



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 293 261**

(51) Int. Cl.:
B64C 11/06 (2006.01)
F03D 1/06 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04736506 .9**
(86) Fecha de presentación : **10.06.2004**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1633624**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **15.03.2006**

(54) Título: **Método de fabricación de una raíz de pala de turbina eólica.**

(30) Prioridad: **12.06.2003 EP 03388045**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2008

(73) Titular/es: **SSP Technology A/S**
Industrivej 12
5672 Broby, DK

(72) Inventor/es: **Schytt-Nielsen, Rune y**
Sorensen, Flemming

(74) Agente: **Toro Gordillo, Ignacio María**

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

Método de fabricación de una raíz de pala de turbina eólica.

5 La presente invención se refiere a un método de fabricación de una raíz de pala para una pala de turbina eólica que tiene casquillos de inserción completamente unidos con rosca interna para montar pernos para el acoplamiento desconectable a un cubo de una turbina eólica, comprendiendo el método las etapas de proporcionar una primera capa de estera de fibra, disponer casquillos sobre la primera capa de estera de fibra para extender principalmente en la dirección longitudinal de la pala, proporcionar capas de estera de fibra adicionales sobre la parte superior de los casquillos y consolidar la estera de fibra.

10 Las turbinas eólicas se han usado durante décadas para explotar la energía del viento, por ejemplo, para producir electricidad. Para reducir el precio de la electricidad producida por tales turbinas eólicas, el tamaño de las turbinas eólicas ha aumentado hasta una potencia nominal media actual de turbinas eólicas comerciales de aproximadamente 1,5 MW, mientras que se están desarrollando turbinas eólicas de hasta 3 MW, y se espera que se comercialicen turbinas eólicas incluso más grandes en los próximos años. Las turbinas eólicas comerciales comunes tienen tres palas, las cuales, en una turbina eólica de 1,5 MW, tienen una longitud de aproximadamente 35 m.

20 Las palas están sometidas, entre otros, a fuerzas y momentos de flexión grandes debido a la presión del viento y debido al peso y a la rotación de las palas, y además las palas están sometidas a fatiga debido a la carga cíclica. Por ejemplo, durante una revolución, la pala se desplaza a través de una región de máxima carga de viento en la parte superior del círculo, mientras que la pala experimenta una zona de viento baja (o incluso sotavento), cuando la pala pasa por la torre, y además el viento normalmente no es constante, ya que puede haber ráfagas de viento. Naturalmente, la raíz de la pala y la conexión de la pala al cubo deben poder resistir la carga de la pala, y un fallo de la raíz de pala o el cubo sería devastador y potencialmente letal para las personas cerca de la turbina eólica.

30 Se han intentado diferentes enfoques a lo largo de los años, tal como puede verse en la patente estadounidense número 4.915.590, que da a conocer un método de acoplamiento de una pala de turbina eólica. Este acoplamiento de pala de la técnica anterior comprende varillas de bombeo de fibra de vidrio sujetas en la raíz de pala, varillas de bombeo que no están unidas a la raíz de pala en una parte sustancial que forma un extremo libre en el extremo de la raíz, y además el extremo libre de las varillas de bombeo está rebajado del extremo de la raíz de pala, lo que significa que las varillas de bombeo pueden ponerse bajo tensión. La patente indica que las varillas de bombeo pueden no estar unidas a la pala del rotor en aproximadamente el 85% de la longitud. Las varillas de bombeo disminuyen en diámetro hacia el extremo sujeto en la zona unida, en la que la varilla está enganchada internamente a la pala. Aunque esto puede ser apropiado para palas relativamente pequeñas usadas en turbinas eólicas en agosto de 1987, cuando se presentó esta solicitud estadounidense, esta construcción de la técnica anterior no es adecuada, sin embargo, para las palas relativamente grandes usadas en la actualidad, ya que las varillas de bombeo no podrán resistir las fuerzas muy grandes presentes en la raíz de pala de palas grandes, especialmente porque las varillas solamente están unidas a la raíz de pala en una medida muy limitada.

40 En el acoplamiento de pala del documento WO-A2-01/42647, la pala está conectada al cubo mediante pernos enroscados en los insertos proporcionados en los orificios radiales en la raíz de pala. Es una desventaja, sin embargo, el que deban proporcionarse orificios radiales en la raíz de pala, ya que estos orificios debilitan seriamente la construcción y proporcionan una concentración de esfuerzo, lo que significa que la raíz de pala debe construirse para que sea muy resistente y por tanto, pesada, lo que somete la construcción a esfuerzo de nuevo.

50 Se describe una construcción similar en la patente estadounidense número 6.371.730, que da a conocer una pala conectada al cubo mediante pernos enroscados en tuercas insertadas en orificios ciegos radiales en la raíz de pala. Aunque los orificios no son pasantes, no obstante debilitan seriamente a la raíz de pala, y por tanto esta construcción no es ventajosa.

55 También se ha intentado proporcionar una raíz de pala con casquillos completamente unidos o incrustados, teniendo cada uno una parte de perno roscado que sobresale, tal como se da a conocer en la patente estadounidense número 4.420.354. Esta técnica anterior incorpora taladrar un orificio relativamente grande que se extiende axialmente en la raíz de pala fabricado de un material compuesto de madera-resina, orificio en el cual está ligado con resina el casquillo, que tiene un manguito de resina preformada. Con esta técnica anterior se elimina una cantidad relativamente grande de material de raíz de pala, lo que debilita la construcción, de modo que la raíz de pala debe sobredimensionarse. Especialmente con palas grandes de materiales compuestos modernos como plásticos reforzados con fibras, que son relativamente flexibles, la concentración de esfuerzo en el extremo de los casquillos puede ser perjudicial, ya que los casquillos son significativamente más rígidos. Además, este método de la técnica anterior es algo destructivo y como los materiales compuestos de fibra son bastante caros, y lo serán cada vez más a medida que se desarrollen palas grandes, ya que se espera que se introduzcan materiales de alta tecnología tales como materiales compuestos de fibra de carbono, este procedimiento no es favorable. Un método adicional de la técnica anterior de fabricación de una raíz de pala de turbina eólica se conoce a partir del documento JP 11182408 A.

65 En general, los métodos de la técnica anterior del tipo expuesto requieren mucha mano de obra y mucho tiempo, ya que los casquillos están espaciados por bloques de, por ejemplo, un material de espuma, y los bloques y los casquillos deben disponerse con cuidado. Además, existe el riesgo de que se formen bolsas de aire en la raíz de pala entre los

casquillos y los bloques, y tales bolsas de aire, que son difíciles de detectar, deteriorarán seriamente la resistencia de la raíz de pala.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método del tipo expuesto para permitir la producción de una pala de turbina eólica ligera que tiene un acoplamiento de alta resistencia.

Para conseguir este objetivo, el método según la invención se caracteriza por una etapa inicial de proporcionar un soporte que tiene rebajes espaciados para alojar los casquillos, disponer la primera capa de estera de fibra sobre el soporte y disponer los casquillos en dichos rebajes.

Según una realización, el método comprende la etapa adicional de compactar las esteras de fibra usando esteras de vacío, mediante las que se consigue una compactación firme y se reduce significativamente el riesgo de que queden atrapadas bolsas de gas en los materiales compuestos.

Las esteras pueden ser esteras secas, que solamente contiene fibras de refuerzo. Según una realización, sin embargo, las esteras son de un tipo preimpregnado, mediante las que puede producirse la pala de manera muy eficaz, ya que la pala entera puede consolidarse en una pieza después de colocar el material compuesto preimpregnado, por ejemplo, calentando para curar un aglutinante termoendurecible incluido en el material compuesto.

En una realización preferida del método, se hace uso de casquillos de inserción que comprenden una primera parte y una parte de extensión que tiene flexibilidad gradualmente aumentada en la dirección que se aleja de la primera parte.

Así se consigue que los casquillos, que están incrustados en la raíz de pala, y por tanto son solidarios con la misma, pueden proporcionar al mismo tiempo una conexión roscada resistente con un perno para el acoplamiento al cubo de la turbina eólica, y proporcionar una punta relativamente flexible, evitando así el desarrollo de concentraciones de esfuerzo, consiguiendo así una pala muy ligera que tiene un acoplamiento de alta resistencia.

Mientras que la primera parte del casquillo puede tener cualquier forma deseada, se prefiere, sin embargo, según una realización, que la primera parte del casquillo sea sustancialmente cilíndrica. De este modo, pueden conseguirse casquillos relativamente sencillos y por tanto, económicos, y además, un casquillo que tiene una primera parte sustancialmente cilíndrica ocupará relativamente poco espacio en el material compuesto de la raíz de pala.

Preferiblemente, los casquillos son metálicos, aunque pueden proporcionarse casquillos no metálicos, por ejemplo, fabricados de materiales compuestos de polímeros o de polímeros de alta resistencia.

La parte de extensión del casquillo puede estar biselada para proporcionar una sección transversal gradualmente reducida, por la que se consigue una flexibilidad gradualmente aumentada de una manera muy sencilla. Además, reduciendo la sección transversal de la parte de extensión del casquillo, una transición suave entre la primera parte del casquillo y la construcción de material compuesto de la raíz de pala en la dirección hacia la punta de pala. Adicionalmente, se reduce enormemente el riesgo de que queden atrapadas bolsas de gas en la construcción en los casquillos mediante esta transición suave.

La rosca interna de los casquillos puede extenderse por toda la longitud, se prefiere, sin embargo, que una primera parte de la primera parte no tenga rosca. De este modo, un perno introducido en el casquillo y enganchado en la rosca puede ponerse bajo tensión, de manera que la raíz de pala puede permanecer enganchada en todo momento con el cubo durante el ciclo de la pala, independientemente de la carga cíclica sobre la pala, carga que comprende fuerzas de tensión y compresión, y momentos de flexión y torsión.

Aunque puede ser ventajoso en algunas ocasiones proporcionar los casquillos con púas, pestañas radiales o similares sobre las superficies externas de los mismos, se prefiere según una realización usar casquillos que tienen una superficie externa lisa.

Para proporcionar un agarre adicional con el elemento de unión para unir los casquillos, las superficies externas de los casquillos pueden hacerse ligeramente rugosas mediante ataque químico, proyección de arena o similares.

En lo siguiente, la invención se describirá en más detalle a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos esquemáticos, en los que

la figura 1 es una vista en planta de una pala de turbina eólica,

la figura 2 es una vista desde un extremo de una raíz de pala,

la figura 3 es una sección longitudinal de un casquillo,

la figura 4 es una vista desde un extremo de una pala durante la fabricación,

la figura 5 es una vista en corte de la raíz de pala,

ES 2 293 261 T3

la figura 6 es una sección longitudinal de la raíz de pala a lo largo de la línea VI-VI en la figura 5, y

la figura 7 es una sección longitudinal de la raíz de pala a lo largo de la línea VII-VII en la figura 5.

5 Puede verse una vista en planta de la pala 1 de turbina eólica en la figura 1. La pala 1 comprende una parte 2 diseñada aerodinámicamente, que está conformada para la explotación óptima de la energía eólica, y una raíz 3 de pala para la conexión a un cubo (no mostrado) de una turbina eólica. La raíz 3 de pala es una zona sometida a intensa tensión de la pala de turbina eólica, ya que la pala de turbina eólica está sometida a fuerzas grandes debido al viento, las masas en rotación etc. Como un ejemplo, las palas 1 de turbina eólica comunes para una turbina eólica de 10 1,5 MW mide aproximadamente 35 m y la masa de cada pala es aproximadamente 6.000 kg. La mayoría de las palas de turbina eólica modernas comprenden una viga de alta resistencia hueca central y un recubrimiento aerodinámico que solamente tiene resistencia limitada, y normalmente tanto la viga como el recubrimiento están fabricados de un material compuesto de, por ejemplo, plásticos reforzados con fibras. Otros diseños de pala comprenden una viga en I o ninguna viga porque se refuerza el recubrimiento para ser autoportante.

15 La raíz 3 de pala puede verse en más detalle en la figura 2, que es una vista desde un extremo de la raíz 3 de pala. Para la conexión desconectable al cubo de una turbina eólica, la raíz 3 de pala comprende una pluralidad de casquillos 4, de los que solamente se muestran algunos, incrustados en la raíz 3 de pala, de modo que los pernos (no mostrados) pueden enroscarse en una rosca interna de los casquillos 4 para el enganche firme pero desconectable con los mismos.

20 La figura 3 es una sección longitudinal de un casquillo 4, que comprende una primera parte 6 y un parte 7 de extensión que tiene una sección transversal gradualmente reducida hasta un extremo 9 puntiagudo o casi puntiagudo, así que la parte de extensión tiene una flexibilidad gradualmente aumentada. La flexibilidad podría, por supuesto, proporcionarse por otros medios, tales como proporcionar ranuras u otros cortes en dirección axial o radial, tal como será evidente para un experto en la técnica. Las dos partes 6, 7 pueden ser solidarias o proporcionarse como partes 25 individuales, que pueden estar conectadas de manera permanente o desconectable, tal como mediante roscado, soldadura, encastrado a presión, etc. Actualmente se prefiere producir el casquillo 4 de dos partes independientes y juntarlas de manera desconectable mediante un roscado, aunque también podría usarse una conexión más permanente, tal como encolado, soldadura, soldadura fuerte o similares. Produciendo el casquillo 4 de dos partes independientes, el mecanizado de la parte 7 de extensión se realiza más fácilmente, y la rosca 5 se mecaniza más fácilmente en el orificio de perforación del casquillo. Se utilizó una rosca M30 en una realización para una pala de 35 m. Como alternativa, la rosca 5 puede proporcionarse en la parte 7 de extensión, y la parte 7 de extensión puede estar encastrada a presión en la primera parte 6.

35 Tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 3, el casquillo 4 comprende una rosca 5 interna. Proporcionando una parte 11 proximal sin rosca que se extiende desde el extremo 10 de la raíz de pala del casquillo 4, un perno enroscado en la rosca 5 puede ponerse bajo tensión y por tanto, actuar como una varilla de unión. De este modo, puede conseguirse una conexión firme con el cubo, y el perno estará bajo tensión durante el funcionamiento de la turbina eólica. Alternativamente, el casquillo 4 puede comprender una rosca 5 interna a lo largo de toda la longitud del mismo, 40 mientras que el perno estar dotado de una rosca cerca de la punta del mismo solamente, mediante lo que se consigue el mismo resultado porque el perno estará bajo tensión.

La figura 4 ilustra esquemáticamente una primera etapa en la fabricación de la raíz de pala, que se ilustra en más detalle en las figuras 5-7. La raíz 3 de pala es parte de la viga, que preferiblemente está fabricada de dos partes, que 45 se ensamblan después del endurecimiento. La raíz 3 de pala es sustancialmente circular, y por tanto, está compuesta por dos partes de sección transversal semicircular. Se coloca al menos una capa de estera de fibra en un molde (no mostrado), y se coloca un soporte 12, por ejemplo, fabricado de un material de espuma, sobre la estera de fibra. El soporte 12 tiene un número de espacios 13 rebajados para alojar los casquillos 4. Antes de colocar los casquillos 4 en los rebajes 13, el soporte 12 se reviste en el lado interior que cubre los rebajes 13 con al menos una primera capa 14 de estera de fibra, y el lado exterior del soporte 12 está dotado de un adhesivo 19 y un material 20 laminar de forro. Los casquillos 4 se colocan entonces en los rebajes 13 del soporte 12 en la parte superior la capa 14 de estera de fibra y se fijan a una placa de raíz (no mostrada) para el posicionamiento correcto de los mismos. Tiras 16 de fibra de vidrio, que constituyen el denominado plano medio, están dispuestas entre los casquillos 4 para extenderse en la dirección longitudinal de la pala. En una realización se utilizaron de cuatro a cinco capas de tiras 16 de fibra de vidrio dispuestas 50 unas encima de otras. Tal como puede verse en la figura 7, las capas de las tiras 16 de fibra de vidrio se extendieron al menos a lo largo de la longitud completa de los casquillos 4, y eran de longitud diferente, de modo que se consiguió una transición suave.

En la realización según la figura 6, el casquillo 4 está compuesto por dos partes separadas, concretamente la primera 60 parte 6 y la parte 7 de extensión. La primera parte 6 comprenden una rosca interna en el extremo para el enganche con una rosca externa de la parte 7 de extensión. Ambas partes 6, 7 se proporcionan como tuberías huecas, sin embargo, la parte de extensión está biselada o pulimentada para proporcionar un elemento de extensión que tiene una flexibilidad gradualmente aumentada en la dirección que se aleja de la raíz 3 de pala hacia la punta de la pala de turbina eólica. Tal como puede verse en la figura 6, un tapón 17 está dispuesto adyacente a la rosca 5 en el extremo abierto del casquillo 4, para evitar la entrada de epoxi, etc. a la rosca 5. Además, una cuña 18 de espuma está dispuesta en el rebaje del casquillo 4, para garantizar una unión segura del casquillo y evitar las bolsas de aire en el material laminar. Capas 65 15 de estera de fibra adicionales están dispuestas en los casquillos 4, de modo que se proporciona una raíz de pala de construcción laminar. Cuando se termina la raíz de pala de construcción compuesta, la construcción se compacta

ES 2 293 261 T3

preferiblemente, por ejemplo, mediante esteras de vacío. A continuación en el presente documento, las esteras se endurecen, tal como aplicando un aglutinante, tal como epoxi mediante pulverización o similares. Los casquillos 4 se unen en la construcción de raíz de pala laminada a lo largo de la longitud completa del casquillo 4 desde el extremo 10 de la raíz de pala del mismo hasta el extremo 6 puntiagudo o casi puntiagudo del mismo, para proporcionar un anclaje seguro del casquillo 4 en la raíz 3 de pala. Después del endurecimiento, la plaza de raíz se desmonta de los casquillos 4. Preferiblemente, las esteras con termoendurecibles, y en este caso, el molde que aloja la raíz de pala de caliente hasta una temperatura de curado. Las esteras adecuadas incluyen esteras de fibra de los denominados materiales preimpregnados y SPRINT®, tal como se suministran por el grupo Gurit Hberlein, Suiza, que comprenden una resina, tal como epoxi. La temperatura para termoendurecer estos materiales es aproximadamente 120°C. Las esteras deberían entenderse como cualquier tipo de banda, tejido, malla, etc, fabricada, por ejemplo, mediante tejeduría, trenzado, tricotado o algún tipo de entremezclado de filamentos de fibras de refuerzo, y filamentos opcionales de fibras termoplásticas u otro tipo de aglutinante. Las esteras deben extenderse preferiblemente en la dirección longitudinal de la pala para proporcionar una transición suave entre la raíz de pala y la viga.

Se encuentra que la pala según la invención pesa aproximadamente 4.500 kg, mientras que las palas de la técnica anterior pesan aproximadamente 6.000 kg, es decir, una reducción del 25%. Claramente, ésta es una gran reducción, que hará la manipulación de la pala durante la fabricación, el transporte y la fijación de la misma más fáciles y menos caros. Las palas ligeras significan además carga reducida sobre las partes estructurales de la turbina eólica.

Como un ejemplo, se incrustaron 54 casquillos en la raíz de una pala para una turbina de 1,5 MW que tenía tres palas que medían 35 m y cada casquillo tenía una longitud total de aproximadamente 80 cm. Por supuesto, el número y las dimensiones de los casquillos dependen de parámetros tales como el material (resistencia, flexibilidad, etc.) y la forma de los casquillos.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de una raíz de pala de turbina eólica que tiene casquillos (4) de inserción completamente
5 unidos con rosca (5) interna para montar pernos para el acoplamiento desconectable a un cubo de una turbina eólica,
comprendiendo el método las etapas de:

proporcionar una primera capa de estera de fibra, disponer casquillos (4) en la primera capa de estera de
fibra para extenderse principalmente en la dirección longitudinal de la pala (1),

10 proporcionar capas de estera de fibra adicionales en la parte superior de los casquillos (4), y consolidar la
estera de fibra,

caracterizado por

15 una etapa inicial de proporcionar un soporte (12) que tiene rebajes (13) espaciados para alojar los casquillos (4),
disponer la primera capa de estera de fibra sobre el soporte (12) y disponer los casquillos (4) en dichos rebajes (13).

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** por la etapa adicional de compactar las esteras de fibra usando
20 esteras de vacío.

3. Método según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por el uso de esteras de un tipo preimpregnado y por la
etapa adicional de calentar la raíz (3) de pala para consolidar las esteras preimpregnadas.

25 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por el uso de casquillos de inserción que
comprenden una primera parte (6) y una parte (7) de extensión que tiene flexibilidad gradualmente aumentada en la
dirección que se aleja de la primera parte (6).

5. Método según la reivindicación 4, en el que la primera parte (6) del casquillo (4) es sustancialmente cilíndrica.

30 6. Método según la reivindicación 4 ó 5, en el que los casquillos (4) son metálicos.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la parte de extensión (7) del casquillo (4) está
biselada para proporcionar una sección transversal gradualmente reducida.

35 8. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que una parte (11) proximal de dicha primera parte
(6) no tiene rosca.

40 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en el que las superficies externas de los casquillos (4)
son lisas.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en el que las superficies externas de los casquillos (4)
son ligeramente rugosas.

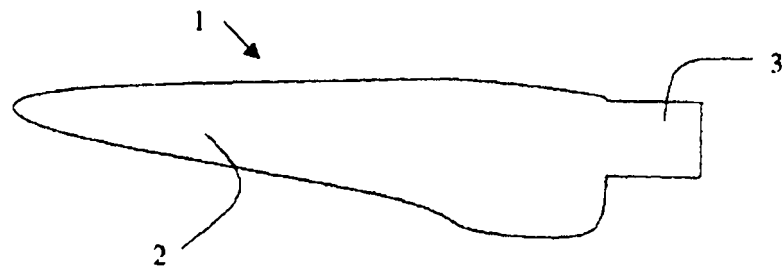


Fig. 1

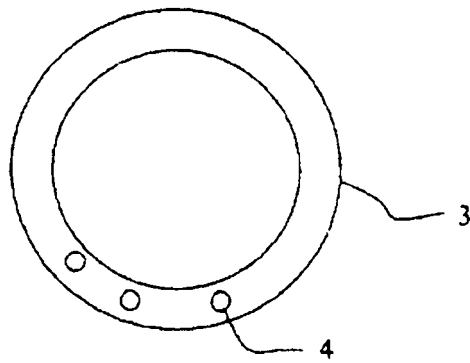


Fig. 2

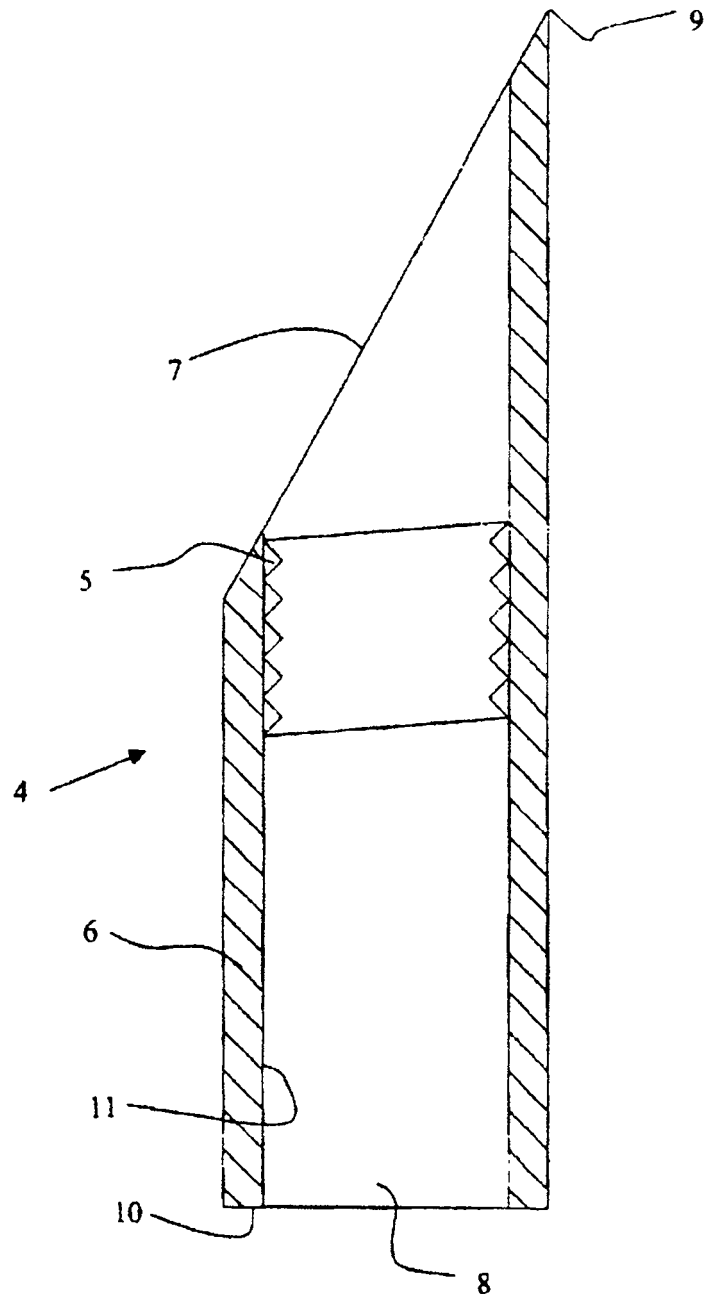


Fig. 3

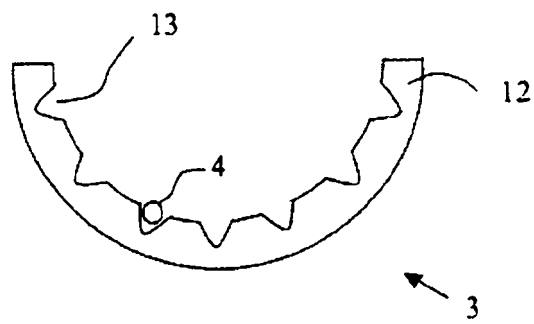


Fig. 4

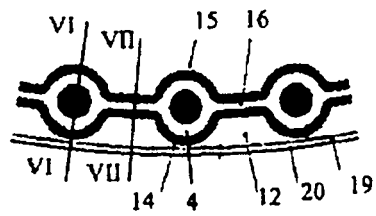


Fig. 5

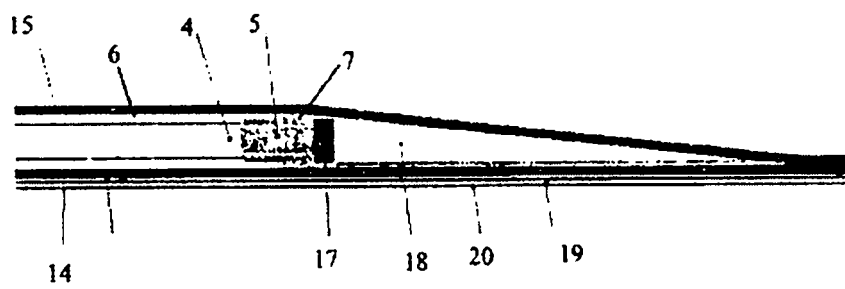


Fig. 6

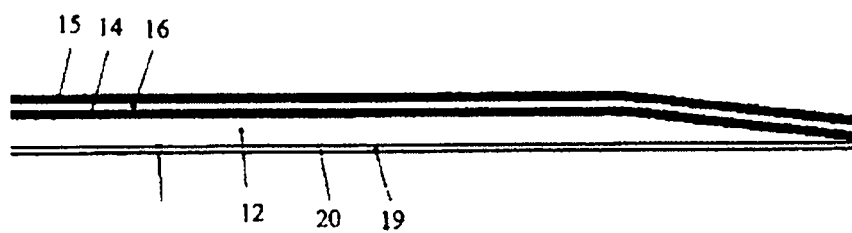


Fig. 7