



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 761 978 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
31.10.2001 Bulletin 2001/44

(51) Int Cl.7: **F04D 29/02**, F04D 29/28,
F01D 5/34

(21) Numéro de dépôt: **96401836.0**

(22) Date de dépôt: **28.08.1996**

(54) **Turbine en matériau composite thermostructural, en particulier à grand diamètre, et procédé pour sa fabrication**

Rotor aus thermostrukturellem Verbundmaterial, insbesondere mit grossem Diameter und sein Herstellungsverfahren

Thermostructural composite material rotor, particularly of large diameter and its method of manufacturing

(84) Etats contractants désignés:
DE ES FR GB IT

(30) Priorité: **30.08.1995 FR 9510206**

(43) Date de publication de la demande:
12.03.1997 Bulletin 1997/11

(73) Titulaire: **SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET DE
CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION,
"S.N.E.C.M.A."
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Maumus, Jean-Pierre
33150 Cenon (FR)**

• **Martin, Guy
33160 Saint Aubin de Medoc (FR)**

(74) Mandataire: **Joly, Jean-Jacques et al
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cédex 07 (FR)**

(56) Documents cités:
FR-A- 382 496 **FR-A- 2 504 209**
FR-A- 2 584 106 **FR-A- 2 686 907**
GB-A- 846 071

EP 0 761 978 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne les turbines, et plus particulièrement celles destinées à fonctionner à des températures élevées, typiquement supérieures à 1 000°C.

[0002] Un domaine d'application de telles turbines est le brassage des gaz ou la ventilation dans des fours ou installations similaires utilisés pour réaliser des traitements physico-chimiques à températures élevées, le milieu ambiant étant par exemple constitué de gaz neutres ou inertes.

[0003] De façon habituelle, ces turbines sont en métal, généralement constituées de plusieurs éléments assemblés par soudage. L'utilisation de métal entraîne plusieurs inconvénients. Ainsi, la masse élevée des parties tournantes requiert des lignes d'arbres importantes et des moteurs très puissants et impose de toute façon une limitation de la vitesse de rotation. S'ajoute une limitation en température du fait du risque de fluage du métal.

[0004] De plus, la sensibilité du métal aux chocs thermiques peut entraîner la formation de criques ou des déformations. Il en résulte des déséquilibres de la masse tournante favorisant une diminution de la durée de vie des turbines et de leurs moteurs d'entraînement. Or, dans les applications évoquées plus haut, des chocs thermiques importants peuvent se produire, notamment en cas d'injection massive d'un gaz froid, pour faire baisser rapidement la température à l'intérieur d'un four en vue de réduire la durée de cycles de traitement.

[0005] Afin d'éviter les problèmes rencontrés avec les métaux, d'autres matériaux ont déjà été proposés pour réaliser des turbines, en particulier des matériaux composites. Ainsi, il est proposé, dans le document FR-A-2 504 209, de réaliser les aubes d'une turbine en matériau composite à renfort fibreux qui présentent une bonne tenue mécanique. Pour des utilisations à températures élevées, on fait appel à des matériaux composites thermostrostructuraux. Ces matériaux sont généralement constitués d'une texture de renfort fibreux, ou préforme, densifiée par une matrice et sont caractérisés par leurs propriétés mécaniques qui les rendent aptes à constituer des éléments structuraux et par leur capacité à conserver ces propriétés jusqu'à des températures élevées. Des exemples usuels de matériaux composites thermostrostructuraux sont les composites carbone-carbone (C-C) constitués d'un renfort en fibres de carbone et d'une matrice en carbone, et les composites à matrice céramique (CMC) constitués d'un renfort en fibres de carbone ou céramique et d'une matrice céramique.

[0006] Par rapport aux métaux, les matériaux composites thermostrostructuraux présentent les avantages essentiels d'une densité bien inférieure et d'une grande stabilité aux températures élevées. La diminution de masse et la suppression du risque de fluage peuvent autoriser des vitesses de rotation élevées et, par là même, de très forts débits de ventilation sans demander

un surdimensionnement des organes d'entraînement. En outre, les matériaux composites thermostrostructuraux présentent une très grande résistance aux chocs thermiques.

[0007] Les matériaux composites thermostrostructuraux présentent donc des avantages importants au plan des performances, mais leur emploi est limité en raison de leur coût assez élevé. Outre les matières utilisées, le coût provient essentiellement des difficultés rencontrées pour réaliser des préformes fibreuses, notamment lorsque les pièces à fabriquer ont des formes complexes, ce qui est le cas des turbines, et de la durée des cycles de densification.

[0008] Aussi, un but de la présente invention est de proposer une architecture de turbine particulièrement adaptée à sa réalisation en matériau composite thermostrostructural afin de bénéficier des avantages de ce matériau mais avec un coût de fabrication aussi réduit que possible.

[0009] Un autre but de la présente invention est de proposer une architecture de turbine convenant à la réalisation de turbines de grandes dimensions, c'est-à-dire dont le diamètre peut largement dépasser 1 m.

[0010] Selon un de ses aspects, la présente invention a pour objet un procédé de fabrication d'une turbine comprenant une pluralité de pales disposées autour d'un moyeu, entre deux flasques, les pales, le moyeu et les flasques étant en matériau composite thermostrostructural, procédé selon lequel :

(a) on réalise le moyeu par empilement suivant un même axe de plaques annulaires planes en matériau composite thermostrostructural, et immobilisation des plaques les unes par rapport aux autres en rotation autour de l'axe,

(b) on réalise chaque pale avec une partie de bord interne constituant un pied de pale de forme renflée, en mettant en oeuvre les étapes consistant à :

- mettre en forme une texture fibreuse essentiellement bidimensionnelle en plaque ou en feuille, pour obtenir une préforme de pale,
- densifier la préforme par une matrice pour obtenir une ébauche de pale en matériau composite thermostrostructural, et
- usiner le contour de la préforme densifiée,

(c) on réalise chaque flasque en mettant en oeuvre les étapes consistant à ;

- réaliser une préforme annulaire ou sensiblement annulaire au moyen d'une texture fibreuse essentiellement bidimensionnelle en plaque ou en feuille, et
- densifier la préforme par une matrice pour obtenir une pièce en matériau composite thermostrostructural, et

(d) on assemble les pales au moyeu, entre les flasques, chaque pale étant reliée au moyeu par insertion du pied de pale dans une gorge de forme correspondante pratiquée dans le moyeu.

[0011] Ainsi, pour ses parties essentielles, la turbine est réalisée par assemblage de pièces ayant une forme simple, par exemple les plaques annulaires planes composant le moyeu, ou de pièces fabriquées à partir de préformes fibreuses ayant une forme simple (plaque ou feuille bidimensionnelle), par exemple les pales et les flasques.

[0012] On évite ainsi les difficultés rencontrées pour la fabrication et la densification de préformes ayant des formes complexes, ou les pertes de matière occasionnées par un usinage de pièces de forme complexe dans des blocs massifs de matériau composite thermostrostructural.

[0013] Selon une particularité du procédé, le pied de pale de forme renflée est formé par mise en place d'un insert dans une fente pratiquée dans la texture fibreuse utilisée pour réaliser la préforme d'une pale.

[0014] Selon une autre particularité du procédé, on assemble les plaques constitutives du moyeu avec au moins une plaque annulaire, constituant un premier flasque fermant les passages entre pales à une extrémité de la turbine, par serrage axial sur un arbre sur lequel la turbine est montée.

[0015] Le deuxième flasque, qui ménage avec le moyeu une zone annulaire d'entrée de fluide pour aspiration à travers les passages entre pales, est monté sur les pales, par exemple par engagement dans des encoches du flasque de talons formés sur les bords adjacents des pales, et/ou par collage. En variante, ce deuxième flasque peut être statique.

[0016] Selon un autre de ses aspects, l'invention a pour objet une turbine en matériau composite thermostrostructural comprenant une pluralité de pales disposées autour d'un moyeu, entre deux flasques, la turbine étant caractérisée en ce qu'elle comprend des plaques annulaires planes en matériau composite thermostrostructural empilées suivant un même axe, immobilisées les unes par rapport aux autres en rotation autour de l'axe et formant un moyeu, et les pales en matériau composite thermostrostructural sont reliées individuellement au moyeu par une partie formant pied de pale.

[0017] Avantageusement, lesdites plaques annulaires planes en matériau composite thermostrostructural forment un ensemble comprenant le moyeu et un premier flasque fermant les passages entre pales à une extrémité de la turbine.

[0018] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après, à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective partiellement arrachée montrant une turbine conforme à l'inven-

tion assemblée et montée sur un arbre ;

- la figure 2 est une vue partielle en coupe de la turbine de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue très schématique d'une pale de la turbine de la figure 1 ; et
- la figure 4 montre les étapes successives de réalisation de la pale de la figure 3.

[0019] Les figures 1 et 2 illustrent une turbine comprenant une pluralité de pales 10 disposées régulièrement autour d'un moyeu 20, entre deux flasques d'extrémité 30, 40. Ces différents éléments constitutifs de la turbine sont en un matériau composite thermostrostructural, par exemple un matériau composite carbone-carbone (C-C) ou un matériau composite à matrice céramique tel qu'un matériau composite C-SiC (renfort en fibres de carbone et matrice en carbure de silicium).

[0020] Les pales 10 délimitent entre elles des passages 11 pour la circulation de fluide. A une extrémité axiale de la turbine, les passages 11 sont fermés par le flasque 30 de forme annulaire qui s'étend depuis le moyeu 20 jusqu'au bord extérieur libre 12 des pales 10. A l'autre extrémité axiale, le flasque 40, de forme sensiblement annulaire, s'étend sur une partie seulement de la longueur des pales 10, depuis leur bord extérieur 12.

[0021] L'espace libre entre le bord interne 41 du flasque 40 et le moyeu 20 définit une zone d'entrée d'où un fluide peut être aspiré, à travers les passages 11, pour être éjecté au niveau de la couronne extérieure de la turbine, comme le montrent les flèches F de la figure 2.

[0022] On décrira maintenant la façon dont les différentes pièces constitutives de la turbine sont réalisées et, ensuite, assemblées.

[0023] Le moyeu 20 est formé de plaques annulaires 21 qui sont empilées suivant l'axe A de la turbine. Les plaques 21 ont même diamètre intérieur définissant le passage central du moyeu. Dans chaque plaque, le diamètre extérieur croît progressivement depuis la face la plus proche de la zone d'entrée de fluide jusqu'à la face opposée, et les faces en contact de deux plaques voisines ont même diamètre extérieur, de sorte que l'ensemble des plaques 21 forme un moyeu d'épaisseur régulièrement croissante entre le flasque 40 et le flasque 30, sans discontinuité. Des gorges 23 en forme de queue d'aronde sont formées à la périphérie du moyeu 20 afin de recevoir les pieds des pales 10 et assurer la liaison de celles-ci avec le moyeu comme indiqué plus en détail dans la suite de la description. Les gorges 23 s'étendent axialement sur toute la longueur du moyeu 20 en étant réparties régulièrement autour de celui-ci. Dans les plaques 21 de plus grand diamètre extérieur, les gorges 23 communiquent avec l'extérieur à travers des rainures 23a dont la largeur correspond sensiblement à l'épaisseur d'une pale.

[0024] Chaque plaque annulaire 21 est réalisée individuellement en matériau composite thermostrostructural. A cet effet, on peut utiliser une structure fibreuse en forme de plaque dans laquelle une préforme annulaire est

découpée. Une telle structure est fabriquée par exemple par empilement à plat de strates de texture fibreuse bidimensionnelle, telle que nappe de fils ou de câbles, tissu, etc., et liaison des strates entre elles par aiguilletage, comme décrit par exemple dans le document FR-A-2 584 106.

[0025] La préforme annulaire découpée dans cette plaque est densifiée par le matériau constitutif de la matrice du matériau composite thermostructural à réaliser. La densification est réalisée de façon connue en soi par infiltration chimique en phase vapeur, ou par voie liquide, c'est-à-dire imprégnation par un précurseur de la matrice à l'état liquide et transformation du précurseur. Après densification, la plaque annulaire est usinée pour être amenée à ses dimensions définitives et pour former les encoches qui, après empilement des plaques, constituent les gorges 23 et rainures 23a.

[0026] Les plaques 21 sont solidarisées en rotation autour de l'axe A de la turbine au moyen de vis 26 qui s'étendent axialement à travers toutes les plaques. Les vis 26 sont usinées dans un bloc en matériau composite thermostructural.

[0027] Le flasque 30, qui ferme les passages 11 à l'opposé de la zone d'entrée de fluide, est réalisé en matériau composite thermostructural par densification d'une préforme fibreuse. La préforme est fabriquée par exemple par empilement à plat de strates bidimensionnelles et liaison des strates entre elles par aiguilletage.

[0028] Dans l'exemple illustré, le flasque 30 a une épaisseur qui croît de façon continue depuis sa périphérie jusqu'à sa circonférence interne. Une plaque intermédiaire annulaire 31 peut être interposée entre le moyeu 20 proprement dit et le flasque 30 proprement dit, cette plaque 31 ayant un profil externe tel qu'il permet à la face du flasque 30 tournée vers l'intérieur de la turbine de se raccorder sans discontinuité à la surface extérieure du moyeu 20. La plaque 31 est solidarisée en rotation avec les plaques 21 au moyen des vis 26 en matériau composite thermostructural. On notera que le profil du flasque 30 pourra être obtenu à partir d'une préforme réalisée par empilement de strates annulaires dont le diamètre extérieur décroît progressivement.

[0029] Après densification, un usinage du flasque à ses dimensions définitives est réalisé. En particulier, on confère à la face annulaire interne 37 du flasque 30 une forme tronconique en vue du montage de la turbine sur un arbre. La solidarisation du flasque 30 avec le moyeu 20 en rotation autour de l'axe A est réalisée au moyen de vis 36 en matériau composite thermostructural qui relie le flasque 30 à la plaque 31.

[0030] Chaque pale 10 se présente sous forme d'une plaque mince à surface incurvée dont le contour est représenté très schématiquement sur la figure 3. Du côté interne destiné à être raccordé au moyeu 20, chaque pale 10 présente une partie renflée formant pied de pale 13 dont la forme et les dimensions correspondent à celles des rainures 23 du moyeu. Le bord de la pale 10 situé du côté de la zone d'entrée de fluide présente, à

partir du pied 13, une première partie courbe convexe 14a qui se termine par une saillie radiale formant talon 16. Celui-ci se raccorde au bord d'extrémité 12 par une deuxième partie convexe 14b. Le bord de la pale opposé à la zone d'entrée de fluide présente, à partir du pied 13, une partie radiale 15a prolongée par une partie concave 15b qui suit le profil des faces adjacentes de la plaque intermédiaire 31 et du flasque 30.

[0031] Des étapes successives permettant de réaliser la pale 10 en matériau composite thermostructural sont indiquées sur la figure 4.

[0032] On utilise une structure fibreuse déformable en forme de feuille ou plaque dont l'épaisseur correspond à celle de la pale et qui est formée par exemple par superposition et aiguilletage de strates fibreuses bidimensionnelles comme décrit dans le document FR-A-2 584 106 ou encore le document FR-A-2 686 907.

[0033] La structure fibreuse est découpée pour reproduire approximativement le contour de la pale (étape 100), puis le bord correspondant à l'emplacement du pied est fendu afin d'introduire un insert I autour duquel les parties de la structure fibreuse situées de part et d'autre de la fente sont repliées (étape 101). La structure fibreuse est alors préimprégnée par une résine et mise en forme dans un outillage T afin de lui donner une forme voisine de celle de la pale à réaliser (étape 102). Après réticulation de la résine dans l'outillage, on obtient une préforme P de la pale. La résine est ensuite pyrolysée laissant un résidu par exemple en carbone liant suffisamment les fibres entre elles pour que la préforme P conserve sa forme. La densification peut alors être poursuivie hors de l'outillage soit en continuant par voie liquide, soit par infiltration chimique en phase vapeur (étape 103).

[0034] Après densification, on procède à un usinage précis du contour de la pale afin notamment de former le talon 16 et les bords 12, 14, 15 (étape 104).

[0035] Le flasque annulaire 40 a un profil incurvé correspondant à celui de la partie de bord 14b des pales. Il est réalisé par densification d'une texture fibreuse en forme de feuille ou plaque, de la même façon que les pales 10. Après densification, le flasque 40 est usiné pour être porté à ses dimensions définitives et pour former des encoches 46 destinées à recevoir les talons 16 des pales 10.

[0036] Le montage de la turbine est réalisé de la façon suivante.

[0037] Les pales 10 sont accrochées sur le flasque 40 par engagement des talons 16 dans les encoches 46. Ensuite, le moyeu 20 est constitué par mise en place des plaques 21 les unes après les autres, tout en insérant les pieds 13 des pales dans les gorges 23. La plaque 31 est mise en place puis les plaques 21 sont liées entre elles et avec la plaque 31 par les vis 26. Le flasque 30 est ensuite mis en place, ainsi que les vis 36. On notera que des rainures respectivement 44, 35 peuvent être formées sur les faces internes des flasques 40 et 30 dans lesquelles les bords respectivement 24b et 25b

des pales peuvent être insérés pour assurer un maintien plus effectif des pales.

[0038] Le maintien à l'état assemblé des différentes pièces de la turbine est assuré par montage sur un arbre 50 (uniquement représenté sur la figure 2). Celui-ci présente un épaulement tronconique 51, qui s'appuie sur la surface annulaire interne tronconique correspondante 37 du flasque 30, traverse le moyeu 20 et fait saillie au delà de celui-ci par une partie fileté 52.

[0039] Une bague 53 est disposée sur la plaque 21 à l'extrémité du moyeu opposée au flasque 30, la bague 53 ayant un diamètre suffisant pour obturer les gorges 23. Le serrage mutuel des plaques 21, 31 et du flasque 30 est assuré par un écrou 55 engagé sur la partie fileté 52 et exerçant un effort sur la bague 53 par l'intermédiaire d'une autre bague 56, les bagues 53 et 56 étant en appui mutuel par des surfaces tronconiques.

[0040] Le maintien du flasque 40 est assuré simplement par accrochage sur les talons 16 des pales.

[0041] La fixation du flasque 40 sur les pales pourra en variante être réalisée par collage, avec ou sans accrochage mécanique de talons des pales dans des encoches du flasque. Après collage, il pourra être avantageux de réaliser un cycle d'infiltration chimique en phase vapeur afin de densifier le joint de colle et établir une continuité de la matrice aux interfaces entre les pièces collées.

[0042] Toujours en variante, et dans la mesure où un maintien efficace des pales est assuré par leur montage sur le moyeu et leur insertion dans des rainures du flasque 30, le flasque 40 pourra être constitué par une pièce statique, c'est-à-dire non liée en rotation au reste de la turbine.

[0043] Une turbine telle qu'illustrée par les figures 1 et 2 a été réalisée en composite C-C ayant un diamètre de 950 mm et une largeur, en direction axiale, de 250 mm. Elle a été utilisée pour réaliser une aspiration de gaz d'une température de 1200°C à une vitesse de rotation de 3 000 tr/min assurant un débit de 130 000 m³/h.

[0044] Par rapport à une turbine métallique de mêmes dimensions, le gain de masse est d'un rapport d'environ 5, c'est-à-dire environ 40 kg pour la turbine en composite C-C contre 200 kg pour la turbine en métal. La masse de la turbine métallique fait que sa vitesse de rotation ne peut en pratique dépasser environ 800 tr/min.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une turbine comprenant une pluralité de pales disposées autour d'un moyeu, entre deux flasques, les pales, le moyeu et les flasques étant en matériau composite thermostrostructural, procède selon lequel :

(a) on réalise le moyeu par empilement suivant un même axe de plaques annulaires planes en matériau composite thermostrostructural, et immo-

bilisation des plaques les unes par rapport aux autres en rotation autour de l'axe,

(b) on réalise chaque pale avec une partie de bord interne constituant un pied de forme renflée, en mettant en oeuvre les étapes consistant à :

- mettre en forme une texture fibreuse essentiellement bidimensionnelle en plaque ou feuille, pour obtenir une préforme de pale,
- densifier la préforme par une matrice pour obtenir une ébauche de pale en matériau composite thermostrostructural, et
- usiner le contour de la préforme densifiée,

(c) on réalise chaque flasque en mettant en oeuvre les étapes consistant à :

- réaliser une préforme annulaire ou sensiblement annulaire au moyen d'une texture fibreuse essentiellement bidimensionnelle en plaque ou en feuille, et
- densifier la préforme par une matrice pour obtenir une pièce en matériau composite thermostrostructural, et

(d) on assemble les pales au moyeu, entre les flasques, chaque pale étant reliée au moyeu par insertion du pied de pale dans une gorge de forme correspondante pratiquée dans le moyeu.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on réalise la préforme de chaque pale par mise en forme d'une texture fibreuse préimprégnée.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** l'on forme un pied de pale par mise en place d'un insert dans une fente pratiquée dans la texture fibreuse utilisée pour réaliser la préforme d'une pale.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'on assemble les plaques constitutives du moyeu avec au moins une plaque annulaire constituant un premier flasque fermant les passages entre pales à une extrémité de la turbine auquel sont reliées les pales par serrage axial sur un arbre sur lequel la turbine est montée.

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le deuxième flasque, qui ménage avec le moyeu une zone annulaire d'entrée de fluide pour aspiration à travers les passages entre pales, est monté sur les pales.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en**

ce que le deuxième flasque présente des encoches dans lesquelles s'engagent des talons formés sur les bords adjacents des pales.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 et 6, **caractérisé en ce que** le deuxième flasque est collé sur les bords adjacents des pales. 5
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce que** l'on réalise un cycle d'infiltration chimique en phase vapeur après montage du deuxième flasque sur les pales. 10
9. Turbine en matériau composite thermostructural comprenant une pluralité de pales (10) disposées autour d'un moyeu (20), entre deux flasques (30, 40), comprenant des plaques annulaires planes (21) en matériau composite thermostructural empilées suivant un même axe, immobilisées les unes par rapport aux autres en rotation autour de l'axe et formant un moyeu (20), et les pales (10) en matériau composite thermostructural étant reliées individuellement au moyeu par une partie de bord interne constituant un pied de pale de forme renflée (13) engagé dans une gorge de forme correspondante pratiquée dans le moyeu. 20 25
10. Turbine selon la revendication 9, **caractérisée en ce que** lesdites plaques annulaires planes (21, 31, 30) en matériau composite thermostructural forment un ensemble comprenant le moyeu (20) et un premier flasque (30) fermant les passages entre pales à une extrémité de la turbine. 30
11. Turbine selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, **caractérisée en ce que** le deuxième flasque (40) qui ménage avec le moyeu (20) une zone annulaire d'entrée de fluide pour aspiration à travers les passages (11) entre pales, est fixé sur les pales. 35 40
12. Turbine selon l'une quelconque des revendications de 9 et 10, **caractérisée en ce que** la deuxième flasque qui ménage avec le moyeu une zone annulaire d'entrée de fluide pour aspiration à travers les passages entre pales, est statique. 45

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Turbine, die eine Mehrzahl von Schaufeln aufweist, die um eine Nabe herum zwischen zwei Scheiben angeordnet sind, wobei die Schaufeln, die Nabe und die Scheiben aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff bestehen, wobei gemäß diesem Verfahren: 50 55

(a) die Nabe durch eine einer gleichen Achse

folgenden Stapelung von ringförmigen, ebenen Platten aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff und durch Festlegung der Platten gegenseitig bei Rotation um die Achse hergestellt wird,

(b) jede Schaufel mit einem inneren Randbereich hergestellt wird, der einen Fuß mit verdickter Gestalt bildet, indem die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- Formen eines im Wesentlichen zweidimensionalen, plattenförmigen oder tafelförmigen Fasergebildes, um einen Vorformling der Schaufel zu erhalten,
- Verdichten des Vorformlings durch eine Matrix, um einen Rohling der Schaufel aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff zu erhalten, und
- Bearbeiten des Umrisses des verdichteten Vorformlings,

(c) jede Scheibe hergestellt wird, indem die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- Herstellen eines ringförmigen oder im Wesentlichen ringförmigen Vorformlings mit Hilfe eines im Wesentlichen zweidimensionalen Fasergebildes in Gestalt einer Platte oder Tafel und
- Verdichten des Vorformlings durch eine Matrix, um ein Teil aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff zu erhalten, und

(d) die Schaufeln mit der Nabe zwischen den Scheiben zusammengebaut werden, wobei jede Schaufel mit der Nabe durch Einsetzen des Fußes der Schaufel in eine Vertiefung mit entsprechender Gestalt, die in der Nabe ausgebildet ist, verbunden wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vorformling jeder Schaufel durch Formen eines vorimprägnierten Fasergebildes hergestellt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Schaufelfuß dadurch gebildet wird, dass ein Einsatzteil in einen Schlitz eingebracht wird, der in dem Fasergebilde ausgebildet ist, das dazu verwendet wird, um den Vorformling einer Schaufel herzustellen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

die die Nabe bildenden Platten mit wenigstens einer ringförmigen Platte zusammengebaut werden, die eine die Passagen zwischen Schaufeln an dem einen Ende der Turbine schließende, erste Scheibe bildet, mit der die Schaufeln durch axiales Spannen auf einer Welle verbunden werden, auf der die Turbine angebracht wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zweite Scheibe, die mit der Nabe eine ringförmige Fluideintrittszone zum Ansaugen durch die Passagen zwischen Schaufeln hindurch bildet, an den Schaufeln angebracht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zweite Scheibe Vertiefungen aufweist, in welche Ansätze eingreifen, die an den an die Schaufeln angrenzenden Rändern gebildet sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 und 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zweite Scheibe an die an die Schaufeln angrenzenden Ränder geklebt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Zyklus einer chemischen Infiltration in der Dampfphase nach Anbringen der zweiten Scheibe an den Schaufeln durchgeführt wird.

9. Turbine aus einem thermostrukturellen Verbundwerkstoff, die eine Mehrzahl von Schaufeln (10) aufweist, die um eine Nabe (20) herum zwischen zwei Scheiben (30, 40) angeordnet sind, wobei die Turbine ringförmige, ebene Platten (21) aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff aufweist, die gemäß einer gleichen Achse gestapelt sind, gegenseitig bei Rotation um die Achse festgelegt sind und eine Nabe (20) bilden, wobei die Schaufeln (10) aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff einzeln mit der Nabe durch einen inneren Randbereich, der einen Schaufelfuß mit verdickter Gestalt bildet, verbunden sind, der in eine in der Nabe gebildete Vertiefung mit entsprechender Gestalt eingreift.

10. Turbine nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

die ebenen, ringförmigen Platten (21, 31, 30) aus thermostrukturellem Verbundwerkstoff eine Anordnung bilden, die die Nabe (20) und eine erste Scheibe (30) aufweist, die die Passagen zwischen Schaufeln an einem Ende der Turbine schließt.

11. Turbine nach einem der Ansprüche 9 und 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zweite Scheibe (40), die mit der Nabe (20) eine ringförmige Fluideintrittszone zum Ansaugen durch die Passagen (11) zwischen Schaufeln hindurch bildet, an den Schaufeln fixiert ist.

12. Turbine nach einem der Ansprüche 9 und 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

die zweite Scheibe, die mit der Nabe eine ringförmige Fluideintrittszone zum Ansaugen durch die Passagen zwischen Schaufeln hindurch bildet, statisch ist.

Claims

1. A method of manufacturing a turbine comprising a plurality of blades disposed around a hub and between two end plates, the blades, the hub, and the end plates being made of thermostrukturelle composite material, in which method:

(a) the hub is made by stacking plane annular plates of thermostrukturelle composite material along a common axis, and fastening the plates so that they are constrained to rotate together about the axis;

(b) each blade is made with an inside edge portion constituting a swollen-shaped root by implementing the following steps:

- shaping an essentially two-dimensional fiber fabric in plate or sheet form in order to obtain a blade preform;
- densifying the preform with a matrix to obtain a blade blank made of thermostrukturelle composite material; and
- machining the outline of the densified preform;

(c) each end plate is made by implementing the following steps:

- making an annular or substantially annular preform by means of an essentially two-dimensional fiber fabric in plate or sheet form; and
- densifying the preform with a matrix to obtain a part made of thermostrukturelle composite material; and

(d) the blades are assembled to the hub between the end plates, each blade being connected to the hub by inserting the blade root in a groove of corresponding shape formed in the hub.

2. A method according to claim 1, **characterised in that** the preform of each blade is made by shaping

a preimpregnated fiber fabric.

3. A method according to claim 1 or 2, **characterised in that** a blade root is formed by placing an insert in a slit formed in the fiber fabric used for making the preform of a blade. 5
4. A method according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the plates constituting the hub are assembled together with at least one annular plate constituting a first end plate closing the passages between the blades at one end of the turbine, to which end plate the blades are connected by axial clamping on a shaft on which the turbine is mounted. 10
15
5. A method according to claim 4, **characterised in that** the second end plate which co-operates with the hub to leave an annular fluid inlet zone for suction through the passages between the blades, is mounted on the blades. 20
6. A method according to claim 5, **characterised in that** the second end plate has notches in which lugs formed on the adjacent edges of the blades are engaged. 25
7. A method according to claim 5 or 6, **characterised in that** the second end plate is stuck to the adjacent edges of the blades by adhesive. 30
8. A method according to any one of claims 5 to 7, **characterised in that** a chemical vapour infiltration cycle is performed once the second end plate has been assembled to the blades. 35
9. A turbine made of thermostructural composite material and comprising a plurality of blades (10) disposed around a hub (20) between two end plates (30, 40), the turbine comprising plane annular plates (21) of thermostructural composite material stacked along a common axis and fastened to one another so as to be constrained to rotate together about the axis, thereby forming a hub (20), and the blades (10) of thermostructural composite material being individually connected to the hub by an inside edge portion constituting a swollen-shaped blade root engaged in a groove of corresponding shape formed in the hub. 40
45
50
10. A turbine according to claim 9, **characterised in that** said plane annular plates (21, 31, 30) of thermostructural composite material form an assembly comprising the hub (20) and a first end plate (30) which closes the passages between the blades at one end of the turbine. 55
11. A turbine according to claim 9 or 10, **characterised**

in that the second end plate (40) which co-operates with the hub (20) to form an annular fluid inlet zone for suction through the passages (11) between the blades, is fixed on the blades.

12. A turbine according to claim 9 or 10, **characterised in that** the second end plate which co-operates with the hub to form an annular fluid inlet zone for suction through the passages between the blades, is static.

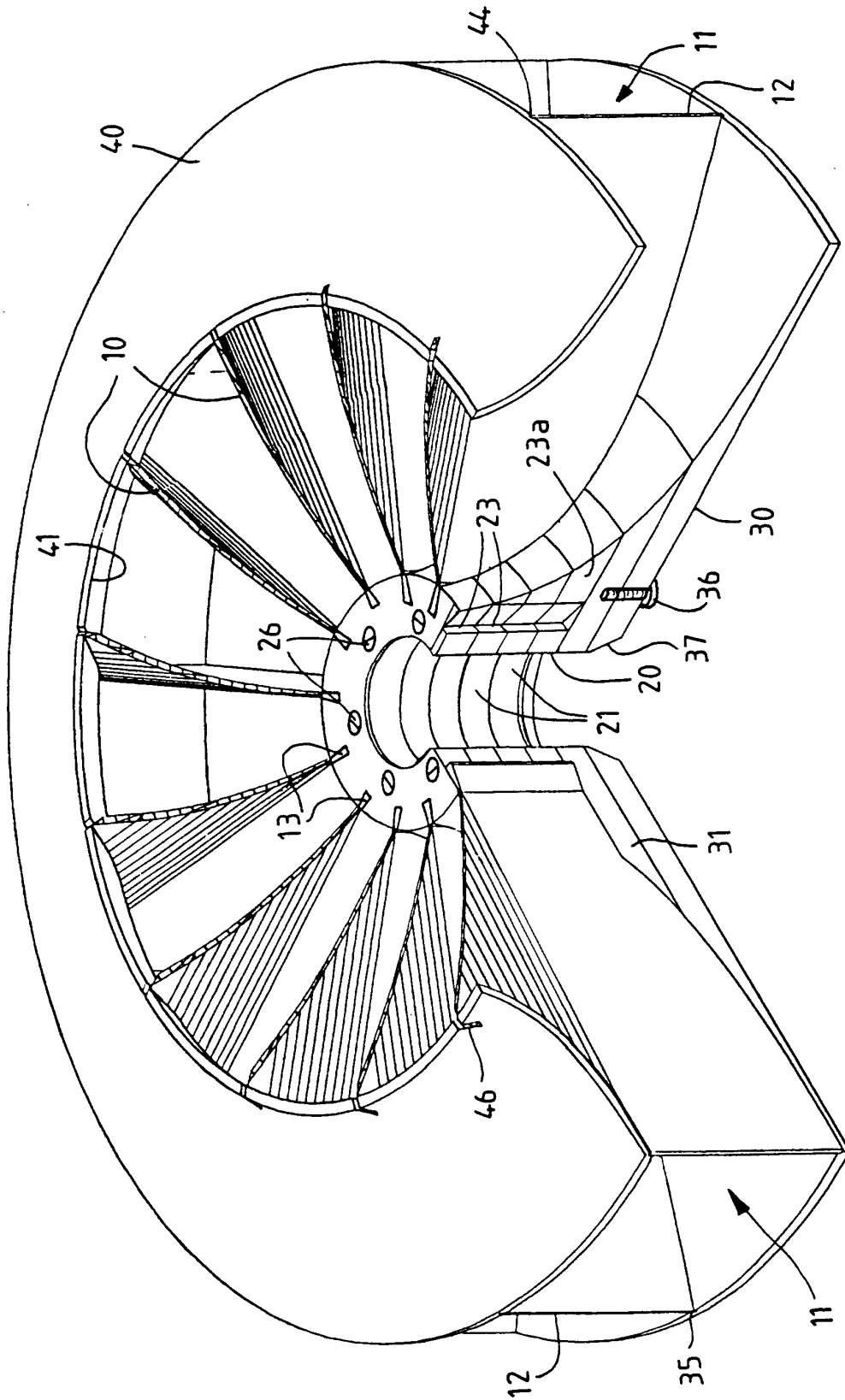
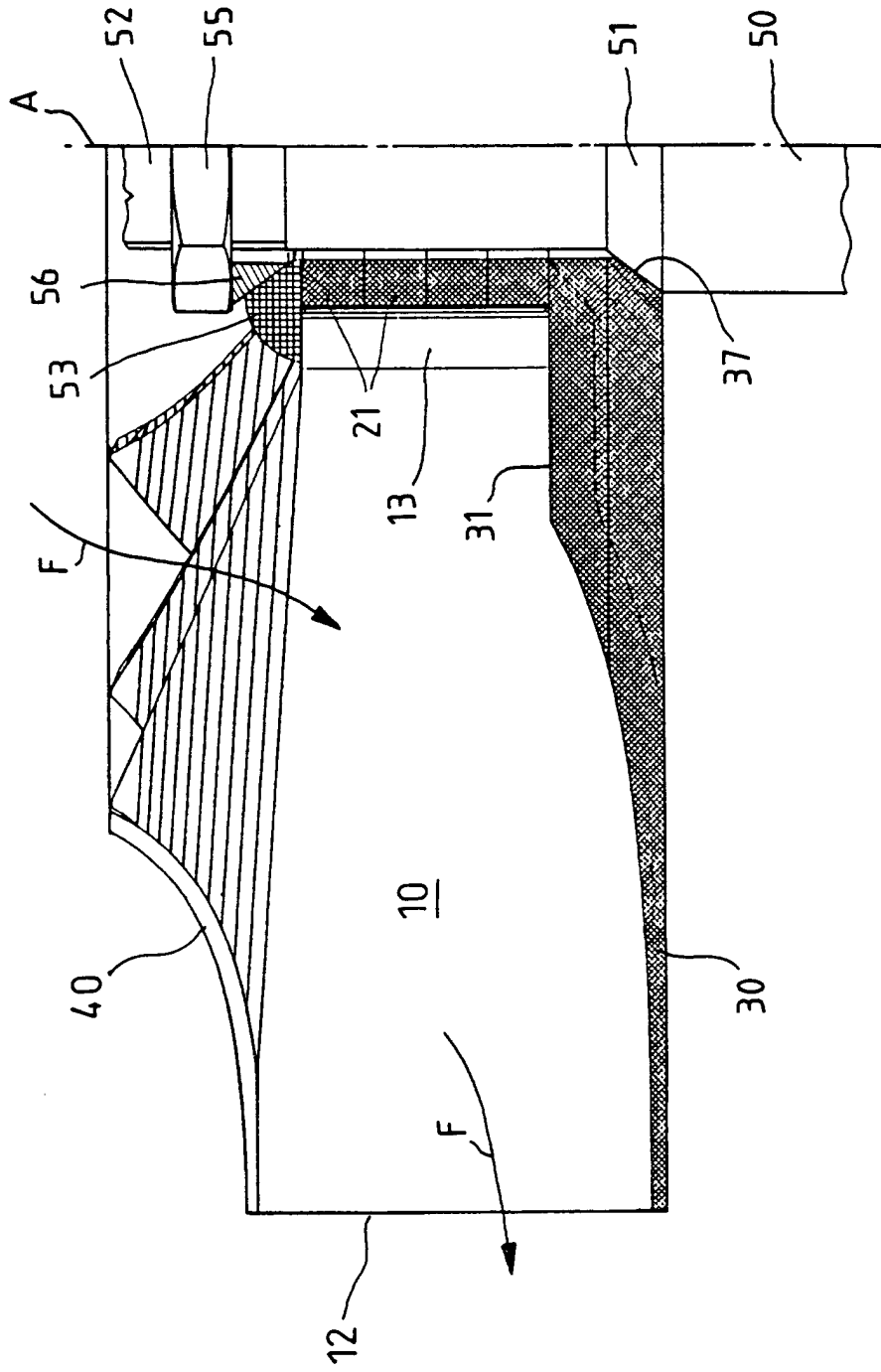


FIG. 1



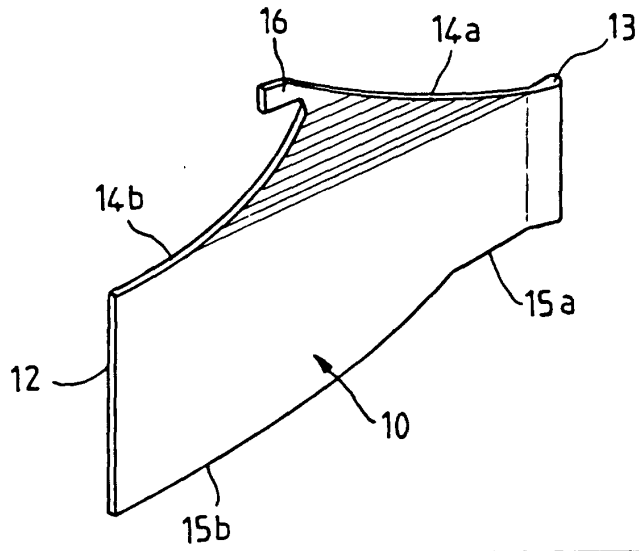


FIG. 3

FIG. 4

