



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

**(11) PI 0411022-6 B1**



\* B R P I 0 4 1 1 0 2 2 B 1 \*

**(22) Data de Depósito:** 10/06/2004

**(45) Data da Concessão:** 11/08/2015  
**(RPI 2327)**

---

**(54) Título:** Método para fabricação de pá de turbina eólica

**(51) Int.Cl.:** B64C11/06; F03D1/06

**(30) Prioridade Unionista:** 12/06/2003 EP 03388045.1

**(73) Titular(es):** SSP TECHNOLOGY A/S

**(72) Inventor(es):** Flemming Sorensen, Rune Schyttnielsen

## "MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE PÁ DE TURBINA EÓLICA"

A presente invenção está relacionada a um método de fabricação de uma raiz de pá para uma pá de turbina eólica possuindo mancais inseridos completamente ligados com rosca interna para montagem de pinos para ligação liberável ao cubo de uma turbina eólica, o método compreendendo as etapas de prover uma primeira camada de manta de fibra, dispor mancais na primeira camada de manta de fibra para estender amplamente na direção longitudinal da pá, prover camadas adicionais de manta de fibra no topo dos mancais, e consolidar a manta de fibra.

As turbinas eólicas são usadas há décadas para explorar a energia dos ventos, por exemplo para produção de eletricidade. Para reduzir o preço da eletricidade produzida por tais turbinas eólicas, o tamanho das turbinas eólicas cresceu até uma potência nominal média atual das turbinas eólicas comerciais de aproximadamente 1,5 MW, enquanto turbinas eólicas de até 3 MW estão em desenvolvimento, sendo esperado que turbinas eólicas ainda maiores sejam comercializadas nos próximos anos. As turbinas eólicas comerciais comuns possuem três pás, as quais, em uma turbina de vento de 1,5 MW, possuem um comprimento de aproximadamente 35 m.

As pás são submetidas a grandes forças e momentos de flexão, entre outras causas, devido à pressão do vento e devido ao peso e rotação das pás; além disto as pás estão sujeitas à fadiga devido à carga cíclica. Como exemplo, durante uma revolução a pá passa por uma região de carga máxi-

ma de vento na parte superior do círculo, enquanto que a pá experimenta uma área de vento fraco (ou mesmo calmaria) quando a pá passa pela torre. Adicionalmente, o vento normalmente não é constante, uma vez que podem ocorrer rajadas de vento. Naturalmente a raiz da pá e a conexão da pá ao cubo devem ser capazes de suportar a carga da pá, ou o cubo seria devastador e potencialmente fatal para pessoas próximas à turbina eólica.

Ao longo dos anos, diferentes estratégias foram tentadas, como pode ser constatado na Patente U.S. Nº 4 915 590 que descreve um método de ligação para pás de turbina eólica. Tal ligação de pá da técnica anterior compreende hastes de sucção de fibra de vidro fixadas na raiz da pá, hastes de sucção estas que não estão ligadas à raiz da pá por uma parte substancial, formando uma extremidade livre na extremidade da raiz, adicionalmente a extremidade livre das hastes de sucção está rebaixada em relação à extremidade da raiz de pá, o que significa que as hastes de sucção podem ser colocadas sob tensão. A patente indica que as hastes de sucção podem estar desligadas da pá do rotor por aproximadamente 85 % do comprimento. As hastes de sucção são afiladas em seu diâmetro em direção à extremidade fixada na área ligada, onde a haste é internamente acoplada à pá. Apesar de tal poder ser apropriado para pás relativamente pequenas, usadas nas turbinas eólicas em agosto de 1987, quando tal pedido US foi depositado, tal estrutura da técnica anterior não é adequada, todavia, para as pás relativamente grandes usadas atualmente, uma vez que as hastes de sucção não serão

capazes de suportar as forças muito elevadas presentes na raiz da pá de pás de grande porte, especialmente uma vez que as hastes estão ligadas à raiz da pá em uma extensão muito limitada.

5           Na ligação de pá do WO A2 01/42 647, a pá está conectada ao cubo por meio de pinos aparafusados em insertos providos em orifícios radiais na raiz da pá. Constitui uma desvantagem, no entanto, o fato de que orifícios radiais devam ser providos na raiz da pá, uma vez que tais orifícios  
10 enfraquecem seriamente a estrutura e propiciam uma concentração de tensões, o que significa que a raiz da pá deve ser construída de modo a ser muito resistente, e portanto pesada, o que também coloca a estrutura sob tensão.

          Uma estrutura similar está descrita na Patente  
15 U.S. Nº 6 371 730, que descreve uma pá conectada ao cubo por meio de pinos aparafusados em porcas inseridas em orifícios cegos radiais na raiz da pá. Apesar de os orifícios não serem passantes, eles ainda enfraquecem a raiz da pá e portanto tal estrutura também não é vantajosa.

20           Foi também tentado o provimento de uma raiz de pá com mancais com ligações completas ou embutidos, possuindo cada um uma parte projetante de um pino roscado, tal como descrito na Patente U.S. Nº 4 420 354. Tal técnica anterior inclui a perfuração de um orifício relativamente grande que  
25 se estende axialmente na raiz da pá feita de um material composto de madeira e resina, orifício este em que o mancal, possuindo um mangote de resina pré-formado, é ligado por resina. Com tal técnica anterior uma quantidade relativamente

grande do material da raiz da pá é removido, o que enfraquece a estrutura, de forma a que a raiz da pá deve ser superdimensionada. Especialmente com as pás de grande porte de materiais compostos modernos, tais como plásticos reforçados com fibras, os quais são relativamente flexíveis, a concentração de tensão na extremidade dos mancais pode ser prejudicial, uma vez que os mancais são significativamente mais rígidos. Além do mais, esse método da técnica anterior é um pouco destrutivo, e como os materiais compostos de fibras para a raiz da pá são muito caras, e o serão de modo crescente cada vez que pás grandes são desenvolvidas, de modo que é esperado que os materiais de alta tecnologia como materiais compostos de fibra de carbono sejam introduzidos, visto que esse procedimento não é favorecido.

De maneira geral, métodos de técnicas anteriores do tipo de conjunto para frente são um pouco consumidores de tempo e trabalho intensivo, de modo que os mancais sejam espaçados por blocos de, por exemplo, um material de névoa, e os blocos e os mancais devem ser dispostos cuidadosamente. Adicionalmente, existe um risco de bolsões de ar sendo formados na raiz da pá entre os mancais e os blocos, e tal que os bolsões de ar, que são difíceis de detectar, irão deteriorar seriamente a resistência da raiz da pá.

Constitui um objetivo da presente invenção proporcionar um método do tipo de conjunto para frente para habilitar a produção de uma pá de turbina eólica de baixo peso, possuindo uma ligação ou acoplamento de alta resistência.

Para atingir tal objetivo, o método de acordo com a invenção é caracterizado pela etapa inicial de prover um retentor possuindo recessos espaçados para acomodar os mancais, dispor a primeira camada de manta de fibra sobre o retentor e dispor os mancais nos ditos recessos.

De acordo com uma modalidade, o método compreende a etapa adicional de compactar as mantas de fibras usando mantas de vácuo, onde uma compactação firme é alcançada e o risco de bolsas de gás retidas nos materiais compostos é significativamente reduzido.

As mantas devem ser mantas secas, contendo somente fibras reforçadas. De acordo com uma modalidade, no entanto, as mantas são do tipo pre-preg, onde a pá pode ser produzida de uma forma muito eficiente, uma vez que toda pá pode ser consolidada em uma peça após a deposição do material composto, por exemplo, por aquecimento para curar um ligante termoesetável incluído no material composto.

Em uma modalidade preferida do uso do método está a realização de inserção de mancais compreendendo uma primeira técnica e uma técnica de extensão possuindo flexibilidade gradualmente crescente na direção afastada da primeira técnica.

Dessa forma, se consegue que os mancais, que estão embutidos na raiz da pá e portanto estão integrados à mesma, propiciam concomitantemente uma forte conexão roscada com um pino para ligação ao cubo da turbina eólica e uma ponta relativamente flexível, de forma a evitar o desenvolvimento de concentrações de tensão. Por meio disso é portanto obtida

uma pá de peso muito baixo possuindo uma ligação de elevada resistência.

Considerando a primeira parte de mancal que pode possuir qualquer formato desejável, é preferido, no entanto, de acordo com uma modalidade, aquela primeira parte do mancal é substancialmente cilíndrica. Por meio disso, mancais relativamente simples e portanto eficientes em termos de custo, podem ser obtidos e adicionalmente um mancal possuindo uma primeira parte substancialmente cilíndrica irá tomar espaço relativamente pequeno no material composto da raiz da pá.

Preferivelmente, os mancais são metálicos, apesar de poderem ser providos mancais não metálicos, por exemplo feitos de polímeros ou materiais compostos de polímeros de alta resistência.

A parte de extensão do mancal pode ser chanfrada para prover uma seção transversal gradualmente reduzida, pelo que é obtida uma flexibilidade gradualmente crescente de uma forma muito simples. Além disso, pela redução da seção transversal da parte de extensão do mancal, ocorre uma transição suave entre a primeira parte do mancal e a estrutura composta da raiz da pá na direção adiantada da ponta da pá. Ademais, o risco de bolsões de ar ou gás ficarem retidos no interior da estrutura nos mancais é grandemente reduzido por tal transição suave.

A rosca interna dos mancais pode se estender por todo o comprimento, é preferido, no entanto, que uma primeira parte da primeira parte esteja livre de fios de rosca.

Por meio disso, se consegue que um pino introduzido no mancal e acoplado na rosca possa ser colocado sob tensão, de tal forma que a raiz da pá possa ser mantida acoplada com o cubo em todos os momentos durante o ciclo da pá, independentemente da carga cíclica sobre a pá, carga esta que compreende forças de tensão e compressão, bem como momentos de dobragem e torção.

Apesar de ser vantajoso, em alguns casos, prover os mancais com farpas, flanges radiais, ou similares sobre as superfícies externas dos mesmos, é preferido de acordo com uma modalidade para usar mancais, possuindo uma superfície externa lisa.

Para propiciar maior fricção com o ligante para adesão aos mancais, as superfícies externas dos mancais podem ser tornadas ligeiramente ásperas, tal como através de decapagem química, jateamento com areia ou similares.

A seguir, a invenção será descrita em maiores detalhes, por meio de exemplos e fazendo referência ao desenho esquemático, em que:

A Figura 1 é uma vista em planta de uma pá de turbina de vento;

A Figura 2 é uma vista terminal de uma raiz de pá;

A Figura 3 é um corte longitudinal de um mancal;

A Figura 4 é uma vista terminal de uma pá durante a fabricação;

A Figura 5 é uma vista em corte da raiz da pá;

A Figura 6 é um corte longitudinal da raiz da pá ao longo da linha VI-VI na Figura 5; e

A Figura 7 é um corte longitudinal da raiz da pá ao longo da linha VII-VII na Figura 5.

Uma pá de turbina eólica 1 pode ser vista em projeção na Figura 1. A pá 1 compreende uma parte 2 aerodinamicamente desenhada, a qual é conformada para a exploração ideal da energia eólica, e uma raiz de pá 3 para conexão a um cubo ou eixo (não é mostrado) de uma turbina eólica. A raiz de pá 3 constitui uma área pesadamente tensionada da pá da turbina eólica, a medida que a pá de turbina eólica é submetida a elevadas forças devido ao vento, às massas em rotação, etc. Como exemplo, pá 1 de turbina eólica comuns para uma turbina eólica de 1,5 MW medem aproximadamente 35 m e a massa de cada pá é de aproximadamente 6.000 kg. A maioria das pás de turbina eólica modernas compreende uma haste ou viga oca de alta resistência e uma cobertura aerodinâmica possuindo apenas resistência limitada, normalmente tanto a viga como a cobertura são feitas de um material composto de, por exemplo, plásticos reforçados por fibras. Outros desenhos de pás compreendem uma viga em I ou nenhuma viga pelo fato de que a cobertura é reforçada de modo a ser autoportante.

A raiz de pá 3 pode ser observada em maiores detalhes na Figura 2, a qual é uma vista terminal da raiz de pá 3. Para conexão liberável ao cubo de uma turbina eólica, a raiz de pá 3 compreende uma pluralidade de mancais 4, dos quais apenas alguns são mostrados, embutidos na raiz de pá 3, de forma a que pinos ou parafusos (não são mostrados) possam ser aparafusados em uma rosca interna dos mancais 4

para acoplamento firme porém liberável com a mesma.

A Figura 3 é um corte longitudinal de um mancal 4, o qual compreende uma primeira parte 6 e uma parte de extensão 7 possuindo uma seção transversal gradualmente reduzida até uma extremidade em ponta ou quase em ponta 9, de forma a que a parte de extensão possua uma flexibilidade gradualmente crescente. A flexibilidade poderia ser, naturalmente, provida por outros meios, tais como pelo provimento de fendas ou outros cortes na direção radial ou axial, como ficará claro para os técnicos na área. As duas partes 6 e 7, podem ser integradas ou providas na forma de duas peças individuais, as quais podem ser conectadas de forma permanente ou liberável, tal como por parafusos, soldagem, encaixa por pressão, etc. Atualmente é preferida a produção do mancal 4 em duas peças independentes e a união delas por um rosqueamento, apesar de que uma conexão mais permanente poderia também ser usada, tal como por colagem, soldagem, solda forte, ou similares. Pela produção do mancal 4 em duas peças separadas, o torneamento da parte de extensão 7 é efetuado mais facilmente e a rosca 5 é mais facilmente torneada no orifício do mancal. Uma rosca M30 foi usada em uma modalidade para uma pá de 35 m. Como alternativa, a rosca 5 pode ser provida na parte de extensão 7 e a parte de extensão 7 pode ser encaixada por pressão na primeira parte 6.

Como está esquematicamente ilustrado na Figura 3, o mancal 4 compreende uma rosca interna 5. Pelo provimento de uma parte próxima 11 livre de rosca, que se estende a partir da extremidade de raiz de pá 10 do mancal 4, um pino

aparafusado na rosca 5 pode ser colocado sob tensão e portanto atuar como uma haste de amarração ou pino de ancoragem. Dessa forma, pode ser conseguida uma conexão firme com o cubo e o pino ficará sob tensão durante a operação da turbina eólica. Alternativamente, o mancal 4 pode compreender uma rosca interna 5 ao longo de todo o seu comprimento, enquanto que o pino pode ser provido apenas com uma rosca próxima à ponta do mesmo, pelo que o mesmo resultado é obtido, pelo fato de que o pino ficará sob tensão.

10           A Figura 4 ilustra esquematicamente uma primeira etapa na fabricação da raiz de pá, o que está mais detalhadamente ilustrado nas Figuras 5 a 7. A raiz de pá 3 faz parte da viga, a qual é de preferência feita de duas peças, as quais são montadas após endurecimento. A raiz de pá 3 é  
15 substancialmente circular e portanto constituída por duas peças de seção transversal semicircular. Pelo menos uma camada de manta de fibras é posicionada em um molde (não é mostrado) e um retentor 12, por exemplo feito de um material de espuma, é posicionado sobre a manta de fibras. O retentor  
20 12 possui um certo número de recessos 13 espaçados para acomodação dos mancais 4. Antes de posicionar os mancais 4 nos recessos 13, o retentor 12 é alinhado sobre o lado interno cobrindo os recessos 13 com pelo menos uma primeira camada  
25 14 de manta de fibras e o lado externo do retentor 12 é provido com um adesivo 19 e um laminado de casco 20. Os mancais 4 são a seguir posicionados nos recessos 13 do retentor 12 sobre a camada de manta de fibras 14 e fixados a uma placa de raiz (não é mostrada) para o posicionamento correto dos

mesmos. Fitas de fibra de vidro 16, constituindo o chamado plano intermediário, são dispostas entre os mancais 4 para se estender na direção longitudinal da pá. Quatro a cinco camadas de fitas de fibra de vidro 16 dispostas umas sobre as outras foram usadas em uma modalidade. Como pode ser visto na Figura 7, as camadas de fitas de fibra de vidro 16 se estendem pelo menos ao longo de todo o comprimento dos mancais 4 e eram de diferentes comprimentos, de forma a se obter uma área de transição suave.

10 Na modalidade de acordo com a Figura 6, o mancal 4 é feito de duas peças ou partes separadas, quais sejam a primeira parte 6 e a parte de extensão 7. A primeira parte 6 compreende uma rosca interna na extremidade para acoplamento com uma rosca externa da parte de extensão 7. Ambas as partes 6 e 7 são providas na forma de tubos ocos. No entanto, a parte de extensão é chanfrada ou lixada para prover um membro de extensão possuindo flexibilidade gradualmente crescente na direção afastada da raiz de pá 3, em direção à ponta da pá de turbina eólica. Como pode ser visto na Figura 6, um fim de curso 17 é disposto adjacente à rosca 5 na extremidade aberta do mancal 4, para evitar a entrada de epóxi, etc., na rosca 5. Além disso, uma cunha de espuma 18 é disposta no recesso do mancal 4 para assegurar uma adesão firme do mancal e evitar bolsas de ar no laminado. Camadas adicionais de mantas de fibras 15 são dispostas sobre os mancais 4, de forma a que seja provida uma raiz de pá de estrutura laminada. Quando a raiz de pá de estrutura composta é acabada, a estrutura é de preferência compactada, por exemplo por

meio de mantas de vácuo. A seguir, as mantas são endurecidas, tal como pela aplicação de um ligante, tal como um epóxi, por borrifamento ou processo similar. Os mancais 4 são ligados na estrutura de raiz de pá laminada ao longo de todo o comprimento do mancal 4 desde a sua extremidade 10 da raiz de pá até a extremidade em ponta, ou quase em ponta, 9 da mesma, para prover uma fixação ou ancoragem segura do mancal 4 na raiz de pá 3. após o endurecimento, a placa de raiz é destacada dos mancais 4. De preferência, as mantas são termoeleáveis e, neste caso, o molde que acomoda a raiz de pá é aquecido até uma temperatura de endurecimento. As mantas adequadas incluem mantas de fibras dos materiais designados como SPRINT e "pre-preg", compreendendo uma resina, tal como um epóxi. A temperatura para termo-estabilização de tais materiais é de aproximadamente 120 °C. O termo manta significa qualquer tipo de rede, trama, tecido, malha, etc., produzido por exemplo por tessitura, tramagem, ou algum outro tipo de entrelaçamento de filamentos de fibras de reforço e filamentos opcionais de fibras termoplásticas ou outro tipo de ligante. As mantas devem de preferência se estender na direção longitudinal da pá para prover uma transição suave entre a raiz da pá e a viga.

Foi constatado que a pá de acordo com a invenção pesa aproximadamente 4.500 kg, enquanto que as pás da técnica anterior pesam aproximadamente 6.000 kg, isto é, uma redução de 25 %. Claramente, esta constitui uma grande redução, que irá tornar muito mais fácil e barato o manuseio da pá durante a fabricação, transporte e fixação da mesma. Além

disso, pás mais leves significam carga reduzida sobre as peças estruturais da turbina eólica.

Como exemplo, 54 mancais foram embutidos na raiz de uma pá para uma turbina de 1,5 MW possuindo três pás medindo 35 m, cada mancal possuindo um comprimento total de aproximadamente 80 cm. Naturalmente o número e dimensões dos mancais dependem de parâmetros tais como o material (resistência, flexibilidade, etc.) e o formato dos mancais.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricação de uma raiz de pá de turbina eólica possuindo mancais (4) inseridos completamente ligados com rosca interna (5) para montagem de pinos para ligação liberável ao cubo, o método compreendendo as etapas de:

prover uma primeira camada de manta de fibra,  
dispor mancais (4) na primeira camada de manta de fibra para estender amplamente na direção longitudinal da pá (1),

prover camadas adicionais de manta de fibra no topo dos mancais (4), e

consolidar a manta de fibra,  
**15**           **CARACTERIZADO** pelo fato de que inclui uma etapa inicial de prover um retentor (12) possuindo recessos (13) espaçados para acomodar os mancais (4), dispor a primeira camada de manta de fibra no retentor (12) e dispor os mancais (4) nos ditos recessos (13).

20           2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a etapa adicional de compactar as mantas de fibras usa mantas de vácuo.

            3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **25** **CARACTERIZADO** pelo fato de que usar mantas de um tipo pre-preg e pelo fato de que a etapa adicional de aquecimento da raiz de pá (3) consolida as mantas pre-preg.

            4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o uso de

inserção de mancais compreendendo uma primeira técnica (6) e uma técnica de extensão (7) possuir um aumento gradual de flexibilidade na direção afastada a partir da primeira técnica (6).

5            5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira técnica (6) dos mancais (4) é substancialmente cilíndrica.

            6. Método, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os mancais (4) são metálicos.

10           7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 4 a 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a técnica de extensão (7) dos mancais (4) é chanfrada para prover uma seção seção transversal gradualmente reduzida.

            8. Método, de acordo com qualquer umas das reivindicações de 4 a 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que uma técnica próxima (11) da primeira técnica (6) não possui roscas.

            9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 4 a 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as superfícies externas dos mancais (4) são lisas.

20           10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 4 a 9, **CARACTERIZADO** pelo fato de que as superfícies externas dos mancais (4) são ligeiramente ásperas.

1/3

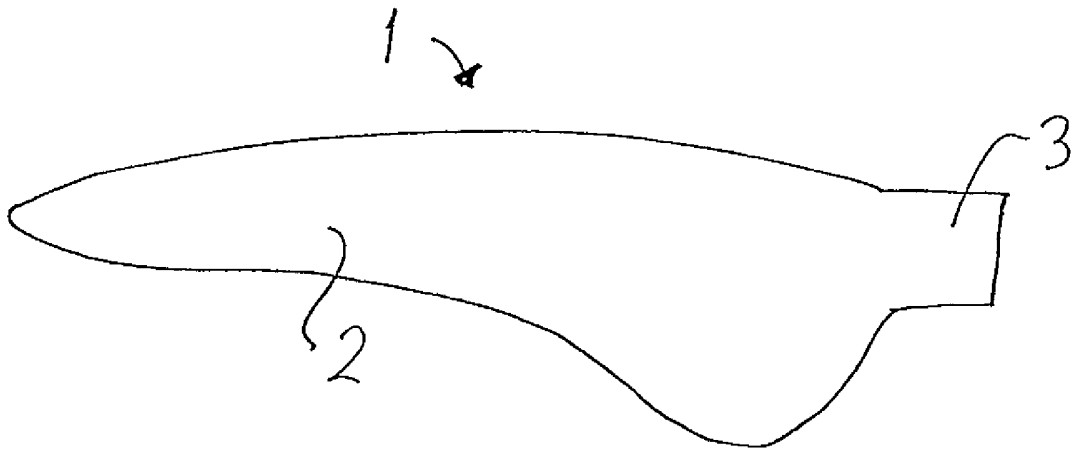


Fig. 1

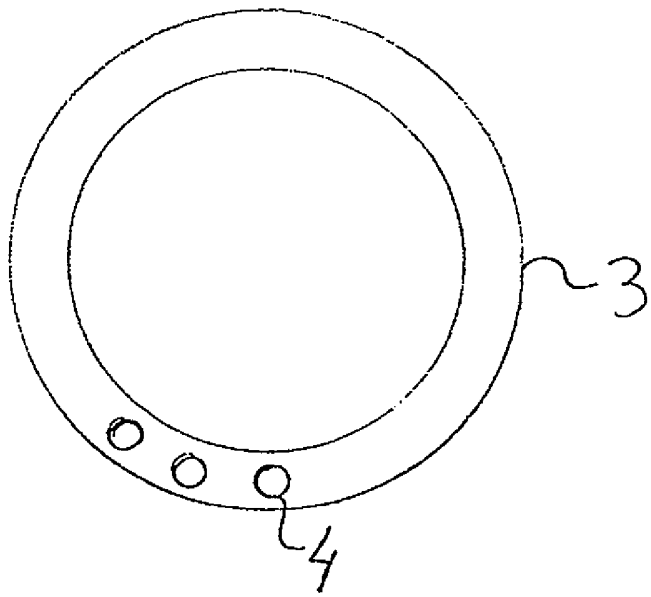


Fig. 2

2/3

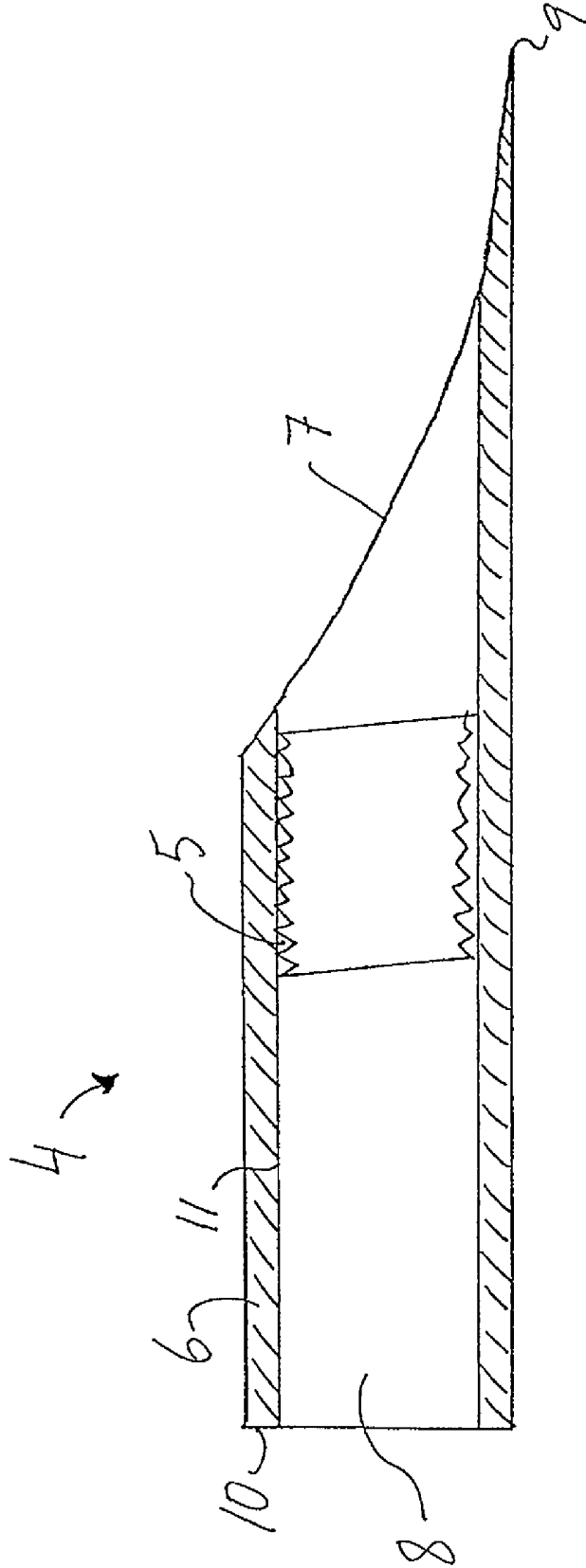


Fig. 3

3/3

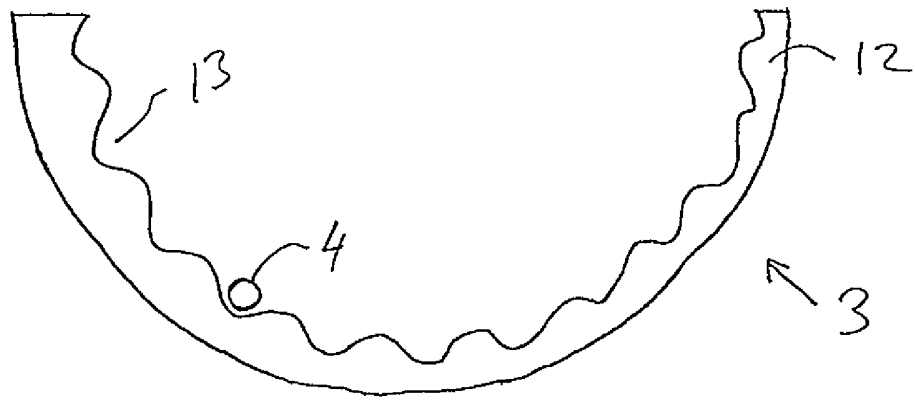


Fig. 4

## RESUMO

### "MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE PÁ DE TURBINA EÓLICA"

É descrito um método para fabricação de uma raiz de pá de uma pá de turbina eólica, possuindo uma parte de pá aerodinamicamente desenhada e uma raiz de pá adaptada para 5 ligação liberável ao cubo ou eixo de uma turbina eólica, a raiz de pá possuindo estrutura laminada e compreendendo uma pluralidade de mancais (4) completamente ligados que se estendem de um modo geral na direção longitudinal da pá, tais 10 mancais (4) sendo providos com uma rosca interna (5) para montagem de pinos para ligação liberável ao cubo, em que os mancais (4) compreendem uma primeira parte (6) e uma parte de extensão (7) possuindo flexibilidade gradualmente crescente na direção afastada da primeira parte (6) para prover 15 uma pá leve de alta resistência.