

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

(21) **PI 0621730-3 A2**

BRPI0621730A2

(22) Data de Depósito: 09/06/2006

(43) **Data da Publicação:** 20/12/2011
(RPI 2137)

(51) **Int.Cl.:**

F03D 1/06

F03D 11/00

B64C 23/06

(54) **Título:** PÁ DE TURBINA EÓLICA, E TURBINA EÓLICA DE PASSO CONTROLADO

(73) **Titular(es):** Vestas Wind Systems A/S

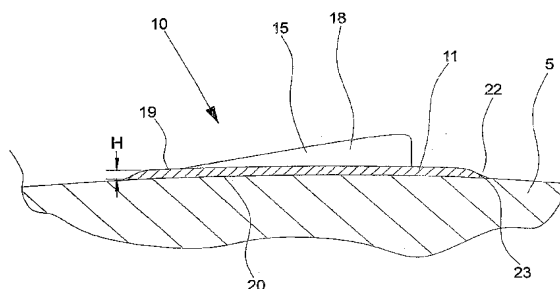
(72) **Inventor(es):** Michael Drachmann Haag

(74) **Procurador(es):** Walter de Almeida Martins

(86) **Pedido Internacional:** PCT DK2006000326 de
09/06/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/140771 de
13/12/2007

(57) **Resumo:** PÁ DE TURBINA EÓLICA, E TURBINA EÓLICA DE PASSO CONTROLADO. A invenção refere-se a uma pá (5) de turbina eólica compreendendo uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência, em que as tiras (10) são dispostas sobre uma superfície da pá (5). A pá (5) é caracterizada por pelo menos uma área de junção (22) das tiras (10) geradoras de turbulência com a superfície da pá (5) ser totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação (23). A invenção refere-se adicionalmente a uma turbina eólica (1) de passo controlado compreendendo pelo menos duas pás (5) de turbina eólica de passo controlado e meios de controle de passo para ajuste do passo das pás (5). A turbina eólica (1) de passo controlado é caracterizada por as pás (5) compreenderem uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência, em que pelo menos uma área de junção (22) das tiras (10) geradoras de turbulência com uma superfície das pás (5) ser totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação (23).





PÁ DE TURBINA EÓLICA, E TURBINA EÓLICA DE PASSO CONTROLADO

Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a uma pá de turbina eólica conforme especificada no preâmbulo da reivindicação 1 e a uma turbina eólica com controle de passo conforme especificada no preâmbulo da reivindicação 14.

Descrição da Técnica Associada

Uma turbina eólica conhecida na técnica compreende uma torre de turbina eólica e uma nacela de turbina eólica posicionada no topo da torre. Um rotor de turbina eólica com várias pás de turbina é acoplado à nacela através de um eixo de baixa velocidade, que se estende para fora da parte frontal da nacela conforme se encontra ilustrado na Figura 1.

As demandas relativas a turbinas eólicas modernas de grandes dimensões aumentam constantemente - particularmente no que se refere a saída de potência. Quanto maior for a potência a ser produzida pela turbina eólica, maior serão a turbina eólica em seu todo e as diversas partes da turbina eólica. Porém as turbinas eólicas modernas de grandes dimensões já são tão grandes que existe um problema crescente de transporte e montagem das mesmas. É portanto essencial que as diversas partes da turbina eólica sejam fabricadas de forma a serem tão eficientes quanto for possível, para produzirem mais energia sem aumento de dimensões.

Este desenvolvimento tem sido profundo particularmente no diz respeito às pás das turbinas eólicas. Para aumento da potência, as pás são projetadas de forma tão otimizada quanto possível relativamente à conversão de energia do vento e as pás são utilizadas de forma mais eficiente com relação ao ângulo de ataque relativo ao vento em chegada. Porém existe uma desvantagem no fato de as pás estolarem mais facilmente ou pelo menos as pás estolarem através de uma grande área da pá.

Uma das principais consequências do estol consiste na emissão de ruído, e os ruídos nas pás que são induzidos por estol constituem quase sempre a principal fonte de ruído das turbinas eólicas modernas. Este problema pode ser abordados de diversas maneiras e uma das mesmas encontra-se divulgada na patente internacional nº WO 01/16482, em que as pás de uma turbina eólica com controle de estol relativamente pequena são providas com geradores de vórtice. Os geradores de vórtice criam turbulência no ar em passagem, dessa forma reduzindo a área da pá em que ocorre estol ou eliminando completamente o estol. Porém as turbinas eólicas, e portanto também as pás de turbinas eólicas, são tipicamente feitas para durarem 20 anos, e devido ao fato de os geradores de vórtice se encontrarem altamente expostos a radiação UV, chuva, neve, granizo e grandes variações de temperatura além de serem constantemente arrastadas através do ar em velocidade muito alta, existe um grande risco de os geradores de vórtice

serem arrancados da superfície da pá. Os geradores de vórtice podem evidentemente ser simplesmente reparados ou substituídos, por exemplo a determinados intervalos, porém as pás não são fáceis de acessar e o tempo de inatividade das grandes turbinas eólicas modernas tem custos elevados.

Um objetivo da invenção consiste portanto na apresentação de uma técnica vantajosa para provisão de uma pá de turbina eólica com meios de geração de turbulência.

Um objetivo da invenção consiste particularmente na provisão de uma técnica que assegure que os meios de geração de turbulência mantenham sua função desejada durante um longo tempo.

Adicionalmente, um objetivo da invenção consiste na provisão de uma técnica vantajosa para equipar uma pá de turbina eólica, de uma turbina eólica com controle de passo, com meios de geração de turbulência.

A invenção

A invenção proporciona uma pá de turbina eólica compreendendo uma ou mais tiras geradoras de turbulência, em que as tiras são dispostas sobre uma superfície da pá. A pá é caracterizada pelo fato de pelo menos uma área de junção das tiras geradoras de turbulência com a superfície da pá ser totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação.

A superfície externa de uma pá de turbina eólica apresenta um ambiente muito agressivo e particularmente as tiras geradoras de turbulência, que são destinadas a

agitarem o fluxo de ar até certo ponto, correm um grande risco de serem arrancadas da pá, seja simplesmente devido às altas velocidades de vento ou devido a sujidade, chuva ou outros agentes que penetram lentamente na junção entre
5 as tiras e a superfície da pá.

A provisão de um meio de vedação na junta entre as tiras geradoras de turbulência e a superfície da pá é vantajosa, devido ao fato de tornar possível impedir que o vento ataque a junção e arranque a tira, sendo
10 simultaneamente possível impedir o ingresso de sujidade, água ou outros agentes na junção, degradando a fixação das tiras na pá. Desta forma, é assegurado que as tiras fiquem no lugar e mantenham sua função durante um longo tempo preferencialmente durante todo o tempo de vida útil da pá
15 de turbina eólica.

Deverá ser enfatizado que o termo "tira" significa qualquer tipo de material de grande comprimento, isto é, qualquer coisa desde uma placa curta alongada até uma fita muito longa.

20 Adicionalmente, deverá ser enfatizado que a expressão "área de junção" significa a área em e circundando a região em que o perímetro da tira contata ou topeja a superfície da pá. Em outras palavras, a área de junção é o entalhe mais ou menos visível entre a tira e a
25 superfície da pá e o ambiente imediatamente circundante.

Em um aspecto da invenção, as referidas uma ou mais tiras geradoras de turbulência são dispostas sobre uma

seção externa da referida pá de turbina eólica na direção da ponta da pá.

A emissão de ruído de uma pá de turbina eólica aumenta quando a velocidade de rotação da pá aumenta; e a
5 velocidade da pá, relativamente ao ar circundante, aumenta na direção da ponta da pá. É portanto vantajoso colocar as tiras geradoras de turbulência em uma seção externa da pá com relação à emissão de ruído.

Adicionalmente, o ouvido humano é particularmente
10 sensível ao ruído em uma banda de frequência estreita. A provisão da pá com tiras geradoras de turbulência na proximidade da ponta da pá amplia a banda de frequência em que o ruído é emitido, tornando o mesmo menos irritante para o ouvido humano.

15 Ainda adicionalmente, as tiras geradoras de turbulência podem transformar uma parte da frequência dos ruídos gerados, e quando são dispostas sobre a seção externa da pá, pelo menos uma parte do ruído pode ser transformado de baixa frequência para alta frequência. Isto
20 é vantajoso devido ao fato de o ar poder absorver os ruídos de alta frequência com muito mais eficiência que os ruídos de baixa frequência, e dessa forma é reduzida a emissão de ruído em geral da pá e portanto da turbina eólica em que a pá é montada, conforme o ruído é percebido pelo ouvido
25 humano.

Porém, conforme foi anteriormente explicado, a velocidade do vento aumenta na direção da ponta da pá,

dessa forma aumentando consideravelmente o risco de as
tiras geradoras de turbulência serem arrancadas da
superfície da pá. É portanto particularmente vantajoso
cobrir a área de junção entre as tiras geradoras de
5 turbulência e a superfície da pá com meios de vedação, se
as tiras forem dispostas sobre a parte externa da pá.

Reduzindo a emissão de ruído das pás torna-se
possível, por exemplo, erguer turbinas eólicas em
localizações mais próximas de áreas residenciais ou manter
10 uma operação normal da turbina eólica mesmo durante a
noite, quando em algumas áreas é necessário reduzir a
velocidade de rotação e portanto a potência produzida para
dessa forma ser obtida uma redução de emissão de ruído.

Em um aspecto da invenção, a referida seção externa
15 situa-se em uma faixa de 60% até 100% da extensão da
referida pá, por exemplo, a terça parte mais externa da
referida pá de turbina eólica.

A presente faixa proporciona uma disposição
vantajosa dos meios geradores de turbulência com relação à
20 emissão de ruído.

Em um aspecto da invenção, a referida seção externa
é subdividida em duas ou mais subseções, e as referidas
tiras geradoras de turbulência são substancialmente
uniformes dentro de cada uma das referidas subseções.

25 Tornar as tiras geradoras de turbulência uniformes
é vantajoso em termos de produção, já que as mesmas podem
ser produzidas em massa, com conseqüente redução

considerável do custo das tiras geradoras de turbulência individuais. Porém para reduzir eficientemente a emissão de ruído da pá, poderá ser vantajoso variar o aspecto ou a dimensão das tiras geradoras de turbulência através da
5 seção da pá em que as mesmas são distribuídas. Subdividindo-se a seção externa em duas ou mais subseções em que as tiras geradoras de turbulência são substancialmente uniformes é obtida uma relação vantajosa entre custos de fabricação e redução de emissão de ruídos.

10 Em um aspecto da invenção, as referidas tiras geradoras de turbulência compreendem uma base, e um ou mais meios geradores de turbulência estendendo-se substancialmente perpendicularmente a partir de uma superfície de topo da referida base.

15 A provisão das tiras geradoras de turbulência com uma base permite obter uma grande área para fixação firme das tiras à pá e a provisão dos meios geradores de turbulência estendendo-se substancialmente perpendicularmente a partir de uma superfície de topo da
20 base é vantajosa devido ao fato de assegurar que os meios geradores de turbulência mantenham sua posição desejada sobre a pá. Adicionalmente, o perímetro da base proporciona uma posição uniforme e portanto vantajosa de vedação da área de junção.

25 Adicionalmente esta construção permite que uma base possa ser provida com vários meios geradores de turbulência, dessa forma simplificando a fabricação e o

processo de montagem quando é necessário acoplar muitos meios geradores de turbulência a uma pá.

Em um aspecto da invenção, a referida base tem uma extensão longitudinal de entre 10 e 4000 mm, preferencialmente entre 50 e 1000 mm e mais preferencialmente entre 100 e 500 mm.

Se as tiras forem excessivamente curtas, as tiras tornam-se relativamente difíceis e demoradas para montar e se forem excessivamente longas o processo de fabricação torna-se excessivamente dispendioso e as tiras tornam-se difíceis de manusear durante a montagem sobre a pá. As presentes faixas de extensão proporcionam portanto uma relação vantajosa entre preço e facilidade de manuseio.

Adicionalmente, se as tiras forem excessivamente longas, poderá ser difícil aplicar o agente de vedação em um fluxo de trabalho e se as tiras forem excessivamente curtas a extensão total de margens devendo ser seladas será drasticamente aumentada. As presentes faixas de extensão proporcionam portanto igualmente uma relação vantajosa relativamente à aplicação do agente de vedação.

Em um aspecto da invenção, a altura da referida base é reduzida ao longo de pelo menos uma parte da borda da referida base, isto é, a borda ou bordas é/são arredondada(s), chanfrada(s) ou similar.

A redução da altura da base nas bordas é vantajosa devido ao fato de tornar possível a obtenção de uma forma aerodinâmica vantajosa, permitindo que o vento seja

conduzido sobre a base e dessa forma pressione a base na direção da pá. Adicionalmente, uma borda arredondada ou chanfrada proporciona uma borda vantajosa com relação à vedação.

5 Em um aspecto da invenção, as extremidades das referidas uma ou mais tiras geradoras de turbulência compreendem uma ou mais áreas arredondadas quando observadas em uma vista de topo.

 Se as tiras geradoras de turbulência tivessem
10 cantos vivos o esforço aplicado à tira poderia ser concentrado em um canto e dessa forma aumentar o risco de a tira ser arrancada da pá. Arredondando-se os cantos ou extremidades da tira, o esforço é distribuído mais uniformemente.

15 Em um aspecto da invenção, as referidas tiras geradoras de turbulência são dispostas em uma faixa entre 5% e 85%, preferencialmente entre 10% e 75% e mais preferencialmente entre 15% e 60% do comprimento de corda ("Chord Length") (C), desde a referida borda de ataque da
20 referida pá de turbina eólica.

 A presente faixa proporciona uma disposição vantajosa dos meios geradores de turbulência com relação à emissão de ruído, porém constitui também aproximadamente a área da superfície da pá em que a velocidade do vento é
25 mais elevada. É portanto vantajoso vedar a junção entre a tira geradora de turbulência e a superfície da pá se a tira for disposta na área especificada.

Em um aspecto da invenção, as referidas tiras geradoras de turbulência são acopladas à referida superfície da referida pá de turbina eólica por meio de um adesivo.

5 É vantajoso acoplar as tiras geradoras de turbulência à superfície da pá por meio de adesivos tais como um adesivo sensível à pressão baseada em acrílico, devido ao fato de este tipo de adesivo proporcionar uma forma eficiente, simples e econômica de acoplamento das
10 tiras.

Adicionalmente, mediante acoplamento da tira com utilização de adesivo, torna-se possível acoplar a tira ao longo de sua superfície do fundo inteira. Isto é vantajoso devido ao fato de impedir que a tira vibre com o vento, o
15 que poderia danificar uma junção vedada.

Em um aspecto da invenção, a referida pá de turbina eólica é uma pá de turbina eólica com passo controlado compreendendo pelo menos uma unidade de controle de passo.

É vantajoso prover uma pá de turbina eólica de
20 passo controlado com tiras geradoras de turbulência, visto tornar possível otimizar continuamente o ângulo de ataque das pás com relação à saída de potência e à emissão de ruídos.

Em um aspecto da invenção, as referidas tiras
25 geradoras de turbulência compreendem geradores de vórtice.

A utilização de geradores de vórtice como meio de prevenção ou minimização de estol é bem conhecida na

técnica de fabricação de pás de turbinas eólicas, asas de aeronaves e outras. Uma quantidade de questões referentes a métodos de produção, métodos de fixação e outros já foram resolvidas, sendo portanto vantajoso utilizar essa
5 experiência na fabricação de tiras geradoras de turbulência.

As turbinas eólicas produzem ruído quando as pás rodam através do ar. É portanto igualmente vantajoso prover as pás com geradores de vórtice para funcionarem como meios
10 de redução de ruído de fluxo de ar, apesar de isso poder implicar um aumento de arrasto e portanto implicar um decréscimo marginal de eficiência das turbinas eólicas.

Em um aspecto da invenção, o referido meio de vedação compreende um agente de vedação de poliuretano de
15 dois componentes.

A utilização de meios de vedação na forma de um agente de vedação de poliuretano de dois componentes, por exemplo baseado em HDI (Diisocianato de Hexametileno), tal como o produto Edge Sealer ES2000 da empresa 3M é
20 vantajosa, devido ao fato de este tipo de agente de vedação ser particularmente adequado para vedar tiras geradoras de turbulência em pás de turbinas eólicas, pelo fato de possuir as qualidades de ser resistente à radiação UV, ser durável, ter excelentes qualidades de aderência a quase
25 qualquer material e particularmente a revestimentos de gel de epóxi ("epoxy gel coat") ou tinta de poliuretano, que na maioria dos casos cobrem as pás, e aderência a poliuretano

termoplástico do qual as tiras podem ser vantajosamente fabricadas. Adicionalmente, este tipo de agente de vedação pode ser tornado transparente, o que constitui uma vantagem tanto em termos práticos quanto estéticos.

5 A invenção proporciona adicionalmente uma turbina eólica de passo controlado compreendendo pelo menos duas pás de turbina eólica com controle de passo e meios de controle de passo para ajuste do passo das pás. A turbina eólica de passo controlado é caracterizada por as pás
10 compreenderem uma ou mais tiras geradoras de turbulência, em que pelo menos uma área de junção entre as tiras geradoras de turbulência e uma superfície das pás é totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação.

 É desta forma obtido um aparelho vantajoso de
15 acordo com a invenção.

 Em um aspecto da invenção, as referidas uma ou mais tiras geradoras de turbulência são dispostas sobre uma seção externa das referidas pás de turbina eólica na direção da ponta da pá, com a referida seção externa
20 situando-se em uma faixa de 60% até 100% da extensão da referida pá, por exemplo, a terça parte mais externa da referida pá de turbina eólica.

 Em um aspecto da invenção, a referida turbina eólica é uma turbina eólica de passo controlado com
25 velocidade variável.

 As velocidades de rotação variáveis produzem ruído variável em níveis variáveis o que pode ser particularmente

irritante para o ouvido humano. É portanto vantajoso reduzir a emissão sonora mediante utilização de tiras geradoras de turbulência nas pás de uma turbina eólica de passo controlado com velocidade variável.

5

Figuras

A invenção será descrita a seguir com referência às figuras, nas quais

- a Fig. 1 ilustra uma turbina eólica moderna de grande porte vista de frente,
- 10 a Fig. 2 ilustra uma pá de turbina eólica, vista de frente,
- a Fig. 3 ilustra um corte transversal de uma pá de turbina eólica, vista a partir da raiz da pá,
- 15 a Fig. 4 ilustra uma configuração de uma tira geradora de turbulência vista de frente,
- a Fig. 5 ilustra a mesma configuração de uma tira geradora de turbulência conforme ilustrada na Fig. 4, vista do topo,
- 20 a Fig. 6 ilustra uma parte de um corte transversal de uma pá de turbina eólica compreendendo uma tira geradora de turbulência, vista a partir da raiz da pá, e
- a Fig. 7 ilustra uma vista aproximada de uma área de junção de uma tira e uma superfície de
- 25 pá, observada a partir da raiz da pá.

Descrição detalhada

A Fig. 1 ilustra uma turbina eólica moderna 1, compreendendo uma torre 2 e uma nacela 3 de turbina eólica posicionada no topo da torre 2. O rotor 4 da turbina eólica, compreendendo três pás 5 de turbina eólica, é acoplado à nacela 3 através do eixo de baixa velocidade que se estende para fora da parte frontal da nacela 3.

A Fig. 2 ilustra uma pá 5 de turbina eólica para uma turbina eólica de passo controlado 1, observada a partir do lado frontal/de pressão 14. A pá 5 de turbina eólica compreende uma borda de ataque 6, uma borda traseira 7, uma ponta 8 e uma raiz 9. Uma pá 5 de turbina eólica conhecida na técnica é tipicamente feita de um compósito de resina e fibra de vidro reforçado com fibra de carbono, madeira reforçada com fibra de carbono ou uma combinação das mesmas.

O comprimento da pá 5 é indicado pela notação BL.

Na raiz 9 a pá 5 é provida com uma unidade 16 de controle de passo que pode compreender rolamentos, uma roda de engrenagem, meios para ajuste de passo da pá 5 e/ou meios para acoplamento dos meios de ajuste de passo da pá 5.

Durante a operação normal de uma turbina eólica 1 as pás 5 são feitas rodar relativamente ao plano do rotor. O vento em chegada é aproximadamente ortogonal com relação ao plano do rotor, porém devido ao fato de as pás 5 se encontrarem em movimento, os valores efetivos de ângulo e

velocidade do vento em chegada (isto é, correspondendo a pás paradas) depende da velocidade de rotação da pá 5. O ângulo efetivo é normalmente referido como ângulo de ataque.

5 Idealmente, o ângulo de ataque será de cerca de 3° até 8°, porém quando as velocidades do vento se tornam muito altas as pás 5 têm seu passo ajustado a favor do vento para proteção da turbina eólica 1.

 A notação OS indica a seção externa da pá 5 nesta
10 configuração da invenção, e a seção externa OS nesta configuração é adicionalmente subdividida em subseções 1, 2 e 3 SS1, SS2, SS3. Em uma outra configuração da invenção a seção externa OS pode ser subdividida em um outro número de subseções, por exemplo, duas ou quatro subseções com
15 comprimento idêntico ou variado. A seção externa OS constitui aproximadamente 40% da extensão BL da pá nesta configuração da invenção, isto é, estende-se desde aproximadamente 60% da extensão BL da pá até 100% da extensão BL da pá, conforme medida a partir da raiz 9.

20 As tiras 10 geradoras de turbulência, que serão descritas mais detalhadamente com referência às Figs. 4 e 5, são nesta configuração da invenção posicionadas na seção externa OS a intervalos regulares, porém em uma outra configuração da invenção as tiras 10 geradoras de
25 turbulência podem ser posicionadas com distâncias variáveis entre tiras 10 adjacentes. Em uma outra configuração da invenção os meios 10 de geração de turbulência podem

igualmente ser posicionados em mais de uma fileira, por exemplo em duas ou três fileiras. Em uma configuração preferencial da invenção, o meio-metro mais externo da pá 5, isto é, o último meio-metro da pá 5 mais próximo da ponta 8 não é provido com tiras 10 geradoras de turbulência.

Nesta configuração da invenção, as tiras 10 geradoras de turbulência dispostas na subseção 1 SS1 são substancialmente uniformes e os meios 18 geradores de turbulência sobre as tiras 10 são menores que os meios 18 geradores de turbulência sobre as tiras 10 dispostas na subseção 2 SS2, que são por sua vez menores que os meios 18 geradores de turbulência sobre as tiras 10 dispostas na subseção 3 SS3. Em uma configuração preferencial, o tamanho dos meios 18 geradores de turbulência dependerá do comprimento de corda C da pá 5 tornando substancialmente todos os meios 18 geradores de turbulência de tamanho variável, porém devido ao fato de que isto tornaria os meios 18 geradores de turbulência relativamente dispendiosos e difíceis de fabricar e montar, as tiras 10 dentro de cada subseção SS1, SS2, SS3 são substancialmente idênticas porém diferentes das tiras 10 nas outras subseções SS1, SS2, SS3.

A Fig. 3 ilustra um corte transversal de uma pá 5 de turbina eólica, conforme observada a partir da raiz 9 da pá 5. A pá 5 compreende um lado 13 de sucção/sotavento, um lado de pressão 14, uma borda de ataque 6 e uma borda

traseira 7. O comprimento de corda da pá 5 é ilustrado com a notação C e constitui a distância entre a borda de ataque 6 e a borda traseira 7.

5 Nesta configuração da invenção, uma tira 10 geradora de turbulência é disposta no lado de sotavento 13 da pá 5 a uma distância de aproximadamente 20% do comprimento de corda C relativamente à borda traseira 6.

10 Nesta configuração da invenção as tiras 10 geradoras de turbulência são posicionadas sobre a pá 5 em uma linha reta, porém em uma outra configuração da invenção elas podem ser posicionadas dentro de uma faixa fixa ou variável de distância relativamente à borda de ataque 6 ou à borda traseira 7 da pá 5.

15 A Fig. 4 ilustra uma configuração de uma tira 10 geradora de turbulência observada de frente. Nesta configuração a tira 10 geradora de turbulência compreende meios 18 de geração de turbulência na forma de oito abas 15 estendendo-se substancialmente perpendicularmente a uma superfície de topo 19 de uma base 11. Em uma outra 20 configuração a tira 10 pode compreender um outro número de abas 15 ou cada tira 10 pode compreender somente uma ou duas abas 15 por base 11 individual.

25 Se a tira 10 ou pelo menos a base 11 for feita de um material relativamente inflexível a base 11 pode, durante sua produção, ser feita conformada ao formato da superfície da pá 5 onde será acoplada. Desta forma a tira 10 não estará sujeita a uma tensão interna desnecessária

como estaria se tivesse que ser forçada para se ajustar à superfície.

A superfície do fundo 20 da base 11 pode ser acoplada à superfície de uma pá 5 de turbina eólica por meio de parafusos auto-atarraxantes, parafusos e porcas, rebites, soldadura ou outro meio de fixação adequado, porém em uma configuração preferencial da invenção a tira 10 é acoplada à superfície da pá 5 mediante utilização de meios adesivos, por exemplo na forma de um filme adesivo aplicado à superfície de fundo 20 da base 11 inteira ou a partes da superfície de fundo 20, que serão então cobertas por uma tira do tipo destacável (não ilustrada) para proteger o filme adesivo e manter suas qualidades adesivas até a tira 10 ser acoplada à pá 5. O filme adesivo poderá ser, em uma configuração preferencial da invenção, um Adesivo Sensível à Pressão ("Pressure Sensitive Adhesive" - PSA) baseado em acrílico. Os adesivos à base de acrílico são conhecidos por sua excelente resistência à umidade, radiação UV e variações de temperatura, tornando estes tipos de adesivo muito duráveis mesmo em pás 5 de turbinas eólicas.

A provisão do adesivo na forma de um filme é vantajosa relativamente a um adesivo líquido, pelo fato de um filme gerar adesão imediatamente ao entrar em contato com a superfície da pá 5. Não são portanto necessários quaisquer acessórios de fixação.

Nesta configuração da invenção as abas 15 são formadas integralmente com a base 11, por exemplo, mediante

conformação em um molde durante um processo de moldagem por injeção, porém em uma outra configuração as abas 15 podem consistir em placas individuais acopladas à superfície de topo 19 da base 11 mediante utilização de meios adesivos, soldadura, parafusos auto-atarraxantes, parafusos e porcas ou outros meios.

A tira 10 geradora de turbulência inteira é preferencialmente feita de Poliuretano-Poliéter Termoplástico (TPU) porém em uma outra configuração a tira 10 pode igualmente ser feita de Tereftalato de Polibutileno (PBT), Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno (LDPE), madeira, metal tal como alumínio ou aço inoxidável, um outro tipo de plástico ou o mesmo tipo de material de que a pá 5 é feita ou de qualquer outro material adequado para fabricação de tiras 10 geradoras de turbulência, ou a tira 10 pode ser feita de uma combinação de diferentes materiais, por exemplo, TPU cobrindo uma matriz metálica ou abas metálicas 15 estendendo-se a partir de uma base 11 de TPU.

As tiras 10 geradoras de turbulência podem ser tornadas transparentes por motivos estéticos, porém para aperfeiçoamento das propriedades de resistência ambiental dos materiais, podem ser adicionados ao TPU diversos aditivos. Pode ser adicionado Negro-de-Fumo para funcionar como agente de absorção de UV, porém devido ao fato de as tiras 10 serem desta forma tornadas negras, o que é indesejável por motivos estéticos, o material de TPU é

colorido no tom cinza nesta configuração e recebe a adição de estabilizadores de UV na forma de Estabilizadores de Luz de Amina Impedida (Hindered Amine Light Stabilizers" - HALS). Em uma outra configuração da invenção o material
5 pode ter uma outra cor ou a tira 10 pode ser pintada antes ou após ser montada na pá 5.

A Fig. 5 ilustra a mesma configuração de uma tira 10 geradora de turbulência conforme ilustrada na Fig. 4, vista do topo. Nesta configuração a base 11 da tira 10
10 compreende áreas arredondadas 21 nas extremidades 17 da tira 10, em que as extremidades 17 têm formas de semicírculos. Em uma outra configuração as extremidades 17 podem compreender áreas arredondadas 21 com outra forma, por exemplo, se um ou mais dos cantos for mais ou menos
15 arredondado ou se somente os dois cantos que ficam de face para o vento forem arredondados.

Nesta configuração a tira 10 tem um comprimento longitudinal LS de aproximadamente 217 mm porém em uma outra configuração a tira 10 pode ter um comprimento LS de
20 entre 10 e 4000 mm, preferencialmente entre 50 e 1000 mm e mais preferencialmente entre 100 e 500 mm ou a tira 10 pode ser formada como uma base 11 compreendendo somente um ou dois meios 18 de geração de turbulência tornando o comprimento longitudinal LS da tira 10 muito reduzido.

25 Nesta configuração a tira 10 é substancialmente reta em sua extensão longitudinal LS porém em uma outra configuração a tira 10 pode ser curva, pode ter uma forma

em ziguezague ou outra.

As setas na frente do meio 10 de geração de turbulência ilustram a direção do fluxo de ar durante uma operação normal, quando o meio 10 gerador de turbulência se encontra montado sobre uma pá 5 de turbina eólica. Conforme se encontra ilustrado pelo ângulo A, os meios 18 de geração de turbulência são posicionados formando um ângulo de aproximadamente 16° e -16° relativamente à direção do fluxo de ar. Em uma outra configuração da invenção as abas 15 podem ser posicionadas em um outro ângulo relativamente à direção do fluxo de ar ou as abas 15 podem ser paralelas à direção do fluxo de ar.

Nesta configuração da invenção todos os meios 18 geradores de turbulência têm as mesmas dimensões e forma conforme observados do topo, porém em uma outra configuração tanto o tamanho quanto a forma podem variar de princípio a fim da extensão LS da tira 10.

A Fig. 6 ilustra uma parte de um corte transversal de uma pá 5 de turbina eólica compreendendo uma tira 10 geradora de turbulência, conforme observada a partir da raiz da pá 5.

Nesta configuração da invenção as abas 15 do meio 10 de geração de turbulência são triangulares, tornando as abas 15 mais altas na parte de trás. Em uma outra configuração da invenção as abas 15 podem ser conformadas como parte de um círculo ou um cone, com uma forma de barbatana de tubarão, uma forma retangular ou qualquer

outra forma adequada para gerar turbulência.

Conforme se encontra ilustrado a superfície da pá 5 é levemente curva no local em que a tira 10 é montada. A tira 10 é portanto fabricada com esta curva adquirida para assegurar que as bordas 12 da base 11 fiquem dispostas em topejamento contra a superfície da pá 5.

Nesta configuração as bordas 12 da tira 10 são arredondadas ou pelo menos a altura H da base 11 é reduzida na direção das bordas 12 em ambos os lados da tira 10 porém em uma outra configuração somente a borda 12 disposta de face para o vento será arredondada.

A área de junção 22 em toda a extensão ao longo do perímetro inteiro da base 11 é provida nesta configuração com meios de vedação 23 na forma de um agente de vedação que suaviza a transição entre a tira 10 e a pá, tornando a mesma mais vantajosa aerodinamicamente e protegendo o entalhe contra ingresso de água ou sujidade. Adicionalmente, se o perímetro inteiro da base 11 for vedado, será possível assegurar que o adesivo que acopla a superfície do fundo 20 da base 11 à superfície da pá 5 seja totalmente protegida contra interações com o ambiente circundante, dessa forma prolongando-se o tempo de vida útil do agente adesivo.

Em uma outra configuração da invenção, somente a borda 12 disposta de face para o vento será vedada.

A Fig. 7 ilustra uma vista aproximada de uma área de junção 22 de uma tira 10 e uma superfície de pá,

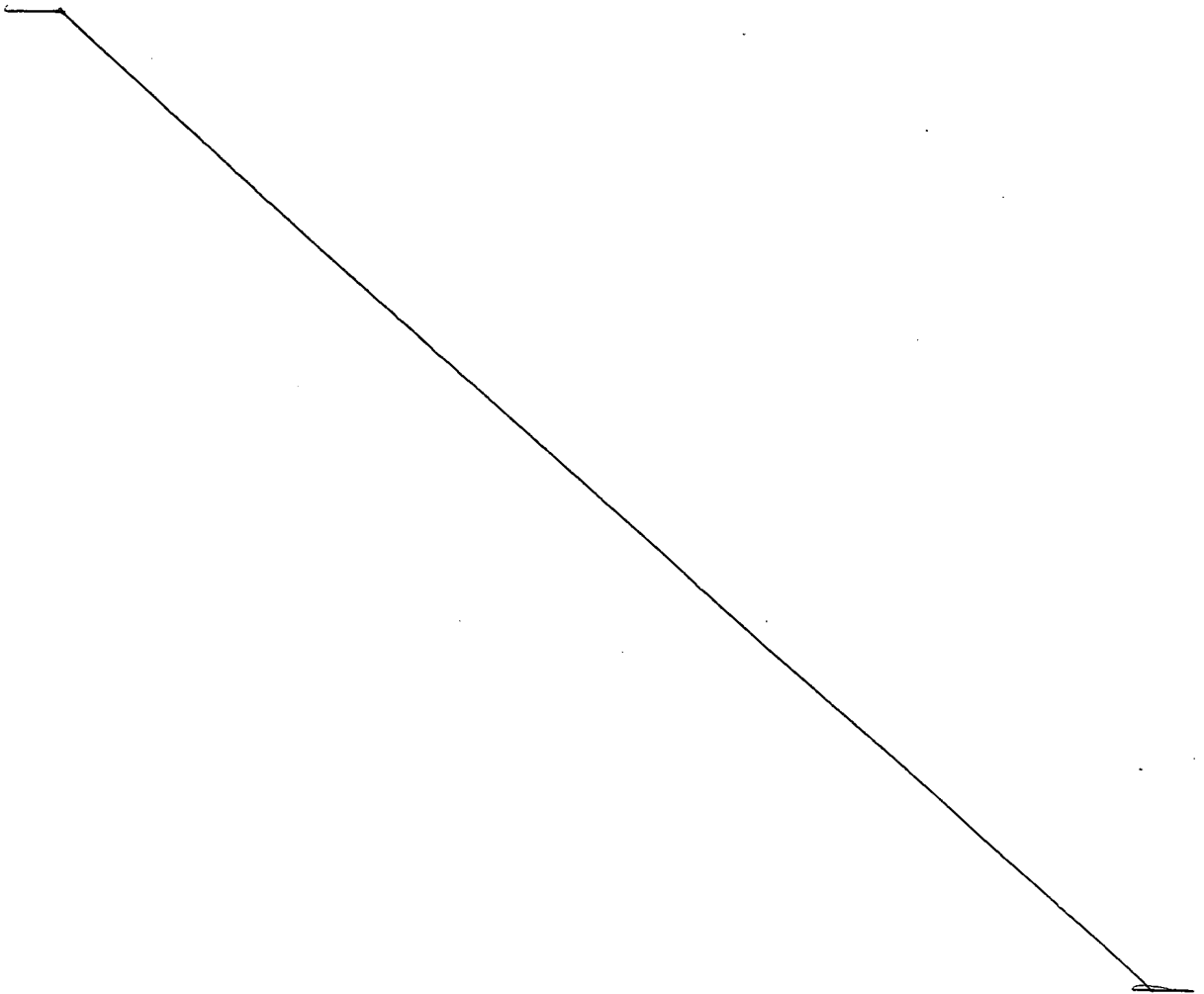
conforme observada a partir da raiz da pá 5.

Nesta configuração da invenção a espessura da camada de agente de vedação 23 não é constante quando observada em corte transversal. A figura mostra que a
5 camada de agente de vedação 23 é mais espessa imediatamente sobre a junção e torna-se depois gradualmente mais fina na direção de ambos os lados. É desta forma criada uma transição suave entre a superfície da pá 5 e a borda 12 da tira 10, assegurando-se que o vento não possa arrancar a
10 tira 10 da pá 5.

Nesta configuração da invenção, o agente de vedação 23 é um poliuretano de dois componentes baseado em HDI (Diisocianato de Hexametileno), na forma do produto Edge Sealer ES2000 da empresa 3M, porém em uma outra
15 configuração o agente de vedação 23 pode igualmente ser feito de poliuretanos de componente único, silicones, acrílico, polímero MS ou outros materiais ou compostos desde que o agente de vedação 23 tenha as qualidades de ser durável no ambiente em que será utilizado, e desde que seja
20 fácil de aplicar e relativamente pouco dispendioso. Adicionalmente, o agente de vedação 23 terá que ter uma secagem relativamente rápida para assegurar uma aplicação eficiente do agente de vedação. Por exemplo, o Edge Sealer ES2000 fica tão seco que a superfície livre não tem
25 substancialmente nenhuma aderência após aproximadamente uma hora e meia (1,5 horas) a 20° Celsius, que é uma quantidade de tempo muito apropriada, já que se o agente de vedação 23

secar com rapidez excessiva ele poderá ser difícil de aplicar satisfatoriamente, e se secar muito lentamente poderá aumentar o tempo de fabricação e aplicação.

A invenção foi exemplificada acima com referência a
5 exemplos específicos de pás 5 de turbina eólica, tiras 10
de geração de turbulência e meios de vedação 23.
Entretanto, deverá ser entendido que a invenção não é
limitada aos exemplos específicos descritos acima e poderá
ser projetada e alterada em muitas variações dentro do
10 escopo da invenção conforme especificado nas
reivindicações.



Lista

1. Turbina eólica
2. Torre
3. Nacela
- 5 4. Rotor
5. Pá
6. Borda de ataque
7. Borda traseira
8. Ponta
- 10 9. Raiz
10. Tira geradora de turbulência
11. Base de tira geradora de turbulência
12. Borda de tira geradora de turbulência
13. Lado de sotavento
- 15 14. Lado de pressão
15. Aba
16. Unidade de controle de passo
17. Extremidades da tira
18. Meio de geração de turbulência
- 20 19. Superfície de topo da base
20. Superfície de fundo da base
21. Área arredondada da tira
22. Área de junção
23. Meio de vedação
- 25 OS. Seção externa
- C. Comprimento de corda
- A. Ângulo de meio gerador de turbulência

- SS1. Subseção 1
- SS2. Subseção 2
- SS3. Subseção 3
- BL. Comprimento da pá
- 5 LS. Extensão longitudinal da base
- H. Altura da base

- REIVINDICAÇÕES -

1. PÁ DE TURBINA EÓLICA, compreendendo
uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência, as
referidas tiras (10) sendo dispostas sobre uma superfície
5 da referida pá (5)

caracterizada por
pelo menos uma área de junção (22) das referidas
tiras (10) geradoras de turbulência e referida superfície
da referida pá (5) ser totalmente ou parcialmente coberta
10 por meios de vedação (23).

2. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com a
reivindicação 1, caracterizada por as referidas uma ou mais
tiras (10) geradoras de turbulência serem dispostas sobre
uma seção externa (OS) da referida pá (5) de turbina eólica
15 na direção da ponta (8) da pá.

3. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com a
reivindicação 2, caracterizada por a referida seção externa
(OS) corresponder a uma faixa de 60% até 100% da extensão
(BL) da referida pá (5), por exemplo, a terça parte mais
20 externa da referida pá (5) de turbina eólica.

4. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com qualquer
uma das reivindicações 2 e 3, caracterizada por a referida
seção externa (OS) ser subdividida em duas ou mais
subseções (por exemplo, SS1, SS2, SS3), e as referidas
25 tiras (10) geradoras de turbulência serem substancialmente
uniformes dentro de cada uma das referidas subseções.

5. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com qualquer

uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada por as referidas tiras (10) geradoras de turbulência compreenderem uma base (11) e em que um ou mais meios (18) geradores de turbulência se estendem substancialmente perpendicularmente a partir de uma superfície de topo (19) da referida base (11).

6. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com a reivindicação 5, caracterizada por a referida base (11) ter uma extensão longitudinal (LS) de entre 10 e 4000 mm, preferencialmente entre 50 e 1000 mm e mais preferencialmente entre 100 e 500 mm.

7. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 e 6, caracterizada por a altura (H) da referida base (11) ser reduzida ao longo de pelo menos uma parte da borda (12) da referida base (11), isto é, a borda ou bordas (12) é/são arredondada(s), chanfrada(s) ou similar.

8. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada por as extremidades (17) das referidas uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência compreenderem uma ou mais áreas arredondadas (21) quando observadas em uma vista de topo.

9. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada por as referidas tiras (10) geradoras de turbulência serem dispostas em uma faixa de entre 5% e 85%, preferencialmente entre 10% e 75% e mais preferencialmente entre 15 e 60% da

extensão de corda (C), de distância relativamente à referida borda de ataque (6) da referida pá (5) de turbina eólica.

10. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com
5 qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizada por a referida pá (5) de turbina eólica ser uma pá (5) de turbina eólica de passo controlado compreendendo pelo menos uma unidade (16) de controle de passo.

11. Pá (5) de turbina eólica, de acordo com
10 qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada por as referidas tiras (10) geradoras de turbulência compreenderem geradores de vórtice (18).

12. PÁ DE TURBINA EÓLICA, de acordo com qualquer
uma das reivindicações 1 a 11, caracterizada por os
15 referidos meios de vedação (23) compreenderem um agente de vedação de poliuretano de dois componentes.

13. TURBINA EÓLICA DE PASSO CONTROLADO,
compreendendo

pelo menos duas pás (5) de turbina eólica de passo
20 controlado e

meios de controle de passo para ajuste do passo das referidas pás (5)

caracterizada por

as referidas pás (5) compreenderem uma ou mais
25 tiras (10) geradoras de turbulência em que pelo menos uma área de junção (22) das referidas tiras (10) geradoras de turbulência com a superfície das referidas pás (5) é

totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação (23).

14. Turbina eólica (1) de passo controlado, de acordo com a reivindicação 13, caracterizada por as 5 referidas uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência serem dispostas sobre uma seção externa (OS) das referidas pás (5) de turbina eólica na direção da ponta (8) da pá, em que a referida seção externa (OS) tem uma extensão em uma faixa de 60% até 100% da extensão (BL) da referida pá (5), 10 por exemplo, a terça parte mais externa da referida pá (5) de turbina eólica.

15. Turbina eólica (1) de passo controlado, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 e 15, caracterizada por a referida turbina eólica (1) ser uma 15 turbina eólica (1) de passo controlado de velocidade variável.

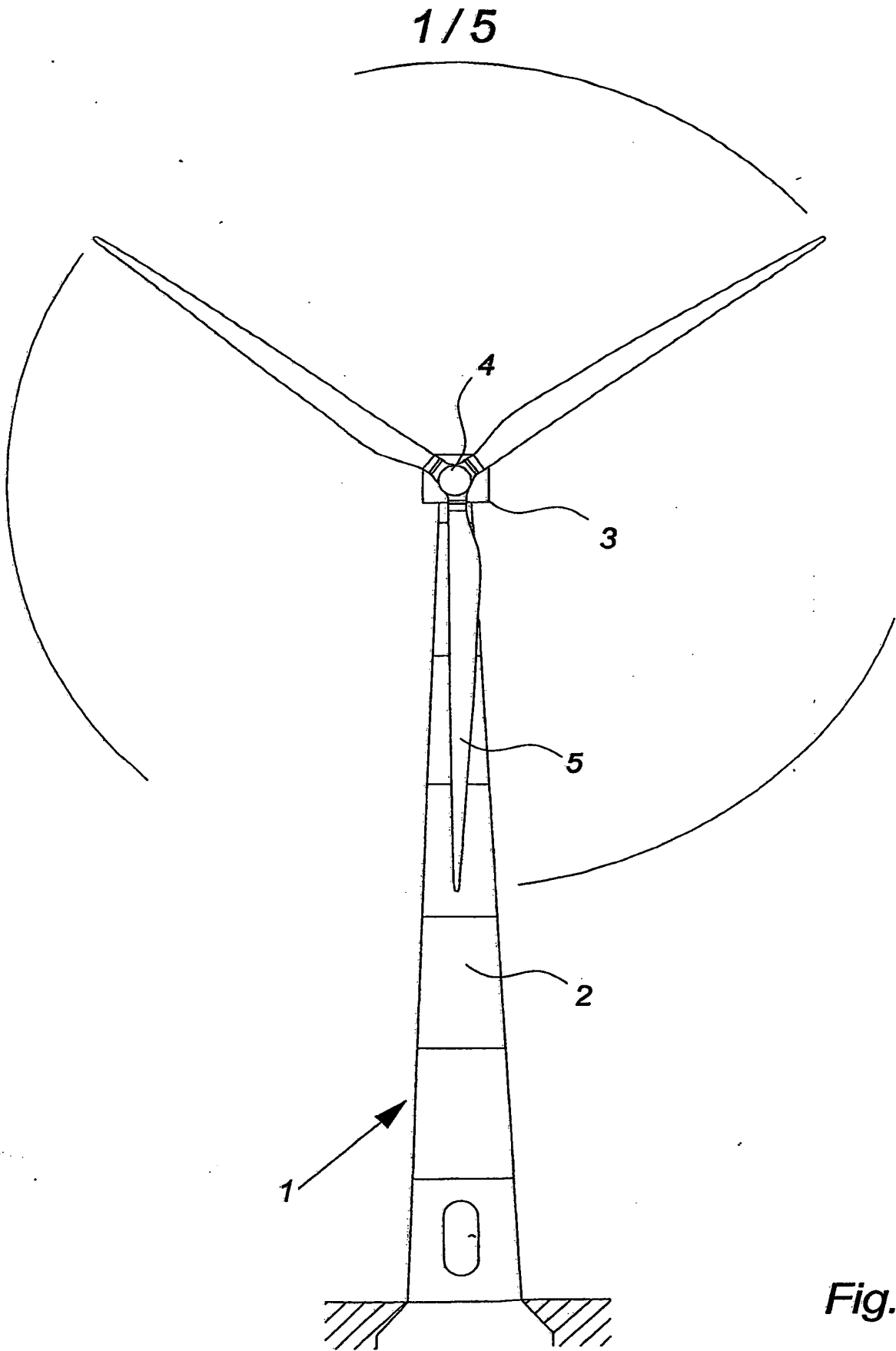


Fig. 1

2/5

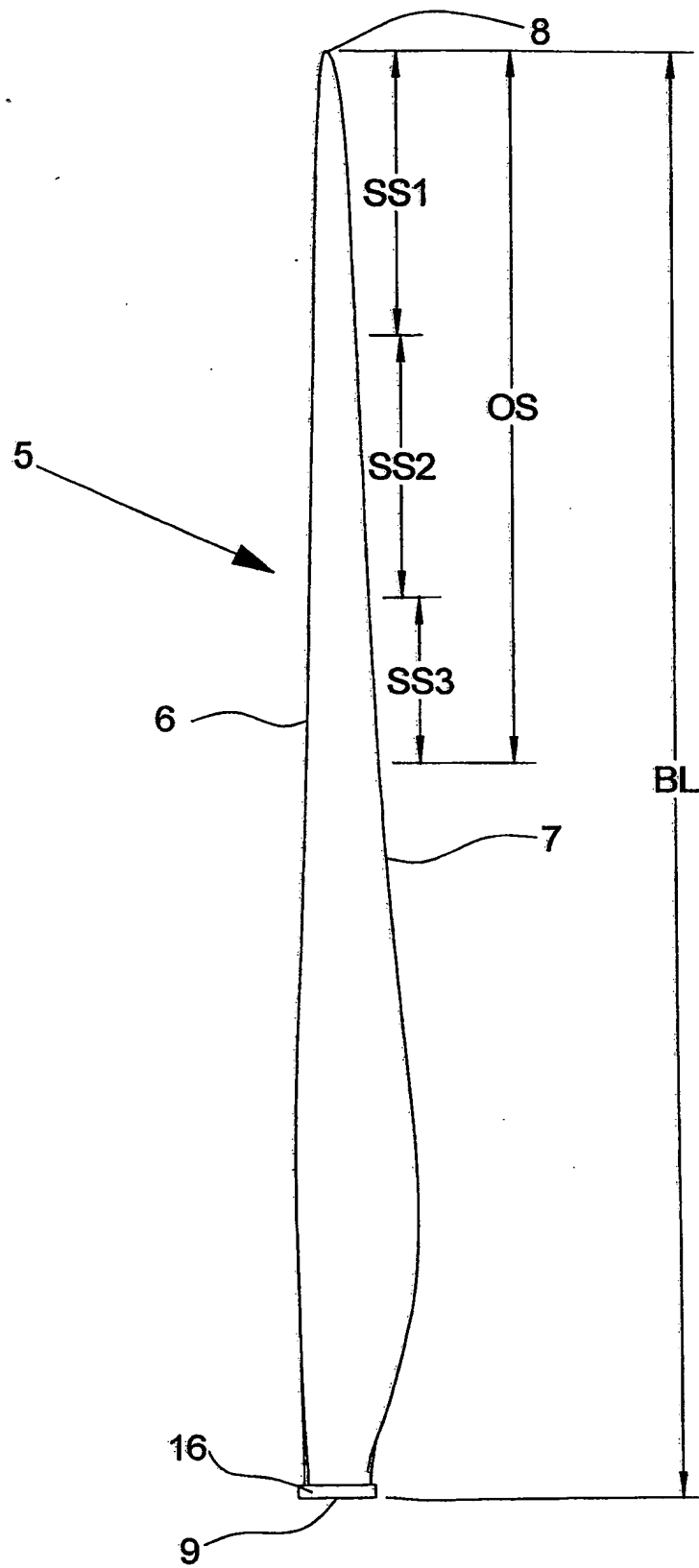


Fig. 2

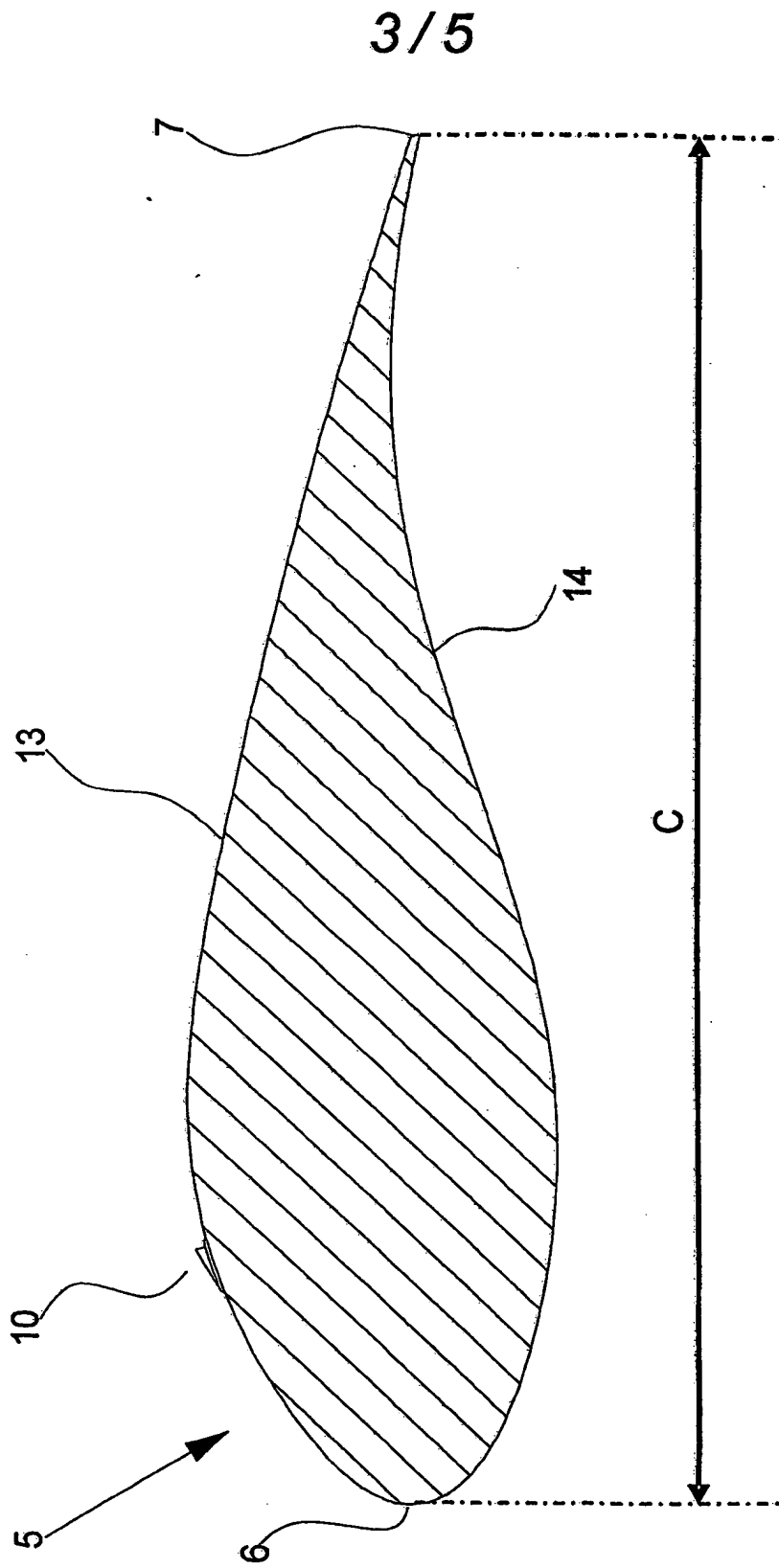


Fig. 3

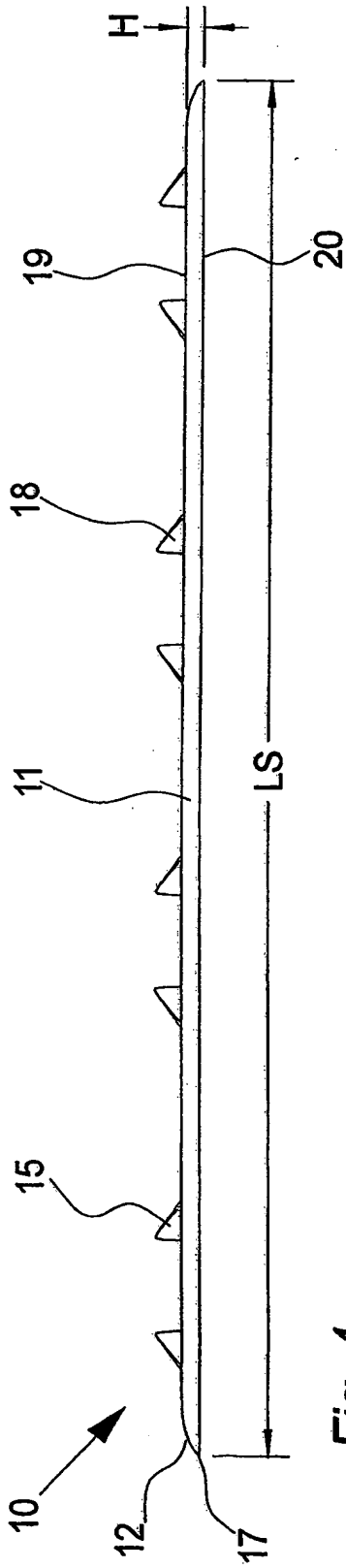


Fig. 4

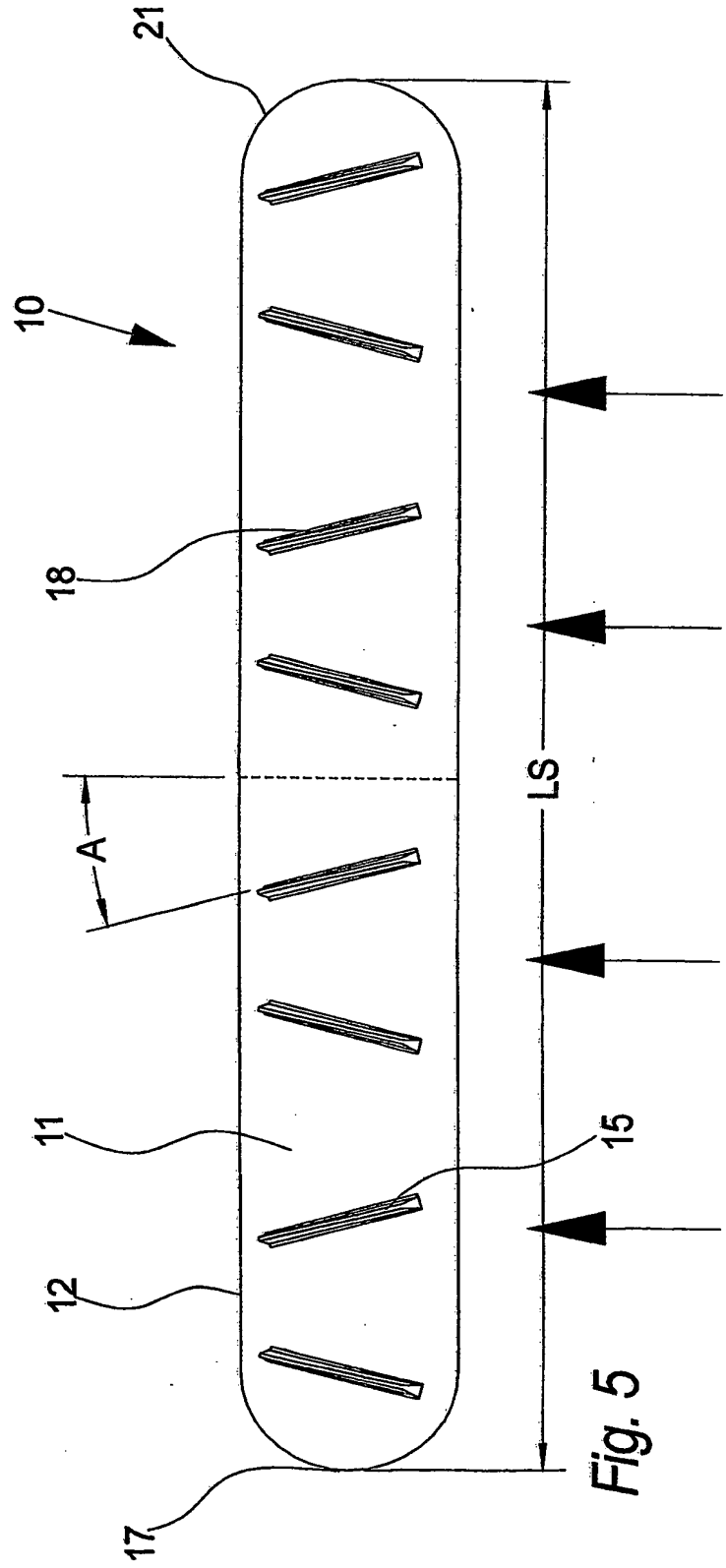


Fig. 5

5/5

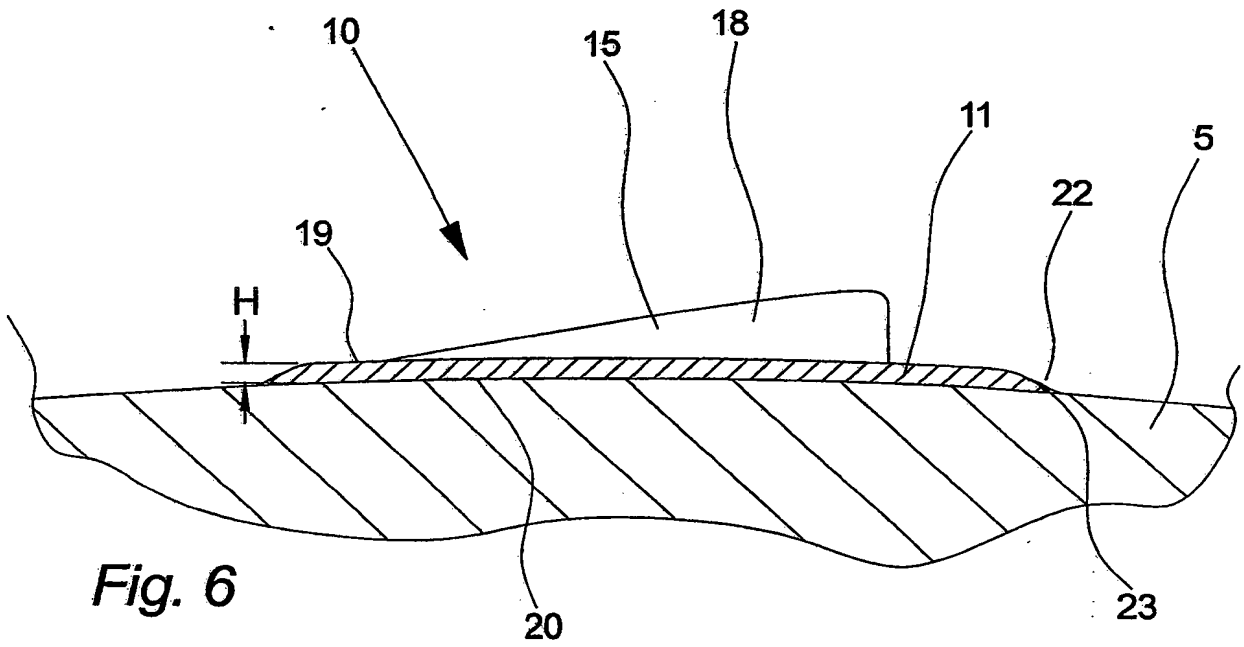


Fig. 6

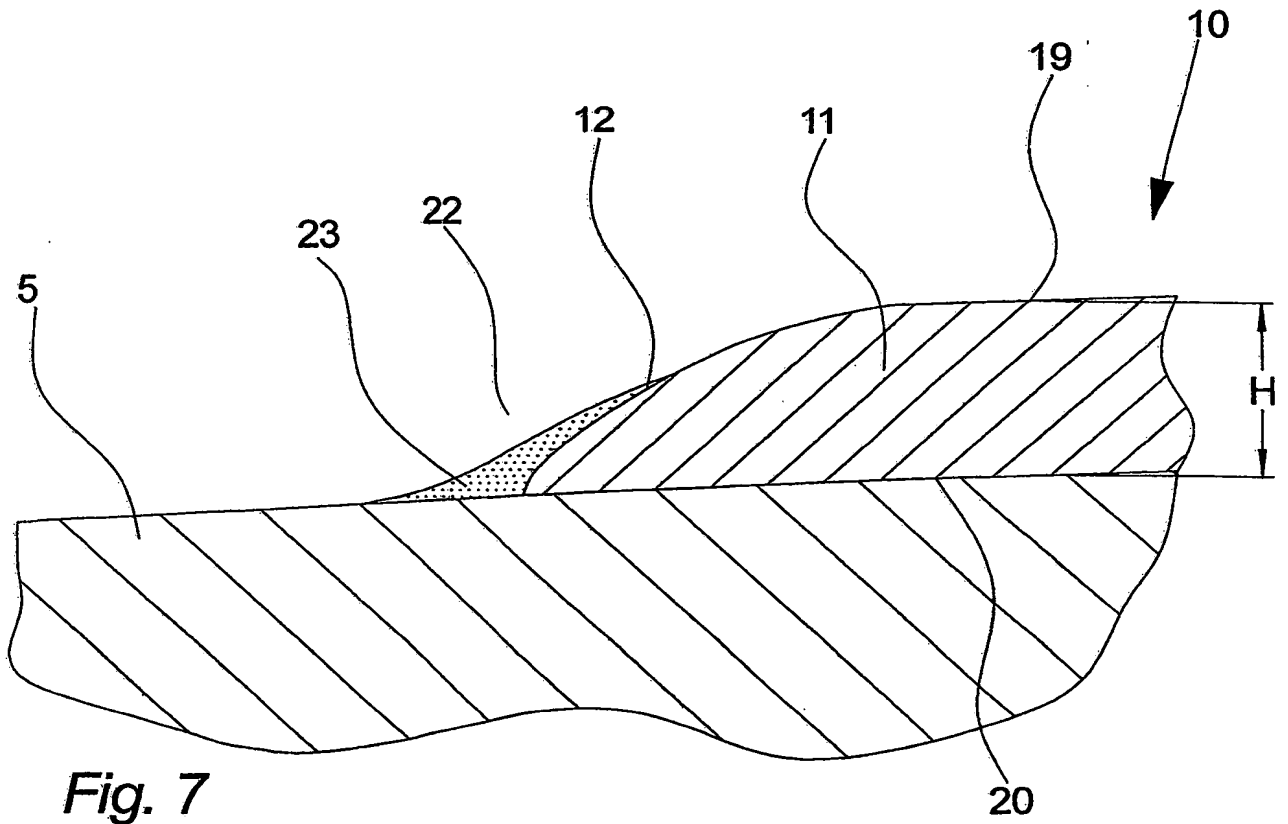


Fig. 7

- RESUMO -

PÁ DE TURBINA EÓLICA, E TURBINA EÓLICA DE PASSO CONTROLADO

A invenção refere-se a uma pá (5) de turbina eólica compreendendo uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência, em que as tiras (10) são dispostas sobre uma superfície da pá (5). A pá (5) é caracterizada por pelo menos uma área de junção (22) das tiras (10) geradoras de turbulência com a superfície da pá (5) ser totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação (23). A invenção refere-se adicionalmente a uma turbina eólica (1) de passo controlado compreendendo pelo menos duas pás (5) de turbina eólica de passo controlado e meios de controle de passo para ajuste do passo das pás (5). A turbina eólica (1) de passo controlado é caracterizada por as pás (5) compreenderem uma ou mais tiras (10) geradoras de turbulência, em que pelo menos uma área de junção (22) das tiras (10) geradoras de turbulência com uma superfície das pás (5) ser totalmente ou parcialmente coberta por meios de vedação (23).