11D, los elementos o varillas 202 y 402 individuales pueden estar dispuestos en una alineación alternativa cuando las capas de preforma 300A, 300B y 400 se apilan. Tal alineación alternativa puede incluir al menos una porción de un elemento o varilla 202 y 402 de una primera capa 300A, 300B y 400 dispuesta adyacente o en alineación vertical con al menos una porción de un espacio 500 definido entre elementos o varillas 202 y 402 adyacentes de una segunda capa de preforma 300A, 300B y 400. Tal apilamiento o alineación alternativa de los elementos o varillas 202 y 402 con espacios 500 define las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 en un "patrón de ladrillo".

En referencia a la Figura 11E, el patrón de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 puede ser aleatorio dentro de una formación apilada o estratificada de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 por donde los elementos o varillas de resistencia 202 y 302 de las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 no están necesariamente dispuestos en un patrón de columna o de ladrillo. Por otro lado, las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 se apilan de manera que los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 de una capa de preforma en relación con otra capa de preforma pueden definir un patrón aleatorio, que puede incluir o no los patrones de columna o de ladrillo.

Los patrones de apilamiento o estratificación de las capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales descritas anteriormente pueden afectar de manera ventajosa a la geometría y el tamaño de los espacios o vacíos 500 definidos entre los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales de una capa de preforma determinada y definidos entre elemento o varillas 202 y 402 de capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas o adyacentes. Además, las dimensiones totales y geometría de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales definen la geometría y el tamaño de los espacios o vacíos 500. En configuraciones preferentes de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales pueden tener un perfil nominalmente rectangular, tal como se muestra en la Figura 8B, con bordes redondeados o bordes que definen un radio particular de curvatura. Los bordes redondeados generan espacios o vacíos 500 que sirven como conductos para la resina líquida de unión 502 durante la aplicación de resina de unión 502 en la formación apilada 128. Sin embargo, los bordes con un radio grande pueden crear una tensión máxima en un punto donde los bordes de elementos o varillas de resistencia están en contacto. En una configuración de las capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas o estratificadas, un radio preferente de borde puede ser menor que un límite superior de $\frac{1}{4}$ de un espesor de un elemento o varilla 202 y 402 y mayor que $\frac{1}{4}$ del espacio entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales.

El espesor T_2 y T_3 sustancialmente uniforme y la anchura transversal W_3 y W_4 sustancialmente uniforme de las capas de preforma 300A, 300B y 400 forman la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 como una estructura terminada que tiene unas dimensiones generales bien definidas y, en particular, un espesor bien definido con irregularidades mínimas. El espesor T_2 y T_3 y la anchura transversal W_3 y W_4 sustancialmente uniformes de las capas de preforma 300A, 300B y 400 también hacen posible que dos o más capas de preforma 300 y 400 encajen bien con otras capas de preforma 300A, 300B y 400 y hacen posible definir la formación apilada 128 con una tolerancia cercana repetible.

El espesor T_2 y T_3 y la anchura transversal W_3 y W_4 sustancialmente uniformes de las dos o más capas de preforma 300A, 300B y 400 también proporcionan oportunidades para incrementar o maximizar la densidad de compacidad de los elementos y varillas 300 y 400 y para incrementar o maximizar la fracción de volumen de fibra de la formación apilada 128, de manera que la viga compuesta 127 puede construirse con una cantidad reducida de material o un número reducido de capas de preforma 300A, 300B y 400. En particular, la estructura de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402, que incluye las fibras estructurales parcialmente rectas 306 incrustadas en la resina de matriz 308, ayuda a incrementar la fracción de volumen de fibra de los miembros o varillas 202 y 402 e incrementar la fracción neta y total de volumen de fibra 300A, 300B y 400. Por ejemplo, donde la fracción de volumen de fibra del miembro o varilla de resistencia 202 y 402 está en el intervalo de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 85 % y el volumen total de varilla de la capa de preforma 300A, 300B y 400 va desde aproximadamente el 80 % a menos del 100 %, la fracción neta y total de volumen de fibra de la capa de preforma puede incrementarse hasta aproximadamente un 85 %. Como resultado, puede usarse menos material o menos capas de preforma 300A, 300B y 400 para construir la viga compuesta 127 de la tapa de larguero sin comprometer la fracción de volumen de fibra. Además, usar menos material o menos capas de preforma 300A, 300B y 400 para formar la viga compuesta 127 puede producir una tapa de larguero 126 más ligera y más fina. Como resultado de los espacios ínfimos 500 entre los elementos o varillas de resistencia 202 y 402, los elementos o varillas 202 y 402 individuales proporcionan una mayor resistencia de flexión y torsión y producen capas de preforma 300A, 300B y 400 más fuertes y más finas sin cambiar el diseño de la tapa de larguero 126 o la pala 20.

En referencia a las Figuras 11F y 11G, las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 que forman la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 no necesitan incluir necesariamente elementos o varillas de resistencia 202A, 202B y 402A, 402B individuales que definen el mismo diámetro o dimensiones totales. En cambio, las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 dentro de una única viga compuesta 127 pueden incluir una o más capas 300A, 300B y 400 que tienen elementos o varillas de resistencia 202A, 202B y 402A, 402B de diferentes diámetros o dimensiones totales. Tal como se muestra en la Figura 11F, los elementos o varillas de resistencia 202A y 202B sustancialmente circulares de las capas de preforma 300A, 300B incluyen una o más capas 300A, 300B de elementos o varillas 202A que definen un diámetro y una o más capas 300A, 300B de elementos o varillas 202B que definen un diámetro diferente, por ejemplo, más grande o más pequeño. De manera similar, tal como se muestra en la Figura 11G, los elementos o varillas 402A y 402B rectangulares de las capas de preforma 400 incluyen una o más capas 400 de elementos o varillas 402A que definen un conjunto de dimensiones totales y una o más capas 400 de elementos o varillas 402B que definen un conjunto diferente, más grande o más pequeño, de dimensiones totales. Tales capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluir elementos o varillas que definen ciertos diámetros, perfiles o dimensiones totales que facilitan la unión de la tapa de larguero 126 con elementos adyacentes de la pala 20, tal como el alma de esfuerzo cortante 125 y las porciones de cubierta 120 y 122. Por ejemplo, las dimensiones más grandes o más pequeñas de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 pueden ser ventajosas para unir una o más capas de preforma 300A, o para unir una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 de la tapa de larguero 126 con una interconexión entre la tapa de larguero y los elementos adyacentes de la pala 20.

En referencia a las Figuras 12A-12C y, en referencia adicional a las Figuras 9A- 9E, las capas de preforma 300A, 300B y 400 de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 pueden incluir capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales unidas o pegadas a o intercaladas con la capa fibrosa de soporte 312 y/o múltiples capas fibrosas 602, tal como se ha descrito anteriormente. Las Figuras 12A y 12B ilustran capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas con cada capa de preforma 300A, 300B y 400 unida o pegada a la capa de soporte 312 y/o unida o pegada a, o intercalada con, múltiples capas fibrosas 602. Cada capa de soporte 312 y/o una o más de las múltiples capas fibrosas 602 pueden incluir el margen u orillo 314 periférico tal como se ha descrito anteriormente. El margen u orillo 314 se extiende hacia fuera a lo largo de al menos un borde de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 y define una determinada anchura W_6 . Aunque las Figuras 12A y 12B ilustran únicamente una porción de cada capa de preforma 300A, 300B, 400 y el margen u orillo 314 a lo largo de un borde de cada capa 300A, 300B y 400, la invención no se limita y prevé que la capa de soporte 312 y/o una o más de las capas fibrosas 602 pueden incluir un borde u orillo 312 periférico adicional a lo largo de un borde opuesto u otro borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Tal como se ha mencionado anteriormente, el margen u orillo 314 tiene una anchura W_6 suficiente para ayudar a que el margen u orillo 314 funcione como un punto de unión o una porción de unión con un tamaño medido y configurada para ayudar a unir, pegar o intercalar la capa de preforma 300A, 300B y 400 con uno o más componentes de la tapa de larguero 126 y/o con uno o más de otros componentes de capas de una porción de la pala 20 de rotor, tal como las porciones de cubierta 120 y 122. El margen u orillo 314 ayuda por tanto a asegurar las capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales o apiladas, así como la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126, con la pala 20 del rotor.

En referencia a la Figura 12C, en otra configuración, dos o más de las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden apilarse, estratificarse o intercalarse entre sí para definir una elevación lateral escalonada 410 a lo largo de uno o más bordes de una pila de capas de preforma. La elevación lateral escalonada 410 se define equilibrando las posiciones de cada capa de preforma 400 en relación con otra capa de preforma 400 colocada adyacente o directamente por encima y/o por debajo de cada capa de preforma 400. Tal como se muestra en la Figura 12C, las capas de preforma 400 se apilan en un patrón de ladrillo por donde cada elemento o varilla de resistencia 402 de una capa de preforma 400 se alinea sustancialmente con al menos una porción de un espacio o vacío 500 definido entre dos elementos o varillas de resistencia 202 y 402 adyacentes de otra capa de preforma 400. Sin embargo, las capas de preforma 400 no necesitan apilarse en un patrón de ladrillo y sus posiciones relativas a capas de preforma 400 adyacentes, cuando se apilan, definen la elevación lateral escalonada 410. La elevación lateral escalonada 410 facilita la unión de la pila de capa de preforma 400 con otros componentes de la tapa de larguero 126 y/o con otros componentes de la pala 20, al funcionar como áreas en las que las capas de preforma 400 apiladas pueden unirse o pegarse a, o intercalarse con, tales componentes. Opcionalmente, las capas de preforma 400 pueden unirse o pegarse a la capa de soporte 312 y/o una o más capas fibrosas 602 que tienen el margen u orillo 314 periférico, lo que serviría como un punto para pegar, unir o intercalar las capas de preforma 400 apiladas con componentes de la tapa de larguero 126 o la pala 20.

En referencia a las Figura 12D y 12E, las capas de preforma 400 apiladas que tienen la elevación lateral escalonada 410 se muestran unidas o pegadas a, o intercaladas con, partes de las porciones de cubierta 120 y 122 de la pala 20. Tal como se muestra en la Figura 12D, la elevación lateral escalonada 410, con o sin el margen u orillo 314 periférico, proporciona lugares o posiciones en las que las capas de preforma 400 apiladas se unen o se pegan a, o se intercalan con, una o más capas que construyen las porciones de cubierta 120 y 122 con palas. Por ejemplo, tal como se muestra en la Figura 12D, la elevación lateral escalonada 410 se une o se pega a, o se intercala con, porciones de la capa intermedia 105 y 107, por ejemplo, de espuma, de la porción de cubierta 120 y 122. Además, tal como se muestra en la Figura 12E, las capas de preforma 400 apiladas pueden tener un borde longitudinal sustancialmente uniforme sin la elevación lateral escalonada 410. En este caso, el margen u orillo 314 periférico, formado a partir de la capa de soporte 312 y/o una o más capas fibrosas 602 de las capas de preforma 400, puede

servir como lugares y posiciones en las que las capas de preforma 400 apiladas se unen o se pegan a, o se intercalan con, una o más capas de las porciones de cubierta 120 y 122, tales como la capa intermedia 105 y 107, por ejemplo, de espuma, tal como se muestra.

En referencia a la Figura 13, en una configuración de la capa fibrosa de soporte 312 de acuerdo con la invención, la capa de soporte incluye una capa de soporte 313 de tela tejida que incluye múltiples hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 y uno o más hilos de trama o rellenos 317 entretejidos en un patrón. Los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 tienen un peso definido suficiente, por ejemplo, mayor que los uno o más hilos de trama 317, de manera que donde la resina de unión 502 se aplica a la formación apilada 128, la resina de unión 502 se impregna en los espacios o vacíos 500 definidos entre elementos o varillas de resistencia 402 adyacentes. Los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 de la capa de tela 313 en combinación con la resina de unión 502 pueden formar por tanto una articulación 319 entre elementos o varillas de resistencia 402 adyacentes de una determinada capa de preforma 400. La articulación 319 ayuda a minimizar los espacios o vacíos 500 y ayuda a proporcionar elasticidad en respuesta a las cargas de tensión y al estiramiento a lo largo de la tapa de larguero 126. Por tanto, la articulación 319 ayuda a minimizar las grietas de la resina de unión 502 y las roturas de los elementos o varillas 402 individuales.

En otra configuración de la capa de soporte 313 de tela tejida, los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 pueden configurarse y/o tener suficiente denier, de manera que los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 se levantan a lo largo de una superficie de la capa de soporte 313. Tales hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 levantados se extienden longitudinalmente a lo largo de la superficie de la capa de soporte 313 en relación con el eje longitudinal 304 de los elementos o varillas de resistencia 402 unidireccionales y ayudan a servir como rasgos de alineamiento. Los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 levantados ayudarían en la colocación de cada elemento o varilla de resistencia 202 y 402 en una posición determinada a lo largo de la superficie de la capa de soporte 313.

En una configuración adicional de la capa de soporte 313 de tela tejida, múltiples hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 longitudinales pueden configurarse y/o tener suficiente denier, de manera que los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 se levantan a lo largo de ambas superficies de la capa de soporte 313. Los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 levantados servirían como rasgos de alineamiento para ayudar en la colocación longitudinal de cada elemento o varilla de resistencia 202 y 402 a lo largo de una primera superficie de la capa de soporte 313, al igual que servirían como rasgos de alineamiento para ayudar en la colocación de una capa de preforma 300A, 300B y 400 con otra capa de preforma 300A, 300B y 400 adyacente. Los hilos o fibras para hilar de urdimbre 315 levantados a lo largo de una segunda superficie de la capa de soporte 313 de tela tejida opuesta a la primera superficie de la capa de soporte 313 facilitarían el apilamiento o estratificación de dos capas de preforma 300A, 300B y 400. Las capas de soporte 313 pueden configurarse además para facilitar el apilamiento o estratificación de las capas de preforma 300A, 300B y 400 en un patrón de columna, de ladrillo o aleatorio.

La estructura resultante de capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, tal como se menciona, también ayuda a incrementar la densidad de compacidad y, por tanto, ayuda a disminuir el volumen de resina de unión 502 que se necesita para formar la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 a partir de la formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400.

De esta manera, la construcción de las capas de preforma 300A, 300B y 400 y los patrones y disposiciones de apilamiento o estratificación de las capas de preforma de acuerdo con la invención permiten controlar las dimensiones de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 y, por tanto, controlar las dimensiones totales y la estructura terminada de la viga compuesta 127 que forma la tapa de larguero 126. Además, el uso de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 ayuda a incrementar o maximizar la fracción neta y total de volumen de fibra, lo que ayuda a aumentar o maximizar la fracción de volumen de fibra de la tapa de larguero 126, mientras que reduce o minimiza la cantidad de material usado para construir la viga compuesta 127. Tal como se aprecia, también es posible una reducción del volumen de resina de unión 502 aplicada a la formación apilada 128 para formar la viga compuesta 127. Como resultado, pueden realizarse reducciones en los costes de materiales y de fabricación usando la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención como componentes estructurales de la tapa de larguero 126 de la pala.

Tal como se ha descrito anteriormente, los espacios ínfimos 500 entre elementos o varillas de resistencia 202 y 402 individuales y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 adyacentes o estratificadas, cuando forman la formación apilada 128, ayudan a facilitar la penetración de la resina de unión 502 durante la formación de la viga compuesta 127. Las velocidades de penetración relativamente rápidas de la resina 502, por ejemplo, en el orden de varios minutos, entre elementos o varillas 202 y 402 individuales y entre capas de preforma 300A, 300B y 400 individuales son posibles. Tal como se muestra en las Figuras 11A y 11B, la resina de unión 502 penetra y fluye en los espacios 500 y en cualquier vacío.

Además, como se menciona, las propiedades mecánicas de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 preformados ayudan a hacer posible que los elementos o varillas 202 y 402 resistan las arrugas y el encogimiento durante la aplicación y la curación de la resina de unión 502. Esto elimina la necesidad de lentos tiempos de curación y temperaturas de curación relativamente bajas que se usan actualmente en la mayoría de técnicas de fabricación de tapas de larguero de la técnica anterior para evitar arrugas en telas, compuestos y materiales fibrosos

y de fibra. Además, la estructura y las propiedades mecánicas de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 y la capa de preforma 300A, 300B y 400 resultante de acuerdo con la invención ayudan a que los elementos o varillas 202 y 402 individuales resistan el lavado de fibras durante la inyección o infusión de resina de unión 502. En particular, los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 resisten el lavado de fibras a lo largo de la anchura transversal W_2 de la formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 a las que se aplica la resina de unión 502. La resistencia al lavado de fibras ayuda a que la capa de preforma 300A, 300B y 400 minimice o elimine las oportunidades para la formación de arrugas, retorceduras o abolladuras indeseables a lo largo de la viga compuesta 127 durante su fabricación y, finalmente, a lo largo de la tapa de larguero 126. Las velocidades incrementadas de penetración de resina de unión y la resistencia incrementada de los elementos o varillas de resistencia 202 y 402 contra el lavado de fibras acortan de manera eficaz los tiempos requeridos para la penetración y curación de resina durante la fabricación de la tapa de larguero 126.

Tira continua de capas de preforma

En referencia a las Figuras 14A-14C, en otro aspecto, la invención proporciona la pluralidad de capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención configuradas y dispuestas en una tira continua 510. La tira 510 incluye múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 en cualquiera de las configuraciones anteriormente descritas. La Figura 14A proporciona un ejemplo ilustrativo de la tira 510 de acuerdo con la invención que incluye ocho (8) capas de preforma 300A-H y 400A-H con cada capa de preforma adyacente a al menos otra capa de preforma a lo largo de su anchura transversal W_3 y W_4 . La anchura transversal W_3 y W_4 de las capas de preforma 300A-H y 400A-H, tal como se muestran en las Figuras 6 y 7, define la tira 510 con una anchura transversal W_5 sustancialmente uniforme. Además, las capas de preforma 300A, 300B y 400 adyacentes definen la longitud L_6 de la tira 510. Aunque la Figura 14A ilustra la tira 510 que incluye ocho (8) capas de preforma 300A-H y 400A-H, la tira 510 de acuerdo con la invención no se limita en este respecto y prevé que la tira 510 puede incluir cualquier número de capas de preforma 300A, 300B y 400. La tira 510 puede construirse y estar dispuesta para suministrar un número de las capas de preforma 300A, 300B y 400 suficiente para construir parcial o totalmente una o más vigas compuestas 127 de tapa de larguero u otros componentes de pala.

La tira 510 define la pluralidad de capas de preforma 300A-H y 400A-H individuales como múltiples sublongitudes de la longitud L_5 de la tira. En esta configuración de la tira 510, las sublongitudes corresponden a las longitudes variables requeridas L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. de las capas de preforma 300A-H y 400A-H mostradas en la Figura 4E que se usan para configurar la formación apilada 128 y, por último, la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 con un espesor variable, tal como se muestra en las Figuras 4D y 4F. La invención no se limita en ese sentido y anticipa otras configuraciones de la tira 510. Por ejemplo, algunas configuraciones de la tira 510 pueden incluir múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 que tienen longitudes y anchuras transversales sustancialmente uniformes para suministrar capas de preforma 300A, 300B y 400 para construir la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126 con un espesor y una anchura transversal sustancialmente uniformes. Otras configuraciones de la tira 510 pueden incluir múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 que tienen anchuras transversales variables para construir la viga compuesta 127 con una anchura transversal de estrechamiento a lo largo de su envergadura.

La tira 510 define además zonas extremas ahusadas 512 a través de su anchura W_5 . Las zonas extremas ahusadas 512 definen la tira 510 en sublongitudes individuales que tienen longitudes variables L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc., de las capas de preforma 300A-H y 400A-H.

Tal como se muestra en la Figura 14B, cada zona extrema ahusada 512 incluye porciones adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B adyacentes al menos a un extremo de cada capa de preforma 300A-H y 400A-H. En una configuración de la tira 510 de acuerdo con la invención, las zonas extremas ahusadas 512 pueden formarse en la tira 510 al retirar porciones o adelgazar los extremos de las capas de preforma 300A-H y 400A-H. En este caso, las capas de preforma 300A-H y 400A-H pueden formar inicialmente la tira 510 como una reserva de tira continua sin zonas extremas ahusadas 521. Los procesos o técnicas para adelgazar o amolar pueden usarse para retirar o adelgazar los extremos de las capas de preforma 300A-H, 400 A-H para crear por tanto las zonas extremas ahusadas 512 en la tira 510. Cada zona extrema ahusada 512 puede incluir uno o más indicios 513 para indicar el punto en el que las capas de preforma 300A-H y 400A-H pueden separarse unas de otras, por ejemplo, cortando a lo largo del punto. Las zonas extremas ahusadas 512 se crearían en ubicaciones predeterminadas a lo largo de la tira 510 para definir cada capa de preforma 300A-H y 400A-H con una longitud L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. requerida o deseada.

Todavía en referencia a la Figura 14B, las porciones adelgazadas 320A, 320B de las capas de preforma 300A-H, 400A-H adyacentes definen cada zona extrema ahusada 512 con determinados índices de estrechamiento S_3 y S_4 . Los índices de estrechamiento S_3 y S_4 pueden referirse a la longitud de L_5 de la tira 510 o pueden referirse a la longitud L_{4a} , L_{4b} , L_{4c} , L_{4d} , etc. de cualquier capa de preforma particular. Las zonas extremas ahusadas 512 pueden definir un punto que es suficientemente delgado para permitir la separación de las capas de preforma 300A-H y 400A-H entre sí y de la tira 510, por ejemplo, cortándolas o amolándolas. Cuando se separan de la tira 510, cada capa de preforma 300A-H, 400A-H individual puede incluirse en una estación o posición específica dentro de la formación apilada 128.

Cada capa de preforma 300A-H tiene una porción adelgazada 320A, 320B y 322A, 318B a lo largo de al menos uno de sus extremos. Los índices de estrechamiento S_3 y S_4 de las porciones adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B pueden corresponderse y ayudar a configurar el estrechamiento del espesor de la tapa de larguero 126, particularmente donde la tapa de larguero 126 se construye principalmente de capas de preforma. Los índices de estrechamiento S_3 y S_4 pueden también corresponderse con la relativa lisura o estrechamiento continuo de la tapa de larguero 126. Tal estrechamiento continuo puede reducir o minimizar el efecto de tensión ascendente de un corte romo o separación terrestre entre capas de preforma. Normalmente, el espesor mínimo de las porciones adelgazadas sería lo suficientemente delgado para reducir el efecto de tensión ascendente hasta niveles aceptables, y lo suficientemente grueso para mantener la resistencia tensora longitudinal de la tira 510. Por ejemplo, tal espesor mínimo puede estar entre aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 50 % del espesor nominal no ahusado. En una realización preferente, el espesor mínimo puede ser aproximadamente el 20 % del espesor no ahusado.

La Figura 14C ilustra una vista lateral de una porción adelgazada 320B de un extremo de una primera capa de preforma 300A-H, 400A-H que forma parte de una zona ahusada 512. La porción adelgazada 320B define un índice de estrechamiento S_4 que puede corresponderse con un índice de estrechamiento S_x de una porción adelgazada de una segunda capa de preforma. Donde las primeras y segundas capas de preforma se apilan o estratifican durante la fabricación de la formación apilada 128, las porciones adelgazadas pueden colocarse dentro de la formación apilada 128 en relación unas con otras para ayudar a definir un estrechamiento del espesor de la formación apilada 128. De esta manera, las porciones adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B, con determinados índices de estrechamiento S_x , pueden ajustar de manera continua el espesor de estrechamiento de la formación apilada 128.

Las longitudes variables de las capas de preforma 300A-C y 400A-C y los índices de estrechamiento S_x de las porciones adelgazadas de las capas de preforma pueden determinar también la estación o posición de cada capa de preforma 300A-H, 400A-H en la formación apilada 128. Este es el caso con la configuración de la tira 510 mostrada en la Figura 14A, que suministraría cada capa de preforma 300A-C y 400A-C para su colocación en una estación o posición particular de la formación apilada 128 mostrada en las Figuras 4D y 4F. Apilar o estratificar las capas de preforma 300A-C y 400A-C en sus respectivas estaciones o posiciones definiría el espesor de estrechamiento de la formación apilada y, por último, la viga compuesta 127 de la tapa de larguero 126.

La tira 510 puede construirse con cualquier número de capas de preforma 300A-H y 400A-H suficiente para suministrar capas de preforma 300A-H y 400A-H para construir parcial o totalmente una o más vigas compuestas 127. La tira 510 puede configurarse en un rollo o enrollarse en un carrete o bobina con el fin de almacenar y transportar la tira 510 y con el fin de suministrar capas de preforma 300A-H, 400A-H durante la fabricación de la tapa de larguero 126 y/u otros componentes de la pala 20.

Capas de preforma estructurales y de refuerzo

En referencia a la Figura 15, en otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma 300A, 300B y 400 en cualquiera de las configuraciones anteriormente descritas para funcionar como un componente o miembro estructural de resistencia y/o refuerzo de la construcción de la pala 20. La Figura 15 es una vista en sección transversal de la pala 20 mostrada en la Figura 2, tomada a lo largo de las líneas A-A y que ilustra las porciones de cubierta superior e inferior 120 y 122 de la pala 20. Una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden diseñarse y construirse para su inclusión en las porciones de cubierta superiores y/o inferiores 120 y 122 como un componente o miembro de refuerzo y/o consolidación. En algunas configuraciones, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede ser parte de al menos una porción del borde delantero 112 de la pala 20 definido mediante capas de las porciones de cubierta superiores e inferiores 120 y 122. Tal como se muestra en la Figura 15, una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluirse en la capa intermedia 105 y 107, por ejemplo, de espuma, de las porciones de cubierta superiores o inferiores 120 y 122 a lo largo de una porción del borde delantero 112 de la pala 20. Adicionalmente o como alternativa, una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluirse en la capa intermedia, por ejemplo, de espuma, de las porciones de cubierta superiores e inferiores 120 y 122 a lo largo de una porción del borde trasero 118 de la pala 20. En cualquiera de las aplicaciones, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención se construye y está dispuesta para proporcionar resistencia y/o refuerzo a lo largo de la porción del borde delantero 112 y/o el borde trasero 118 en el que se incorpora. Además, las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden ayudar a añadir control geométrico adicional a la pala 20, de manera que la pala 20 gestiona vórtices aerodinámicos y suprime cargas de aire y, de igual forma, gestiona el impacto a lo largo de la pala 20 debido a la deformación, la formación de hielo y los pájaros. La invención no se limita en este respecto y prevé que la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede diseñarse y construirse sustancialmente tal como se ha descrito anteriormente y/o puede configurarse además para funcionar como un miembro de refuerzo y/o resistencia de otros componentes de la pala 20.

De esta manera, habiendo descrito al menos un aspecto ilustrativo de la invención, diversas alteraciones, modificaciones y mejoras se les ocurrirán de inmediato a los expertos en la materia. Por consiguiente, la anterior descripción se proporciona solo a modo de ejemplo y no pretende ser limitativa. El límite de la invención se define únicamente en las siguientes reivindicaciones y los equivalentes de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un elemento estructural para una pala (20) de aerogenerador que comprende:

5 una viga compuesta (127) configurada para extenderse a lo largo de al menos una porción de un perfil aerodinámico (100) de la pala de aerogenerador;
 incluyendo la viga compuesta múltiples capas de preforma (300A, 300B), incluyendo cada capa de preforma
 10 múltiples varillas de resistencia (202) alargadas dispuestas longitudinalmente en relación unas con otras en una única capa, estando dispuesta cada varilla de resistencia adyacente a y separada de al menos una varilla de resistencia adyacente;
 incluyendo cada varilla de resistencia múltiples fibras estructurales colimadas, unidireccionales y sustancialmente rectas fijadas en una resina de matriz solidificada de manera que cada varilla de resistencia es rígida y define una geometría terminada incluyendo una longitud y anchura seleccionadas y un perfil seleccionado;
 15 incluyendo cada capa de preforma al menos una capa de soporte (312) a la que se unen las múltiples varillas de resistencia mediante un adhesivo aplicado a al menos una de la capa de soporte y las varillas de resistencia; apilándose cada capa de preforma con una o más de otras capas de preforma; y
 en el que la capa de soporte de al menos una capa de preforma incluye uno o más materiales permeables adecuados para facilitar la impregnación y penetración para permitir el flujo de resina líquida de unión entre las capas de preforma apiladas; y
 20 en el que múltiples capas de preforma apiladas definen una anchura transversal (W) y un espesor (T) de la viga compuesta.

2. El elemento estructural de la reivindicación 1, que comprende además una o más capas de material fibroso (602) apiladas con una o más capas de preforma.

25 3. Un elemento estructural para una pala (20) de aerogenerador que comprende:
 una viga compuesta (127) configurada para extenderse a lo largo de al menos una porción de un perfil aerodinámico (100) de la pala de aerogenerador;
 30 incluyendo la viga compuesta múltiples capas de preforma (300A, 300B), incluyendo cada capa de preforma múltiples varillas de resistencia (202) alargadas dispuestas longitudinalmente en relación unas con otras en una única capa, estando dispuesta cada varilla de resistencia adyacente a y separada de al menos una varilla de resistencia adyacente;
 incluyendo cada varilla de resistencia múltiples fibras estructurales colimadas, unidireccionales y sustancialmente rectas fijadas en una resina de matriz solidificada de manera que cada varilla de resistencia es rígida y define una geometría terminada incluyendo una longitud y una anchura seleccionadas y un perfil seleccionado;
 35 incluyendo cada capa de preforma al menos una capa de soporte (312) a la que se unen las múltiples varillas de resistencia; apilándose cada capa de preforma con una o más de otras capas de preforma; y
 en el que las múltiples capas de preforma apiladas definen una anchura transversal (W) y un espesor (T) de la viga compuesta;
 40 comprendiendo además una o más capas de al menos uno de un material tejido fibroso (602) y un material no tejido fibroso (602) apilado con las capas de preforma.

45 4. El elemento estructural de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que el material fibroso se selecciona a partir de uno o más de: telas, mallas, fibras, hilos y/o fibras para hilar de vidrio; telas, mallas, fibras, hilos y/o fibras para hilar de carbono; telas, mallas, fibras, hilos y/o fibras para hilar de grafito; telas, mallas, fibras, hilos y/o fibras para hilar de basalto; y telas, mallas, fibras, hilos y/o fibras para hilar de cerámica,
 y, opcionalmente, en el que el material fibroso comprende uno o más de: una tela no tejida cosida que comprende
 50 una tela biaxial o triaxial.

5. El elemento estructural de cualquier reivindicación anterior, en el que al menos uno de la anchura transversal y espesor de la viga compuesta es al menos uno de fijo o variable.

55 6. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que las múltiples capas de preforma apiladas o estratificadas se fijan en una resina líquida de unión que se solidifica o se cura para definir la viga compuesta,
 y, opcionalmente, en el que la resina de matriz solidificada de varillas de resistencia comprende uno o más de: una resina curada con UV, una resina curada con rayos de electrón, una resina termoplástica, una resina curada con
 60 presión calentada y una resina termoestable o curada por calor.

7. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que las varillas de resistencia adyacentes de la capa de preforma definen espacios (500) sustancialmente uniformes entre las varillas de resistencia adyacentes, extendiéndose los espacios a lo largo de al menos una porción de la longitud de la capa de preforma de manera que las varillas de resistencia adyacentes de la capa de preforma no mantienen un contacto sustancial entre sí para facilitar el flujo sustancialmente sin impedimentos de la resina líquida de unión entre varillas de resistencia

adyacentes de una capa de preforma y entre la capa de preforma y la una o más otras capas de preforma o apiladas con la capa de preforma.

8. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que los extremos de cada capa de preforma se corresponden con estaciones de la capa de preforma y en el que las múltiples capas de preforma apiladas definen una o más longitudes (L) diferentes para definir la viga compuesta que tiene un espesor (T) de estrechamiento.

9. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que al menos una porción extrema de una o más capas de preforma termina en una zona extrema ahusada, estando el estrechamiento en un índice seleccionado de estrechamiento.

10. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que varillas de resistencia adyacentes de una determinada capa de preforma definen sustancialmente espacios que tienen una geometría y un tamaño suficiente para permitir el flujo de resina líquida de unión entre varillas de resistencia adyacentes.

11. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que las varillas de resistencia de una o más capas de preforma definen un espesor sustancialmente similar para que cada una de las una o más capas de preforma defina un espesor sustancialmente uniforme.

12. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que varillas de resistencia de una o más capas de preforma definen perfiles sustancialmente similares, y, opcionalmente, en el que los perfiles son uno o más de perfiles rectangulares y circulares y, opcionalmente, en el que los perfiles rectangulares son perfiles rectangulares sustancialmente similares con bordes redondeados, y, más opcionalmente, en el que los bordes redondeados de varillas de resistencia apiladas adyacentes permiten el flujo de resina líquida de unión entre varillas de resistencia apiladas adyacentes y/o en el que cada borde de cada varilla de resistencia define un radio de curvatura del borde, y, todavía más opcionalmente, en el que el radio de curvatura del borde es menor que un cuarto de un espesor de una varilla de resistencia y mayor que un cuarto del espacio entre las capas de preforma apiladas.

13. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que un adhesivo compatible con la resina de unión une la capa de soporte y las múltiples varillas de resistencia.

14. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que una de la capa de soporte y las varillas de resistencia incluye al menos una capa de adhesivo para unir las varillas de resistencia con la capa de soporte.

15. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que la capa de soporte de una capa de preforma determinada comprende al menos uno de un material no tejido y un material tejido que tiene una o más de: múltiples fibras, múltiples hilos y múltiples fibras para hilar sustancialmente unidireccionales dispuestas en una orientación sustancialmente transversal con relación al eje longitudinal de las varillas de resistencia.

16. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que bien

(a) dos o más capas de preforma se apilan de manera que al menos una varilla de resistencia de al menos una capa de preforma está dispuesta en una alineación sustancial y longitudinal con al menos una varilla de resistencia de al menos otra capa de preforma dispuesta por encima o por debajo de la una capa de preforma, formando el espacio entre capas de preforma y varillas de resistencia adyacentes pasos para permitir el flujo de resina de unión, o

(b) dos o más capas de preforma se apilan y en el que al menos una de las varillas de resistencia en una capa de preforma está dispuesta en una alineación sustancial y longitudinal con al menos una porción del espacio entre varillas de resistencia adyacentes de otra capa de preforma, o

(c) dos o más capas de preforma se apilan y en el que las varillas de resistencia de una capa de preforma están dispuestas de manera aleatoria con respecto a las varillas de resistencia de otra capa de preforma, pero alineadas a lo largo de sus ejes longitudinales.

17. El elemento estructural de la reivindicación 1 o la reivindicación 3, en el que el elemento estructural comprende uno o más de una tapa de larguero (126), un perfil de doble T, un alma de esfuerzo cortante, un borde delantero (112), un borde trasero (114) y otros componentes estructurales de pala de la pala de aerogenerador.

18. El elemento estructural de la reivindicación 6, en el que la resina de unión se solidifica usando uno o más de: curación a temperatura ambiente, curación química, curación ultravioleta, curación por rayos de electrón y curación mediante la aplicación de calor y presión.

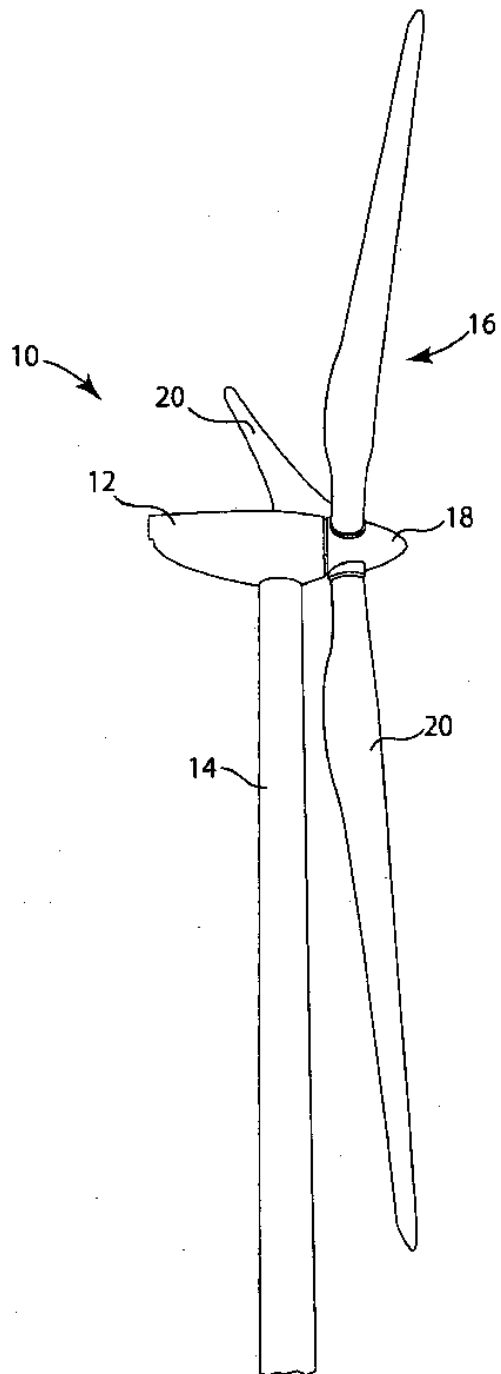
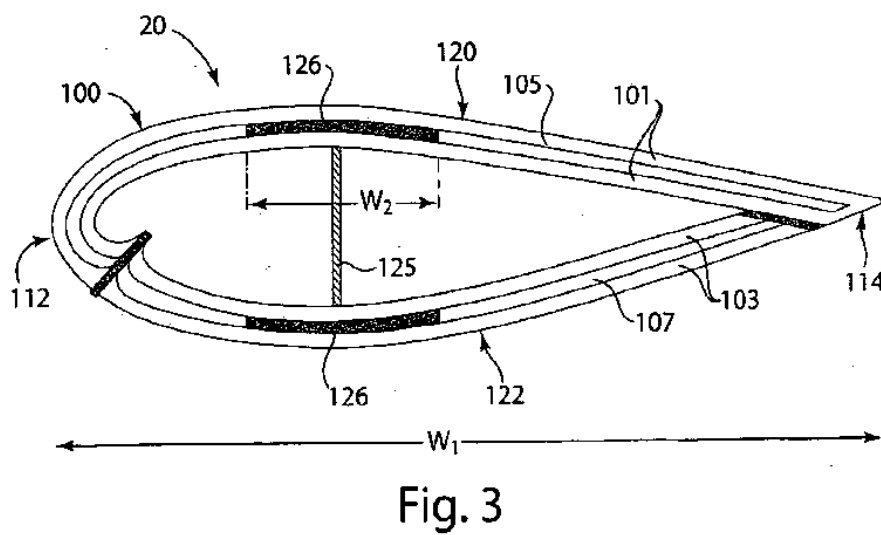
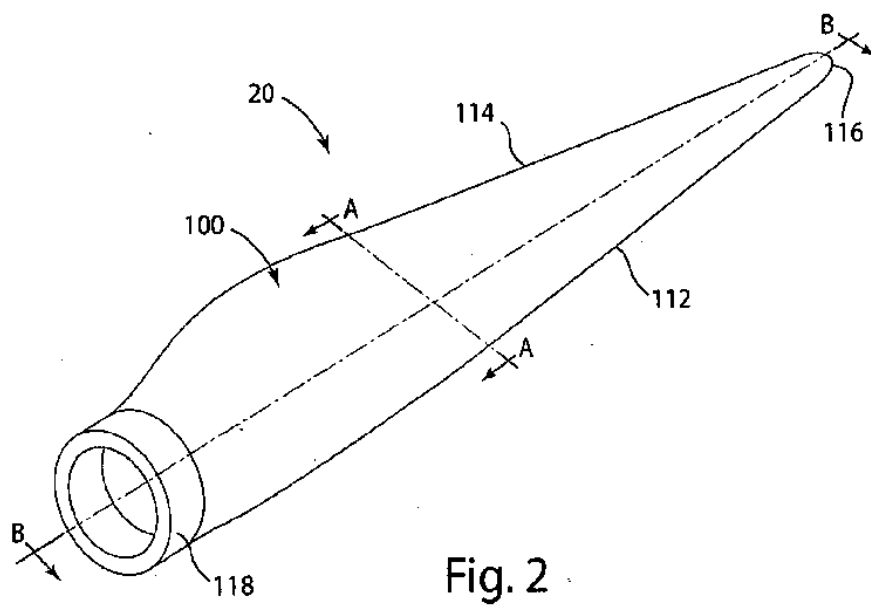


Fig. 1



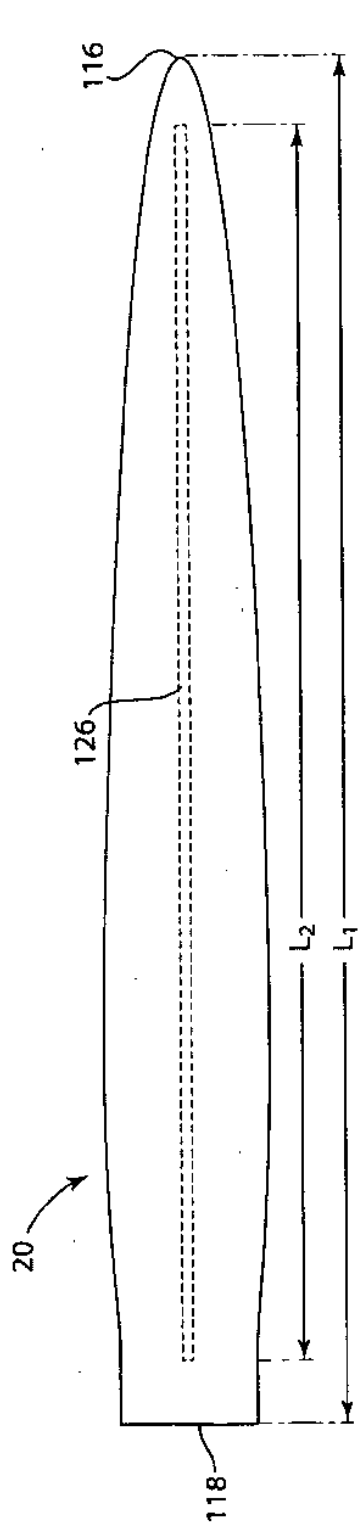


Fig. 4A

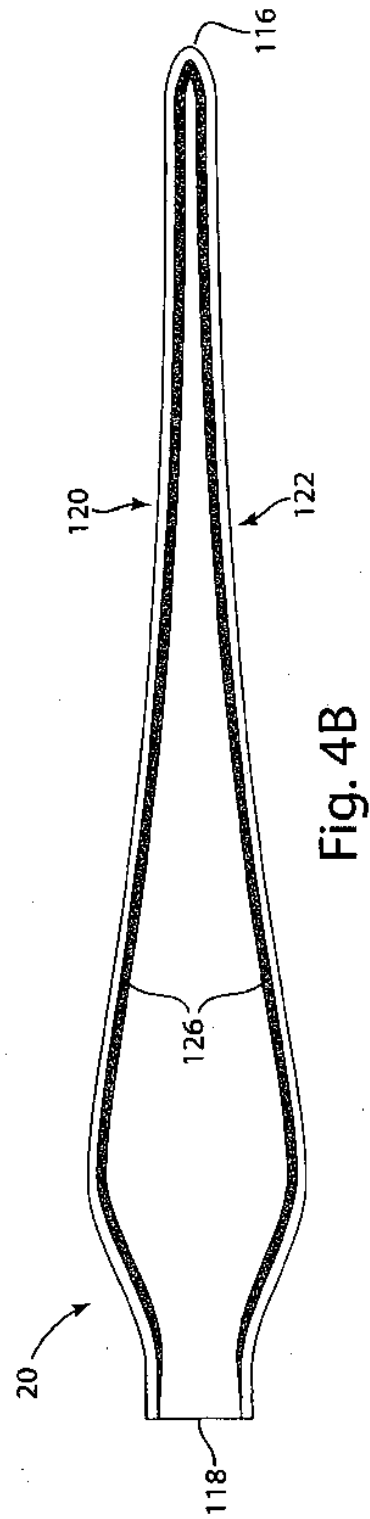


Fig. 4B

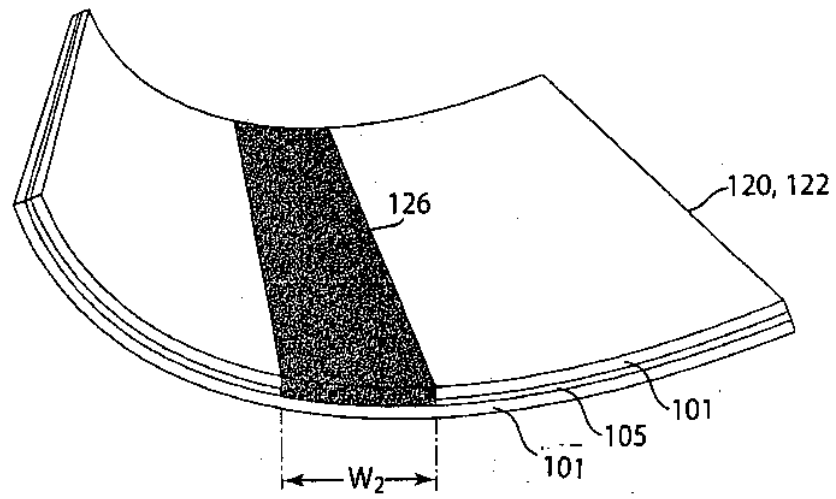


Fig. 4C

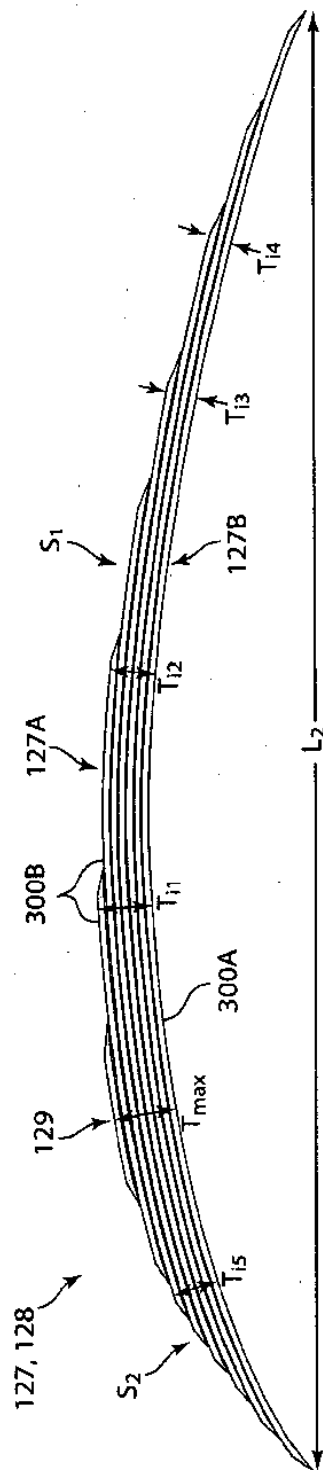


Fig. 4D

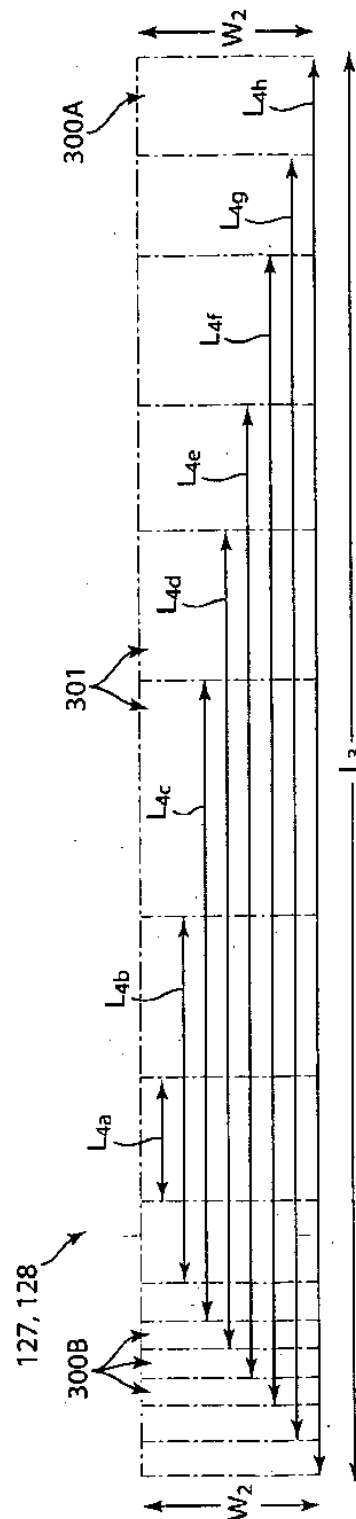


Fig. 4E

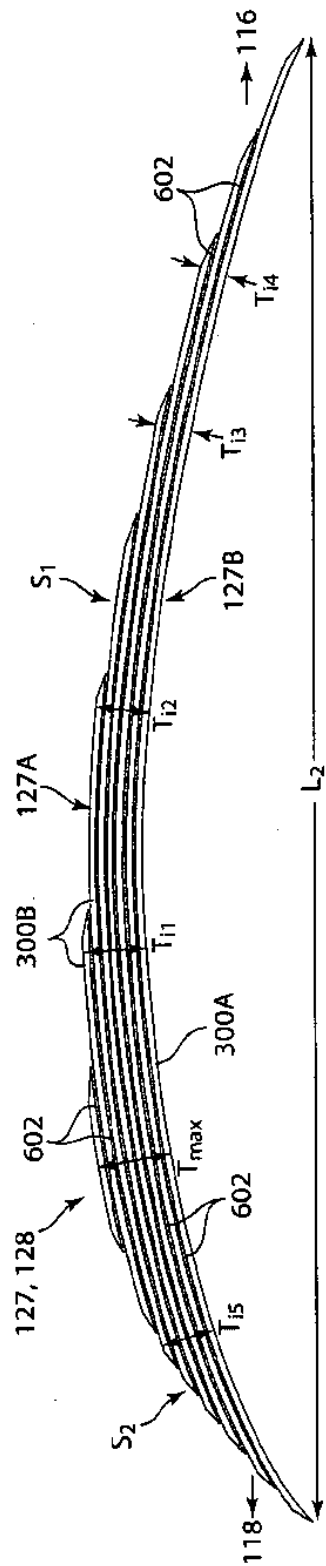


Fig. 4F

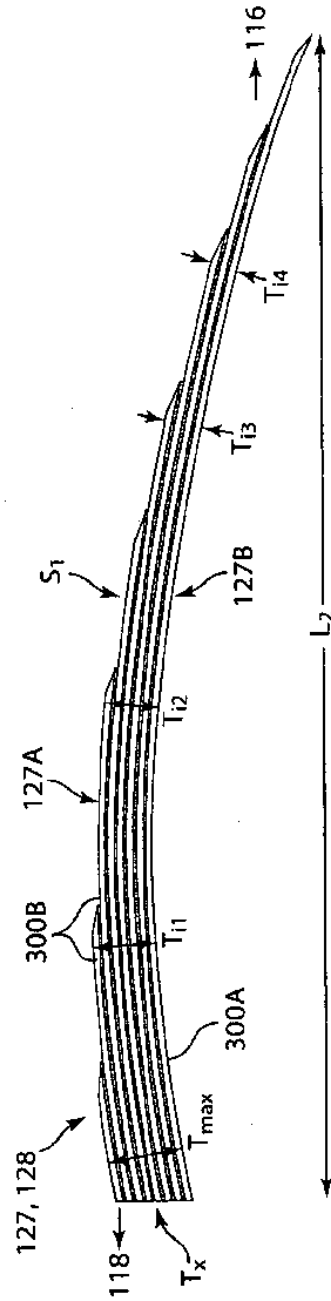
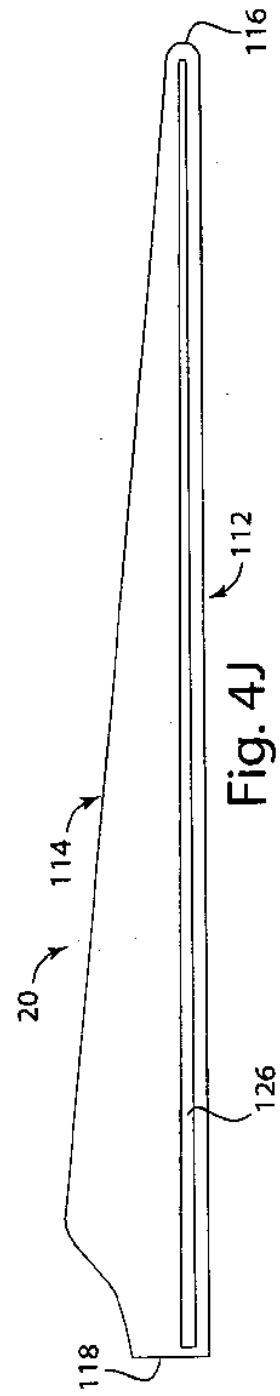
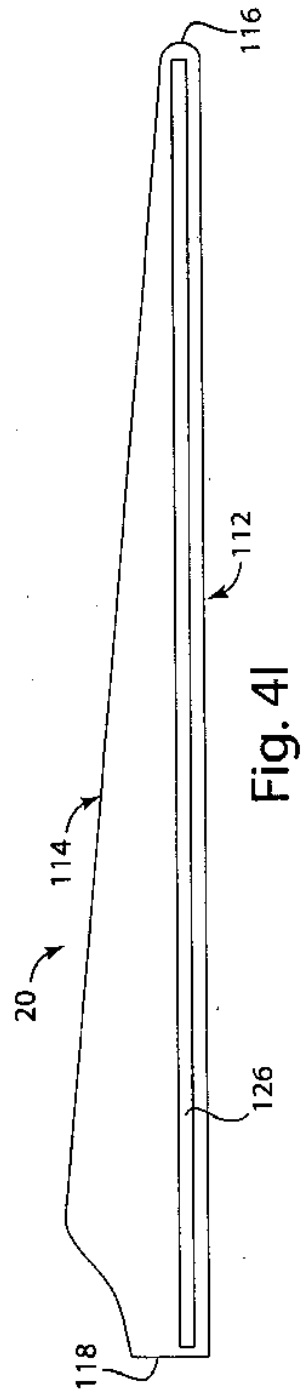
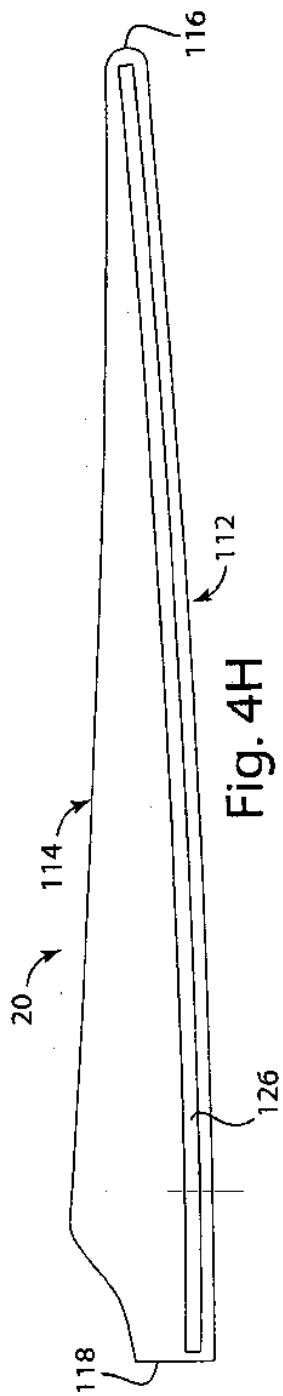


Fig. 4G



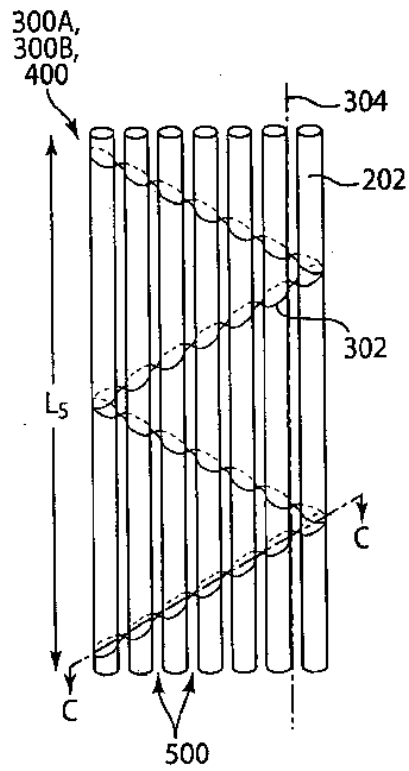


Fig. 5A

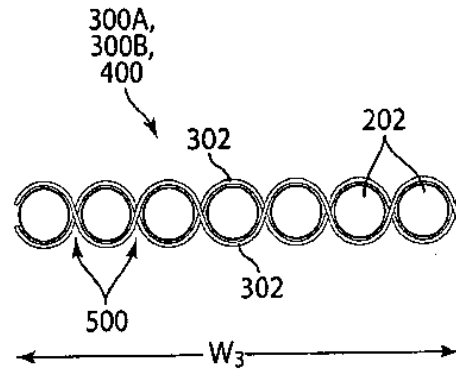


Fig. 5B

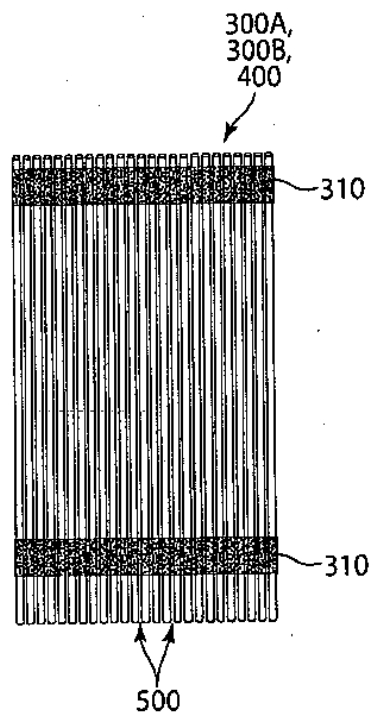


Fig. 5C

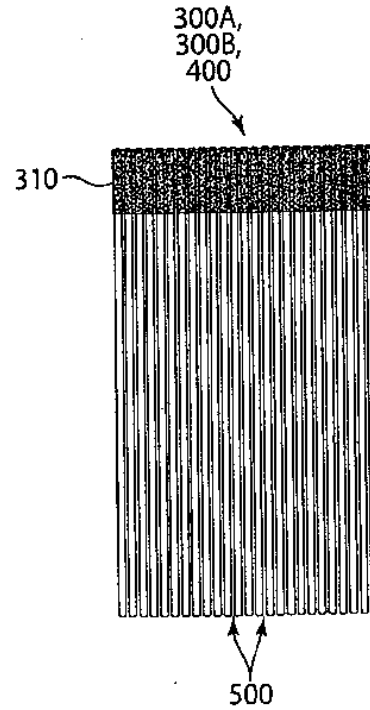


Fig. 5D

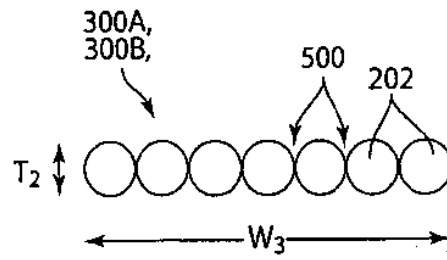


Fig. 6

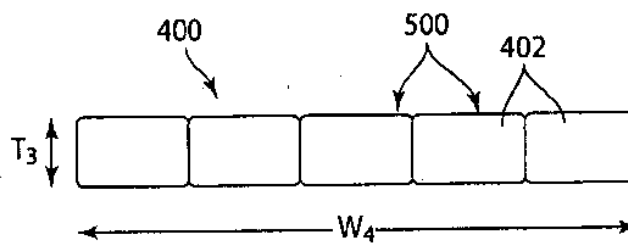


Fig. 7

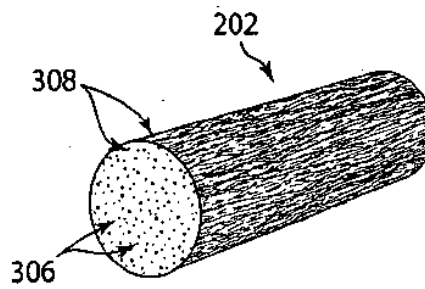


Fig. 8A

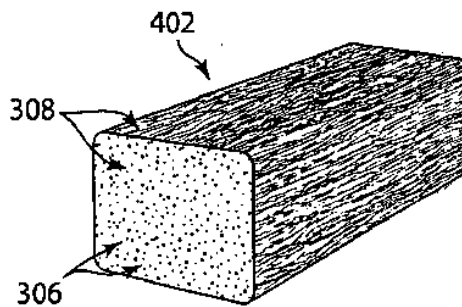


Fig. 8B

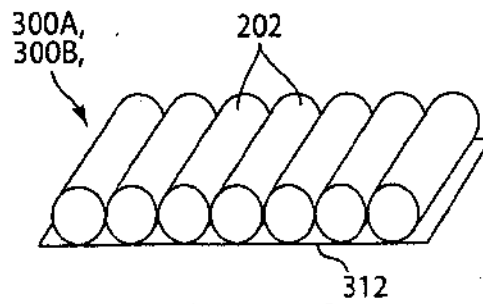


Fig. 9A

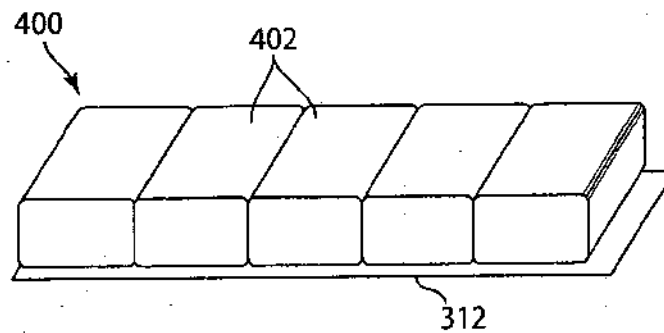


Fig. 9B

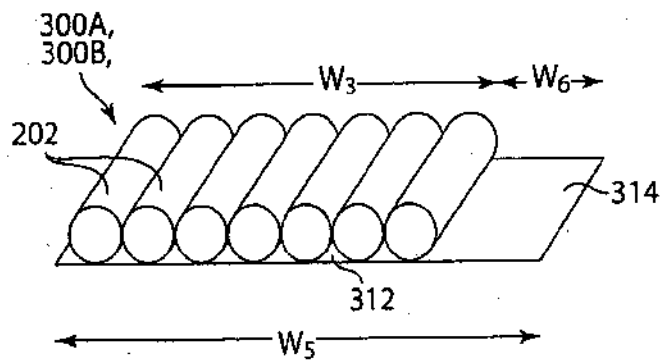


Fig. 9C

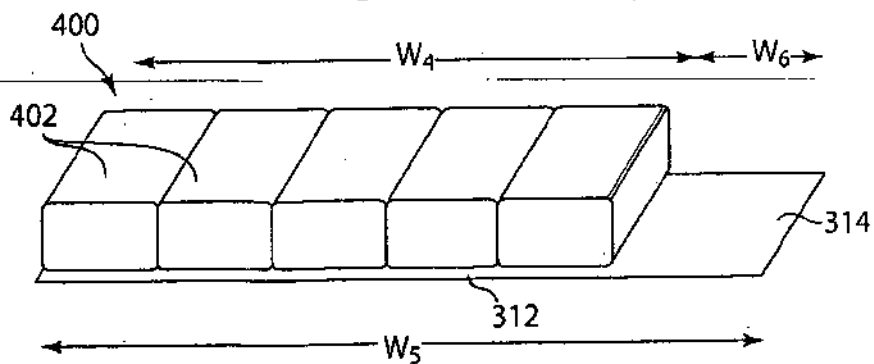
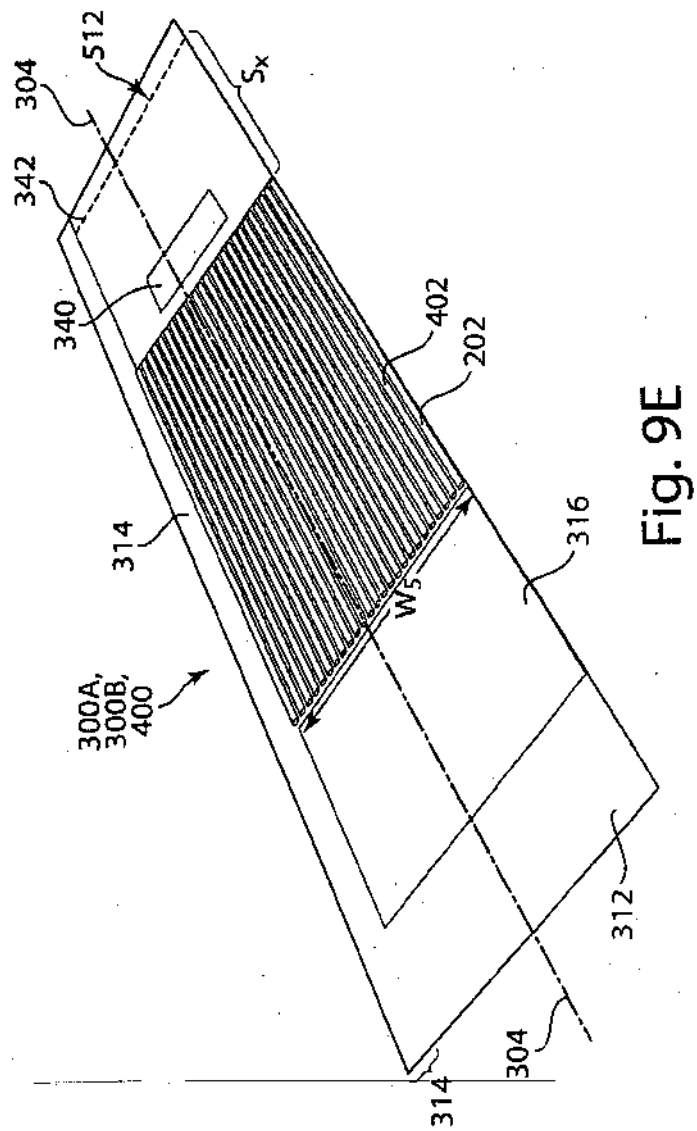


Fig. 9D



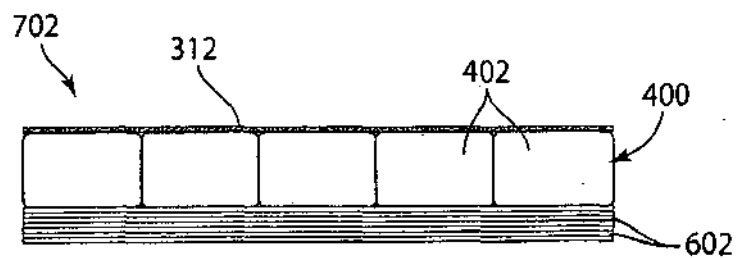


Fig. 10A

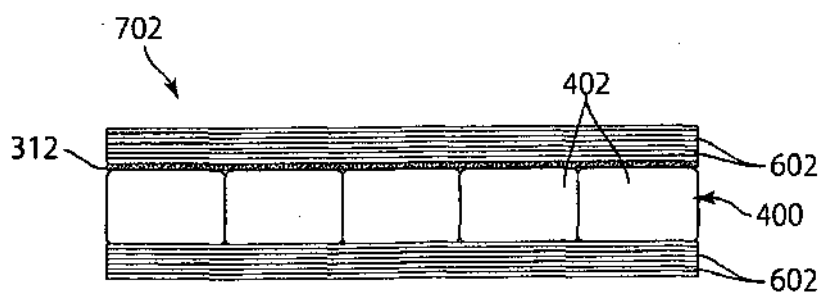


Fig. 10B

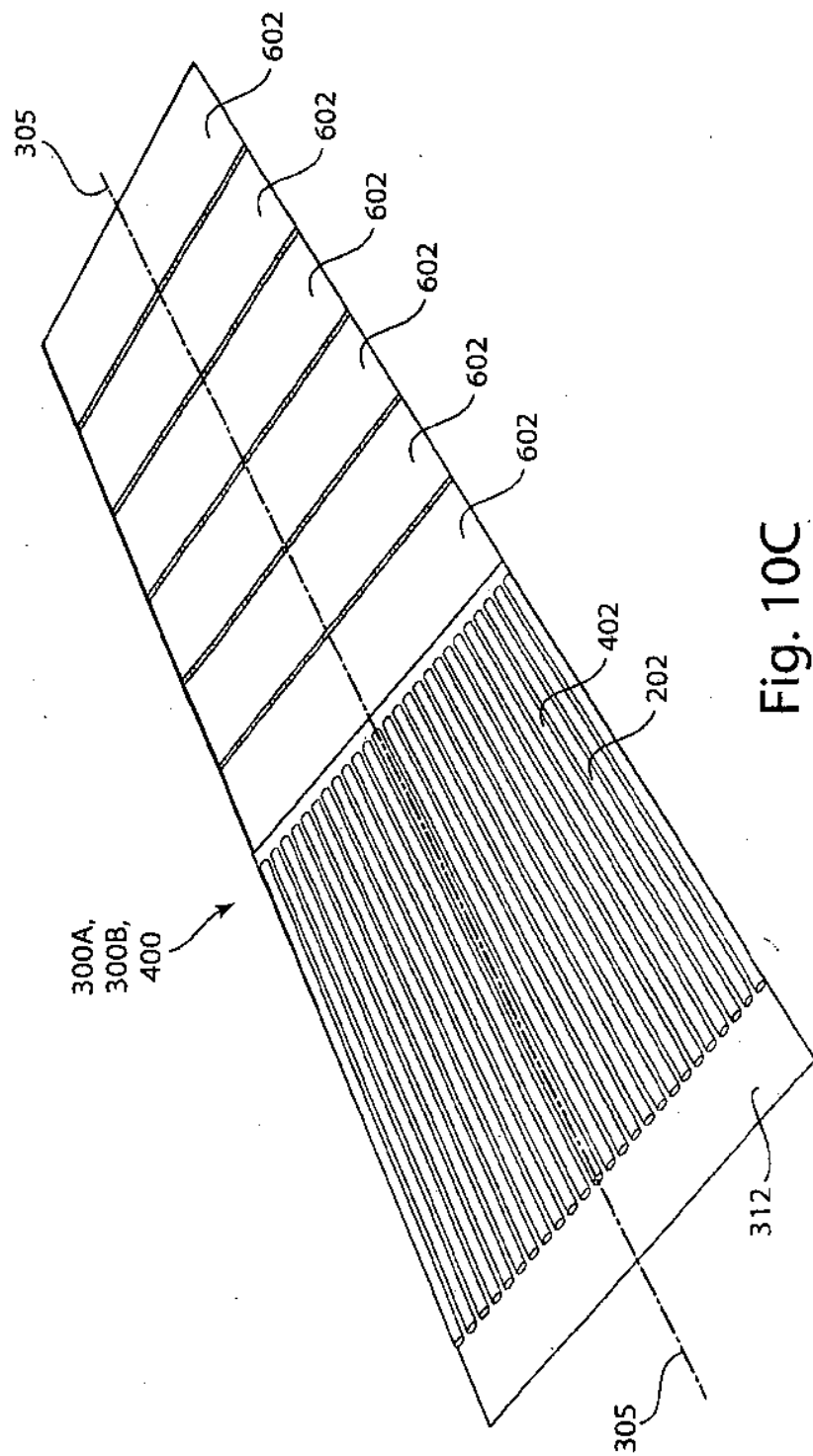


Fig. 10C

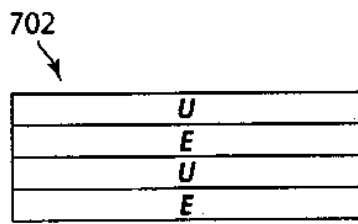


Fig. 10D

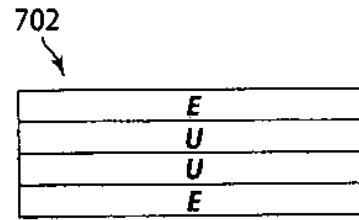


Fig. 10E

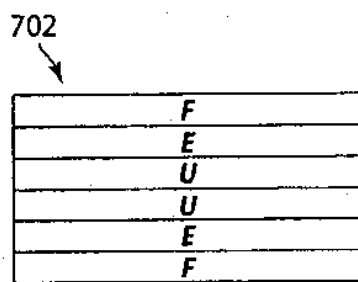


Fig. 10F

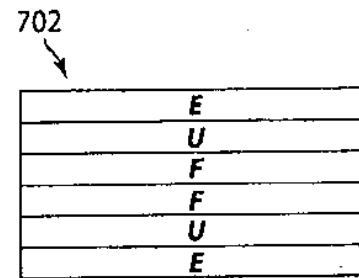


Fig. 10G

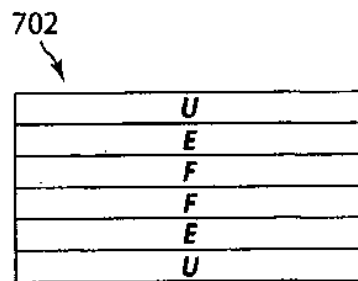


Fig. 10H

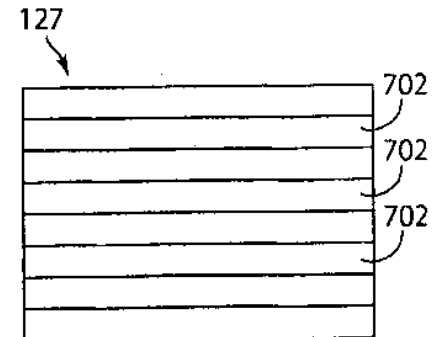


Fig. 10I

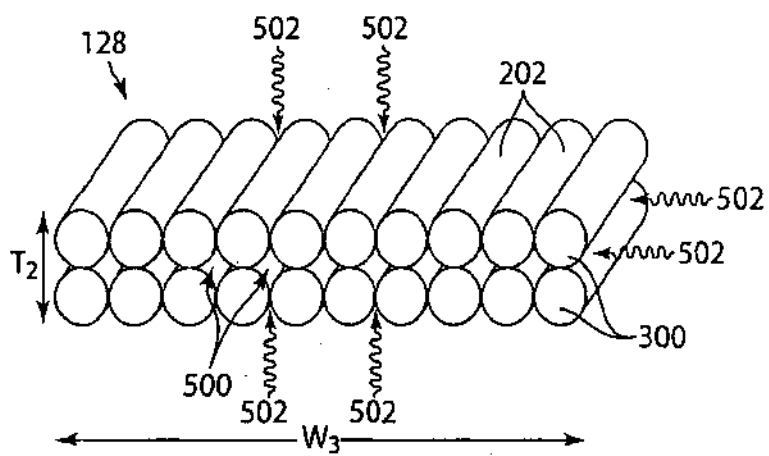


Fig. 11A

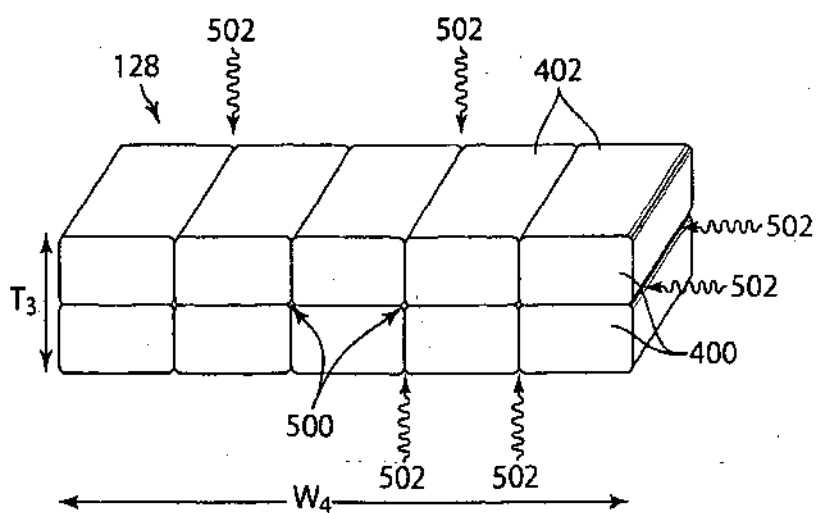


Fig. 11B

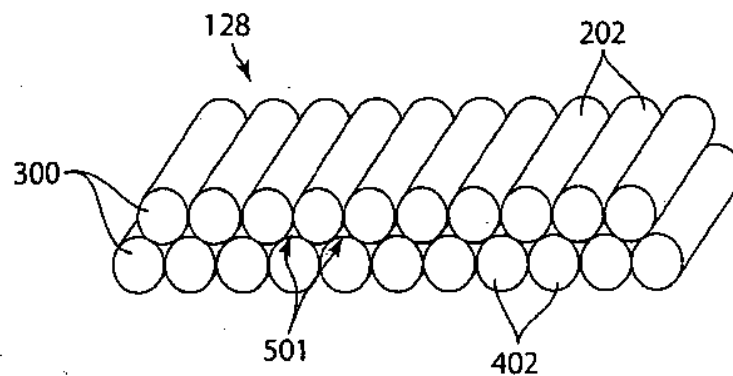


Fig. 11C

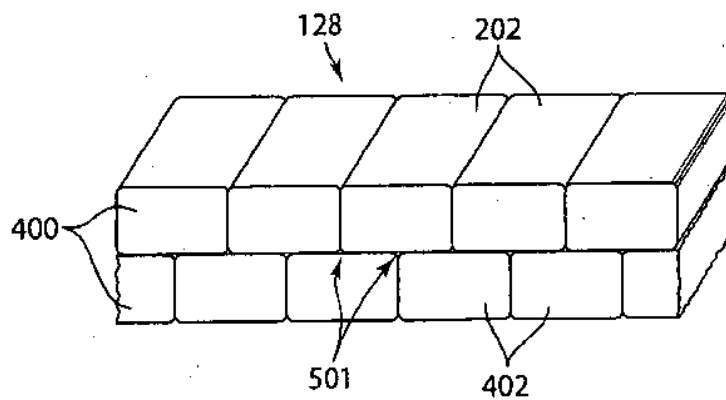


Fig. 11D

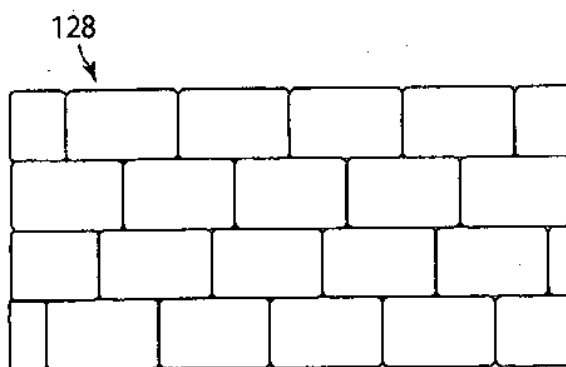


Fig. 11E

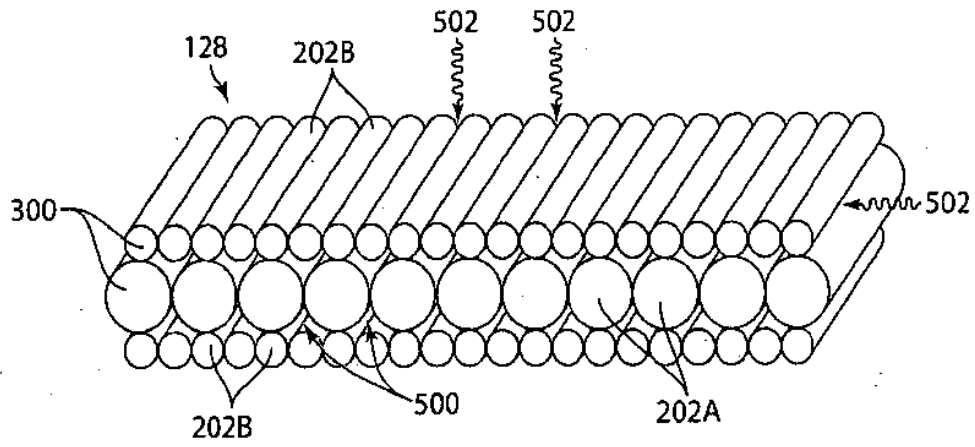


Fig. 11F

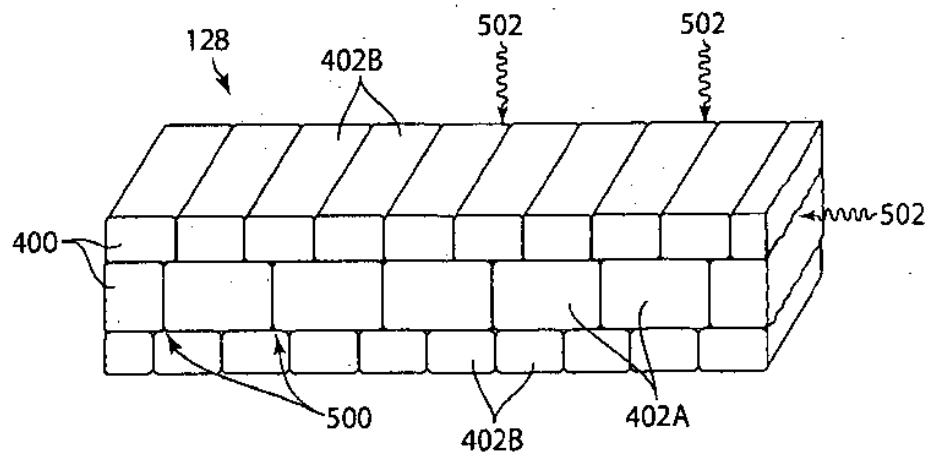


Fig. 11G

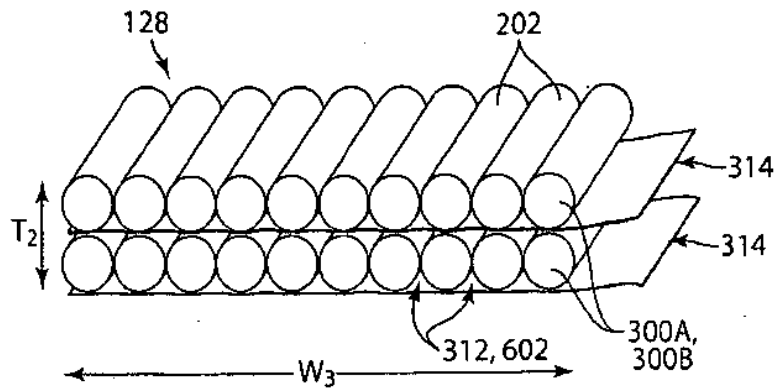


Fig. 12A

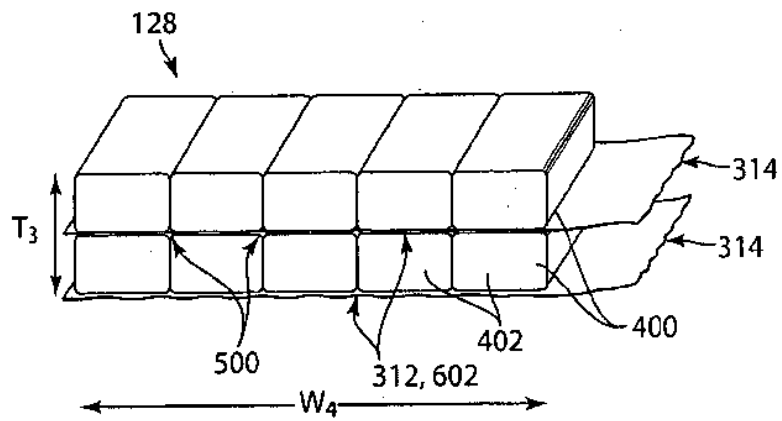


Fig. 12B

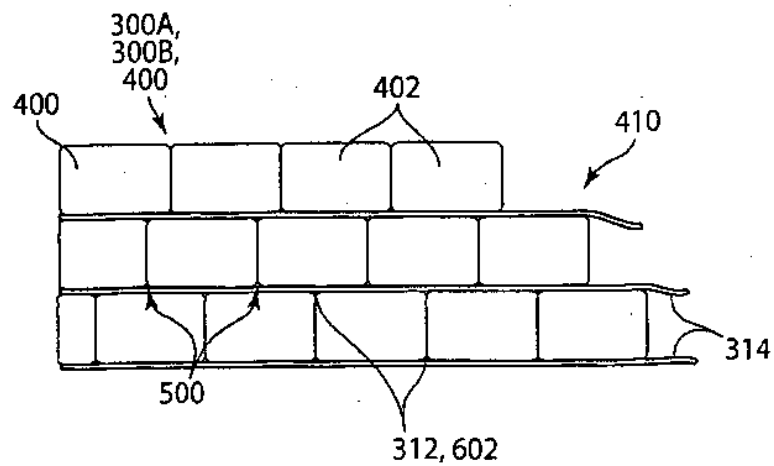


Fig. 12C

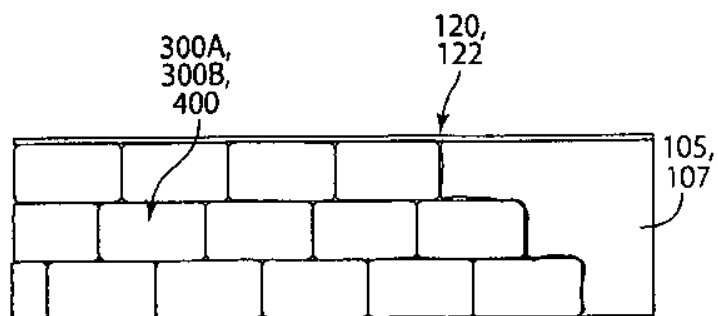


Fig. 12D

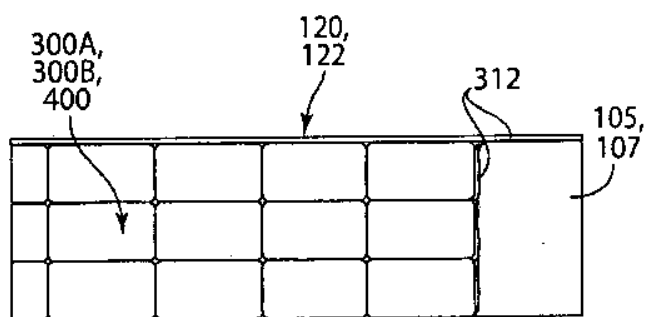


Fig. 12E

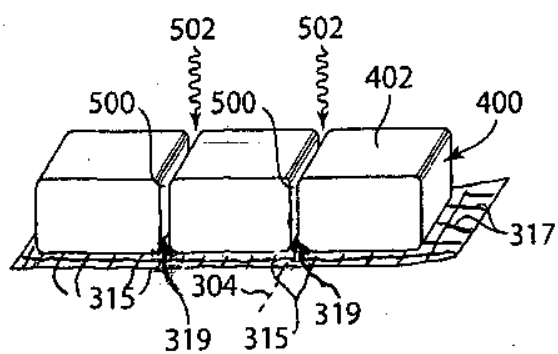


Fig. 13

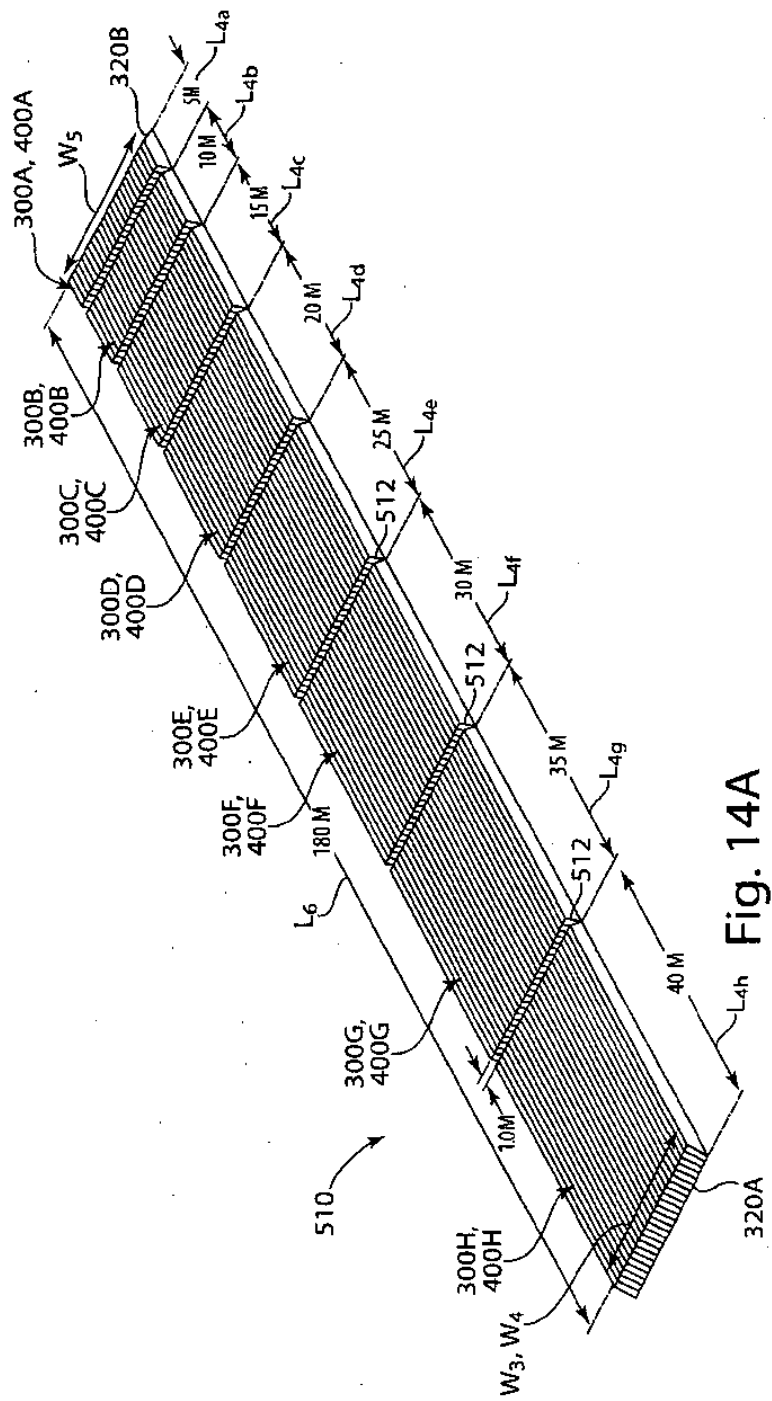


Fig. 14A

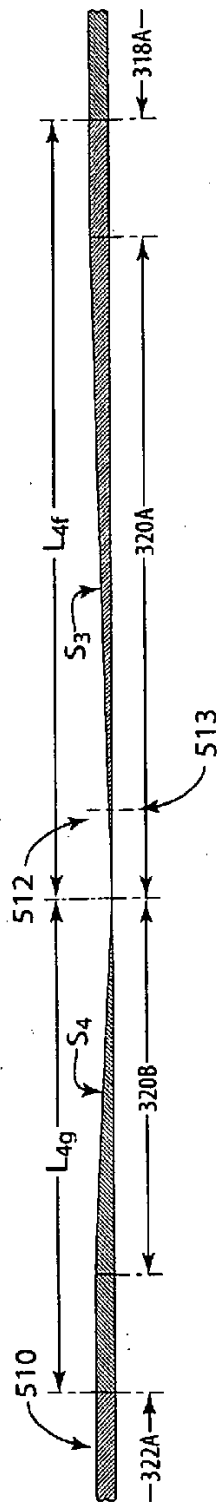


Fig. 14B

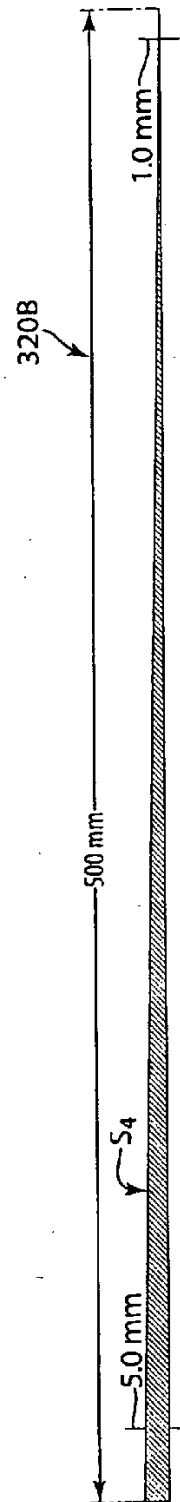


Fig. 14C

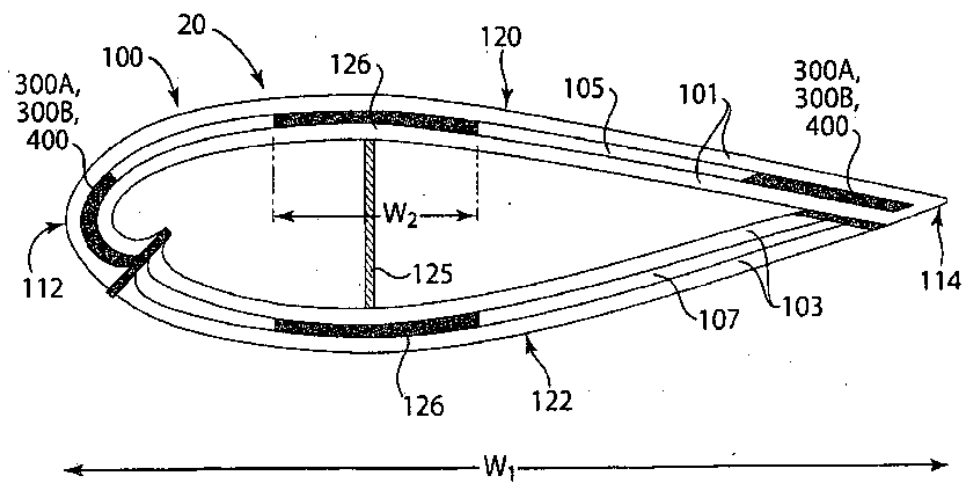


Fig. 15