

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 564**

51 Int. Cl.:  
**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04738964 .8**

96 Fecha de presentación: **30.06.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1761702**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.03.2007**

54 Título: **ASPAS DE TURBINAS EÓLICAS CONSTITUIDAS POR DOS SECCIONES SEPARADAS.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**02.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**02.03.2012**

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

72 Inventor/es:  
**BECH, Anton**

74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

**ES 2 375 564 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**

Aspas de turbinas eólicas constituidas por dos secciones separadas

**Antecedentes de la invención**

La invención se refiere a aspas de turbinas eólicas.

**5 Descripción de la técnica relacionada**

10 Las aspas de las turbinas eólicas son componentes muy importantes en una turbina eólica moderna y son muy importantes en la definición de la producción de energía y la vida útil de la turbina eólica. Sin embargo, el aumento del tamaño de las turbinas eólicas modernas también ha dado lugar a aspas de turbinas eólicas aún más largas y pesadas. El transporte de las aspas desde el lugar de producción hasta el lugar de montaje de la turbina eólica es, pues, un asunto que requiere de mucha consideración, por ejemplo en la elección de las rutas correctas en relación con las características del aspa, como la longitud, altura y peso del aspa. Además, el transporte requiere de un equipo cada vez más especializado en el manejo de aspas de turbinas eólicas.

En consecuencia, el transporte de aspas de turbinas eólicas añade dificultades y costos para el proceso de montaje de las turbinas eólicas.

15 La técnica anterior incluye una serie de soluciones en la fabricación de aspas de turbinas eólicas más fáciles de transportar hasta el lugar de montaje de una turbina eólica.

20 La patente No. US-A 4.474.536 divulga, por ejemplo, la fabricación de aspas de turbinas eólicas en la que cada aspa se compone de dos secciones. Las secciones se envían individualmente al lugar de montaje de las turbinas eólicas y se montan en las aspas de la turbina eólica. Las superficies del aspa en las áreas de sección a unir comprenden una serie de ranuras correspondientes. Las secciones se montan mediante la introducción de empalmes de bloques de madera y los medios de adhesión en las ranuras. Las ranuras correspondientes y los empalmes de bloques de madera comprenden una forma de diamante y los empalmes por lo tanto pueden cerrar las ranuras.

Otros ejemplos de aspas de turbinas eólicas y procedimientos de producción de aspas están descritos en la solicitud de patente internacional No. WO-A 03/078332 y patente holandesa NL-C 1001200.

25 El documento NL-C-1001200, que representa la técnica anterior más cercana para las reivindicaciones adjuntas, especifica una aspa de turbina eólica que comprende en su sentido longitudinal al menos dos secciones de aspa de turbina eólica que están separadas, incluyendo dichas secciones separadas una estructura de refuerzo que comprende una estructura de refuerzo de viga interna, estando los extremos de dichas estructuras de refuerzo conectados en una junta de conexión, en la que dichos extremos están, al menos parcialmente, formados como extremos dentados que incluyen las correspondientes superficies de conexión en las que los medios de adhesión sobre dichas superficies de conexión se adhieren entre sí.

30 Un problema con la técnica anterior y sobre todo con la patente estadounidense antes mencionada es la baja resistencia y rigidez que limita el uso en relación con la mayoría de las aspas de turbinas eólicas modernas.

35 Un objeto de la invención es el establecimiento de una técnica de aspa de turbina eólica, sin los inconvenientes antes mencionados. Además, es un objeto establecer una técnica que sea ventajosa en relación con las grandes aspas de las turbinas y, sobre todo en relación con las fuerzas que enfrentan durante su uso normal.

**La invención**

La invención se refiere a un aspa de turbina eólica como se define en la reivindicación 1.

Un aspa de turbina eólica se establece aquí sin los inconvenientes antes mencionados.

40 Las superficies de conexión correspondiente ampliadas en la junta de conexión entre las estructuras de refuerzo son ventajosas ya que la sujeción entre las superficies se incrementa significativamente. Mediante las superficies de conexión correspondiente muy grandes en relación a la superficie transversal del aspa es posible restablecer la fuerza del aspa de la turbina eólica. En consecuencia, se garantiza que el aspa de la turbina eólica y la junta de la conexión puedan soportar las fuerzas normales de uso, así como durante situaciones extremas como situaciones meteorológicas extremas.

45 Además, las superficies de conexión correspondiente más grandes de conexión aseguran que los medios de adhesión conectan las superficies de una manera más ventajosa y más fuerte en comparación con la conexión de las superficies transversales. La conexión de las superficies de conexión correspondientes experimentará las fuerzas laterales tratando de deslizar las superficies una respecto a la otra en las que la conexión de las superficies transversales experimentará fuerzas perpendiculares tratando de separar directamente las superficies. Los medios de adhesión son siempre mucho más fuertes en relación con las fuerzas laterales y la junta de conexión por lo tanto soportará más fuerzas sin romperse.

Aún más, un aumento resultante en la superficie del aspa de turbina eólica va en contra de la enseñanza dentro del área técnica. La superficie totalmente lisa de un aspa de turbina eólica ha sido hasta ahora considerada una necesidad. Sin embargo, el tamaño del aspa de la turbina eólica disminuye los resultados aerodinámicos de la ampliación. Las ventajas en el transporte del aspa además compensan los resultados aerodinámicos de la ampliación.

La frase "estructura de refuerzo" en general, debe entenderse como cualquier estructura en o dentro del aspa de la turbina eólica que lleva una parte sustancial de las fuerzas de la energía eólica.

La frase "superficies transversales de las estructuras de refuerzo" por lo general debe entenderse como la superficie que aparecería si el aspa de la turbina eólica se cortara en dos mediante un corte perpendicular en relación con la dirección longitudinal del aspa. La superficie se ve como la superficie sustancialmente más pequeña que puede ser establecida dividiendo el aspa de la turbina eólica en una posición dada.

El término "adyacente", por lo general debe entenderse como la posición más cercana desde la junta de conexión en la que el aspa de la turbina eólica y/o la estructura de refuerzo interna han reasumido su forma normal. En consecuencia, la relación entre la junta de la conexión transversal y la estructura de refuerzo adyacente puede ser vista como dimensiones comparables por ejemplo, los valores de longitud adyacente (grosor) en la misma línea longitudinal del aspa de la turbina eólica.

Los extremos de dichas estructuras de refuerzo de las secciones del aspa se forman como una serie de extremos dentados correspondientes o parcialmente correspondientes. De esta manera se puede crear una junta de conexión con una resistencia a la tracción mucho mayor ya que las fuerzas longitudinales del aspa se transfieren a las conexiones más largas, más grandes y no perpendiculares de las secciones.

En un aspecto de la invención, los dientes de dichos extremos dentados tienen forma de triángulos, tales como triángulos rectángulos y/o equiláteros, dientes de cuatro lados, como rectángulos, formas redondeadas o formas más libres, así como combinación de formas diferentes, por ejemplo una combinación de una forma rectangular y una forma triangular en la punta o una combinación de diferentes formas triangulares. De esta manera, es posible establecer extremos dentados correspondientes con grandes superficies, que al mismo tiempo son fáciles de fabricar y conectar.

En otro aspecto de la invención, los lados de los dientes comprenden una forma de tarta, tal como en forma de dientes redondeados o en cuña por ejemplo, con el fin de establecer esquinas en una estructura de refuerzo. Los dientes requerirán menos precisión en la fabricación, serían rentables y todavía permitirían que se establecieran las grandes superficies de conexión.

En otro aspecto de la invención, dichos extremos dentados que corresponden parcialmente uno respecto a otro y las cavidades se llenan de uno o más medios de conexión intermedia, por ejemplo de bloques en forma triangular o de diamante. De esta manera, es posible disminuir la longitud (o zona de conexión) de los dientes de los extremos dentados ya que los medios de conexión intermedia determinan la longitud necesaria. Si los medios de conexión intermedia, por ejemplo, son de la misma longitud que los extremos dentados, juntos serán comparables en fuerza a los extremos (sin medios) de la longitud doble. Como la fabricación y complejidad de conexión aumenta con la longitud de los extremos, es posible crear una junta de conexión ventajosa mediante la combinación de los extremos dentados con los medios de conexión intermedia. Además, la junta de conexión ampliada permite que los extremos dentados se disminuyan aún más, sin aumentar la complejidad de la producción y de la conexión.

En un aspecto adicional de la invención, el medio de adhesión de la reivindicación 1, tal como un adhesivo epoxi de dos componentes, se adhiere de los correspondientes extremos dentados y/o dicho uno o más medios de conexión intermedia entre sí. El uso de medios de adhesión en las grandes superficies correspondientes es especialmente ventajoso en comparación con las conexiones "limitadas" por ejemplo, de uso de tornillos o similares.

En otros aspectos de la invención, dicha una o más dimensiones relevantes de dichas superficies de conexión, superficies transversales, juntas de conexión y estructura de refuerzo adyacente pueden ser valores de área, longitud o grosor y es más grande que la de estructura de refuerzo adyacente en la dirección de la raíz del aspa de la turbina eólica.

En un aspecto adicional de la invención, la longitud  $l$  de uno de dichos dientes en una junta de conexión ampliada viene dada por

$$l \geq \frac{\sigma_{\text{carbono}} \cdot h_1 \cdot b}{\tau_{\text{epoxi}} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1 \cdot b}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50 \frac{h_1}{h_2} \cdot b$$

en la que  $h_1$  es la altura adyacente de la estructura de refuerzo y  $h_2$  es la altura ampliada de dicho diente en el mismo ancho  $b$ , estando dicha altura  $h_2$  entre 2 y 10 y preferentemente entre 3 a 6 veces el tamaño de  $h_1$  tal como 3

veces. De esta manera, se logra una longitud preferida de los dientes. Dientes demasiados cortos no son prácticos debido al área de la sección transversal de la herramienta de corte y los dientes demasiado largos causarán delgadez y será difícil controlar las vibraciones o la desviación durante el proceso de fabricación.

5 En un aspecto de la invención, el número de dientes en los extremos dentados es entre 25 y 200 por metro de estructura de refuerzo, tales como alrededor de 100 por metro es decir, b por diente de alrededor de 10 milímetros. El número óptimo de dientes es el mayor número de dientes (y por tanto la zona de conexión) por metro que todavía puede ser ventajosa y de fácil fabricación.

10 Dicha una o más estructuras de refuerzo que comprenden una estructura de refuerzo de viga interna, una estructura de refuerzo interna en el borde de arrastre y/o una estructura de refuerzo interna de una estructura de casco de la superficie pueden incluir una pluralidad de tiras alargadas incrustadas en la superficie del aspa, tales como tiras de carbón, madera y/o fibra de vidrio. Por este medio se logran realizaciones ventajosas de la invención, ya que se pueden establecer aspas de turbinas eólicas más fuertes y ligeras con las opciones en la estructura de refuerzo y el material y por lo tanto las aspas se hacen aún más fáciles de transportar.

15 En un aspecto adicional de la invención, la ampliación de dicha junta de conexión es simétrica en relación con la estructura de refuerzo adyacente tal como una expansión simétrica hacia el interior y el exterior en relación con el curso de la estructura de refuerzo adyacente. De esta manera se puede lograr una junta de conexión que puede transferir las fuerzas longitudinales sin crear fuerzas de torsión o de giro en la junta de conexión.

20 El uso de tiras de fibra de carbono en las secciones de aspa de la turbina eólica y por lo tanto separar y conectar las fibras de carbono una vez más va en contra de la enseñanza en el área técnica. Sin embargo, el establecimiento de grandes superficies de conexión correspondientes en la junta de conexión entre las estructuras de refuerzo aumenta la resistencia a la tracción de manera significativa. De esta manera se asegura de que el aspa de la turbina eólica y la junta de conexión pueden soportar las fuerzas de uso normal, así como en situaciones extremas tales como la situaciones meteorológicas extremas.

25 Además, las superficies de conexión correspondientes más grandes aseguran que el medio de adhesión conecta las superficies de una manera más ventajosa y más fuerte en comparación con una conexión de las superficies transversales. La conexión de las superficies de conexión correspondientes experimentará fuerzas laterales que tratan de deslizar las superficies una respecto a la otra en las que la conexión de las superficies transversales experimentarán fuerzas perpendiculares tratando de separar directamente las superficies. Los medios de adhesión siempre son mucho más fuertes en relación con las fuerzas laterales y por lo tanto la junta de conexión va a soportar más fuerzas sin romperse.

30 En aspectos de la invención, las fibras de carbono de dichas tiras de fibra de carbono sustancialmente alargadas en cada sección de aspa de turbina eólica son continuas. Además, los extremos correspondientes de dichas tiras de fibra de carbono están conectados y los extremos correspondientes de dichas tiras de uno o más materiales están conectados en la junta de conexión. La naturaleza continua de las tiras de carbono en cada sección se elige con el fin de utilizar toda la fuerza del material y las tiras correspondientes restablecen toda la fuerza de las tiras conectadas por las superficies correspondientes ampliadas en la junta de conexión.

35 En aspectos de la invención, los extremos correspondientes de dichas tiras de fibra de carbono están conectados y los extremos correspondientes de dichas tiras de uno o más materiales están conectados en la junta de conexión y los extremos de dichas estructuras de refuerzo de las secciones del aspa están formadas como una serie de extremos dentados correspondientes o parcialmente correspondientes.

40 En aspectos de la invención, los dientes de dichos extremos dentados están formados como triángulos tales como triángulos rectángulos y equiláteros, dientes de cuatro lados, tales como rectángulos, formas redondeadas o más libres, así como la combinación de diferentes formas por ejemplo, una combinación de una forma rectangular y una forma triangular en la punta o una combinación de diferentes formas triangulares y los lados de los dientes comprenden una forma de tarta, tal como un diente con forma redondeada o de cuña por ejemplo, con el fin de establecer las esquinas en una estructura de refuerzo.

En otro aspecto de la invención, la longitud de uno de dichos dientes en una junta de conexión está dada por

$$l \geq \frac{\sigma_{\text{carbono}} \cdot b}{\tau_{\text{epoxi}} \cdot 2} = \frac{1000 \cdot b}{10 \cdot 2} = 50 \cdot b$$

45 en la que la altura de la junta de conexión y la altura adyacente de la estructura de refuerzo son las mismas o sustancialmente las mismas. La relación entre la longitud y la anchura de los dientes establece la fuerza necesaria en la junta de conexión.

Como ya se mencionó, el número de dientes en los extremos dentados es de entre 25 y 200 por metro de superficie del aspa, tal como alrededor de 100 por metro es decir, b por diente de alrededor de 10 milímetros. La relación

asegura que la fuerza necesaria está presente en la junta de conexión con respecto a la fuerza general del aspa de la turbina eólica en el que un valor más bajo creará una conexión menos robusta y un valor más alto incrementará de manera significativa los costes de fabricación.

5 En un aspecto de la invención, dichos extremos dentados corresponden parcialmente unos con otros y las cavidades se llenan de uno o más medios de conexión intermedia, por ejemplo, bloques en forma de triangular o de diamante. El uso de bloques, tales como bloques de un material de carbono, permite que las superficies correspondientes necesarias se establezcan en las juntas de conexión.

10 Según la invención, dicha junta de conexión se amplía en relación con la estructura de refuerzo adyacente. De esta manera, es posible establecer una conexión muy fuerte mediante la combinación del uso de las tiras de fibra de carbono con una junta de conexión ampliada, es decir la combinación de fuerza con superficies más grandes.

15 Las aspas de turbinas eólicas modernas fácilmente pueden exceder una longitud de 40 metros y por lo tanto normalmente requieren salas de fabricación muy largas. Por la fabricación de cada aspa de turbina eólica en secciones individuales, es posible reducir las dimensiones de la planta de fabricación. Además, el transporte del aspa se ha mejorado considerablemente en la planta de fabricación, así como el transporte al lugar de montaje de la turbina eólica mediante el uso de secciones del aspa.

La superficie de conexión del aspa de la turbina eólica puede estar provista de los medios de conexión necesarios y la cubierta oculta en la planta de fabricación. De esta manera es posible controlar las circunstancias en las que el medio de conexión se aplica y se oculta, y así asegurar que el ambiente óptimo está presente durante el proceso.

20 Dicho medio de conexión es un medio de adhesión tal como adhesivo epoxi de dos componentes que se oculta detrás de capas de plástico hermético de una cubierta desmontable. De esta manera, se puede asegurar que los medios de conexión están contenidos en un entorno protegido hasta la sección del aspa llegue al lugar de montaje de la turbina eólica.

25 La junta de conexión está cubierta con una superficie cubierta tal como unas pocas capas de fibra de vidrio. La cubierta puede servir como un restablecimiento del perfil aerodinámico de la superficie del aspa en la junta de conexión, así como proteger la junta de conexión.

Una posible planta de montaje para las secciones de aspas de turbinas eólicas comprende

medios para posicionar las secciones de aspa de turbina eólica en relación entre sí con el fin de crear una junta de conexión entre las secciones,

un recinto para por lo menos encerrar la junta de conexión de la secciones de aspas de turbina eólica, y

30 medios para controlar uno o más valores ambientales dentro del recinto.

La planta de montaje es una ventaja ya que puede establecer el entorno necesario para conectar las secciones de aspas de turbina eólica en el lugar de montaje de las turbinas eólicas o en un lugar cercano, por ejemplo en una planta local. Los medios necesarios son todos tales que puedan ser transportados al lugar con uno o unos pocos camiones y, posteriormente, ser desmantelados y trasladados a un nuevo lugar.

35 Dichos medios para el control de uno o más valores ambientales incluyen una fuente de calor y control de la humedad, sensores, por ejemplo, sensores de temperatura y humedad y los medios de control para controlar el proceso adhesivo. Al controlar la temperatura y la humedad, es posible mejorar o acelerar el proceso de unión y por lo tanto crear una conexión adhesiva más fuerte entre las secciones.

40 Dichos medios para posicionar las secciones de aspa de turbina eólica incluyen accionadores para mover al menos una sección en un plano vertical y horizontal en relación con otra sección, medios de medición de la posición tales como un transmisor y un receptor situados en una sección del aspa eólica, respectivamente, así como los medios de transmisor y receptor y los medios de control. El uso de accionadores en cada extremo de las secciones es una ventaja ya que las secciones deben estar perfectamente alineadas antes de que sean forzadas entre sí a fin de establecer una fuerte conexión. El transmisor es preferentemente un rayo láser con el fin de mejorar la precisión del proceso de posicionamiento de la sección.

Dicho recinto es una tienda que encierra de forma ajustada la junta de conexión en función de la temperatura y/o humedad. El uso de una tienda es una ventaja, ya que establece el recinto necesario alrededor de la junta de conexión. Además, es rentable y compacto durante el transporte.

50 Un posible procedimiento de montaje de secciones de aspas de turbina eólica a aspas de turbina eólica en un lugar diferente del lugar de fabricación de dichas secciones de aspas de turbinas eólicas comprende las etapas de:

crear al menos una superficie de conexión en un extremo de una estructura de refuerzo de cada sección lista para la conexión en la que dicha superficie es mayor que la superficie transversal de la estructura,

posicionar las secciones de aspa de turbina eólica en relación entre sí con medios de elevación, tales como accionadores,

conectar las secciones de aspa de turbina eólica en dicha al menos una superficie de conexión mediante el uso de medios de conexión,

- 5 en el que al menos un valor ambiental de la zona de conexión se controla durante el montaje.

### Figuras

la invención se describirá a continuación con referencia a las figuras, en las que

la figura 1 ilustra una turbina eólica moderna grande,

- 10 las figuras 2a y 2b ilustran un aspa de turbina eólica que incluye una estructura de viga interna y una vista ampliada de la sección transversal del aspa que muestra fibras de carbono incrustadas,

las figuras 3a y 3b ilustran un aspa de turbina eólica realizada en tiras de diferentes materiales y una vista ampliada de la sección transversal del aspa que muestra la posición de las tiras,

las figuras 4a a 4c ilustran un aspa de turbina eólica con dos secciones de aspa con extremos de viga dentados correspondientes en donde el aspa puede ser una de las ilustradas en las figuras 2a a 3b,

- 15 la figura 5 ilustra una vista en sección transversal y vista en perspectiva a través de una viga interna de una turbina eólica en una junta entre las secciones del aspa,

la figura 6a ilustra una vista en sección transversal a través de secciones de una turbina eólica, incluyendo una viga de refuerzo interna vista desde un borde del aspa,

- 20 la figura 6b ilustra una vista de las secciones de una turbina eólica, incluyendo una viga interna vista desde arriba de la superficie del aspa,

la figura 6c ilustra esquemáticamente un aspa de turbina eólica, incluyendo la ampliación vista desde la punta del aspa,

las figuras 7a y 7b ilustran los tamaños de los extremos de la viga dentada en la junta de las secciones del aspa y el tamaño de un conjunto de dientes,

- 25 la figura 7c ilustra los tamaños y la relación entre un corte normal y un extremo de la viga dentada,

las figuras 8a a 8c ilustran una realización diferente de los extremos de la viga dentada o estructuras de casco de la superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica,

las figuras 9a a 9c ilustran otras realizaciones de los extremos de la viga dentada o estructuras de casco de la superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica,

- 30 las figuras 9d y 9e ilustran aún otras realizaciones de los extremos de la viga dentada o estructuras de casco de la superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica,

las figuras 10a a 10c ilustran las realizaciones de los extremos de la viga dentada o estructuras de casco de la superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica,

- 35 las figuras 11a a 11c muestran algunas etapas de un posible procedimiento de montaje para las secciones del aspa de la turbina eólica,

la figura 12 ilustra un solo diente de los extremos de la viga dentada o estructuras de casco de la superficie en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica, así como una vista ampliada de la sección transversal de los dientes, y

- 40 las figuras 13a y 13b ilustran una posible unidad en el lugar para la colocación y montaje de unas secciones de aspa de turbina eólica y el control de las condiciones durante el montaje.

### Descripción detallada

La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna 1 con una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre. Las aspas 5 del rotor de turbina eólica están conectadas a la góndola a través del eje de baja velocidad que se extiende fuera de la parte frontal de la góndola.

- 45 Como se ilustra en la figura, el viento sobre un determinado nivel activará el rotor y le permitirá girar en una dirección perpendicular al viento. El movimiento de rotación se convierte en energía eléctrica que normalmente se suministra a

la red de transmisión como será conocido por los expertos en el área.

Las figuras 2a y 2b ilustran un aspa de turbina eólica con una estructura de refuerzo interna 6 y una vista ampliada de la sección transversal del aspa.

5 La figura 2a ilustra esquemáticamente cómo la estructura de refuerzo interna 6, incluye una estructura de viga interna que se dirige desde la raíz del aspa de la turbina eólica 5 hacia la punta del aspa. La estructura de viga se conecta directamente a la pestaña de la raíz en la que la pestaña establece la conexión adicional del aspa en el buje y el resto de la turbina eólica 1. La estructura de viga proporciona resistencia al aspa de la turbina eólica, se extiende a la estructura de casco de superficie 7 del aspa de la turbina eólica y transfiere las fuerzas de superficie al resto de la turbina eólica.

10 La figura 2b ilustra una vista en sección transversal del aspa de la turbina eólica y la estructura de viga interna de la figura 2a en la que la estructura de viga comprende una forma sustancialmente de cuatro lados.

15 La figura muestra esquemáticamente que la estructura de la realización está compuesta de un material de fibra de vidrio estándar 9 que está reforzado con fibras de carbono 8. Las fibras de carbono se ilustran como una serie de fibras únicas incrustadas en el material de fibra de vidrio, por ejemplo, tejidas en las capas de fibra de vidrio o colocadas a lo largo de las capas antes de aplicar el material de resina. Las fibras de carbono se colocan y se extienden de forma continua en el material de fibra de vidrio de extremo a extremo de la estructura de viga interna con el fin de crear un aspa de turbina eólica ligera y de alta resistencia.

20 La estructura de refuerzo interna 6 puede incluir más estructuras de refuerzo, por ejemplo en los bordes de salida (que se ilustra esquemáticamente en la figura 4a) o de ataque en el que las estructuras separadas se pueden incrustar en el material de la superficie por ejemplo, como una placa o un medio con una forma similar en cada lado del borde. Incluso se pueden establecer estructuras internas de refuerzo adicionales dentro del aspa de la turbina eólica, si es necesario por ejemplo, una o más placas o barras de fibra de carbono y/o de vidrio pultrusionado colocadas en el interior de la superficie del aspa.

25 Se debe hacer hincapié en que la estructura de refuerzo interna puede comprender un número de diferentes formas, además de la forma de cuatro lados ilustrada, tal como una o más vigas en I, vigas en forma de U o estructuras alveolares. Además, la estructura de refuerzo interna puede comprender una combinación de dos o más de las formas. Las distintas posibilidades en las formas de la estructura de refuerzo interna serán conocidas por el experto en la técnica.

30 Las figuras 3a y 3b ilustran una realización adicional de un aspa de turbina eólica y una vista ampliada de la sección transversal del aspa.

La figura 3a ilustra el aspa de la turbina eólica 5, incluyendo la estructura de casco de la superficie 7, pero sin representar la estructura de la viga interna como tal.

35 La figura 3b incluyendo la vista ampliada de la sección transversal ilustra además la estructura interna de la estructura de casco de la superficie 7. La estructura interna establece la estructura de refuerzo interna necesaria 6 del aspa de la turbina eólica 5. La vista ilustra en especial cómo una serie de tiras, compuestas de diferentes materiales y colocadas una junto a la otra, establecen un aspa de turbina eólica. Las propiedades del material de tira óptimas se pueden obtener mediante la combinación de diferentes tipos de tiras, tales como tiras continuas de fibras de carbono 10 y tiras de fibra de madera o de cristal 11. Las tiras se unen mediante procedimientos adecuados, por ejemplo, mediante la inyección de resina o por infusión al vacío de resina entre las tiras.

40 La estructura de casco de superficie, incluyendo las tiras, también se puede combinar con una o más placas o barras de fibra de carbono y/o de vidrio pultrusionado del interior de la superficie del aspa.

En consecuencia, los diferentes tipos de tiras y la resina forman la superficie 7 del aspa de la turbina eólica 5. Las tiras y la resina establecen al mismo tiempo una estructura de refuerzo interna que es comparable en resistencia con la estructura de refuerzo interna del aspa de la turbina eólica que se ilustra en las figuras 2a y 2b.

45 Además, se debe hacer hincapié en que la estructura de viga interna de un aspa de turbina eólica, como se ilustra en las figuras 2a y 2b también se puede fabricar con la utilización de tiras, por ejemplo en lugar de usar fibras de carbono incrustadas o en lugar de usar el material de fibra de vidrio solo.

50 Por último, las aspas de la turbina eólica se pueden fabricar con una combinación de estructuras de refuerzo tales como la estructura de viga interna y una estructura de refuerzo interna en la estructura de casco de superficie. Sin embargo, la viga en I de la figura 3b ilustra una estructura de apoyo (no de refuerzo) que controla los movimientos de la estructura de casco de superficie.

Las figuras 2a a 3b ilustran un perfil normal de un aspa de turbina eólica, que ya será conocido por el experto en la técnica, por ejemplo, el curso y la forma de la viga interna y/o la superficie del aspa desde la raíz hasta la punta. Además, las figuras ilustran los dos tipos estándar de estructura de refuerzo interna en un aspa de turbina eólica es

decir, una estructura dentro del interior definido por la superficie del aspa y una estructura dentro de la superficie del aspa.

Las figuras 4a a 4c ilustran las aspas de la turbina eólica de la figura 2a o 3a como dos secciones de aspa separadas con extremos de viga dentados correspondientes de acuerdo con la presente invención.

5 La figura 4a ilustra cómo el aspa de la turbina eólica de la figura 2a se ha fabricado en dos secciones de aspa 12, 13 de una longitud o tamaño similar. Las secciones comprenden dos extremos de la viga interna 14, 15 que se proyectan más allá de la estructura de casco de la superficie 7 de las secciones del aspa. Los extremos de viga 14, 15 se trabajan para formar extremos de viga dentados 16a, 17a, de una forma particular, tal como un número de dientes triangulares o juntas en forma de dedos.

10 La figura también ilustra que los extremos de viga dentados 16a, 17a, se complementan con otro conjunto de extremos de viga dentados 17b 16b, que se proyectan desde el interior del aspa en la proximidad del borde de salida. El último conjunto se ilustra con un menor número de dientes que los primeros extremos de viga dentados 16a, 17a, pero por lo demás similar en la construcción y la forma.

15 La figura ilustra además que las dos secciones 12, 13 con los extremos de viga interna 14, 15 se enfrentan entre sí y se corresponden de tal manera que se pueden introducir a la perfección entre sí. Mediante la introducción de las secciones entre sí se establece un aspa de turbina eólica completa 5.

20 Los extremos de la viga se trabajan preferentemente después de que la estructura de casco de la superficie 7 de las secciones del aspa se haya colocado y sujetado alrededor de la viga. El proceso de trabajo puede incluir una máquina/robot de corte de agua a alta presión que corta los dientes o los dedos en los extremos de la viga proyectándose más allá de la superficie de las secciones del aspa. La máquina/robot puede, en una realización, cortar los dientes o los dedos de arriba a abajo y por lo tanto crear dientes o dedos vertical y/u horizontalmente orientados cuando el aspa de la turbina eólica se coloca con las superficies laterales hacia arriba/abajo y/o lateral/lateral. En esta posición los extremos de la viga se pueden introducir entre sí y, posteriormente, sólo se mueven en una dirección hacia arriba/abajo hasta que las secciones estén sujetas rígidamente, por ejemplo, mediante la adhesión de las superficies de los dientes o los dedos entre sí.

25 La figura 4b ilustra cómo un aspa de turbina eólica sin una estructura de viga interna, como la de la figura 3a se fabrica en dos secciones 12, 13 de una longitud o tamaño similar. Cada sección comprende un extremo de viga dentado 16c, 17c colocado y proyectado hacia fuera desde el extremo de la sección. Como se ilustra en la figura con líneas de puntos, los extremos de viga dentados se extienden sólo a una distancia limitada en el interior de las secciones del aspa de turbina eólica 12, 13 como tipos de secciones cortas de una estructura de viga interna dentro de la estructura de refuerzo interna de la estructura de casco de superficie 7. Los extremos de viga dentados 16c, 17c corresponden sustancialmente en la forma y están conectados a las superficies internas del aspa de turbina eólica, por ejemplo mediante el uso de medios de adhesión.

30 La figura también ilustra que los extremos de viga dentados 16c, 17c, se complementan con otro conjunto de extremos de viga dentados 16d, 17d que se proyectan desde el interior del aspa en la proximidad del borde de salida. El último conjunto se ilustra con un menor número de dientes que los primeros extremos de viga dentados 16c, 17c, pero por lo demás similar en la construcción y la forma.

La figura ilustra además que las dos secciones 12, 13 con los dos conjuntos de extremos de viga dentados 16c, 17c, 16d, 17d se enfrentan entre sí y se corresponden de tal manera que se puedan introducir a la perfección entre sí.

40 Las dos secciones del aspa de turbina eólica se pueden fabricar mediante el uso de cuatro mitades de casco de aspa en las que los conjuntos prefabricados de los extremos de viga dentados 16c, 17c, 16d, 17d se colocan en la superficie interna de las dos mitades de casco antes de que las otras dos mitades de casco se coloquen encima y se sujeten a las dos primeras mitades de casco. El conjunto prefabricado de extremos de viga dentados también se puede establecer como cuatro mitades de extremo idénticas en las que cada mitad se sujeta a una mitad de casco y en consecuencia se unen cuando las mitades del casco se sujetan entre sí.

45 Mediante el uso y la colocación del conjunto prefabricado de extremos de viga dentados en la estructura de casco de la superficie 7, es posible extender los dientes en el espacio hueco del aspa de la turbina eólica.

Además, los extremos proyectados se pueden trabajar después de que los cascos de las secciones de aspa se hayan asegurado entre sí como se explica con anterioridad.

50 La figura 4b también puede verse (ligeramente modificada) como la conexión entre dos extremos de una estructura de casco de superficie 7 tal como se ilustra en la figura 3a y 3b en la que los dientes dentados se establecen en la estructura de casco de superficie, por ejemplo, en todas las superficies correspondientes o en partes de las superficies en la conexión.

55 La figura 4c ilustra una estructura de refuerzo interna, con dos extremos dentados correspondientes que comprende un número de dientes por ejemplo, dos extremos de una viga interna (como se ilustra en las figuras 4a y 4b), o dos

extremos de una estructura de casco de superficie (como se ilustra en la figura 3a y 3b).

La figura 5 ilustra una vista en sección transversal y perspectiva a través de una realización preferida de una viga interna 6a de un aspa de turbina eólica. La vista se establece en la proximidad de una junta de conexión ampliada 22 entre dos secciones de un aspa de turbina eólica sin la superficie del aspa ilustrada. Las dos secciones están conectadas a extremos de la viga dentada correspondientes 14, 15 con el uso de un número de dientes que entran uno en otro en una conexión perfecta. La superficie de los dientes comprende medios de adhesión y la junta de conexión se amplía con el fin de crear una junta de conexión con una superficie de conexión aún más grande que sin la ampliación.

La vista en perspectiva ilustra la relación entre la longitud exterior normal o grosor  $W_o$  de la estructura de refuerzo 6a y longitud ampliada o el grosor  $X_1$  en la que ambos valores se miden en la misma línea de medición longitudinal m. La línea m se puede definir por los valores de pico de la longitud ampliada o el grosor  $X_1$  en la junta de conexión y la longitud normal exterior o grosor  $W_o$ . El valor  $W_o$  se mide próximo al inicio de la ampliación en el curso del aspa de turbina eólica normal por ejemplo, a menos de un metro de la conexión de la junta de conexión 22 en dirección a la raíz del aspa de la turbina eólica en una línea transversal n. La línea n ilustra la separación entre el curso del aspa de la turbina eólica normal y la ampliación, es decir, una línea transversal en el lado opuesto de la ampliación que indica el comienzo y el final de la ampliación. Además, la figura ilustra la longitud normal interior o grosor  $W_i$  de la estructura de refuerzo 6a, por ejemplo en la línea n.

La vista también ilustra cómo la junta de conexión ampliada 22 se expande en las direcciones horizontal (hacia los bordes del aspa - ilustrados también en las figuras 6b y 6c), así como vertical (hacia la superficie del aspa - y el centro tal como se ilustra también en la figura 6a). Sin embargo, la junta de conexión ampliada 22 también se puede expandir en una sola dirección, por ejemplo, en la dirección horizontal hacia las superficies del aspa y/o hacia el centro del aspa.

La figura 5 finalmente ilustra dos dientes correspondientes que se muestran con una forma de cuña, como parte de una esquina en la estructura de la viga en la que la forma de cuña puede verse como una alternativa a los dientes afilados o redondeados de los extremos (tal como se ilustra con las piezas en forma de círculo una a continuación de la otra en una esquina superior de la viga).

La figura 6a también ilustra el principio de la figura 5 en el que las secciones de un viga interna 6a en una turbina eólica están conectadas en una junta de conexión ampliada 22. La ampliación se ilustra en la dirección vertical entre las líneas n y vistas desde el borde del aspa de la turbina eólica hacia el lado de la estructura de refuerzo 6a. La ampliación también se ilustra como creciendo de forma simétrica en relación con el curso normal del aspa en el área entre las dos líneas n, es decir, la ampliación se expande simétricamente en el interior del aspa, así como hacia el exterior.

La viga interna 6a de la estructura de refuerzo interna está cubierta con una estructura de casco de superficie 7 y de esta manera se crea una realización preferida de un aspa de turbina eólica según la invención. El aspa de la turbina eólica aparecerá con la superficie de un aspa normal, pero con una ampliación transversal o una frontera a través de la superficie del aspa, por ejemplo de borde a borde en la junta de conexión.

La ampliación de la viga crea un número de diferentes tamaños, tales como:

$X_1$  es la longitud de la superficie transversal de la junta de conexión ampliada 22 en la estructura de refuerzo (por ejemplo, la viga de las figuras 2a y 2b, o la estructura de casco de superficie 7 de las figuras 3a y 3b) en relación con la longitud  $W_o$  de la superficie general transversal de la estructura de refuerzo en las proximidades de  $X_1$ . Las longitudes se miden en el pico de la ampliación, por ejemplo, en el punto más alto del aspa en la junta de conexión en la que el punto más alto normalmente estará en el centro de la junta de conexión. La longitud  $W_o$  se mide justo antes de que la ampliación se inicie por ejemplo, en la línea n en la dirección de la raíz 34 del aspa de la turbina eólica. La anchura del aspa es sustancialmente la misma en las posiciones para  $W_o$  y  $X_1$ , y así la relación entre las áreas de superficie se refleja en la relación entre  $X_1$  y  $W_o$  (siendo  $X_1$  significativamente mayor en relación con la junta de conexión ampliada 22). Las longitudes de la superficie  $W_o$  y  $X_1$  pueden verse como los valores de la superficie relevante, si la estructura se cortó transversalmente en un corte estableciendo la superficie de corte más pequeña posible en la junta de conexión 22.

$W_o$  es la distancia exterior de la estructura de refuerzo en el curso normal adyacente del aspa de la turbina eólica en relación con la ampliación.

$W_i$  es la distancia interior de la estructura de refuerzo. La distancia interior puede continuar el curso normal a través de la ampliación o disminuirse para crear incluso un área de superficie adicional para la conexión. Las distancias se miden longitudinalmente en una línea que une el pico de la ampliación, por ejemplo, en el punto más alto del aspa en la junta de conexión.

La figura 6b ilustra las secciones de un aspa de turbina eólica 5. El aspa que incluye una estructura de refuerzo interna 6a que se ve desde arriba de la superficie del aspa.

La ampliación 22 se ilustra como una primera ampliación 22a sobre la estructura de refuerzo 6a y unas segundas ampliaciones 22b que continúan desde la primera ampliación 22a hacia el frente y los bordes de salida del aspa 7. Las segundas ampliaciones pueden tener la misma altura de la primera ampliación o reducirse hacia los bordes del aspa (tal como se muestra muy esquemáticamente en la vista X-X de la figura 6c) y así formar un borde continuo de borde a borde. La primera ampliación 22a también puede ser la única ampliación y, por lo tanto, ser un tipo de isla elevada en la parte central de la superficie 7 en una parte del aspa 5.

La figura 6c ilustra esquemáticamente un aspa de turbina eólica que incluye una ampliación vista desde la punta del aspa. Tal como se puede ver, la ampliación forma una frontera continua de borde a borde en el que se puede usar una cubierta de la ampliación con el fin de mejorar el perfil aerodinámico del aspa en la conexión de la junta ampliada 22 (tal como se ilustra en las figuras 11b y 11c).

Las figuras 6b y 6c también ilustran el curso de las líneas m y n, vistas desde las diferentes posiciones.

Las figuras 7a y 7b ilustran con más detalle los tamaños de una estructura de refuerzo interno 6, tal como extremos de la viga dentados y los dientes de la junta de conexión en un aspa de turbina eólica. Los muchos dientes tienen una superficie de conexión con una longitud total L que es significativamente más larga que la longitud de la superficie transversal (la longitud  $W_0$  o  $X_1$ ) de la estructura de refuerzo interna. Los dientes superiores o inferiores se muestran como más gruesos que los otros dientes para indicar las formas posibles en las cuatro esquinas (tal como se muestra en la figura 5).

Además, la figura 7a ilustra otra realización en la que se establece la junta de conexión ampliada 22 con dos unidades de dientes conectadas con la estructura normal de refuerzo 6 (las conexiones establecidas en las líneas de puntos n). Las unidades se fijan en los extremos de la estructura de refuerzo normal como unidades para el montaje complementario en o justo después del proceso de fabricación en la planta de fabricación, por ejemplo, mediante el uso de superficies largas y medios de adhesión tal como se describe anterior y posteriormente.

La figura 7c ilustra la relación entre un extremo de una viga y un ejemplo de un extremo de la viga dentado que se unen en una junta de conexión. Los dos extremos se ilustran con la misma anchura  $b_1, b_2$ . Las alturas  $h_1, h_2$  de los extremos pueden iguales o, por ejemplo,  $h_2$  mayor que  $h_1$  y crear así una ampliación en la junta. La altura  $h_2$  puede ser, por ejemplo, al menos dos veces más grande que la altura normal  $h_1$  del aspa de la turbina eólica, tal como tres veces más grande.

La junta unida es de fibra de carbono unida con resina epoxi en la que la resistencia a la tracción del carbono es  $\sigma_{\text{carbono}} \sim 1000 \text{ MPa}$ . La resistencia de una sección de carbono se puede expresar como  $\sigma_{\text{carbono}} \cdot h_1 \cdot b$ .

La resistencia a la cizalladura de un adhesivo epoxi es  $\tau_{\text{epoxi}} \sim 10 \text{ MPa}$ . La resistencia de la sección unida se puede expresar como  $\tau_{\text{epoxi}} \cdot h_2 \cdot 2\ell$ .

1. Si la resistencia de las tiras de carbono es  $\leq$  la resistencia de la junta (para  $b = b_1 = b_2$ ):

$$\sigma_{\text{carbono}} \cdot h_1 \cdot b \leq \tau_{\text{epoxi}} \cdot h_2 \cdot 2\ell$$

$$\ell \geq \frac{\sigma_{\text{carbono}} \cdot h_1 \cdot b}{\tau_{\text{epoxi}} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1 \cdot b}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50 \frac{h_1}{h_2} \cdot b$$

es decir,  $h_1 = h_2 \Rightarrow \ell \geq 50b, b = 10 \text{ mm}$  entonces

la longitud del diente  $l = \ell = 50 \cdot 10 = 500 \text{ mm}$  (dientes muy delgados)

2. Si  $h_2 > h_1 \Rightarrow \ell < 50 \cdot b$  (para  $b = b_1 = b_2$ ):

por ejemplo,  $h_2 = 3 \cdot h_1$  y  $b = 10 \text{ mm}$  entonces

la longitud del diente  $l = \ell \geq (50 \cdot 10)/3 = 167 \text{ mm}$  (un tamaño más preferible).

3. Si  $h_2 \gg h_1 \Rightarrow \ell < 50 \cdot b$  (para  $b = b_1 = b_2$ ):

por ejemplo,  $h_2 = 6 \cdot h_1$  y  $b = 10 \text{ mm}$  entonces

la longitud del diente  $l = \ell \geq (50 \cdot 10)/6 = 83 \text{ mm}$  (un tamaño preferible).

Como se ha indicado, el número de dientes es preferentemente alrededor de 100 por metro ( $b$  por diente = 10 milímetros) de la conexión de la junta, por ejemplo, la conexión normal ( $h_2 = h_1$ ) o la conexión ampliada ( $h_2 > h_1$ ). Sin embargo, el número de dientes se puede elegir libremente entre 25 y 200 por metro, por ejemplo, cambiando la relación entre las alturas para alcanzar una longitud preferida de los dientes.

Las figuras 8a a 8c ilustran una realización diferente de los extremos de viga dentados correspondientes o los extremos de la estructura de casco de superficie en una estructura de refuerzo interno de un aspa de turbina eólica (por ejemplo, un aspa de las figuras 2a, 2b o 3a, 3b). Todas las realizaciones ilustran la conexión de dos secciones del aspa de la turbina eólica en las que cada sección comprende conjuntos de tiras de madera o fibra de vidrio 11 y carbono 10 continuas. Las tiras de madera o fibra de vidrio 11 están conectadas en la junta de conexión mediante el uso de diferentes realizaciones de superficies largas y medios de adherencia, por ejemplo, en un tamaño normal o una junta de conexión ampliada.

La figura 8a ilustra las conexiones entre al menos tres conjuntos de tiras de madera o de fibra de vidrio 11. Las conexiones se establecen mediante los extremos de las tiras correspondientes en forma de triángulos rectángulos formando, cada uno, una conexión rectangular de un grosor similar como el resto de la tira. Las tiras de carbono 10 terminan libremente sin superficies de conexión correspondientes.

La figura 8b también ilustra las conexiones entre al menos tres conjuntos de tiras de madera o de fibra de vidrio 11. Las tiras vienen en dos formas: triángulos rectángulos y equiláteros en las que los diferentes tipos de tiras juntos forman una conexión rectangular entre las tiras. Las tiras de carbono 10 terminan libremente sin superficies de conexión correspondientes.

La figura 8c ilustra las conexiones de la figura 8b, en la que las conexiones entre al menos tres conjuntos de tiras de madera o de fibra de vidrio 11 se establecen con el uso de los medios de conexión intermedios 19. Los medios de conexión intermedios 19 tienen forma de diamante y están cerca de las cavidades entre las tiras con la misma área de superficie, pero menos longitud de los dientes en relación con la figura anterior. Las tiras de carbono 10 terminan libremente sin superficies de conexión correspondientes.

Las figuras 9a a 9c ilustran otras realizaciones de los extremos de viga dentados o las estructuras de casco de superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica. Las correspondientes superficies de las realizaciones se adhieren entre sí mediante medios de adhesión.

La figura 9a ilustra la conexión entre dos tiras de madera o fibra de vidrio 11, en la que una tira termina en forma de triángulo y la otra en forma de horquilla correspondiente.

La figura ilustra también tres diferentes realizaciones de la conexión entre las tiras de carbono, en la que cada conexión es de diferente forma y las dos últimas implican el uso de medios de conexión intermedios 19.

La conexión superior (1.) entre dos tiras de carbono se establece mediante los extremos de tira correspondientes en forma de triángulos rectángulos que forman una conexión rectangular de un grosor similar al de otras partes de las tiras.

La conexión central (2.) entre dos tiras de carbono se establece mediante los extremos de la tira en forma de triángulos rectángulos que se unen de punta a punta. La cavidad entre los mismos se cierra con unos medios de conexión intermedios triangulares 19 en los que los triángulos y los medios establecen superficies correspondientes que se utilizarán en la adherencia y la conexión de las tiras de carbono. La conexión comprende la misma área de superficie que la figura anterior (1.), pero con menor longitud de los dientes.

La conexión inferior (3.) entre dos tiras de carbono se establece mediante los extremos de la tira en forma de triángulos que se encuentran de punta a punta (cualquier forma excepto puntas en ángulo recto). Las dos cavidades (en el lado opuesto de las puntas) se cierran con dos medios de conexión intermedios triangulares 19 en los que los triángulos y los medios establecen superficies correspondientes que se utilizarán en la adherencia y la conexión de las tiras de carbono 10.

La figura 9b ilustra la conexión entre dos tiras de madera o fibra de vidrio 11 en la que los dos extremos de la tira tienen una forma similar. La forma comprende diferentes triángulos en los que se modifica el grado de inclinación en un punto de discontinuidad, de manera que las secciones de los triángulos se encuentran y dos cavidades (en el lado opuesto de las secciones unidas) se cierran con dos medios de conexión intermedios triangulares 19 en los que los triángulos y los medios establecen superficies correspondientes que se utilizarán en la adherencia y la conexión de las tiras de madera o fibra de vidrio 11.

La figura 9c ilustra la conexión entre dos tiras de madera o fibra de vidrio 11 en la que una tira termina en forma de triángulo y la otra en forma de horquilla correspondiente.

La conexión entre dos tiras de carbono se establece mediante los extremos de tira en horquillas de dos y tres puntas correspondientes. Las dos horquillas forman una conexión ampliada en relación con el resto de las tiras de carbono. El tamaño de la conexión entre las dos tiras de madera o fibra de vidrio 11 se ve disminuido para crear el espacio necesario para las conexiones continuas sin interrupciones entre tiras de diferentes tipos.

Debe hacerse hincapié en que cada viga dentada o estructura de casco de superficie termina en una estructura de refuerzo interna que puede alterarse, por ejemplo, en la longitud, la posición o el número de dientes, siempre y cuando el extremo correspondiente o el extremo y los medios de conexión intermedios también estén alterados.

Además, las diferentes realizaciones de los extremos y los medios de conexión intermedios pueden ser utilizados en conexión con cualquier tipo de tiras, por ejemplo, tiras de madera, fibra de vidrio o fibra de carbono.

Las figuras 9d a 9e ilustran otras realizaciones de los extremos de viga dentados o estructuras de casco de superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica.

- 5 La figura 9d ilustra la conexión entre dos tiras de madera o fibra de vidrio 11, en la que una tira termina en forma de triángulo y la otra en forma de horquilla correspondiente. La figura también ilustra la conexión entre dos tiras de carbono 10, que se establece mediante las tiras que se unen de extremo a extremo y dos medios de conexión intermedios 19 que se sujetan en los lados opuestos de los extremos, atándolos juntos. La interconexión de las superficies de la primera y segunda tiras, respectivamente, con los dos medios de conexión intermedios 19 se corresponden en tamaño con la superficie de la conexión mucho más larga entre los extremos de las tiras de carbono, por ejemplo, de la figura 9a.

La conexión entre las dos tiras de madera o fibra de vidrio 11 se ilustra como disminuida en relación a la longitud normal o grosor de las tiras para unir la conexión de la tira de carbono ligeramente ampliada.

- 15 La figura 9e ilustra la conexión entre dos tiras de madera o fibra de vidrio 11, en la que una tira termina en forma de triángulo y la otra en forma de horquilla correspondiente. La figura también ilustra la conexión entre dos tiras de carbono 10, que se establece mediante los extremos de la tira que se encuentran y se conectan mediante un medio de conexión intermedio 19 unido en un lado de las tiras de carbono 10.

Las figuras 10a a 10c ilustran también algunas de las posibles conexiones entre las tiras, tal como tiras de carbono y de madera.

- 20 La conexión de la figura 10a se corresponde en gran medida a la conexión entre las tiras de carbono en la figura 9d, con dos medios de conexión intermedios 19 que corresponden a la forma de los extremos de las tiras, así como que se extienden para superponerse en parte de la superficie de la tira regular. Los dos medios de conexión intermedios 19 se ilustran como medios de forma bastante libre correspondientes a las superficies de extremo de las tiras.

- 25 La figura 10b ilustra los dos medios de conexión intermedios 19 como triángulos colocados en el lado opuesto de las tiras 10/11 y que cierran la conexión entre los dos extremos de las tiras en las que los extremos se corresponden entre sí.

La figura 10c ilustra los medios de conexión intermedios como dos conjuntos diferentes de medios de conexión 19a, 19b colocados un conjunto tras el otro. Un conjunto 19b está colocado entre los extremos de la tira y los otros conjuntos 19a, en los lados opuestos del conjunto 19b en las tiras 10/11.

- 30 Las figuras 11a a 11c ilustran algunas etapas de un posible procedimiento de montaje para las secciones del aspa de la turbina eólica.

- 35 El transporte de las aspas de turbina eólica desde la planta de fabricación hasta el lugar de montaje de la turbina eólica se realiza en secciones. Las secciones son transportadas por camión en el que el transporte se puede realizar como un transporte más estándar debido a la reducida longitud y peso de la carga en comparación con el aspa de turbina eólica de una sola pieza.

- 40 Normalmente, las dos secciones de un aspa de turbina eólica se pueden colocar lado a lado en un camión. Sin embargo, los límites de carga máxima de los camiones estándar pueden ser uno de los parámetros que determinan el número de secciones en las que se divide un aspa de turbina eólica y el número de secciones que se colocan en cada camión. Cada aspa, por ejemplo, puede fabricarse en tres o más secciones, en lugar de dos, tal como se describe en las realizaciones de ejemplo de la presente invención, y cada sección también se puede colocar en un camión separado. Las secciones también pueden ser transportadas en uno o más contenedores, por ejemplo, contenedores estándar conectados en transporte en tren o marítimo.

- 45 La figura 11a ilustra las secciones del aspa de turbina eólica 5 a medida que llegan al lugar de montaje de la turbina eólica. Las secciones se presionan entre sí de tal manera que los extremos de viga dentados formen una conexión continua. La conexión incluye medios de adhesión en las superficies de los extremos de la viga, creando una junta de conexión fija ampliada 22 entre las secciones del aspa.

- 50 La figura 11b ilustra las secciones del aspa después de que el medio de adhesión se haya endurecido y se haya establecido así la conexión de junta fija. La distancia abierta entre las secciones por encima de la junta de conexión 21/22 se cierra herméticamente con una superficie de cubierta 20, por ejemplo, unas pocas capas de fibra de vidrio. Esta cubierta también sirve como un restablecimiento del perfil aerodinámico para el aspa en la junta de conexión.

La figura 11c ilustra el aspa de turbina eólica con la junta de conexión lista para ser montada en la turbina eólica después de que la superficie de la cubierta se haya pintado con el fin de integrarla con el resto del aspa de la turbina eólica.

La figura 12 ilustra un solo diente 18 de los extremos de viga dentados o las estructuras del casco de superficie en

una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica, así como una vista en sección transversal ampliada de los dientes.

5 La forma de los dientes se ilustra como una forma substancialmente triangular, pero los dientes pueden comprender cualquier forma que asegure largas superficies correspondientes en la junta de conexión entre las secciones del aspa de la turbina eólica. Los dientes de la junta de conexión, por ejemplo, pueden comprender formas rectangulares, redondas correspondientes o más libres, así como formas triangulares, con puntas redondeadas para facilitar el proceso de fabricación. Además, la forma de los dientes puede ser una combinación de diferentes formas, por ejemplo, rectangular en los lados y triangular en el centro del extremo de la viga o la estructura de casco de superficie.

10 La vista en sección transversal ampliada ilustra esquemáticamente el diente 18 listo para ser transportado. Después del proceso de fabricación de los dientes en la planta de fabricación, la superficie del diente se cubre con medios de adhesión 23 en un ambiente controlado con el fin de preparar los medios de adhesión de forma óptima para su uso posterior. Los medios de adhesión se confinan posteriormente por una capa de protección 24, por ejemplo, una capa de plástico hermética. La capa se retira fácilmente en el lugar de montaje de las secciones del aspa de turbina eólica en espas de turbina eólica, por ejemplo, con el uso de un curado latente, o tecnología de fusión en caliente.

Las figuras 13a y 13b ilustran una realización de una unidad en el lugar para la colocación y el montaje de secciones de aspa de turbina eólica y el control de las condiciones durante el montaje.

La figura 13a ilustra esquemáticamente una posible unidad en el lugar para la colocación y el montaje de un aspa de turbina eólica 5.

20 La unidad en el sitio incluye una serie de actuadores hidráulicos o eléctricos a-d conectados en los extremos de las secciones del aspa de la turbina eólica. Las secciones se colocan a una distancia entre sí para moverse libremente hacia arriba y hacia abajo. Con los actuadores y los medios de control de los actuadores 28 es posible controlar la posición de las secciones en relación entre sí y el suelo 25. La colocación de las secciones 12, 13 se puede realizar con una precisión muy alta, ya que las secciones están provistas de medios para medir el nivel en forma de un transmisor y receptor láser 26a, 26b con los medios de control del transmisor y receptor correspondientes 27a, 27b.

25 Los medios de control 27a, 27b, 28 de los actuadores y el láser están conectados a un medio de control 29, que controla los actuadores para levantar las secciones a una posición en la que el receptor láser 26b vea el transmisor láser 26a. Las secciones de aspa de turbina eólica están perfectamente alineadas cuando se alcanza la posición y las secciones están así listas para ser forzadas entre sí hasta que se introducen a la perfección entre sí. La introducción puede incluir, por ejemplo, los extremos de viga dentados correspondientes (tal como se ilustra en la figura) o los extremos dentados de las estructuras de casco de superficie en una estructura de refuerzo interno de una aspa de turbina eólica. La introducción de las secciones se puede realizar con uno o más actuadores forzando las secciones horizontalmente unas contra otras, por ejemplo, actuadores forzando en la raíz y la punta del aspa de la turbina eólica hacia la junta de conexión. La introducción se realiza preferentemente con rapidez después de la retirada de la cubierta de protección hermética de los extremos dentados, y así la exposición de los medios de adhesión en las superficies de conexión.

La figura 13b también ilustra la unidad en el lugar de la figura 13a, en la que la unidad incluye medios para controlar las condiciones ambientales durante la conexión de las secciones del aspa de turbina eólica.

40 La unidad incluye un alojamiento 33, tal como una tienda que separa el espacio en la conexión de junta de las secciones 12, 13 del exterior. El alojamiento asegura de que las condiciones en el espacio se puedan controlar, por ejemplo, la temperatura y la humedad en el espacio. Para examinar las condiciones del espacio, comprende una serie de sensores 31, por ejemplo, sensores de temperatura y humedad. Los sensores están conectados a los medios de control 30, que controlan el suministro de calor 32 y/o el control de humedad en el alojamiento como resultado de las mediciones de los sensores.

45 Con el ambiente cerrado y controlado en el interior del alojamiento se puede garantizar una conexión adhesiva óptima entre los extremos de viga dentados o estructuras de casco de superficie correspondientes en una estructura de refuerzo interna de un aspa de turbina eólica 5, por ejemplo, una conexión de junta más fuerte y/o más rápida entre las secciones.

### Lista

- 50 1. Turbina eólica  
2. Torre de la turbina eólica  
3. Góndola de la turbina eólica  
4. Buje de la turbina eólica  
5. Aspa de la turbina eólica

- 6. Estructura de refuerzo interna
  - 6a. Estructura de refuerzo de viga interna
  - 6b. Estructura de refuerzo interna en el borde de salida
- 7. Estructura de casco de superficie de un aspa de turbina eólica
- 5 8. Laminado de fibra de carbono
- 9. Laminado de fibra de vidrio biaxial
- 10. Tiras de fibra de carbono
- 11. Tiras de madera o fibra de vidrio
- 12. Primera sección de un aspa de turbina eólica
- 10 13. Segunda sección de un aspa de turbina eólica
- 14, 15. Extremos de viga dentados correspondientes
- 16a, 17a. Extremos de viga dentados correspondientes
- 16b, 17b. Extremos del borde de salida dentados correspondientes
- 16c, 17c. Unidades de extremo de viga dentado correspondiente
- 15 16d, 17d. Unidades de extremo del borde de salida dentado correspondiente
- 18. Diente de los extremos de viga dentados
- 19, 19a, 19b. Medios de conexión intermedios
- 20. Superficie de la cubierta
- 21. Conexión de junta de las secciones del aspa de la turbina eólica
- 20 22. Conexión de junta ampliada
- 23. Medios de conexión, por ejemplo un material adhesivo
- 24. Cubierta o capa de protección
- 25. Nivel del suelo en el lugar de montaje de la turbina eólica
- 26a, 26b. Transmisor y receptor para la medición de las posiciones relativas
- 25 27a, 27b. Medios de transmisor y receptor para las señales de medición
- 28. Medios de actuador
- 29. Medios de control para controlar el proceso de adhesión
- 30. Medios de control para controlar el proceso de montaje
- 31. Sensores, por ejemplo, sensores de temperatura y humedad
- 30 32. Suministro de calor
- 33. Recinto que encierra la conexión de junta de las secciones de aspa de la turbina eólica
- 34. Raíz del aspa eólica
- 35. Punta del aspa eólica
- a-d. Actuadores
- 35 m. Línea de medición longitudinal
- n. Línea transversal entre la junta de conexión ampliada y el aspa normal adyacente
- l. Longitud de los dientes de un extremo de viga dentado

L. Superficie de conexión de la estructura de refuerzo

$X_i$ . Longitud transversal de una junta ampliada en la estructura de refuerzo, por ejemplo, la longitud máxima de la junta ampliada

5  $W_i$ . Distancia interior de la estructura de refuerzo, por ejemplo, la longitud transversal de la estructura de refuerzo en las proximidades de la junta ampliada, tal como en la línea n

$W_o$ . Distancia exterior de la estructura de refuerzo, por ejemplo, la longitud transversal de la estructura de refuerzo en las proximidades de la junta ampliada, tal como en la línea n.

**REIVINDICACIONES**

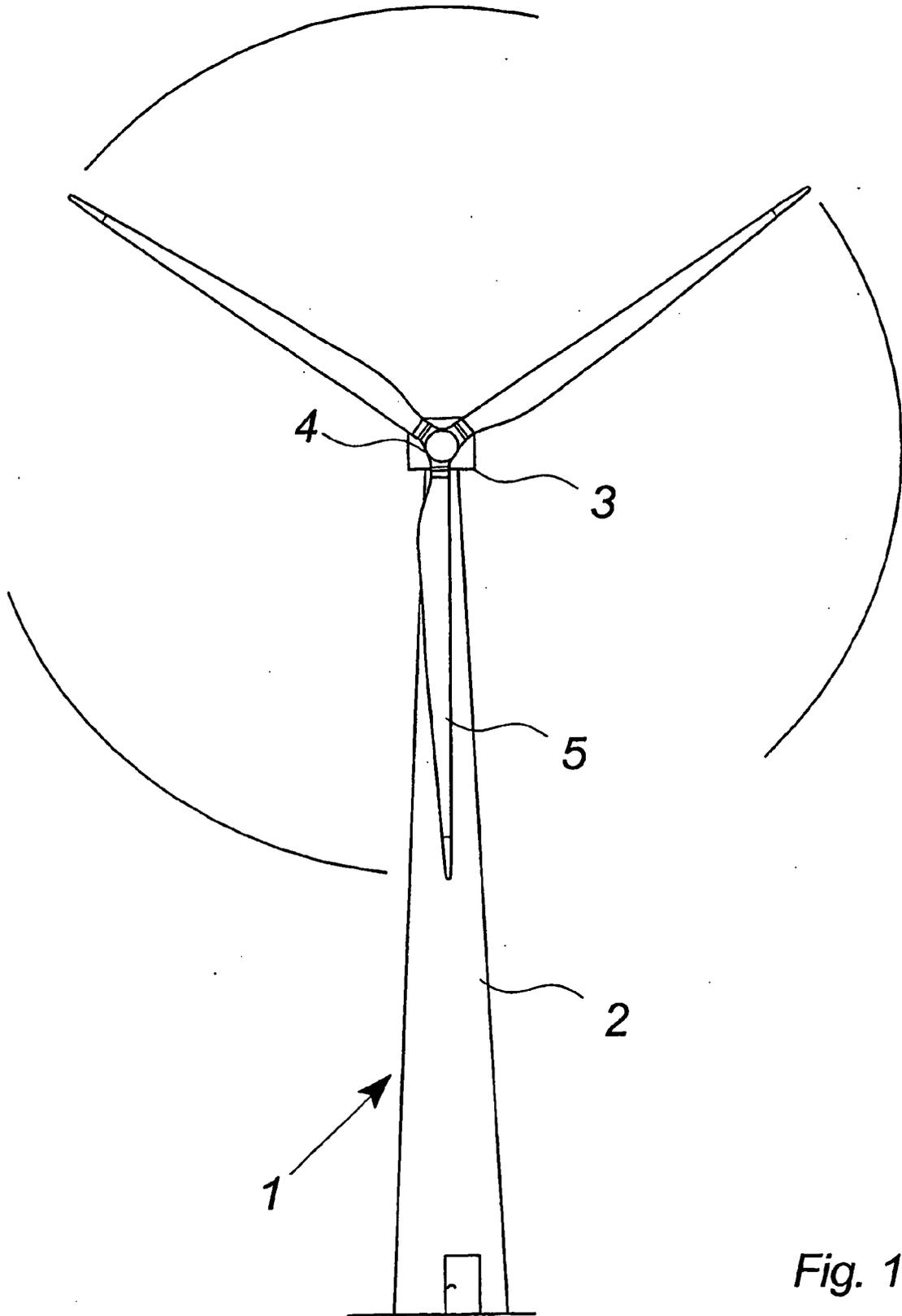
1. Aspa de turbina eólica (5) que comprende en su dirección longitudinal al menos dos secciones de aspa de turbina eólica separadas (12, 13), incluyendo dichas secciones separadas una o más estructuras de refuerzo (6, 6a, 6b), dicha una o más estructuras de refuerzo (6, 6a, 6b, 10, 11) comprenden una estructura de refuerzo de viga interna (6a), una estructura de refuerzo interna en el borde de salida (6b) y/o una estructura de refuerzo interna de una estructura de casco de superficie (7), estando los extremos (14, 15) de dichas estructuras de refuerzo conectados en una junta de conexión (22), en la que dichos extremos están al menos parcialmente conformados como extremos dentados (14, 15) que incluyen superficies de conexión correspondientes, siendo una o más dimensiones relevantes de dichas superficies más grandes que las dimensiones correspondientes de las superficies transversales de dichos extremos dentados de las estructuras de refuerzo en dichos extremos, en la que una o más dimensiones relevantes de dicha junta de conexión (22) está ampliada en la dirección perpendicular a la longitud del aspa y en relación con la estructura de refuerzo adyacente (6, 6a, 6b) y en la que los medios de adhesión en dichas superficies de conexión se adhieren entre sí.
2. Aspa de turbina eólica según la reivindicación 1, en la que los dientes de dichos extremos dentados (14, 15) tienen forma de triángulos (18), tales como triángulos rectángulos y/o equiláteros, dientes de cuatro lados, tales como rectángulos, formas redondas o formas más libres, así como una combinación de diferentes formas, por ejemplo una combinación de una forma rectangular y una forma triangular en la punta o una combinación de diferentes formas triangulares.
3. Aspa de turbina eólica según la reivindicación 1 ó 2, en la que los lados de los dientes comprenden una forma de tarta, tal como dientes con forma redondeada o de cuña, por ejemplo, para establecer las esquinas en una estructura de refuerzo.
4. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que dichos extremos dentados (14, 15) comprenden cavidades llenas de uno o más medios de conexión intermedios (19, 19a, 19b) por ejemplo, bloques de forma triangular o de diamante.
5. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que dicho medio de adhesión, tal como un adhesivo epoxi de dos componentes, adhiere dichos extremos dentados correspondientes (14, 15) y dicho uno o más medios de conexión intermedios (19, 19a, 19b) entre sí.
6. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que dicha una o más dimensiones relevantes de dichas superficies de conexión, superficies transversales, junta de conexión (22) y estructura de refuerzo adyacente pueden ser valores de área, longitud o grosor.
7. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la longitud  $l$  de uno de dichos dientes en una junta de conexión ampliada viene dada por

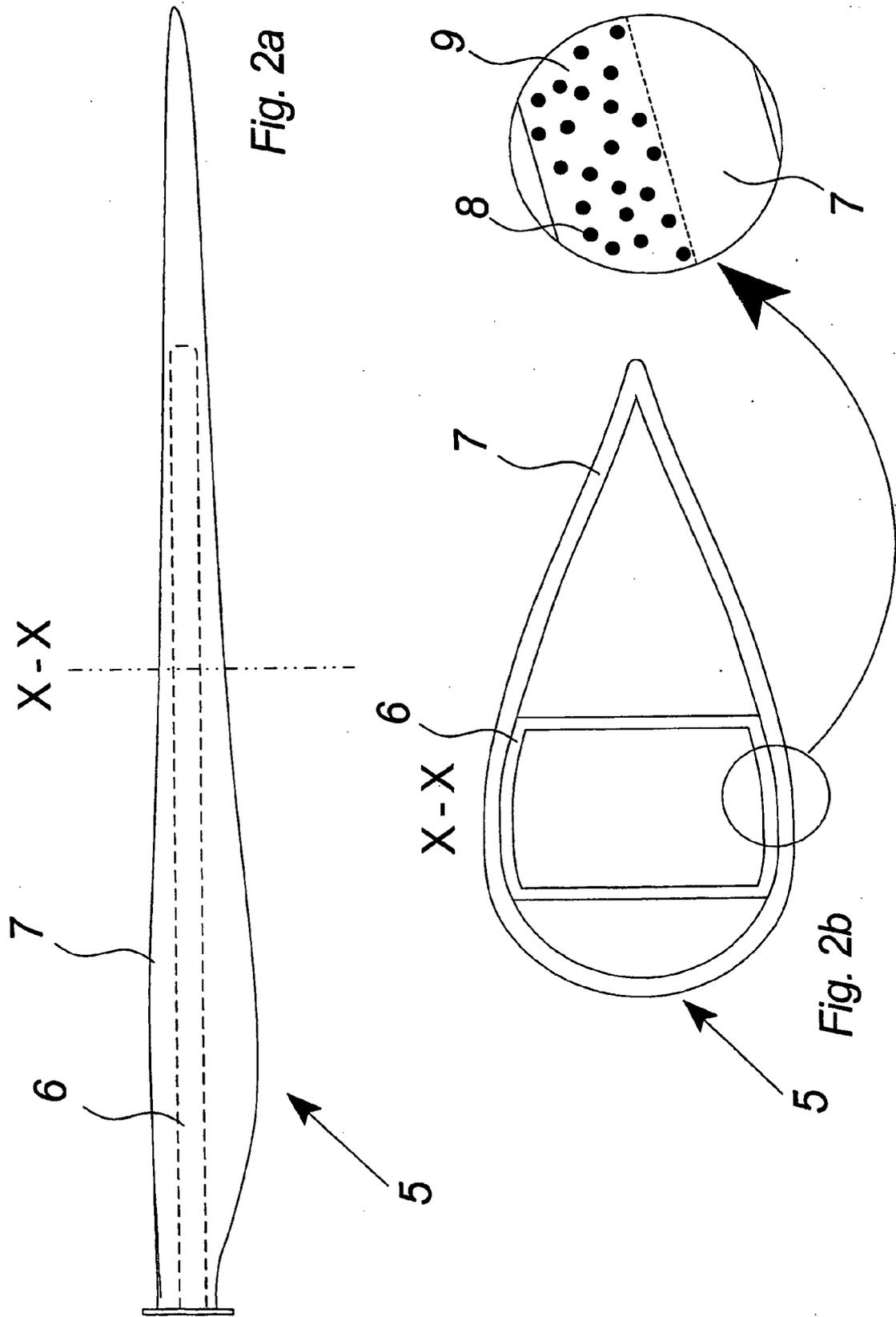
$$l \geq \frac{\sigma_{\text{carbono}} \cdot h_1 \cdot b}{\tau_{\text{epoxi}} \cdot h_2 \cdot 2} = \frac{1000 \cdot h_1 \cdot b}{10 \cdot h_2 \cdot 2} = 50 \frac{h_1}{h_2} \cdot b$$

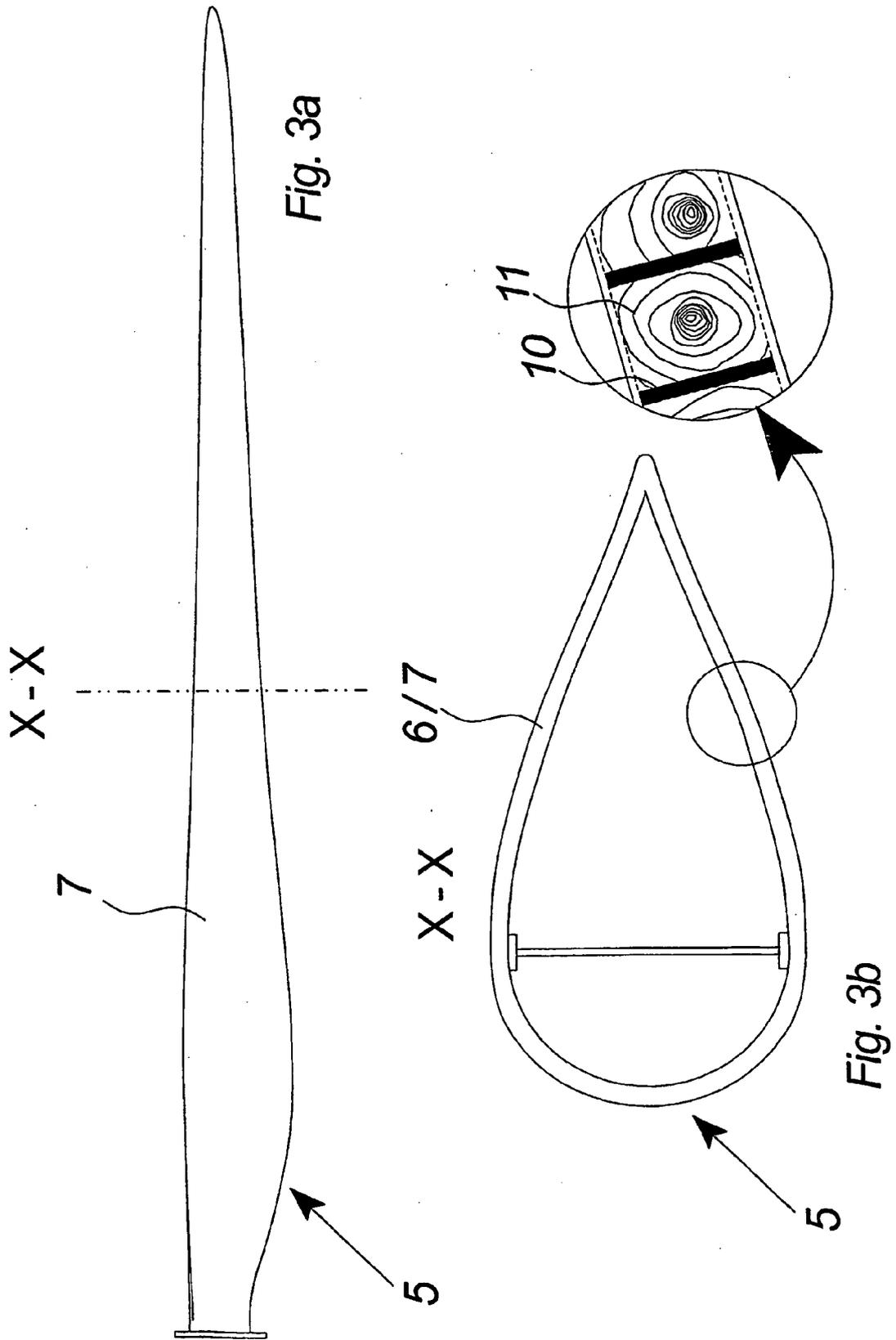
- en la que  $h_1$  es la altura adyacente de la estructura de refuerzo y  $h_2$  es la altura ampliada de dicho diente en la misma anchura  $b$ , siendo dicha altura  $h_2$  entre 2 y 10, y preferentemente entre 3 a 6 veces el tamaño de  $h_1$ , tal como 3 veces.
8. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el número de dientes en el extremo dentado (12, 13) es de entre 25 y 200 por metro de la estructura de refuerzo, tal como alrededor de 100 por metro, es decir,  $b$  por diente de alrededor de 10 milímetros.
9. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que dicha estructura de refuerzo interna de una estructura de casco de superficie (7) incluye una pluralidad de tiras alargadas incrustadas en la superficie del aspa, tal como tiras de carbón (10), madera y/o fibra de vidrio (11).
10. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que la ampliación de dicha junta de conexión (22) es simétrica en relación con la estructura de refuerzo adyacente, tal como una expansión simétrica hacia el interior y el exterior en relación con el curso de estructura de refuerzo adyacente.
11. Aspa de turbina eólica según la reivindicación 1, en la que dichas estructuras de refuerzo (6, 6a, 6b) incluyen una serie de tiras de fibra de carbono sustancialmente alargadas (10) y tiras (11) de uno o más materiales tales como madera o fibra de vidrio.
12. Aspa de turbina eólica según la reivindicación 11, en la que las fibras de carbono de dichas tiras de fibra de carbono sustancialmente alargadas (10) en cada sección de aspa de turbina eólica son continuas.

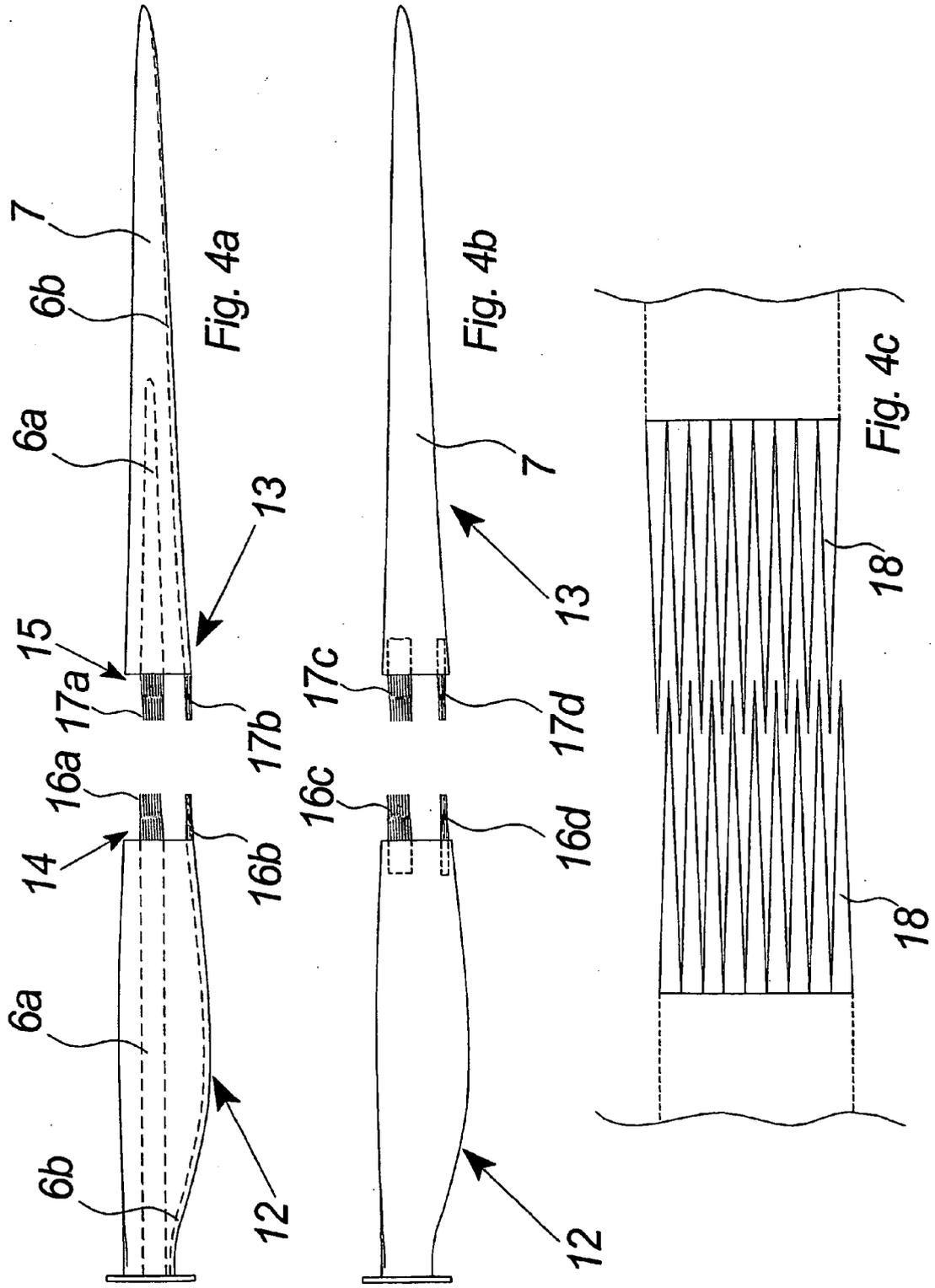
13. Aspa de turbina eólica según la reivindicación 11 ó 12, en la que los extremos correspondientes de dichas tiras de fibra de carbono (10) están conectadas y los extremos correspondientes de dichas tiras (11) de uno o más materiales están conectados en la junta de conexión (21, 22).

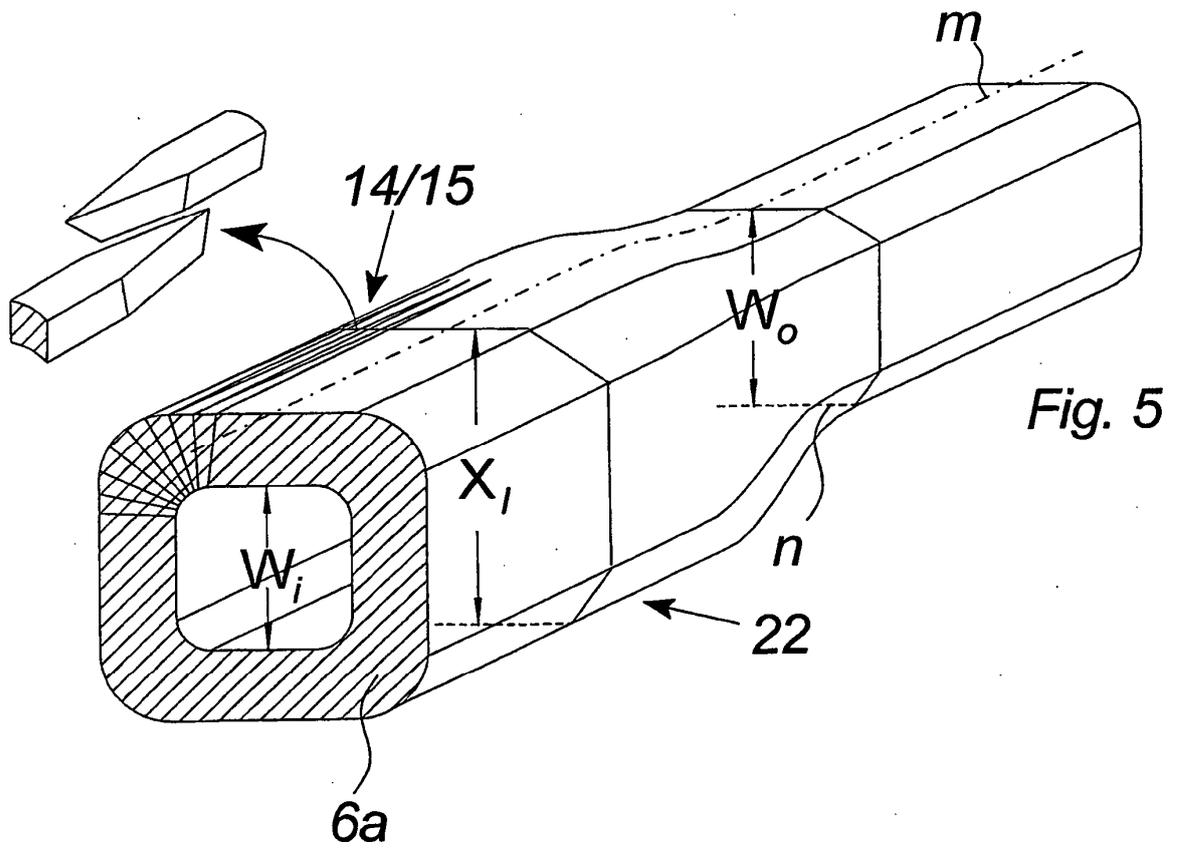
5 14. Aspa de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en la que la junta de conexión está cubierta con una superficie de cubierta (20) tal como unas pocas capas de fibra de vidrio.

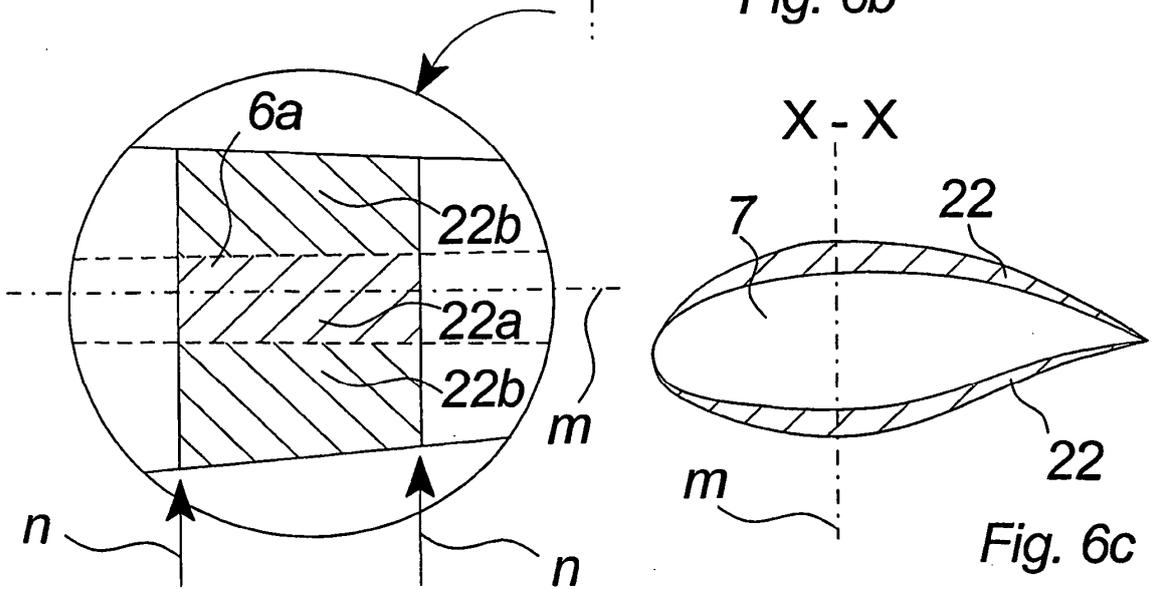
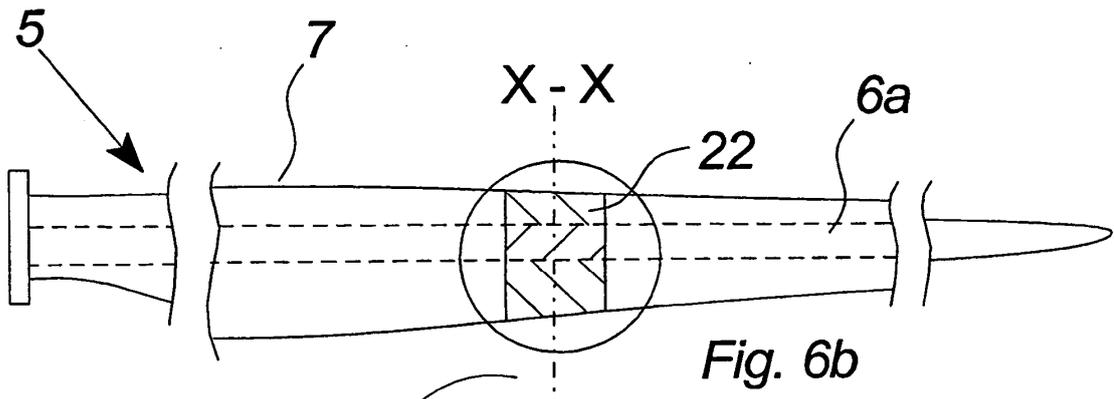
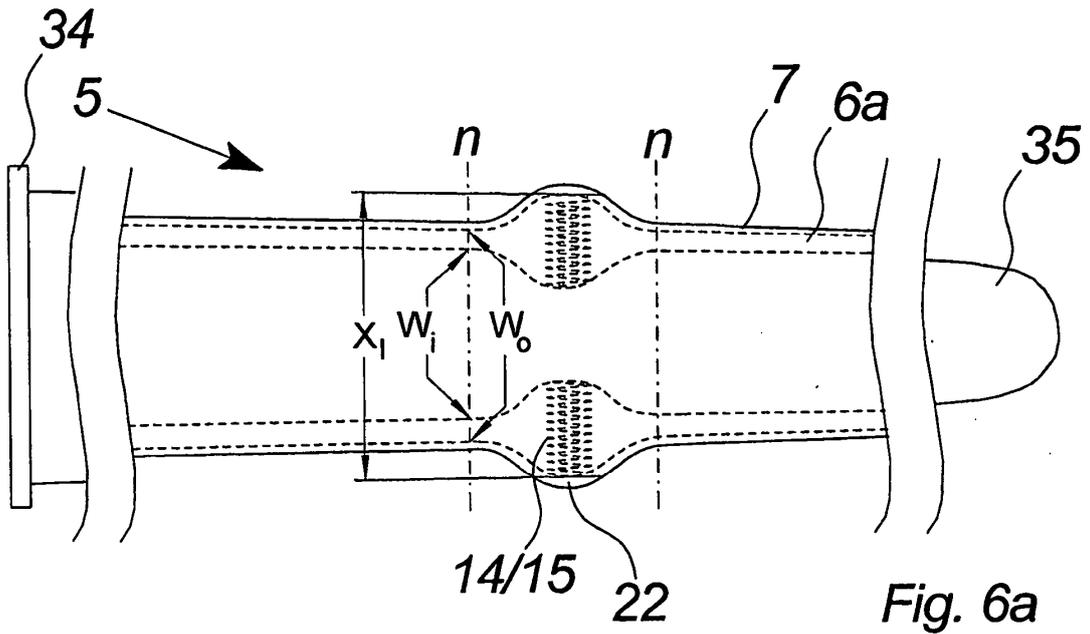












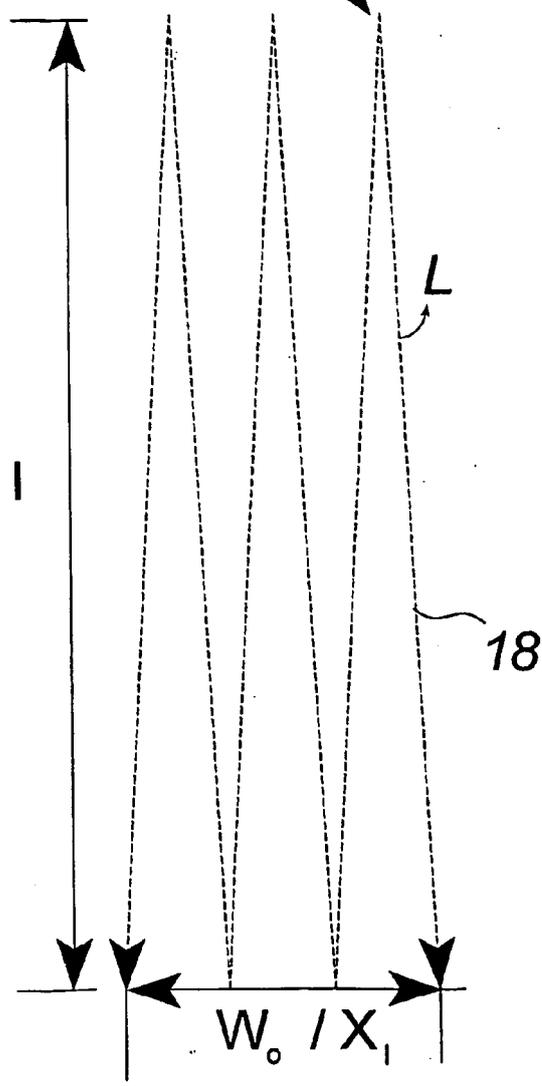
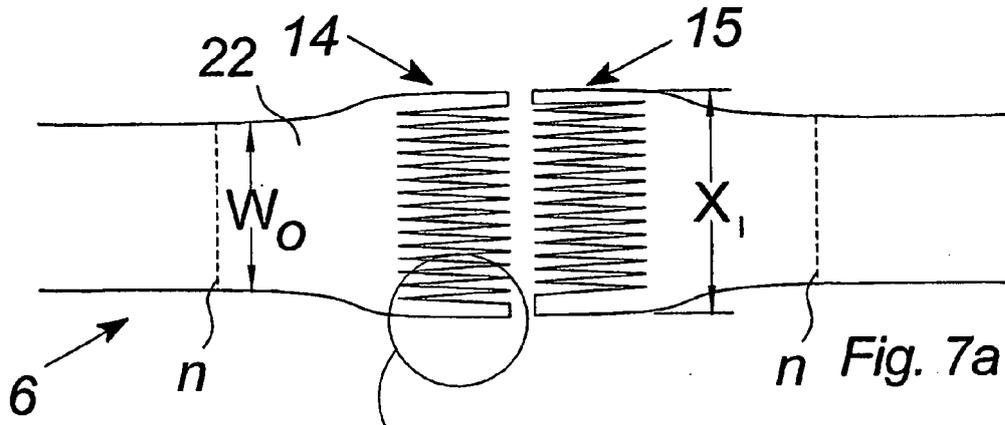


Fig. 7b

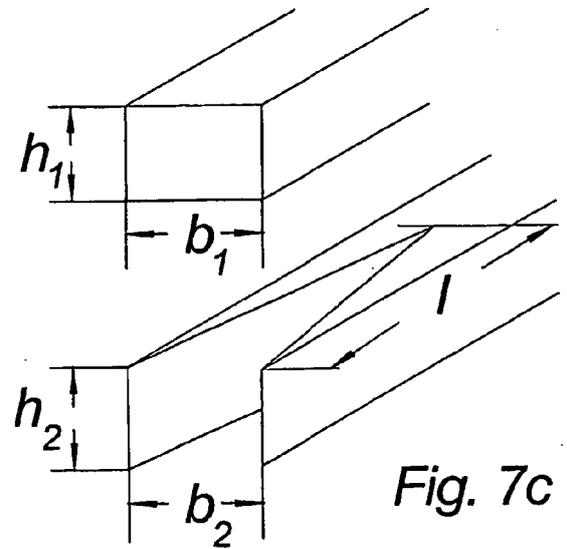


Fig. 7c

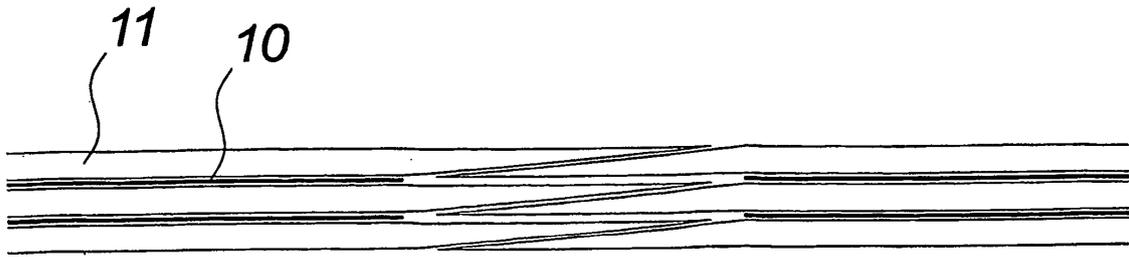


Fig. 8a

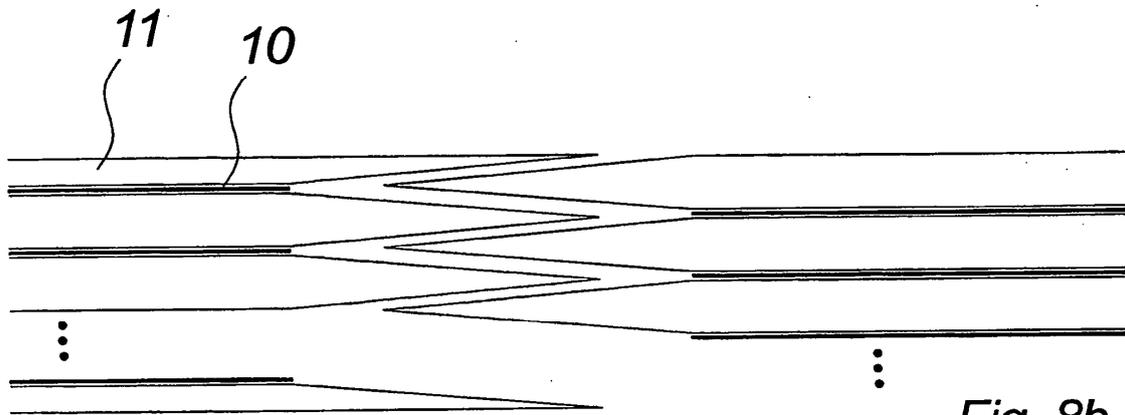


Fig. 8b

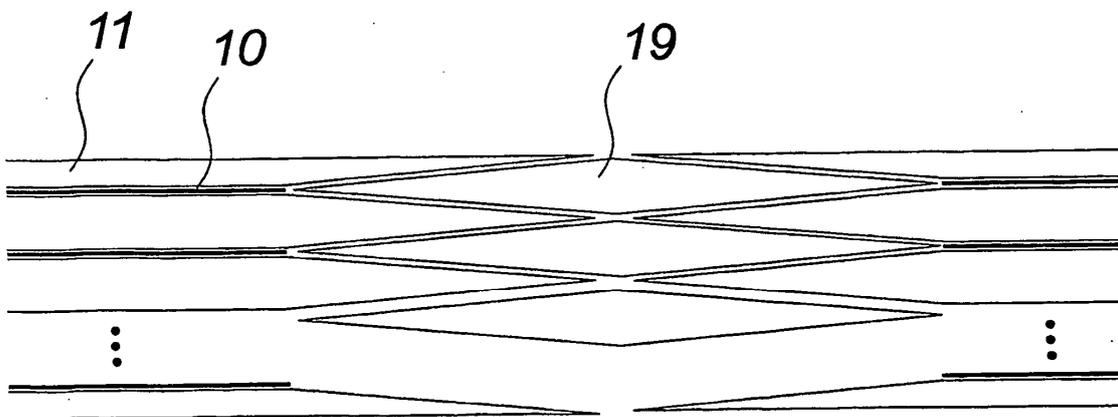
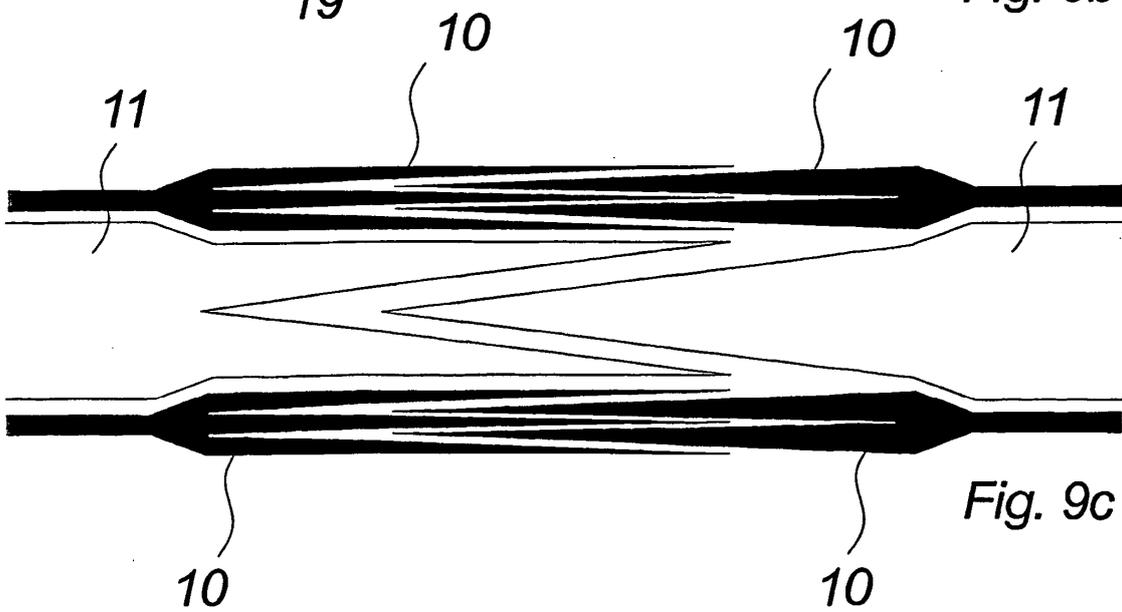
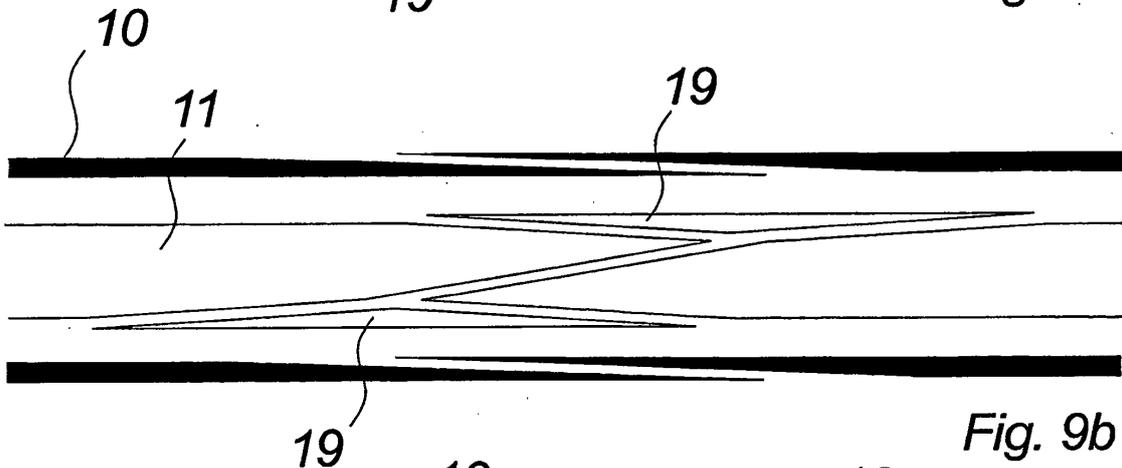
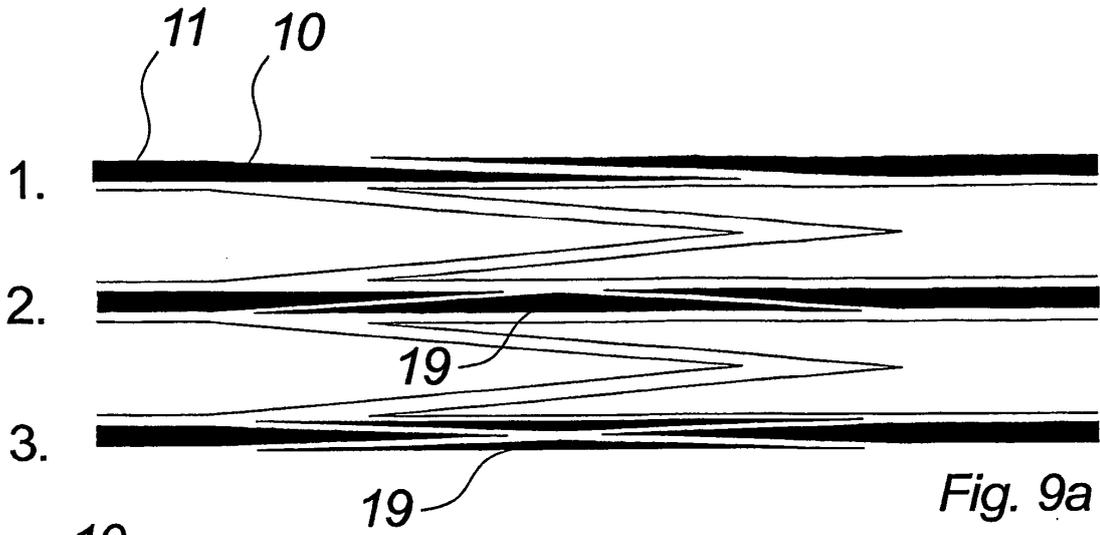


Fig. 8c



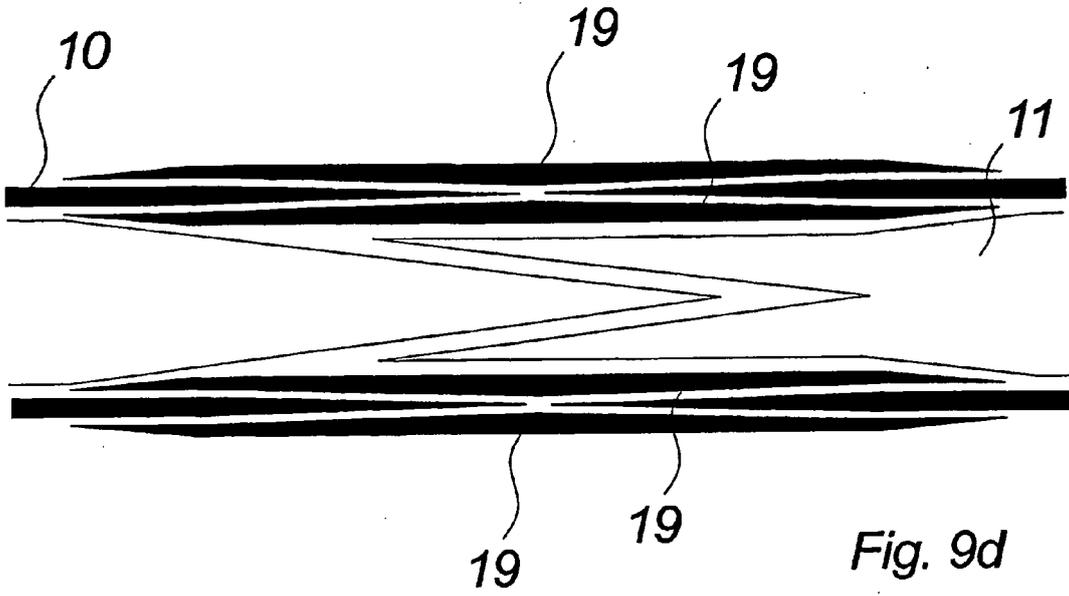


Fig. 9d

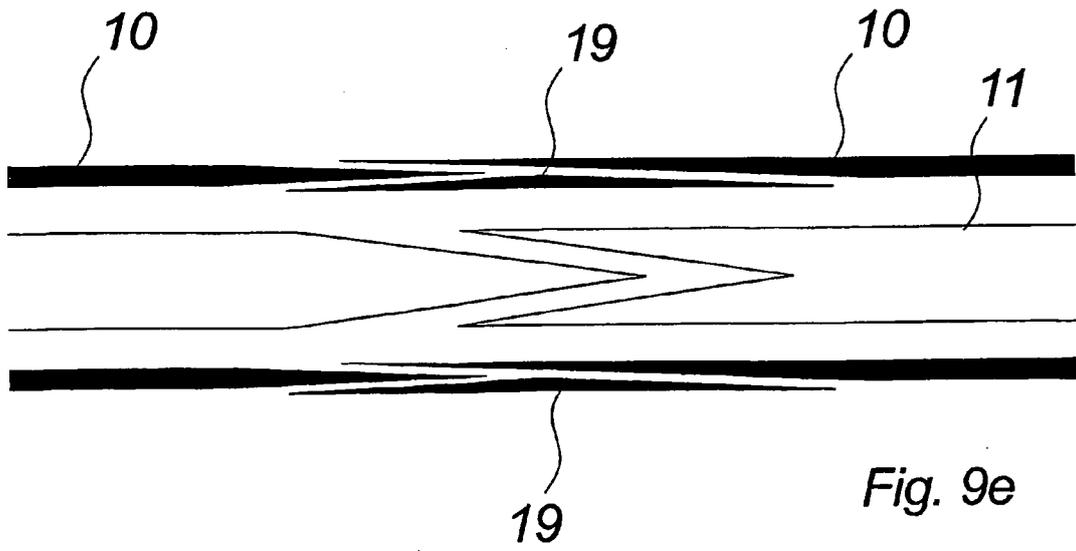


Fig. 9e

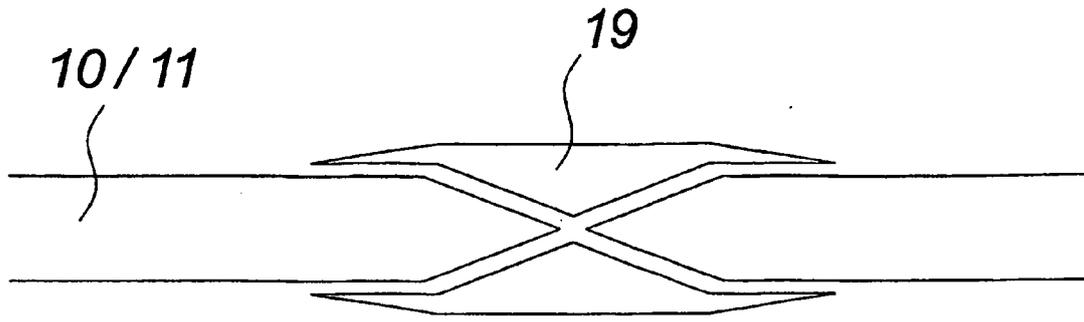


Fig. 10a

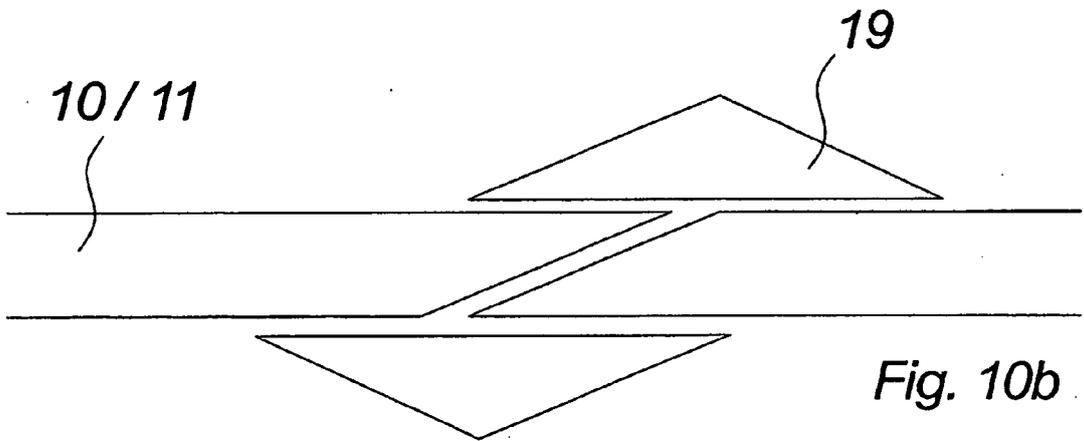


Fig. 10b

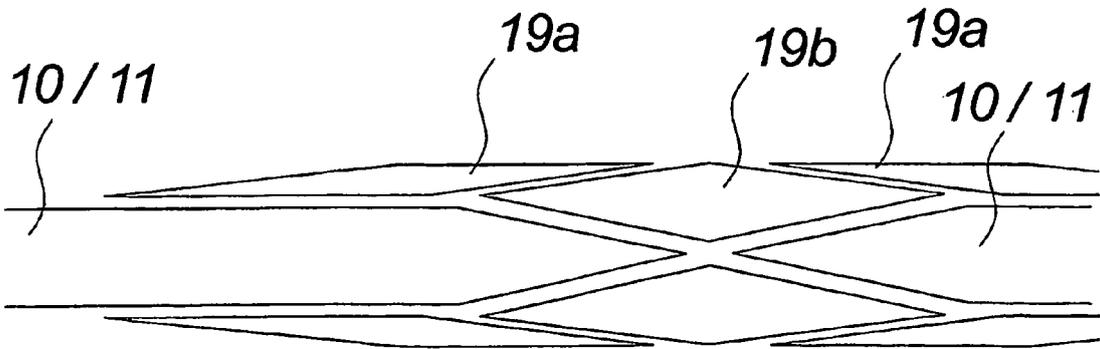


Fig. 10c

