(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 207 013 A1

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
22.05.2002 Bulletin 2002/21

(21) Numéro de dépôt: **01402916.9**

(22) Date de dépôt: **14.11.2001**

(51) Int Cl.[7]: **B24B 39/00**, B24B 1/04, C21D 7/06, B24C 1/10, B24C 5/08, F01D 5/28

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **16.11.2000 FR 0014767**

(71) Demandeurs:
- **SNECMA MOTEURS**
  75015 Paris (FR)
- **SNECMA SERVICES**
  75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
- **Berthelet, Benoît Jean Henri**
  94700 Maisons Alfort (FR)
- **Chareyre, Francis Lucien Guy**
  95130 Franconville (FR)
- **Fradin, Willy Lionmel**
  86220 Vaux sur Vienne (FR)
- **Hoffmann, Hakim**
  86530 Naintre (FR)
- **Kerneis, Stéphane Michel**
  78140 Velizy (FR)
- **Ntsama-Etoundi, MArie-Christine Marcelle**
  94220 Charenton Pont (FR)
- **Simon Guillaume, Francois Roger**
  78180 Montigny Le Bretonneux (FR)

(54) Procédé pour augmenter la durée de vie des attaches d'aubes sur un rotor

(57) L'invention propose un procédé pour augmenter la durée de vie des attaches d'aubes (26) sur les rotors notamment de turboréacteurs d'avions. Un tel procédé est remarquable en ce qu'il met en oeuvre un grenaillage fort par ultrasons des rainures (14) et des pieds (23) des aubes (20), ce grenaillage étant effectué avec un indice Almen au moins égal à F8A, afin d'augmenter la précontrainte de compression des surfaces en contact sans augmenter la rugosité de ces surfaces.

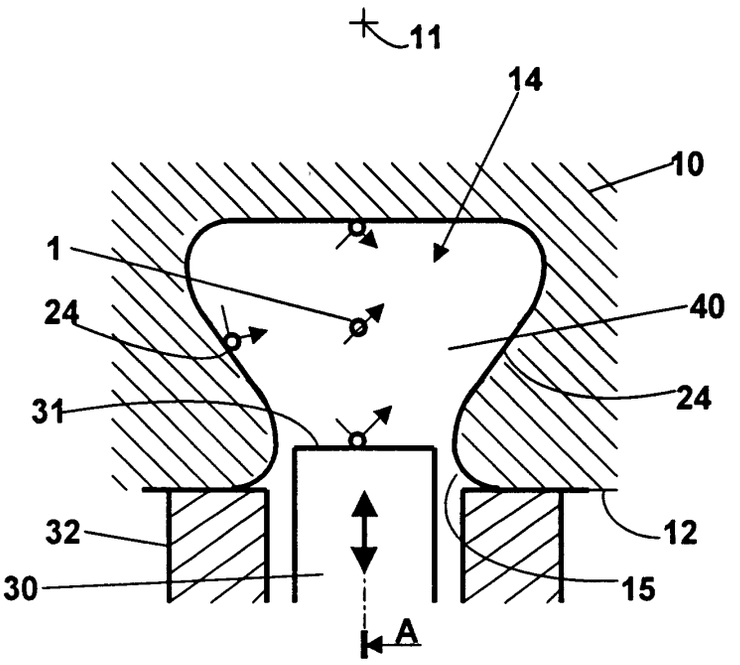

Fig : 4

EP 1 207 013 A1

Description

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention se rapporte aux attaches des aubes sur un rotor et plus particulièrement à un procédé pour en augmenter la durée de vie, ce procédé mettant en oeuvre une forme particulière de la technique de grenaillage dite "par ultrasons".

Etat de la technique et problème posé

[0002] Dans un turboréacteur pour avion, les rotors à aubes sont traditionnellement constitués d'une jante à la périphérie de laquelle sont montées une pluralité d'aubes amovibles. Le dispositif de montage est appelé dans la présente demande de brevet "attache d'aube". Ce dispositif comporte une rainure en queue d'aronde usinée dans la jante et un pied également en queue d'aronde usiné à la base de l'aube, l'assemblage s'effectuant par l'emboîtement du pied dans la rainure. Dans une forme plus élaborée dite "en pied de sapin", le queue d'aronde comporte plusieurs "bulbes" de taille décroissante, typiquement trois bulbes, chaque bulbe assurant séparément la fonction de la queue d'aronde. Dans ce qui suit, ces deux formes d'attaches seront dites indifféremment "en queue d'aronde". Les pieds d'aubes sont emboîtés dans les rainures par coulissement avec un jeu limité, les pieds étant ensuite immobilisés sans jeu par divers moyens de verrouillage. On comprend que les rainures et les pieds d'aubes sont le siège de fortes concentrations de contrainte et que leur réalisation est de ce fait particulièrement soignée. Les rotors de turboréacteurs sont habituellement en acier, en alliage de titane ou en superalliage à base de nickel ou de chrome.

[0003] Habituellement, les rotors font l'objet d'un grenaillage par projection de petites billes en matériau dur à l'aide d'une ou plusieurs buses à air comprimé. Ce grenaillage a pour effet de créer une précontrainte de compression à la surface du rotor sur une profondeur de quelques dixièmes de millimètres, cette précontrainte retardant l'apparition des fissures résultant de fortes sollicitations et augmentant ainsi la durée de vie du rotor. En cas de besoin, le grenaillage est précédé d'un traitement thermique de la pièce à traiter pour libérer les contraintes résiduelles restant dans cette pièce. Dans le cas où certaines parties de la pièce ne doivent pas être grenaillées, on les protège habituellement en les enduisant d'un matériau, tel un élastomère, de dureté suffisante pour résister aux impacts des billes.

[0004] Un grenaillage fort d'intensité Almen de l'ordre de F15A à F17A et permettant de créer à la surface du rotor une précontrainte de compression de l'ordre de 900 à 1100 MPa (méga pascals) est souhaitable, ces rotors étant habituellement en acier, en alliage de titane ou en superalliages à base de chrome ou de nickel. Malheureusement, un tel grenaillage augmente fortement la rugosité des surfaces traitées et réduit ainsi la résistance à l'usure par frottements vibratoires des surfaces des rainures et des pieds d'aubes en contact mutuel.

[0005] Cette augmentation de la rugosité d'une surface subissant un grenaillage fort par projection de petites billes est attestée par divers documents:

- Brevet EP 0 922 532 paragraphe [0005] colonne 1 lignes 33 à 38. L'une des solutions préconisée est de réduire l'intensité et le taux de recouvrement du grenaillage paragraphe [0006] lignes 39-40. Ce même brevet indique ligne 41 qu'il peut en résulter une réduction de la durée de vie de la pièce.
- Dans le magazine "Souder" n°5 de septembre 1998, l'étude "Le principe du choc laser et ses applications au traitement des matériaux" effectue une comparaison du grenaillage dit "par choc laser" avec le grenaillage conventionnel et indique page 13 avant dernier paragraphe que le grenaillage conventionnel crée des microcratères résultant des impacts des billes et augmentant la rugosité. Selon les exemples donnés par le premier tableau page 14, la rugosité (Ra) d'une surface usinée peut augmenter de 2,3 µm à 5,5 µm après un grenaillage fort.

[0006] L'article "Le grenaillage de précontrainte" publié en 1992 par le CETIM page 105-123 rend compte d'une conférence nationale ayant eu lieu les 25-26 septembre 1991 à Senlis en France. Il indique page 108 avant dernier paragraphe que le grenaillage d'une surface usinée conduit à une augmentation de la valeur de la rugosité. Ce même article précise dans le dernier paragraphe de cette même page que l'on peut diminuer la rugosité en réalisant le grenaillage en plusieurs passes d'intensité décroissantes. On peut comprendre que le grenaillage fort au départ augmente la rugosité et que les grenaillages de plus en plus légers qui suivent réduisent la rugosité en nivelant la surface grenaillée. Cette solution présente cependant l'inconvénient d'être longue car il faut plusieurs grenaillages, le premier assurant la mise en précontrainte de la surface grenaillée et les grenaillages suivant assurant progressivement la réduction de la rugosité qui est apparue pendant le premier grenaillage.

[0007] Le problème à résoudre est d'augmenter simultanément la résistance en fatigue et la résistance aux frottements vibratoires des rotors au niveau des attaches d'aubes, cette augmentation ne devant pas entraîner d'augmentation sensible du temps et du coût de fabrication des rotors.

[0008] Le grenaillage par projection de billes connaît actuellement une nouvelle forme de mise en oeuvre dite "par

ultrasons" dans laquelle les billes ne sont plus projetées par une buse à jet d'air comprimé mais par la percussion sur ces billes de la surface d'une sonotrode vibrant à des fréquences de l'ordre de 20 à 60 KHertz, les billes étant maintenues à l'intérieur d'une enceinte, la pièce à grenailler étant selon ses dimensions immergée à l'intérieur de l'enceinte ou présentée devant une ouverture de cette enceinte.

[0009] On connaît par le brevet FR 2 743 742 une application du grenaillage par ultrasons aux articles culinaires permettant de réduire les microcavités crées préalablement à la surface de l'ustensile pour favoriser l'accrochage d'un revêtement sur une partie de l'ustensile. Ce brevet indique page 5 ligne 32 que l'article culinaire est en aluminium. Il est connu que ce matériau est tendre, et sa mise en précontrainte ne dépasse pas 150 à 200MPa. Elle est très inférieure à la mise en précontrainte recherchée de 900 à 1100 PMa. Ce brevet indique également page 1 lignes 31 que la surface obtenue est lisse, mais il précise page 5 ligne 14 que le grenaillage ou "billage" dure de 0,5 à 5 secondes. Même pour un matériau tendre, il ne s'agit donc là que d'un grenaillage très léger de surfaçage sans rapport avec les grenaillages forts de mise en précontrainte de compression pratiqués sur les pièces aéronautiques, les surfaces de ces pièces devant être exposées au grenaillage pendant une durée de quatre à dix minutes au moins. Ce brevet n'apporte donc pas de solution au problème à résoudre.

Exposé de l'invention

[0010] L'invention propose un procédé pour augmenter la durée de vie des attaches d'aubes sur un rotor, le rotor comportant une jante à la périphérie de laquelle sont attachées une pluralité d'aubes amovibles, les attaches d'aube comportant deux composants, l'un des composants étant une rainure en queue d'aronde disposée à la périphérie sur le rotor, l'autre composant étant un pied disposé sur l'aube, le pied étant de forme complémentaire à la rainure, le pied étant susceptible d'être emboîté dans la rainure afin de réaliser l'attache de l'aube sur le rotor, au moins un composant étant grenaillée par projection de billes afin de créer à sa surface une précontrainte de compression.
Un tel procédé est remarquable en ce que le grenaillage est effectué par le procédé dit "par ultrasons", les billes étant projetées par la percussion d'une sonotrode mise en vibration, les billes étant contenues dans une enceinte et formant un brouillard à l'intérieur de enceinte, le constituant à grenailler étant amenée au contact du brouillard de billes,
et en ce que le grenaillage est effectué à un indice Almen au moins égal à F8A.

[0011] Les inventeurs ont observé en qu'un grenaillage fort par ultrasons n'augmente que faiblement la rugosité de la pièce traitée, au contraire d'un grenaillage conventionnel mettant en oeuvre une buse à jet d'air comprimé. L'invention met ainsi à profit cette propriété inattendue pour augmenter la résistance à la fatigue des attaches d'aubes tout en maintenant une bonne résistance à l'usure par frottements vibratoires.

[0012] Un avantage de l'invention est d'augmenter également la résistance à l'usure par frottements vibratoires des attaches d'aubes, car la mise en précontrainte de compression élevée des surfaces des composants des attaches d'aubes en provoque le durcissement par écrouissage.

[0013] Avantageusement, on utilisera des billes ayant un diamètre au moins égal à 0,8 mm afin d'améliorer l'efficacité du grenaillage et de stabiliser, voire de réduire, la rugosité des pièces traitées.

[0014] Avantageusement, la précontrainte de compression sera au moins égale à 500 MPa.

[0015] Dans un mode particulier de mise en oeuvre du procédé, l'invention en propose l'application aux rainures dites "axiales" sur les jantes des rotors à aubes.

[0016] Dans un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé, l'invention en propose l'application aux rainures dites "annulaires" sur les jantes des rotors à aubes.

[0017] Dans un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé, l'invention en propose l'application aux pieds des aubes.

Description des figures

[0018] L'invention sera mieux comprises et les avantages qu'elle procure apparaîtront plus clairement au vu d'une description détaillée des propriétés du grenaillage par ultrasons, de trois exemples d'application aux attaches d'aubes et des figures annexées.

[0019] La figure 1 illustre la déformation du matériau sous l'effet des impacts des billes en mouvement.

[0020] La figure 2 illustre la jante d'un rotor et fait apparaître les rainures dites "axiales" à sa périphérie.

[0021] La figure 3 illustre la montage d'une aube sur une jante à rainures axiales.

[0022] Les figures 4 et 5 illustrent par une vue de face et une vue de profil le procédé de grenaillage par ultrasons des rainures axiales, la figure 4 étant une vue en coupe selon B sur la figure 5, cette figure 5 étant elle-même une vue en coupe selon A sur la figure 4.

[0023] La figure 6 illustre la jante d'un rotor à rainures dites "annulaires".

[0024] La figure 7 illustre le montage d'une aube sur une jante à rainures annulaires.

[0025] Les figures 8 et 9 illustrent par une vue de face et une vue de profil le procédé de grenaillage par ultrasons

des rainures annulaires. Sur le modèle de l'exemple précédent, la figure 8 est une coupe selon D sur la figure 9, cette figure 9 étant elle-même une vue en coupe selon C sur la figure 8..

[0026] Les figures 10 et 11 illustrent par une vue de face et une vue de dessus le procédé de grenaillage par ultrasons des pieds d'aubes, la figure 10 étant une vue en coupe selon E sur la figure 11.

Description détaillée

[0027] Des essais ont montré que le grenaillage dit "par ultrasons" de forte intensité n'augmente pas sensiblement la rugosité des surfaces traitées, au contraire du grenaillage conventionnel par projection de billes à l'aide d'une buse à jet d'air comprimé. Le tableau ci-dessous montre quelques résultats comparatifs effectués sur une pièce en superalliage réfractaire de base nickel-chrome :

- le première ligne indique les rugosités (Ra) mesurées avant le grenaillage,
- la seconde ligne indique les rugosités (Ra) mesurées sur ces mêmes surfaces après un grenaillage conventionnel fort d'indice Almen égal à F17A et une mise en précontrainte sous la surface grenaillée atteignant 1000 MPa,
- la troisième ligne indique les rugosités (Ra) mesurées sur ces mêmes surfaces après un grenaillage par ultrasons équivalent au précédent d'indice Almen égal à F17A avec une mise en précontrainte sous la surfaces atteignant 1000 MPa,

	Surface n°1 (fraisée)	Surface n°2 (tournée)
Rugosité (Ra) avant le grenaillage	0,27 µm	0,90 µm
Rugosité (Ra) après un grenaillage conventionnel, indice Almen = F17A, billes ϕ = 0,315 mm.	1,53 µm	1,94 µm
Rugosité après un grenaillage US, indice Almen = F17A, billes ϕ = 1,5mm	0,47 µm	0,93 µm

[0028] Dans un premier exemple illustré en colonne 1, la surface n°1 usinée par fraisage avec une rugosité Ra = 0,27µm voit sa rugosité augmenter de 1,67 µm après un grenaillage conventionnel alors que sa rugosité n'augmente que de 0,2 µm avec un grenaillage par ultrasons, cette surface n°1 étant disposée parallèlement à la sonotrode.

[0029] Dans un second exemple illustré en colonne 2, la surface n°2 usinée par tournage avec un Ra = 0,90 µm voit sa rugosité augmenter de 0,63 µm après un grenaillage conventionnel, alors que cette rugosité reste sensiblement inchangée après un grenaillage par ultrasons, cette surface n°2 étant cette fois disposée perpendiculairement à la sonotrode.

[0030] Cette propriété remarquable du grenaillage par ultrasons, qui est de permettre un grenaillage fort sans augmenter sensiblement la rugosité de la surface traitée, pourrait s'expliquer ainsi au vu de la figure 1 : Les billes 1 alimentées en énergie cinétique par les percussions de la sonotrode en vibration rebondissent sur la sonotrode elle-même, sur les parois de l'enceinte et sur la surface 3 de la pièce 2 soumise au grenaillage, ces billes 1 rebondissant alors sur cette surface avec un angle α,β d'incidence aléatoire suivant une distribution sensiblement uniforme comprise entre 0° et 90° et suivant une direction quelconque. Dans ces conditions :

- Les billes 1a impactant la surface à grenailler avec un angle α proche de la perpendiculaire à cette surface seront efficaces pour créer aux points d'impacts une précontrainte de compression importante, ces billes laissant cependant sur la surface 3 impactée des cratères 4 entourés de bourrelets 5 formant aspérités.
- A l'inverse, les billes 1b impactant la surface 3 avec un angle β faible, c'est à dire rasant plutôt la surface 3, tendront à niveler les bourrelets 5 et à résorber au moins partiellement les cratères 4, ces billes 1b étant bien évidemment peu ou pas du tout efficaces pour créer une mise en précontrainte de compression suffisante. Ce rôle des billes rasantes est confirmé par le tableau précédent. En effet, la surface n°2 reçoit préférentiellement des billes rasantes car elle est grenaillée par ultrasons dans une position perpendiculaire à la sonotrode, ce qui explique que la rugosité n'augmente sensiblement pas.

[0031] On peut donc dire qu'un grenaillage fort n'augmentant pas sensiblement la rugosité de la surface 3 grenaillée doit pouvoir combiner sur la surface traitée des impacts de billes 1a avec des angles d'incidence α proches de la perpendiculaire à cette surface 3 et des impacts de billes 1b rasant cette surface. Par un angle d'incidence α proche de la perpendiculaire, on entend un angle α au moins égal à 45°, l'efficacité de l'impact étant d'autant meilleure que

cet angle α se rapproche de 90°. Par un angle d'incidence β rasant, on entend un angle β inférieur à 45° et compris de préférence entre 15° et 30°.

[0032] On notera que le grenaillage fort selon l'invention implique également un taux dit "de recouvrement" allant de 120% à 300%, c'est à dire que le grenaillage est effectué pendant une durée T égale à 120% à 300% de la durée T1 nécessaire pour obtenir un taux normal de recouvrement de 98%, le taux normal de recouvrement étant le rapport entre la surface impactée et la surface totale exposée au grenaillage.

[0033] Dans le cas du grenaillage conventionnel au contraire, les billes percutent la surface grenaillée avec un angle d'incidence et une direction préférentielle, cet angle d'incidence devant être suffisant pour mettre en précontrainte la surface grenaillée. De ce fait, les bourrelets se formant autours des cratères ne sont pas nivelés et tendent au contraire à se rassembler en vagues bien visibles au microscope avec un grandissement x50 à x100, les cratères tendant eux-mêmes à se rassembler en sillons plus ou moins perpendiculaires aux vagues.

[0034] Un avantage non négligeable du grenaillage par ultrasons est que sa mise en oeuvre ne nécessite qu'une faible quantité de billes. On peut donc dans le cas présent utiliser des billes de haute qualité comparables aux billes pour paliers à roulement en acier ou en céramique. Au contraire de la grenaille classique :

- ces billes sont parfaitement sphériques et donnent donc un meilleur état de surface,
- ces billes très dures ne se cassent pas et ne produisent donc pas d'arrêtes vives susceptibles d'altérer l'état de surface de la pièce grenaillée.

[0035] On se reportera maintenant à la figure 2. Le rotor à aubes comporte une jante 10 ayant une forme générale de révolution autours d'un axe géométrique 11, cette jante 10 étant limitée radialement vers l'extérieur par une surface périphérique 12 et latéralement par deux flancs 13. La jante 10 comporte à sa périphérie 12 une pluralité de rainures 14 sensiblement rectilignes dites "axiales" comportant chacune une embouchure 15 prolongée latéralement par deux ouvertures latérales 16, l'embouchure 15 débouchant sur la périphérie 12, les ouvertures latérales 16 débouchant sur les flancs 13. Les rainures 14 ont un profil sensiblement trapézoïdal dit "en queue d'aronde" avec une embouchure 15 plus étroite. Ces rainures 14 peuvent être parallèles à l'axe géométrique 11 ou obliques. Elles peuvent être rectilignes ou en arc de cercle.

[0036] On se reportera maintenant à la figure 3. Une aube 20 comporte successivement de haut en bas sur cette figure une pale 21 mince, une plate-forme 22 s'étendant latéralement de chaque coté de l'aube 20 et un pied 23 de forme sensiblement trapézoïdale et complémentaire à celle de la rainure 14. L'aube 20 est emboîtée par son pied 23 dans la rainure 14 avec un jeu limité, le pied 23 étant ensuite immobilisé dans la rainure 14 par divers moyens de verrouillage non représentés. Le pied 23 arrive au contact de la rainure 14 suivant deux lignes de contact 24 situées à l'arrière de l'embouchure 15 et en retrait de cette embouchure 15. L'attache 26 de l'aube 20 comporte la rainure 14 et le pied 23.

[0037] On se reportera maintenant simultanément aux figures 4 et 5. La sonotrode 30 comporte une surface vibrante 31 susceptible d'être introduite dans l'embouchure 15 de la rainure 14. La sonotrode 30 coulisse dans un fourreau 32 avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. L'étanchéité aux billes de la sonotrode 30 par rapport à l'embouchure 15 peut être assurée par le fourreau 32. Dans un mode préféré de réalisation toutefois, cette étanchéité est plus simplement assurée en donnant à la sonotrode 30 une forme complémentaire à celle de l'embouchure 15, par exemple rectangulaire dans le cas de rainures droites, avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. Le fourreau 32 supporte deux obturateurs ou oreilles 33 de part et d'autre de la sonotrode 30, ces oreilles étant susceptibles de recouvrir les ouvertures 16 de la rainure 14 avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. On comprend que la sonotrode 30 et les oreilles 33 coopèrent pour fermer la rainure 14 et contenir les billes dans cette rainure 14 pendant le grenaillage. Avec un tel dispositif, le procédé de grenaillage par ultrasons des rainures axiales 14 comporte les opérations suivantes :

- disposer la jante 10 au dessus de la sonotrode 30 dans une position appropriée pour amener chaque rainure 14 au dessus de la sonotrode 30 par rotation de la jante 10 selon son axe géométrique 11,
- disposer une dose de billes 1 sur la sonotrode 30, la sonotrode étant de préférence rentrée dans le fourreau 32 afin de constituer au dessus de sa surface vibrante 31 un récipient susceptible de contenir les billes 1,
- faire tourner la jante 10 pour amener successivement chaque rainure 14 au dessus de la sonotrode 30, chaque rainure 14 faisant alors l'objet des opérations suivantes :
- recouvrir les ouvertures 16 avec les oreilles 33 et amener la sonotrode 30 dans l'embouchure 15 de la rainure 14, cette opération se faisant de préférence en remontant simultanément la sonotrode 30 et le fourreau 32 jusqu'à ce que les oreilles 33 recouvrent les ouvertures 16, la sonotrode 30 étant ensuite remontée seule dans l'embouchure 15, ce qui a pour effet simultanément d'amener les billes 1 dans la rainure 14 et de mettre la sonotrode 30 en position de travail,
- effectuer le grenaillage de la rainure 14 par la mise en vibration de la sonotrode 30,

- retirer la sonotrode 30.

[0038] Il est avantageux d'amener la surface vibrante 31 de la sonotrode 30 dans l'embouchure 15 elle-même, la surface vibrante 31 étant sensiblement au niveau de la section la plus étroite de cette embouchure. Ceci a pour effet :

- d'améliorer l'homogénéité et l'isotropie du brouillard de bille 1 produit à l'intérieur de la rainure 14, afin de mieux combiner une forte mise en précontrainte et une faible rugosité notamment sur les lignes de contact 24 à l'arrière et en retrait de l'embouchure 15,
- de protéger du grenaillage l'embouchure 15 elle-même, cette embouchure 15 formant aspérités et étant de ce fait susceptible d'être écrasée par les impacts des billes 1.

[0039] On se reportera maintenant à la figure 6. Le rotor à aube comporte dans ce second exemple une jante 10 ayant une forme générale de révolution autours d'un axe géométrique 11, cette jante 10 étant limitée radialement vers l'extérieur par une surface périphérique 12 annulaire. La jante 10 comporte dans cet exemple à la périphérie 12 trois rainures 14 annulaires dont les descriptions sont identiques : Chaque rainure annulaire 14 comporte une embouchure 15 également annulaire et débouchant sur la périphérie 12. Chaque rainure comporte aussi une ouverture locale 18 débouchant également sur la périphérie 12, cette ouverture dite "locale" 18. Chaque rainures annulaire 14 a un profil sensiblement trapézoïdal dit "en queue d'aronde" avec une embouchure 15 plus étroite.

[0040] On se reportera maintenant à la figure 7. Une aube 20 comporte successivement de haut en bas sur cette figure une pale 21 mince, une plate-forme 22 s'étendant latéralement de chaque coté de l'aube 20 et un pied 23 de forme sensiblement trapézoïdale et complémentaire à celle de la rainure 14, le pied 23 étant dans cet exemple disposé transversalement à la pale 21. Cette figure montre également pour information la section 21a de la pale 21. L'aube 20 est emboîtée par son pied 23 dans la rainure annulaire 14 avec un jeu limité et bloquée par des moyens de verrouillage non représentés. Chaque rainure annulaire 14 reçoit ainsi une pluralité d'aubes 20 dont le pied 23 est introduit par l'ouverture locale, référencée 18 sur la figure 6, et amené en position par coulissement dans la rainure annulaire 14. Le pied 23 arrive au contact de la rainure annulaire 14 suivant deux lignes de contact 24 annulaires également et situées à l'arrière de l'embouchure 15. Par le terme attaches 26 des aubes 20, on entend également la rainure annulaire 14 et les pieds 23.

[0041] On se reportera maintenant simultanément aux figures 8 et 9. La sonotrode 30 comporte une surface vibrante 31 susceptible d'être introduite dans l'embouchure 15 de la rainure 14. La sonotrode 30 coulisse dans un fourreau 32 avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. L'étanchéité aux billes de la sonotrode 30 par rapport à l'embouchure 15 peut être assurée par le fourreau ou par tout autre moyen. Dans un mode préféré de réalisation toutefois, cette étanchéité est plus simplement assurée en donnant à la sonotrode 30 une section rectangulaire avec une largeur égale à celle de l'embouchure 15 retranchée d'un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. Le fourreau 32 supporte deux oreilles 33 de part et d'autre de la sonotrode 30, ces oreilles étant susceptibles de coulisser dans la rainure annulaire 14 avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1. On comprend que la sonotrode 30 et les oreilles 33 coopèrent pour contenir les billes 1 à l'intérieur d'une portion de la rainure annulaire 14 et contre les parois de cette rainure 14.

[0042] Avec un tel dispositif, le procédé de grenaillage par ultrasons d'une rainure annulaire 14 comporte les opérations suivantes :

- disposer la jante 10 au dessus de la sonotrode 30 dans une position appropriée pour faire défiler la rainure annulaire 14 au dessus de la sonotrode 30 par rotation de la jante 10 selon son axe géométrique 11,
- disposer une dose de billes 1 sur la sonotrode 30, la sonotrode étant de préférence rentrée dans le fourreau 32 afin de constituer au dessus de sa surface vibrante 31 un récipient susceptible de contenir les billes 1,
- présenter l'ouverture locale 18 au dessus de la sonotrode 30,
- amener la sonotrode 30 et les deux oreilles 33 dans l'ouverture locale 18, la sonotrode 30 étant au niveau de l'embouchure 15 et dans l'alignement de cette embouchure 15, les deux oreilles 33 étant de part et d'autre de la sonotrode 30 et dans l'alignement de la rainure 14,
- faire tourner la jante 10 et mettre la sonotrode 30 en vibration quand les deux oreilles 33 et la sonotrode 30 sont dans la rainure annulaire 14,
- arrêter la sonotrode 30 dès qu'une oreille 33 ressort dans l'ouverture locale 18,
- arrêter la rotation de la jante 10 quand les deux oreilles 33 et la sonotrode 30 sont dans l'ouverture locale 18.

[0043] On se reportera maintenant simultanément aux figures 10 et 11. Pour grenailler les pieds 23 des aubes 20, on emploie une enceinte 40 dont le fond 41 comporte une ouverture 42 par laquelle passe une sonotrode 30 avec un jeu E inférieur au diamètre des billes 1, l'enceinte 40 étant recouverte par un couvercle 45 de préférence mince, le couvercle 45 comportant une pluralité d'ouvertures 46 de forme complémentaire aux pieds 23 à traiter, la distance entre le couvercle 45 et la sonotrode 30 étant au moins égale à la hauteur des pieds 23 afin que les bases 23a des

pieds 23 ne touchent pas la sonotrode 30.
Avec un tel dispositif, le procédé de grenaillage par ultrasons des pieds 23 des aubes 20 comporte les opérations suivantes :

- introduire une dose de billes 1 dans l'enceinte 40,
- introduire les pieds 23 dans les ouvertures 46 du couvercle 45 et immobiliser les aubes 20 sur le couvercle 45,
- mettre la sonotrode 30 en vibration pour effectuer le grenaillage.

[0044] Un avantage du procédé est d'éviter l'enduction par un revêtement protecteur des parties de l'aube qui ne sont pas à grenailler, soit la plate-forme 22 et la pale 21, cette protection étant assurée par le couvercle, la plate-forme 22 et la pale 21 restant derrière le couvercle 45 à l'extérieur de l'enceinte 40.
[0045] Avantageusement, les pieds 23 sont positionnées au dessus de la surface vibrante 31 de la sonotrode 30 afin d'assurer un grenaillage homogène de tous les pieds 23.
[0046] Avantageusement encore, les aubes 20 comportant une cavité de refroidissement débouchant à la base 23a du pied 23, cette base 23a est positionnée à une distance de la sonotrode 30 inférieure au diamètre des billes 1 afin d'empêcher les billes 1 de pénétrer dans la cavité de refroidissement.

Revendications

1. Procédé pour augmenter la durée de vie des attaches d'aubes sur un rotor, le rotor comportant une jante (10) à la périphérie (12) de laquelle sont attachées une pluralité d'aubes (20) amovibles, les attaches d'aube étant référencées (26) et comportant deux composants (14,23), l'un des composants (14) étant une rainure en queue d'aronde disposée à la périphérie (12) sur la jante (10), l'autre composant (23) étant un pied disposé sur l'aube (20), le pied (23) étant de forme complémentaire à la rainure (14), le pied (23) étant susceptible d'être emboîté dans la rainure (14) afin de réaliser l'attache de l'aube (26) sur la jante (10), au moins un composant (14,23) étant grenaillée par projection de billes (1) afin de créer à sa surface une précontrainte de compression,
caractérisé en ce que :

   a) le grenaillage est effectué par le procédé dit "par ultrasons", les billes (1) étant projetées par la percussion d'une sonotrode (30) mise en vibration, les billes (1) étant contenues dans une enceinte (40) et formant un brouillard à l'intérieur de enceinte (40), le constituant (14,23) à grenailler étant amenée au contact du brouillard de billes (1),
   b) le grenaillage est effectué à un indice Almen au moins égal à F8A.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les billes (1) ont un diamètre au moins égal à 0,8 mm.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, la pièce étant en matériau du groupe acier, alliage de titane, superalliage base chrome, superalliage base nickel, **caractérisé en ce que** la mise en précontrainte est au moins de 500 MPa.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 appliqué au grenaillage des rainures (14) axiales, ces rainure axiales (14) étant sensiblement rectilignes et ouvertes à chaque extrémité, les ouvertures latérales ainsi constituées étant référencées (16),
caractérisé en ce qu'on emploie une sonotrode susceptible d'être introduite dans l'embouchure (15) des rainures (14) avec des moyens pour étancher la sonotrode (30) avec l'embouchure (15), ainsi que deux oreilles (33) susceptibles de recouvrir les ouvertures latérales (16) et de les occulter avec un jeu E inférieur au diamètre des billes (1),
et **en ce qu'**il comporte les opérations suivantes :

   - disposer la jante (10) au dessus de la sonotrode (30) dans une position appropriée pour amener chaque rainure axiale (14) au dessus de la sonotrode (30) par rotation de la jante (10) selon son axe géométrique (11),
   - disposer une dose de billes (1) sur la sonotrode (30),
   - faire tourner la jante (10) pour amener successivement chaque rainure axiale (14) au dessus de la sonotrode (30), chaque rainure axiale (14) faisant alors l'objet des opérations suivantes :

   - recouvrir les ouvertures latérales (16) avec les oreilles (33) et amener la sonotrode (30) dans l'embouchure (15) de la rainure axiale (14),
   - effectuer le grenaillage de la rainure axiale (14) par la mise en vibration de la sonotrode (30),

- retirer la sonotrode (30).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 appliqué au grenaillage d'une rainures (14) annulaire, cette rainure annulaire (14) comportant une ouverture locale (18) permettant de faire passer les pieds (23) des aubes (20),
caractérisé en ce qu'on emploie une sonotrode (30) susceptible d'être introduite dans l'embouchure (15) des rainures annulaires (14) avec des moyens pour étancher la sonotrode (30) avec l'embouchure (15), ainsi que deux oreilles (33) susceptibles de passer dans la rainure annulaire (14) avec un jeu E inférieur au diamètre des billes (1), et **en ce qu'**il comporte les opérations suivantes :

- disposer la jante (10) au dessus de la sonotrode (30) dans une position appropriée pour faire défiler la rainure annulaire (14) au dessus de la sonotrode (30) par rotation de la jante (10) selon son axe géométrique (11),
- disposer une dose de billes (1) sur la sonotrode (30),
- présenter l'ouverture locale (18) au dessus de la sonotrode (30),
- amener la sonotrode (30) et les deux oreilles (33) dans l'ouverture locale (18), la sonotrode (30) étant au niveau de l'embouchure (15) et dans l'alignement de cette embouchure (15), les deux oreilles (33) étant de part et d'autre de la sonotrode (30) et dans l'alignement de la rainure annulaire (14),
- faire tourner la jante (10) et mettre la sonotrode (30) en vibration quand les deux oreilles (33) et la sonotrode (30) sont dans la rainure annulaire (14),
- arrêter la sonotrode (30) dès qu'une oreille (33) ressort dans l'ouverture locale (18),
- arrêter la rotation quand les deux oreilles (33) et la sonotrode (30) sont dans l'ouverture locale 18).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 appliqué au grenaillage des pieds d'aubes,
caractérisé en ce qu'on emploie une enceinte (40) dont le fond (41) comporte une ouverture (42) par laquelle passe une sonotrode (30) avec un jeu E inférieur au diamètre des billes (1), l'enceinte (40) étant recouverte par un couvercle (45) mince, le couvercle (45) comportant une pluralité d'ouvertures (46) de forme complémentaire aux pieds (23), la distance entre le couvercle (45) et la sonotrode (30) étant au moins égal à la hauteur des pieds (23),
et **en ce que** le procédé comporte les opérations suivantes :

- introduire une dose de billes (1) dans l'enceinte (40),
- introduire les pieds (23) dans les ouvertures (46) du couvercle (45) et immobiliser les aubes (1),
- mettre la sonotrode (30) en vibration pour effectuer le grenaillage.

7. Procédé selon la revendication 7 **caractérisé en ce que** toutes les aubes (20) sont positionnées au dessus de la surface vibrante (31) de la sonotrode (30).

8. Procédé selon la revendication 7, les aubes (20) comportant une cavité de refroidissement débouchant à la base (23a) du pied (23), **caractérisé en ce que** la base (23a) est positionné à une distance de la sonotrode (30) inférieure au diamètre des billes (1).

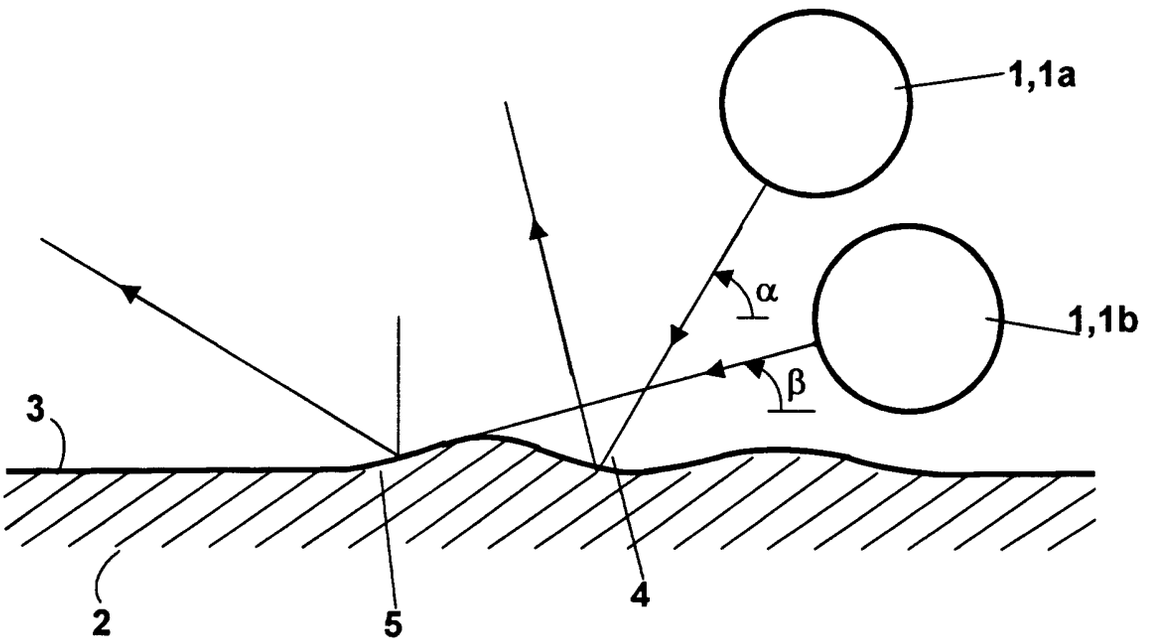

Fig : 1

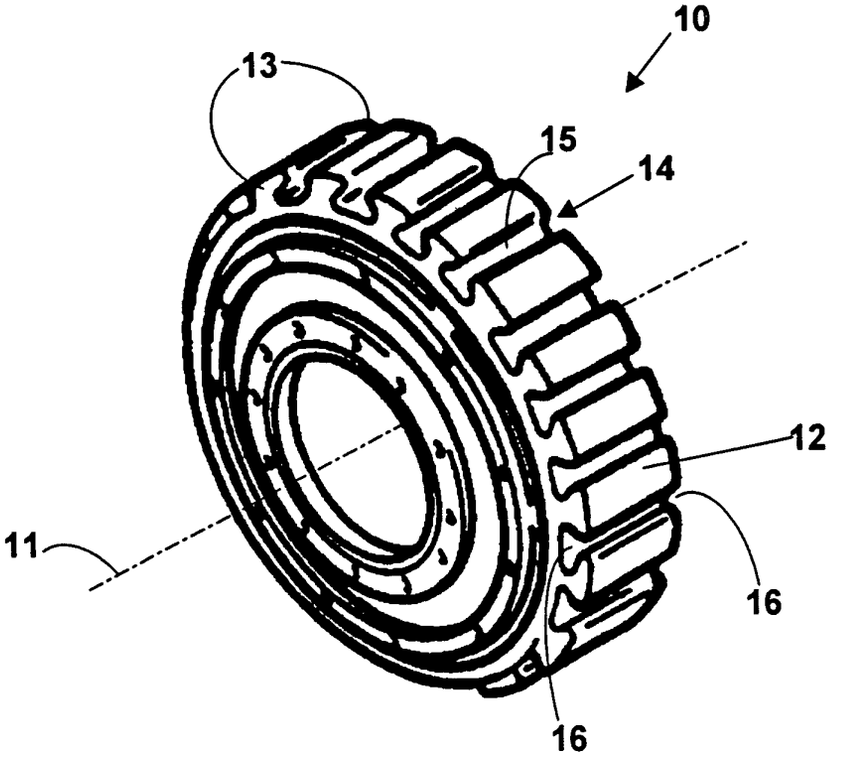

Fig : 2

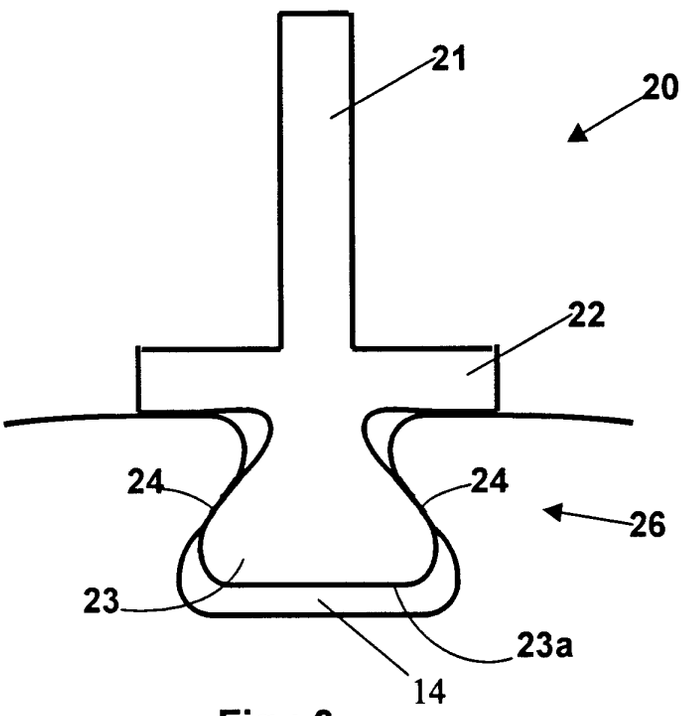

Fig : 3

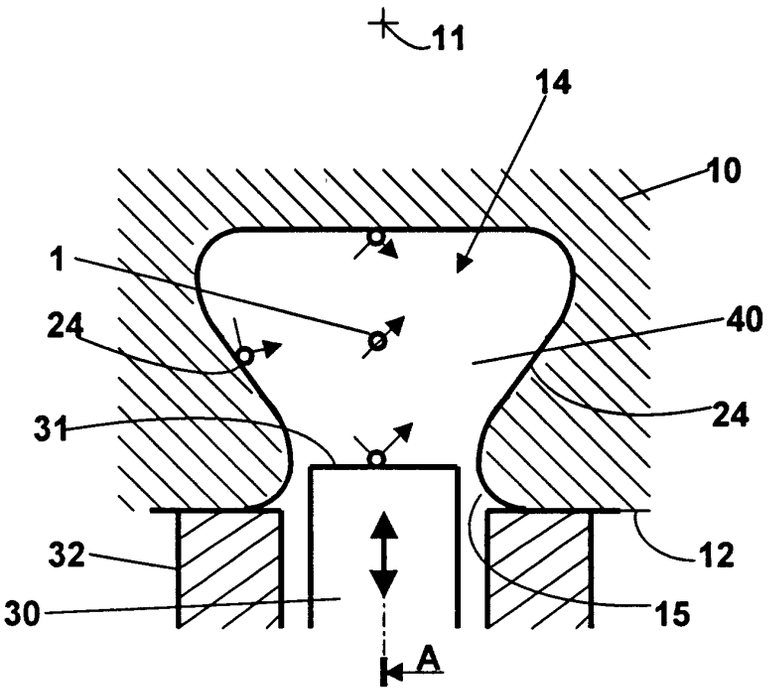

Fig : 4

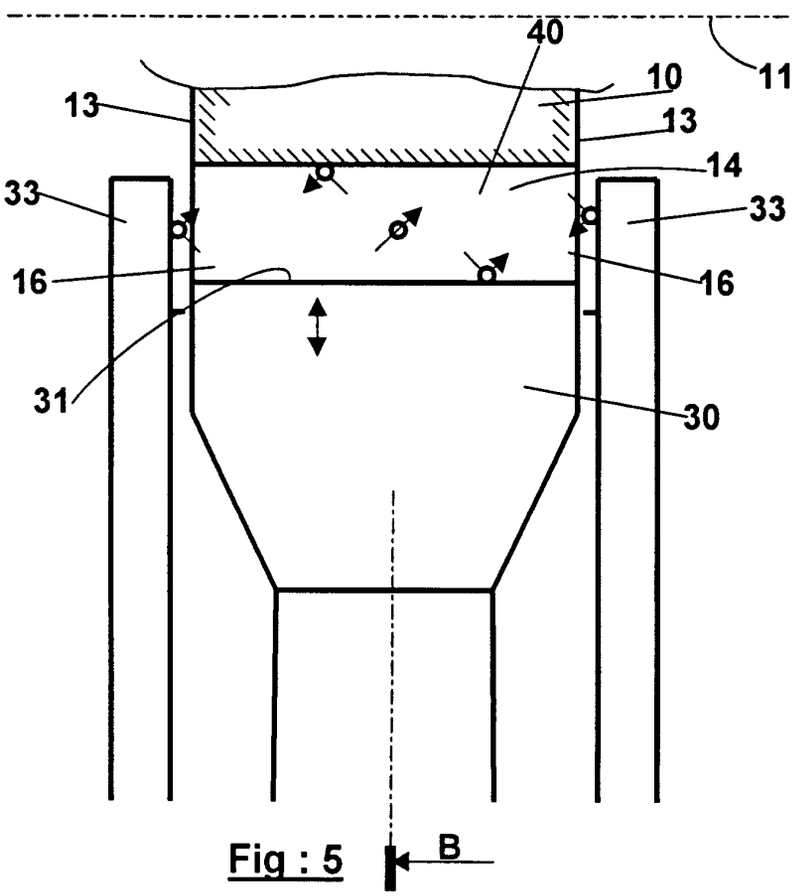

Fig : 5

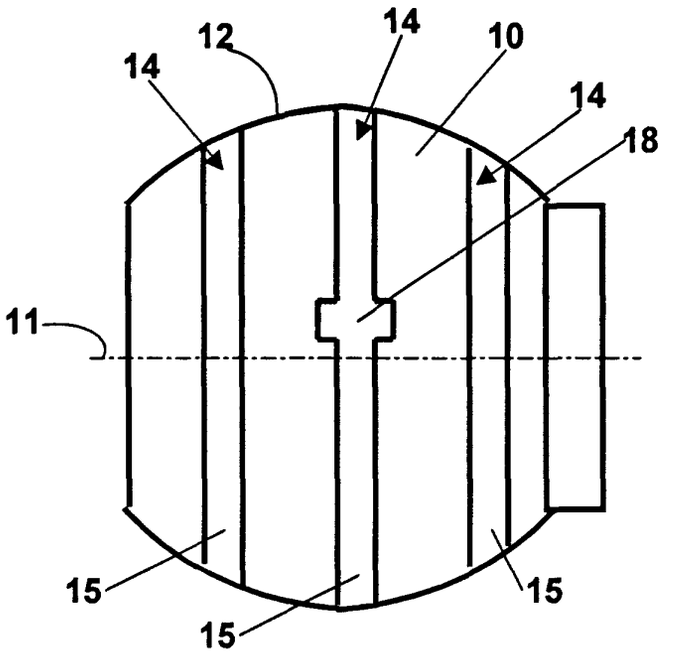

Fig : 6

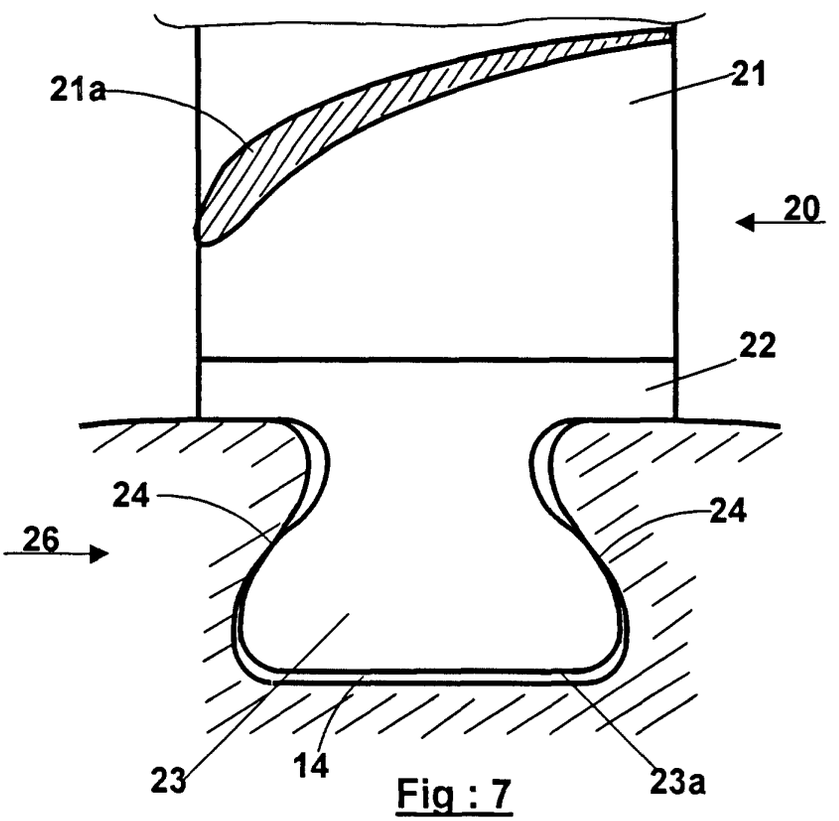

Fig : 7

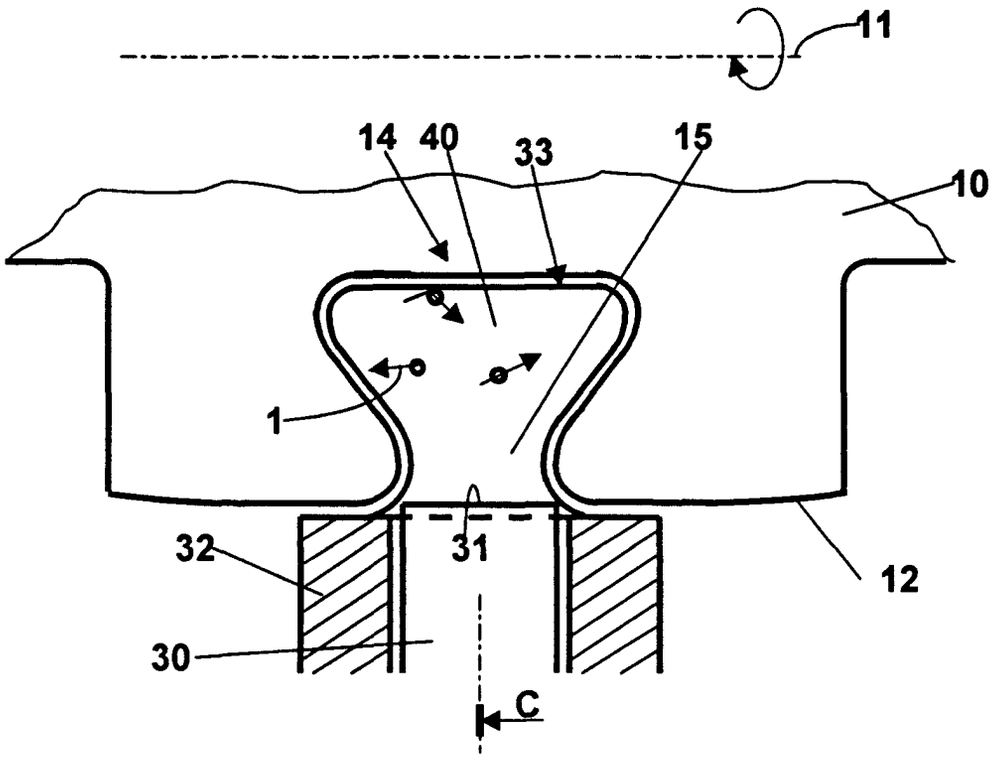

Fig : 8

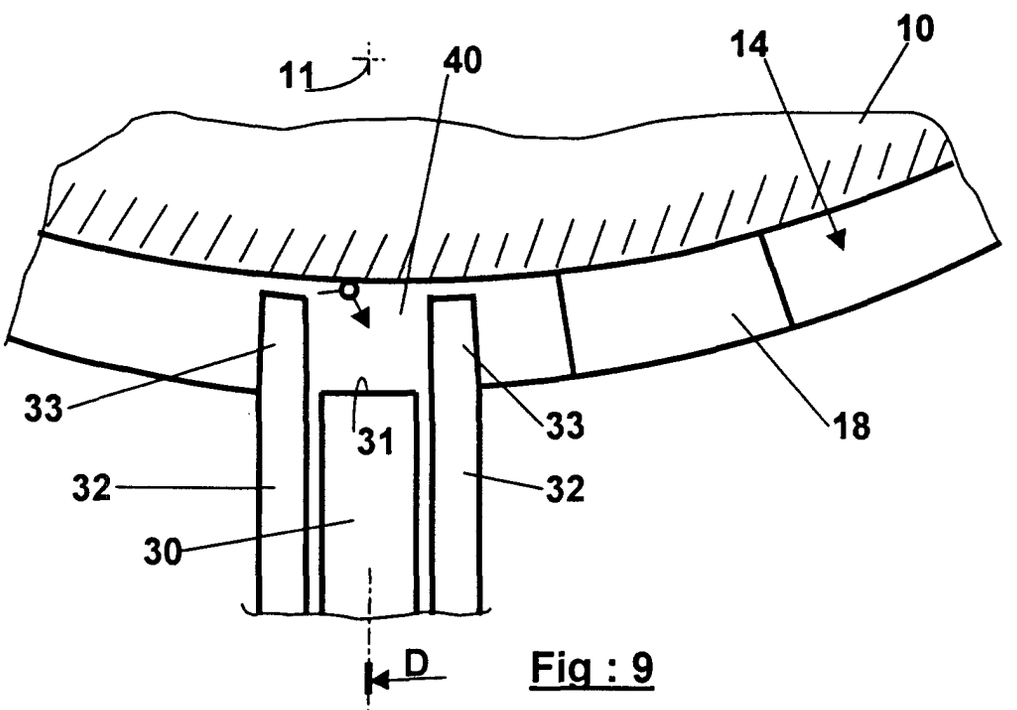

Fig : 9

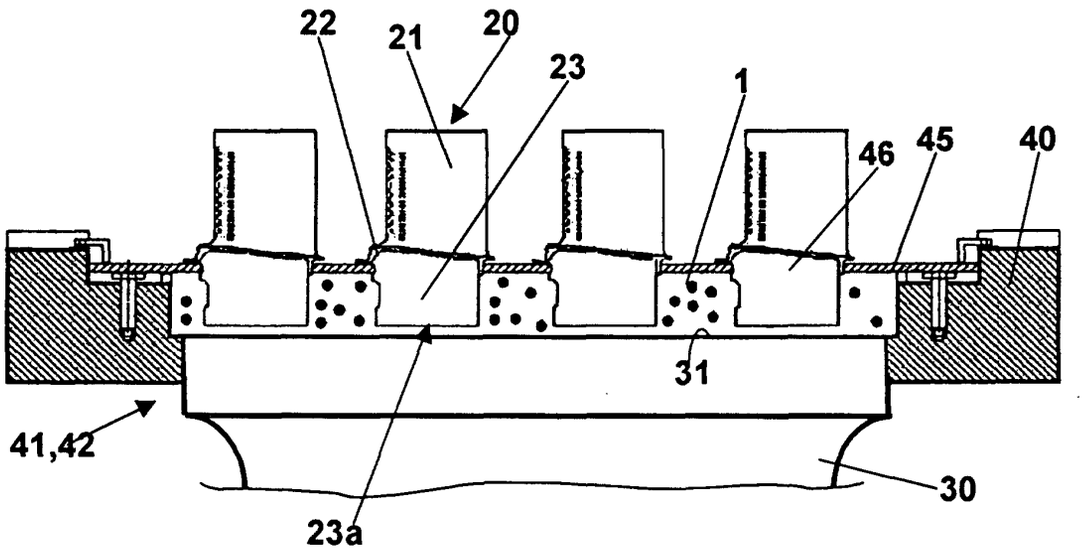

Fig : 10

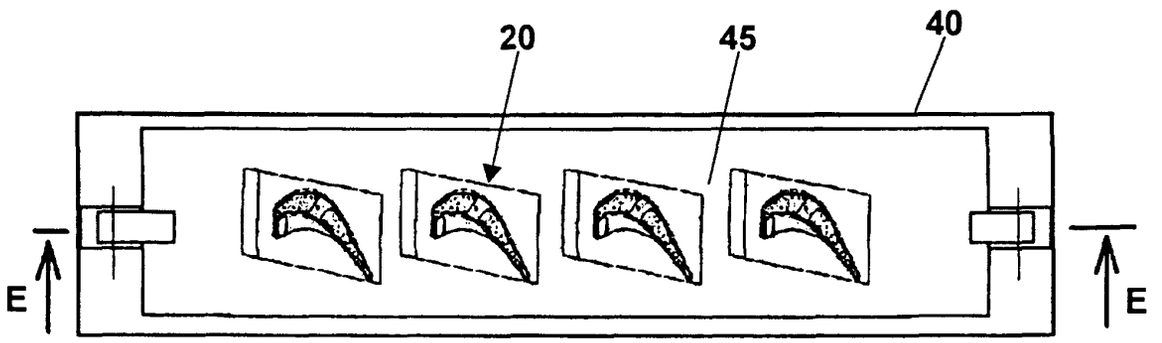

Fig : 11

Office européen des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 01 40 2916

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
P,A	EP 1 101 827 A (SNECMA MOTEURS) 23 mai 2001 (2001-05-23) * le document en entier *	1	B24B39/00 B24B1/04 C21D7/06 B24C1/10
A	FR 2 714 629 A (TEKNOSON SA) 7 juillet 1995 (1995-07-07) * abrégé *	1	B24C5/08 F01D5/28
A	US 4 426 867 A (NEAL JAMES W ET AL) 24 janvier 1984 (1984-01-24) * abrégé *	1	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
B24B C21D B24C F01D

Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications

Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
LA HAYE	11 mars 2002	Eschbach, D

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO. EP 01 40 2916

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits members sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

11-03-2002

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1101827 A	23-05-2001	FR 2801322 A1	25-05-2001
		EP 1101827 A1	23-05-2001
		WO 0136692 A1	25-05-2001
		JP 2001170866 A	26-06-2001
		US 6289705 B1	18-09-2001
FR 2714629 A	07-07-1995	FR 2714629 A1	07-07-1995
		WO 9517994 A1	06-07-1995
US 4426867 A	24-01-1984	AU 556101 B2	23-10-1986
		AU 8813982 A	17-03-1983
		BR 8205191 A	16-08-1983
		CA 1192387 A1	27-08-1985
		DE 3276662 D1	06-08-1987
		EP 0074918 A2	23-03-1983
		IE 53894 B1	12-04-1989
		IL 66717 A	31-07-1985
		IN 157173 A1	01-02-1986
		JP 1583724 C	22-10-1990
		JP 2004654 B	30-01-1990
		JP 58052420 A	28-03-1983
		SG 69287 G	19-02-1988

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82