



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0604899-4 B1



(22) Data do Depósito: 27/10/2006

(45) Data de Concessão: 12/02/2019

(54) Título: MÉTODO PARA A MANUFATURA DE UMA PÁ DE HÉLICE DO ROTOR DE TURBINA EÓLICA

(51) Int.Cl.: B21H 7/16.

(30) Prioridade Unionista: 28/10/2005 US 11/261,028.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): JAN WILLEM BAKHUIS; ANDREW BILLEN; SJEF BREUGEL; JAMIE LIVINGSTON.

(57) Resumo: Método para a fabricação das pás de hélice do rotor de turbinas eólicas. Um método para a manufatura de uma pá de hélice (114) do rotor de turbina eólica inclui, em uma forma de realização, as etapas de fornecer um núcleo (120) e aplicar ao menos uma camada de reforço (126) sobre o núcleo de modo a formar um subconjunto (131) da pá de hélice. Cada camada de reforço é formada a partir de uma matriz de fibras de reforço. O método também compreende aplicar uma membrana micro porosa (128) sobre a ao menos uma camada de reforço, aplicar um filme para vácuo (138) sobre a membrana micro porosa, introduzir uma resina polimérica no núcleo, realizar a infusão da resina através do núcleo e através da ao menos uma camada de reforço por meio da aplicação de um vácuo no conjunto de pá de hélice, e curar a resina de modo a formar a pá de hélice do rotor.

“MÉTODO PARA A MANUFATURA DE UMA PÁ DE HÉLICE DO ROTOR DE TURBINA EÓLICA”

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[001] Esta invenção se refere, em geral, às turbinas eólicas, e mais em particular aos métodos para a fabricação das pás de hélice do rotor de turbinas eólicas empregando uma membrana micro porosa.

[002] Recentemente, as turbinas eólicas têm recebido uma atenção crescente por serem fontes de energia alternativa seguras do ponto de vista ambiental e relativamente baratas. Em razão deste interesse crescente, têm sido feitos esforços consideráveis no sentido de desenvolver turbinas eólicas que sejam confiáveis e eficientes.

[003] Em geral, uma turbina eólica inclui um rotor apresentando várias pás de hélice. O rotor é montado em um alojamento ou nacela, a qual é posicionada no topo de uma coluna ou torre tubular. As turbinas eólicas da grade pública (isto é, as turbinas eólicas destinadas a fornecer energia elétrica para a grade pública) podem apresentar grandes rotores (p. ex., com 30 metros ou mais de diâmetro). As pás de hélice destes rotores transformam a energia eólica em torque de rotação ou em força que guia um ou mais geradores que estão ligados ao rotor. A caixa de redução, quando presente, aumenta a baixa velocidade de rotação inerente do rotor da turbina para que o gerador possa converter, de forma eficiente, a energia mecânica em energia elétrica, a qual é fornecida para a grade pública. As pás de hélice dos rotores das turbinas eólicas que são conhecidas, são fabricadas através da infusão de uma resina em um núcleo envolvido por uma fibra. Uma camada de uma malha de distribuição é utilizada para alimentar a resina dentro do material do núcleo. A frente do fluxo da infusão é controlada por meio de aberturas ou quebras na malha de distribuição, a qual precisa de um posicionamento exato para que se obtenham os resultados

pretendidos. Além disto, a malha de distribuição é descartada junto com a resina que fica retida na malha, cerca de 650 gramas por metro quadrado.

[004] Dentre o estado da técnica, é possível citar o documento EP1415782 relacionado a um método para manufaturar um membro largo de plástico reforçado com fibras.

[005] Outra anterioridade é o documento US 2004/0219244 relacionado a um método para produção de um componente de plástico reforçado com fibras incluindo dispor um compósito de produto de fibra semiacabado em uma ferramenta, formando uma primeira cavidade, formando uma segunda cavidade, distribuindo o material de matriz sobre o pelo menos um lado usando um dispositivo de promoção de fluxo, e permitindo que o material de matriz penetre no produto semiacabado composto de fibra a partir de uma direção vertical.

[006] Ademais, o documento US 2004/0253114 uma lâmina de turbina eólica compreendendo um certo número de tiras pré-fabricadas dispostas em sequência ao longo da periferia exterior. As tiras consistem num material compósito fibroso, de preferência fibras de carbono, e consistem num material de madeira, de preferência de contraplacado ou fibras de madeira mantidas numa resina curada.

[007] Documento US 4,562,033 descreve um método de moldagem a vácuo de um material compósito no qual a resina não curada pré-impregnada e os filamentos de reforço são colocados num molde aquecido e cobertos com uma folha de um material de película micro porosa um material de respiro e uma membrana impermeável.

[008] Outro estado da técnica é referente ao documento US 2003/0011094 que é direcionado a um método para produção de componentes

de fibras reforçadas com plástico feitos de compósitos de fibras secadas por meio de um método de injeção de material de matriz.

[009] Referências não patentárias, tal como a publicação "*Li et al. Process and Performance Evaluation of the Vacuum-Assisted Process. Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 38, No. 20.*" que descreve um processo de moldagem por transferência de resina assistida por vácuo (VARTM) é também estado da técnica da presente invenção.

[0010] Outra publicação como "*Mastbergen, D. B. Simulation and Testing of Resin Infusion Manufacturing Processes for Large Composite Structures. Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering at Montana State University-Bozeman.*" descreve simulação e testes realizados em processos de infusão de resina.

[0011] Publicação "*Windkraftanlagen, Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit* Erich Hau, 3ªED" descreve os fundamentos, tecnologias e aplicação de turbinas eólicas.

[0012] Publicação "*Vacuum Infusing Processing with DIAS core materials, A Guide to Resin Infusion of Fiber-Reinforced Composites, DIAS Technical Bulletin, page 1 to 17, Revision C, DIAB Technologies, Texas, USA*" é uma brochura sobre o processo de infusão a vácuo utilizando materiais de núcleo da empresa DIAB.

BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[0013] Em um aspecto, é fornecido um método para a manufatura de uma pá de hélice do rotor de turbina eólica. O método inclui as etapas de fornecer um núcleo e aplicar ao menos uma camada de reforço sobre o núcleo de modo a formar um subconjunto da pá de hélice. Cada camada de reforço é formada a partir de uma matriz de fibras de reforço. O método também compreende aplicar uma membrana micro porosa sobre a ao menos uma

camada de reforço, aplicar um filme para vácuo sobre a membrana micro porosa, introduzir uma resina polimérica no núcleo, realizar a infusão da resina através do núcleo e através da ao menos uma camada de reforço por meio da aplicação de um vácuo no conjunto de pá de hélice, e curar a resina de modo a formar a pá de hélice do rotor.

[0014] Em outro aspecto, é fornecido um método para a manufatura de uma pá de hélice do rotor de turbina eólica. O método inclui as etapas de fornecer um núcleo, aplicar ao menos uma camada de reforço de modo a formar um subconjunto da pá de hélice, e posicionar o subconjunto da pá de hélice em um molde.

[0015] Cada camada de reforço é formada a partir de uma matriz de fibras de reforço. O método também inclui aplicar uma membrana micro porosa sobre a ao menos uma camada de reforço, aplicar um filme para vácuo sobre a membrana micro porosa, introduzir uma resina polimérica no núcleo, realizar a infusão da resina através do núcleo e através da ao menos uma camada de reforço por meio da aplicação de vácuo no conjunto da pá de hélice e curar a resina de modo a formar a pá de hélice do rotor.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0016]- A figura 1 é uma ilustração esquemática e em elevação lateral de uma configuração de exemplo de uma turbina eólica; e

[0017]- A figura 2 é uma ilustração esquemática lateral da pá de hélice do rotor de uma turbina eólica, tal como mostrada na figura 1.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0018] Um método para a fabricação de uma pá de hélice do rotor de uma turbina eólica utilizando uma membrana micro porosa é descrita abaixo, em detalhes A membrana micro porosa proíbe a passagem da resina ao mesmo tempo em que permite que o gás passe através desta. Isto permite a aplicação

de vácuo em toda a pá de hélice do rotor, ao invés de na sua periferia, como o que ocorre nos processos conhecidos. A membrana micro porosa também permite uma frente de fluxo controlada e elimina qualquer rastro ou resíduo da passagem do fluxo de resina. O tempo do ciclo, bem como o tempo de trabalho, são reduzidos junto a uma redução nos custos dos materiais consumidos no processo. O uso de uma membrana micro porosa resulta em uma melhor qualidade da pá de hélice, por exemplo, uma menor quantidade de vazios e uma relação otimizada entre as fibras de reforço e a resina.

[0019] Com referência aos desenhos, a figura 1 é uma ilustração esquemática e em elevação lateral de uma turbina eólica 100, tal como, por exemplo, uma turbina eólica de eixo horizontal. A turbina eólica 100 inclui uma torre 102, a qual se estende desde uma superfície de suporte 104, uma nacela 106 montada no bastidor 108 da torre 102, e um rotor 110 acoplado na nacela 106. O rotor 110 inclui um cubo 112 e uma pluralidade de pás de hélice 114 do rotor acopladas no cubo 112. Na forma de realização de exemplo, o rotor 110 compreende três pás de hélice 114 do rotor.

[0020] Em uma forma alternativa de realização, o rotor 110 compreende mais ou menos que três pás de hélice 114 do rotor. Na forma de realização de exemplo, a torre 102 é fabricada a partir de aço tubular e inclui uma cavidade 120 que se estende entre a superfície de suporte 104 e a nacela 106. em uma forma alternativa de realização, a torre 102 é uma torre em treliça.

[0021] Vários dos componentes da turbina eólica 100, na forma de realização de exemplo, estão alojados na nacela 106 do topo da torre 102 da turbina eólica 100. A altura da torre 102 é selecionada com base em fatores e em condições conhecidas da arte. Em algumas configurações, um ou mais microcontroladores, em um sistema de controle, são empregados para a monitoração e o controle geral do sistema, incluindo a regulação da velocidade

e do passo, a aplicação dos freios no eixo de alta velocidade e no direcionador, a aplicação do motor na bomba e no direcionador, e o monitoramento das falhas. As arquiteturas de controle alternativas, como as distribuídas e as centralizadas, podem ser usadas em formas alternativas de realização da turbina eólica 100.

[0022] Na forma de realização de exemplo, o passo de cada uma das pás de hélice 114 é controlado de forma individual. O cubo 112 e as pás de hélice 114, juntos, formam o rotor 110 da turbina eólica. A rotação do rotor 110 faz com que um gerador (não ilustrado nas figuras) produza energia elétrica.

[0023] Em uso, as pás de hélice 114 são posicionadas ao redor do cubo 112 de modo a permitir a rotação do rotor 110 para transferir a energia cinética do vento em energia mecânica passível de ser utilizada. Conforme o vento bate nas pás de hélice 114, e as pás de hélice são postas a girar e são submetidas às forças centrífugas, as pás de hélice 114 são submetidas a vários momentos de torção ou de deflexão. Desta forma, as pás de hélice 114 defletem e/ou giram de uma posição neutra, ou não defletida, para uma posição defletida. Ainda mais, o ângulo do passo das pás de hélice 114 pode ser mudado por meio de um mecanismo de mudança do passo (não mostrado) de modo a permitir o aumento ou a redução na velocidade das pás de hélice 114, e para permitir a redução do impacto contra a torre 102.

[0024] Com referência também à figura 2, a pá de hélice 114 inclui um núcleo 120, o qual é formado a partir de uma espuma polimérica, de madeira, e/ou de um alvéolo de metal. Uma longarina principal 122 e uma longarina terminal 124 são envolvidas pelo núcleo 120. Exemplos de espumas poliméricas apropriadas incluem, mas não estão limitadas a espumas de PVC, espumas de poliolefina, espumas de epóxi, espumas de poliuretano, espumas de poliisocianurato, e misturas entre estas. O núcleo 120 é recoberto com pelo menos uma camada de reforço 126. Cada camada de reforço 126 é formada a

partir de uma matriz de fibras de reforço. Em particular, a matriz é uma matriz tecida de fibras de reforço ou é uma matriz não tecida de fibras de reforço. Exemplos de fibras de reforço apropriadas incluem, mas não estão limitadas a fibras de vidro, fibras de grafite, fibras de carbono, fibras poliméricas, fibras cerâmicas, fibras de aramida, fibras de "kenaf (planta indiana usada na fabricação de sacos), fibras de juta, fibras de linho, fibras de cânhamo, fibras celulósicas, fibras de sisal, fibras de coco e misturas entre estas.

[0025] Uma resina é aplicada como uma infusão dentro do núcleo 120 e das camadas de reforço 126 de modo a fornecer integridade e resistência à pá de hélice 114. Exemplos de resinas apropriadas incluem, mas não estão limitadas a resinas de éster vinílico, resinas de epóxi, resinas de poliéster, e misturas destas. Uma membrana micro porosa 128 é aplicada na superfície externa da pá de hélice 114 de modo a permitir o processo de infusão da resina. A resina é introduzida dentro do núcleo 120 sob vácuo. O vácuo faz com que a resina flua através do núcleo 120 e das camadas de reforço 126. A membrana micro porosa 128 permite que o ar, que é deslocado pela resina, escape do núcleo 120 e das camadas de reforço 126. Contudo, a membrana micro porosa 128 não permite que a resina passe através da membrana 128. A membrana micro porosa 128, em uma forma de realização de exemplo, apresenta um tamanho médio de poro de cerca de 0,01 micrômetros (μm) a cerca de 10 μm , e em outra forma de realização, de cerca de 0,1 μm a cerca de 5 μm . A membrana micro porosa 128 é formada a partir de, por exemplo, politetrafluoretileno, poliolefina, poliamida, poliéster, polissulfona, polieter, polímeros de acrílico e de metacrílico, poliestireno, poliuretano, polietileno, polifeneleno sulfona e das misturas entre estes.

[0026] Em uma forma de realização, a membrana micro porosa 128 também inclui um material de revestimento ("backing material") laminado em

uma superfície, O material de revestimento é formado a partir de fibras poliméricas, por exemplo, de fibras de poliéster, de fibras de nylon, de fibras de polietileno e das misturas entre estas. Um material transportador de ar 129 é posicionado sobre a membrana micro porosa 128, de modo a auxiliar na desgaseificação do núcleo, através da permissão de que o ar deslocado pela resina infusa escape para a atmosfera O material transportador de ar 129 pode ser formado a partir de qualquer material de malha apropriado, por exemplo, de uma malha de polietileno

[0027] Em uma forma de realização de exemplo, o núcleo 120 inclui uma pluralidade de canais 130 para permitir o fluxo de resina através do núcleo 120.

[0028] Em formas alternativas de realização, o núcleo não inclui os canais 130.

[0029] Para formar a pá de hélice 114 do rotor, as camadas de reforço 126 são envolvidas ao redor do núcleo 120 de modo a formar um subconjunto 131 da pá de hélice, o qual é então posicionado em um molde 132.

[0030] Em formas alternativas de realização, não é empregado o molde 132. Uma conexão de entrada 134 para a resina da infusão é posicionada adjacente à camada de reforço 126 externa. A membrana micro porosa 128 é então posicionada sobre a camada de reforço 126 externa e a conexão de entrada da resina da infusão. O material transportador de ar 129 é então posicionado sobre a membrana micro porosa 128, e uma conexão 136 com o vácuo é posicionada adjacente ao material transportador de ar 129. Um filme para vácuo 138, formado a partir de um material apropriado, por exemplo, uma poliamida, é posicionado sobre o material transportador de ar 129 com a conexão do vácuo se estendendo através do filme para vácuo 138. A resina é introduzida no núcleo 120 e nas camadas de reforço 126 através da conexão de entrada

134, enquanto que é estabelecido um vácuo através da conexão de vácuo 136. O vácuo permite o fluxo de resina e causa a infusão da resina dentro do núcleo 120 e dentro das camadas de reforço 126. A membrana micro porosa 128 evita que a resina flua para fora do núcleo 120 e das camadas de reforço 126, ao mesmo tempo em que evita que o ar deslocado pela resina infusa escape para a atmosfera. A resina é então curada e a conexão de entrada 134, a conexão do vácuo 136, o material transportador de ar 129 e o filme para vácuo 138 são removidos da pá de hélice 114.

[0031] Apesar da invenção ter sido descrita em termos de várias formas específicas de formas de realização, os peritos na arte irão perceber que a invenção pode ser realizada na prática com modificações, sempre dentro do espírito e do escopo das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA A MANUFATURA DE UMA PÁ DE HÉLICE (114) DO ROTOR DE TURBINA EÓLICA (100), caracterizado por compreender as etapas de:

- fornecer um núcleo (120),
- aplicar ao menos uma camada de reforço (126) sobre o núcleo (120), cada camada de reforço (126) compreendendo uma matriz de fibras de reforço de modo a formar um subconjunto (131) da pá de hélice;
- aplicar uma membrana micro porosa (128) sobre a ao menos uma camada de reforço (126);
- aplicar um filme para vácuo (138) sobre a membrana micro porosa (128),
- introduzir uma resina polimérica no núcleo (120) entre a membrana micro porosa (128) e a ao menos uma camada de reforço (126);
- realizar a infusão da resina através do núcleo (120) e através da ao menos uma camada de reforço (126) por meio da aplicação de um vácuo no subconjunto (131) de pá de hélice; e
- curar a resina de modo a formar a pá de hélice do rotor (114).

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que fornecer um núcleo (120) compreende fornecer um núcleo (120) compreendendo uma pluralidade de canais (130) de modo a permitir que a resina flua através do núcleo (120).

3. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo fato de que as fibras de reforço compreendem ao menos uma entre fibras de vidro, fibras de grafite, fibras de carbono, fibras cerâmicas, fibras de aramida, fibras de "kenaf, fibras de juta, fibras de linho, fibras de celulose, fibras de sisal, e fibras de coco.

4. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que ainda compreende aplicar uma camada de um material transportador de ar (129) entre o filme para vácuo (138) e a membrana micro porosa (128).

5. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a resina compreende ao menos uma entre resinas de éster vinílico, resinas epóxi, e resinas de poliéster.

6. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o núcleo (120) compreende ao menos um entre espuma polimérica, madeira, e alvéolo de metal.

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que a membrana micro porosa (128) compreende ao menos um entre politetrafluoretileno, poliolefina, poliamida, poliéster, polissulfona, polieter, polímeros de acrílico e de metacrílico, poliestireno, poliuretana, polietileno e polifeneleno sulfona.

8. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que a membrana micro porosa (128) compreende uma pluralidade de poros apresentando um diâmetro médio de partícula de 0,01 μm a 10 μm .

9. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a membrana micro porosa (128) compreende uma pluralidade de poros apresentando um diâmetro médio de partícula de 0,1 μm a 5 μm .

10. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que a membrana micro porosa (128) compreende um material de revestimento em uma superfície.

22

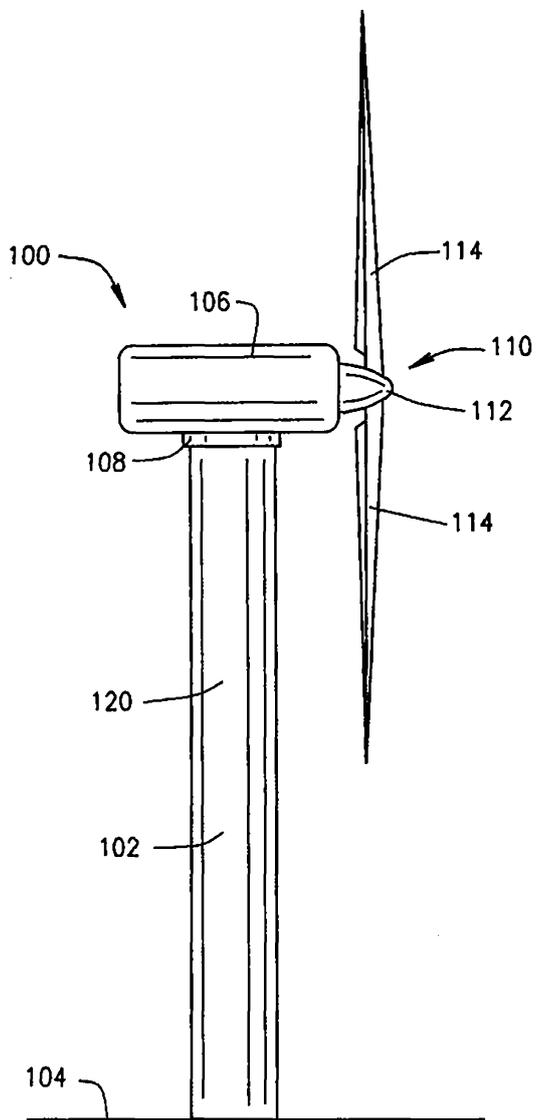


FIG. 1

RESUMO

**“MÉTODO PARA A MANUFATURA DE UMA PÁ DE HÉLICE DO ROTOR
DE TURBINA EÓLICA”**

A presente invenção refere-se a um método para a manufatura de uma pá de hélice (114) do rotor de turbina eólica (100) compreendendo as etapas de:

- fornecer um núcleo (120),
- aplicar ao menos uma camada de reforço (126) sobre o núcleo (120), cada camada de reforço (126) compreendendo uma matriz de fibras de reforço de modo a formar um subconjunto (131) da pá de hélice;
- aplicar uma membrana micro porosa (128) sobre a ao menos uma camada de reforço (126);
- aplicar um filme para vácuo (138) sobre a membrana micro porosa (128),
- introduzir uma resina polimérica no núcleo (120) entre a membrana micro porosa (128) e a ao menos uma camada de reforço (126);
- realizar a infusão da resina através do núcleo (120) e através da ao menos uma camada de reforço (126) por meio da aplicação de um vácuo no subconjunto (131) de pá de hélice; e
- curar a resina de modo a formar a pá de hélice do rotor (114).