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

(11) **EP 1 207 013 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
11.01.2012 Bulletin 2012/02

(21) Numéro de dépôt: **01402916.9**

(22) Date de dépôt: **14.11.2001**

(51) Int Cl.:
B24B 39/00 *(2006.01)* ***B24B 1/04*** *(2006.01)*
C21D 7/06 *(2006.01)* ***B24C 1/10*** *(2006.01)*
B24C 5/08 *(2006.01)* ***F01D 5/28*** *(2006.01)*

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

Verfahren zur Verlängerung der Lebensdauer der Laufschaufelnbefestigung auf einem Rotor

Method for increasing the service life of rotor blade locking means

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB IE IT NL

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

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

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

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

(74) Mandataire: **David, Daniel et al**
Gevers France
23bis, rue de Turin
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 1 101 827 **FR-A- 2 714 629**
US-A- 4 426 867

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 207 013 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

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 brevet US 4888863 décrit un procédé de fabrication de pieds d'aubes par usinage par électroérosion suivi d'un traitement de grenaillage d'intensité Almen comprise entre 4A et 6A.

[0008] 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.

[0009] 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.

[0010] 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.

[0011] On connaît également par FR 2689431, un procédé de traitement de surface par grenaillage par ultrasons selon lequel on forme une enceinte délimitée par une surface vibrante et des parois mobiles perpendiculairement à la surface vibrante qui viennent en appui contre la surface de la paroi à traiter.

Exposé de l'invention

[0012] L'invention propose un procédé pour augmenter la durée de vie des attaches d'aubes sur un rotor conformement à la revendication 1.

[0013] 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, pendant une durée T de 120% à 300% de la durée T1 nécessaire pour obtenir un taux normal de recouvrement de 98%.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] Avantageusement, la précontrainte de compression sera au moins égale à 500 MPa.

[0018] 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.

[0019] 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.

[0020] Dans un autre mode particulier de mise en oeuvre du procédé, l'invention en propose l'application aux pieds des aubes.

Description des figures

[0021] 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.

[0022] La figure 1 illustre la déformation du matériau sous l'effet des impacts des billes en mouvement.

[0023] La figure 2 illustre la jante d'un rotor et fait apparaître les rainures dites "axiales" à sa périphérie.

[0024] La figure 3 illustre la montage d'une aube sur une jante à rainures axiales.

[0025] 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.

[0026] La figure 6 illustre la jante d'un rotor à rainures dites "annulaires".

[0027] La figure 7 illustre le montage d'une aube sur une jante à rainures annulaires.

[0028] 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..

[0029] 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

[0030] 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 ∅= 0,315 mm.	1,53 μm	1,94 μm
Rugosité après un grenaillage US, indice Almen = F17A, billes ∅ = 1,5mm	0,47 μm	0,93 μm

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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°.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] 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.

[0042] 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.

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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 composant (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, pendant une durée T de 120% à 300% de la durée T1 nécessaire pour obtenir un taux normal de recouvrement de 98%.

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 6 **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).

Claims

1. For a rotor blade assembly comprising a rotor and a plurality of blades removably attached to said rotor, said rotor comprising a rim (10) having a periphery (12) to which each of said plurality of blades (20) is attached by attachments (26) comprising first and second components (14, 23), said first component (14) comprising a dovetail groove arranged in said periphery (12) of said rim (10), and said second component (23) comprising a root (23) formed on said blade, said root (23) being of a shape that complements said groove and being able to be fitted into said groove so as to attach said blade to said rim (10), a method for extending the life of said attachments by peening a surface of at least one of said first and second components (14, 23) so as to create compressive prestress at said surface, **characterized by** the fact that said method comprising the steps of:

a) peening is effected by a ultrasonic method providing a sonotrode (30) which is adapted to be vibrated ultrasonically;
forming a chamber (40) which is delimited at least partly by said sonotrode and the surface which is to be peened;
providing a plurality of beads (1) in said chamber (40); and
vibrating said sonotrode (30) whereby said beads (1) are mobilized in said chamber (40) by the percussion of said sonotrode and forming a mist so that said beads (1) are projected against the surface of said component (14, 23) to effect untrasonic peening of said surface,
b) said peening being effected with an Almen intensity at least equal to F8A, during a duration T of 120% to 300% of the duration T1 needed for obtaining a normal coverage of 98%.

2. A method according to claim 1, wherein said beads (1) have a diameter at least equal to 0.8 mm.

3. A method according to claim 1 or 2, wherein said component is made of a material selected from the group consisting of steel, titanium alloy, chrome-based superalloy, or nickel-based superalloy, and wherein the prestressing is at least 500 MPa.

4. A method according to any claims 1 to 3, wherein said dovetail grooves (14) are arranged axially in said periphery of said rim, said axial grooves (14) being approximately straight and open at each end (16), and wherein said sonotrode is capable of being introduced into said grooves and includes means for sealing said sonotrode in said grooves and two wings (33) capable of covering said open (16) ends of said grooves and of closing them off with a clearance E smaller than the diameter of said beads (1), said method further comprising the steps of:

- arranging said rim (10) above said sonotrode (30) in an appropriate position for bringing each axial groove (14) over said sonotrode (30) by rotating said rim (10) about its geometric axis (11);
- arranging said plurality of beads (1) on said sonotrode (30);
- turning said rim (10) to bring each axial groove (14) in turn over said sonotrode (30), each axial groove (14) then being subjected to the steps of:
- covering said open ends (16) with said wings (33) and bringing said sonotrode (30) into said axial groove (14), peening said axial groove by setting said sonotrode (30) in vibration,
- withdrawing said sonotrode (30).

5. A method according to any claims 1 to 3, wherein said dovetail grove is arranged annularly in said periphery of said rim, said annular groove including a mouth (15), and a local opening (18) for insertion or removal of said roots (23) of said blades (20), and wherein said sonotrode (30) is capable of being introduced into said mouth (15) of said annular groove (14) and includes means for sealing said sonotrode (30) in said mouth (15), and two wings (33) are capable of passing into said annular groove (14) with a clearance E smaller than the diameter of said beads (1), said method further comprising the steps of:

- arranging said rim (10) over said sonotrode (30) in an appropriate position for causing said annular groove (14) to travel over said sonotrode (30) by rotating said rim (10) about its geometric axis (11);
- arranging said plurality of beads (1) on said sonotrode (30);
- presenting said local opening (18) over said sonotrode (30);
- bringing said sonotrode (30) and said two wings (33) into said local opening (18), said sonotrode (30) being level with said mouth (15) and aligned with said mouth (15), said two wings (33) lying one on each side of said sonotrode (30) and aligned with said axial groove (14);
- turning said rim (10) and setting said sonotrode (30) in vibration when said two wings (33) and said sonotrode (30) are in said annular groove (14);
- stopping said sonotrode(33) as soon as a wing (33) comes out in said local opening (18);
- stopping rotation when both wings (33) and said sonotrode (30) are in said local opening (18).

6. A method according to any claims 1 to 3, when applied to the peening of blade roots, wherein use is made of a chamber (40) including a bottom (41), said bottom having an opening (42) through which said sonotrode passes with a clearance E smaller than the diameter of said beads, said chamber being covered by a thin lid (45), said lid having a number of openings (46) of a shape that complements said roots, the distance between said lid (45) and said sonotrode being at least equal to the height of said roots, said method further comprising the steps of:

- introducing said plurality of beads (1) into said chamber (40);
- introducing said roots (23) into said openings (46) of the lid (45) and immobilizing said blades (1);
- setting said sonotrode (30) in vibration to carry out said peening.

7. A method according to claim 6, wherein said sonotrode (30) has a vibrating surface and all of said blades (20) are positioned above said vibrating surface (31).

8. A method according to claim 7, wherein said blade (20) roots each have a base, and a cooling cavity opening at said base (23a) of said root (23), and wherein said base (23a) is positioned at a distance from said sonotrode (30) that is smaller than the diameter of said beads (1).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verlängerung der Lebensdauer der Befestigungen von Schaufeln auf einem Rotor, wobei der Rotor einen Felgenkranz (10) auf dem Umfang (12) aufweist, an dem eine Vielzahl abnehmbarer Schaufeln (20) befestigt sind, wobei die Schaufelbefestigungen mit (26) **gekennzeichnet** sind und zwei Komponenten (14, 23) aufweisen, wobei eine der Komponenten (14) eine schwalbenschwanzförmige Rille ist, die auf dem Umfang (12) auf dem Felgenkranz (10) angeordnet ist, wobei die andere Komponente (23) ein auf der Schaufel (20) angeordnete Fuß ist, wobei der Fuß (23) komplementär zur Rille (14) geformt ist, wobei der Fuß (23) imstande ist, in die Rille (14) einzurasten, um die Befestigung der Schaufel (26) auf dem Felgenkranz (10) durchzuführen, wobei mindestens eine Komponente (14, 23) durch Strahlen von Kugeln (1) granuliert ist, um auf ihrer Oberfläche eine Kompressions-Vorspannung zu erzeugen,
   dadurch gekennzeichnet, dass

   a) das Granulieren durch das als "Ultraschall" bezeichnete Verfahren durchgeführt wird, wobei die Kugeln (1) durch das Schlagen einer in Vibration versetzten Sonotrode (30) gestrahlt werden, wobei die Kugeln (1) in einer Box (40) enthalten sind und innerhalb der Box (40) eine Nebel bilden, wobei die zu granulierende Komponente (14, 23) in Kontakt mit dem Kugelnebel (1) geführt wird,
   b) das Granulieren mit einem Almen-Index von zumindest gleich F8A während einer Dauer T von 120 % bis 300 % der Dauer T1 durchgeführt wird, die notwendig ist, um einen normalen Abdeckungsgrad von 98 % zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kugeln (1) einen Durchmesser von zumindest gleich 0,8 mm haben.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Teil aus Werkstoff der Gruppe Stahl, Titanlegierung, chrombasierte Superlegierung, nickelbasierte Superlegierung ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die durchgeführte Vorspannung mindestens 500 MPa beträgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, das auf das Granulieren der axialen Rillen (14) angewendet wird, wobei diese axialen Rillen (14) etwa geradlinig und an jedem Ende offen sind, wobei die derart gebildeten seitlichen Öffnungen mit (16) **gekennzeichnet sind,**
   dadurch gekennzeichnet, dass eine Sonotrode verwendet wird, die in die Mündung (15) der Rillen (14) einführbar ist mit Mitteln, um die Sonotrode (30) mit der Mündung (15) abzudichten, sowie zwei Ohren (33), die imstande sind, die seitlichen Öffnungen (16) abzudecken und sie mit einem Spiel E, das kleiner als der Durchmesser der Kugeln (1) ist, zu verdecken,
   und dass es die folgenden Arbeitsgänge aufweist:

   - Anordnen des Felgenkranzes (10) über der Sonotrode (30) in einer geeigneten Position, um jede axiale Rille (14) durch Drehen des Felgenkranzes (10) gemäß seiner geometrischen Achse (11) über die Sonotrode (30) zu führen,
   - Anordnen einer Dosis Kugeln (1) auf der Sonotrode (30),
   - Drehen des Felgenkranzes (10), um schrittweise jede axiale Rille (14) über die Sonotrode (30) zu führen, wobei jede axiale Rille (14) dann Gegenstand der folgenden Arbeitsgänge ist:
   - Abdecken der seitlichen Öffnungen (16) mit den Ohren (33) und Führen der Sonotrode (30) in die Mündung (15) der axialen Rille (14),
   - Durchführen des Granulierens der axialen Rille (14) durch Versetzen der Sonotrode (30) in Vibration,
   - Entfernen der Sonotrode (30).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, das auf das Granulieren einer ringförmigen Rille (14) angewendet wird, wobei diese ringförmige Rille (14) eine lokale Öffnung (18) aufweist, die es gestattet, die Füße (23) der Schaufeln (20) hindurchzuführen,
   dadurch gekennzeichnet, dass eine Sonotrode (30) verwendet wird, die in die Mündung (15) der ringförmigen Rillen (14) einführbar ist mit Mitteln, um die Sonotrode (30) mit der Mündung (15) abzudichten, sowie zwei Ohren (33), die imstande sind, in die ringförmige Rille (14) mit einem Spiel E, das kleiner als der Durchmesser der Kugeln (1) ist, hineinzureichen,
   und dass es die folgenden Arbeitsgänge aufweist:

   - Anordnen des Felgenkranzes (10) über der Sonotrode (30) in einer geeigneten Position, um die ringförmige

Rille (14) über der Sonotrode (30) durch Drehen des Felgenkranzes (10) gemäß seiner geometrischen Achse (11) vorbeizuführen,
- Anordnen einer Dosis Kugeln (1) auf der Sonotrode (30),
- Darbieten der lokalen Öffnung (18) über der Sonotrode (30),
- Führen der Sonotrode (30) und der zwei Ohren (33) in die lokale Öffnung (18), wobei die Sonotrode (30) auf Ebene der Mündung (15) ist und in der Flucht dieser Mündung (15), wobei die zwei Ohren (33) auf der einen und der anderen Seite der Sonotrode (30) und in der Flucht der ringförmigen Rille (14) sind,
- Drehen des Felgenkranzes (10) und Versetzen der Sonotrode (30) in Vibration, wenn die zwei Ohren (33) und die Sonotrode (30) in der ringförmigen Rille (14) sind,
- Stoppen der Sonotrode (30), sobald ein Ohr (33) in der lokalen Öffnung (18) austritt,
- Stoppen der Drehbewegung, wenn die zwei Ohren (33) und die Sonotrode (30) in der lokalen Öffnung (18) sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, das auf das Granulieren der Schaufelfüße angewendet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Box (40) verwendet wird, deren Boden (41) eine Öffnung (42) aufweist, durch die eine Sonotrode (30) mit einem Spiel E, das kleiner als der Durchmesser der Kugeln (1) ist, hindurchgeführt wird, wobei die Box (40) von einem dünnen Deckel (45) abgedeckt wird, wobei der Deckel (45) eine Vielzahl von komplementär zu den Füßen (23) geformte Öffnungen (46) aufweist, wobei der Abstand zwischen dem Deckel (45) und der Sonotrode (30) zumindest gleich der Höhe der Füße (23) ist,
und dass das Verfahren die folgenden Arbeitsgänge aufweist:

- Einführen einer Dosis Kugeln (1) in die Box (40),
- Einführen der Füße (23) in die Öffnungen (46) des Deckels (45) und Blockieren der Schaufeln (1),
- Versetzen der Sonotrode (30) in Vibration, um das Granulieren durchzuführen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Schaufeln (20) über der vibrierenden Oberfläche (31) der Sonotrode (30) positioniert sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Schaufeln (20) eine an der Basis (23a) des Fußes (23) mündende Kühlmulde aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Basis (23a) in einem Abstand von der Sonotrode (30) positioniert ist, der kleiner als der Durchmesser der Kugeln (1) ist.

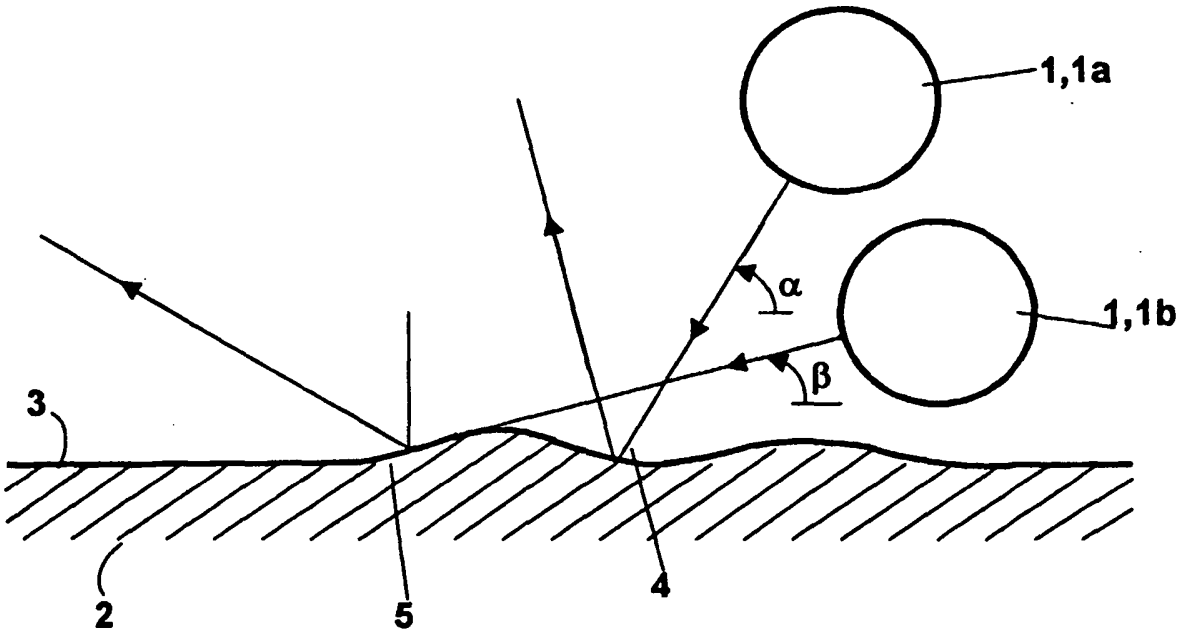


Fig : 1

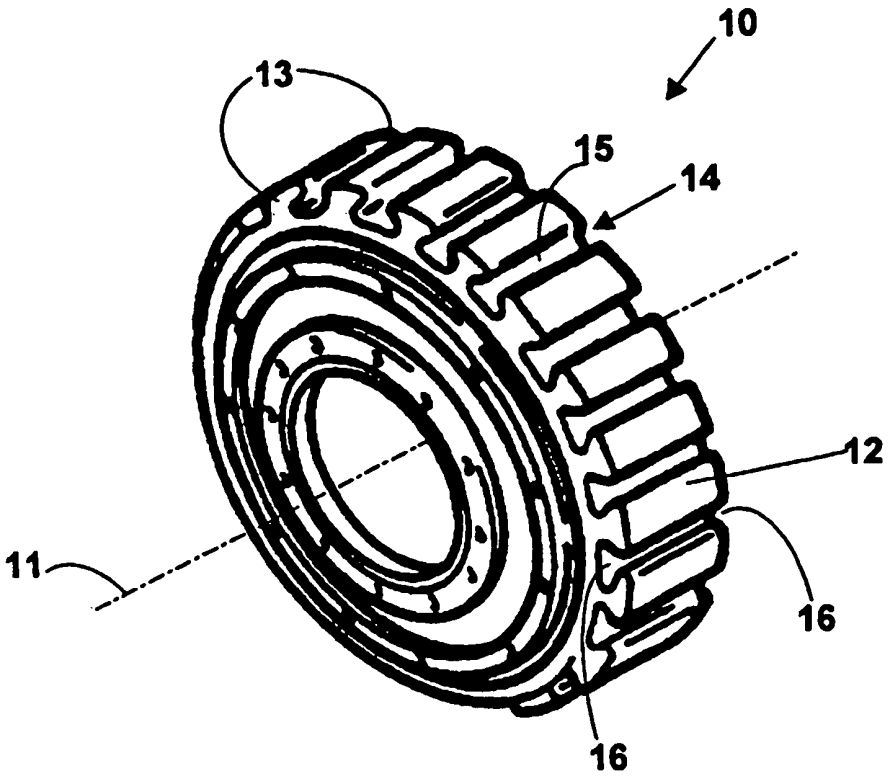


Fig : 2

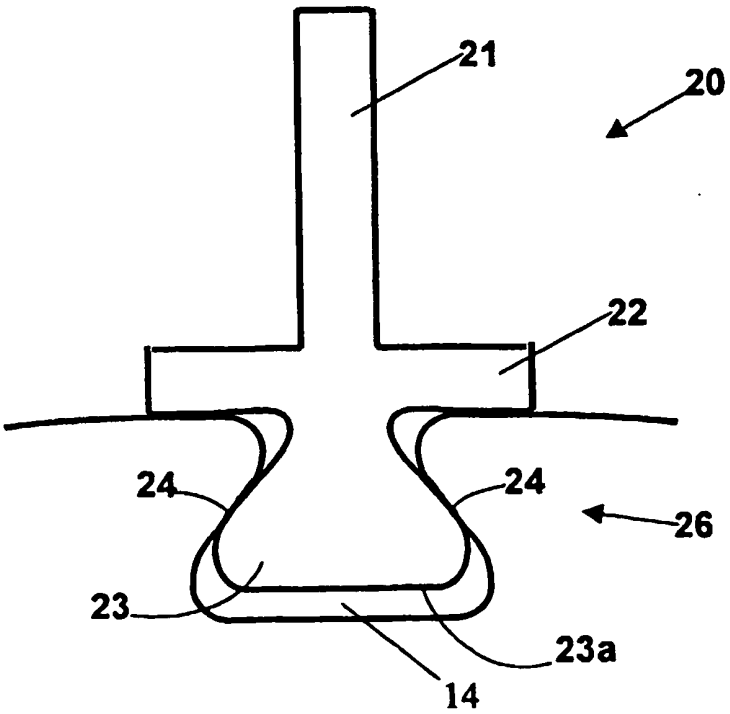


Fig : 3

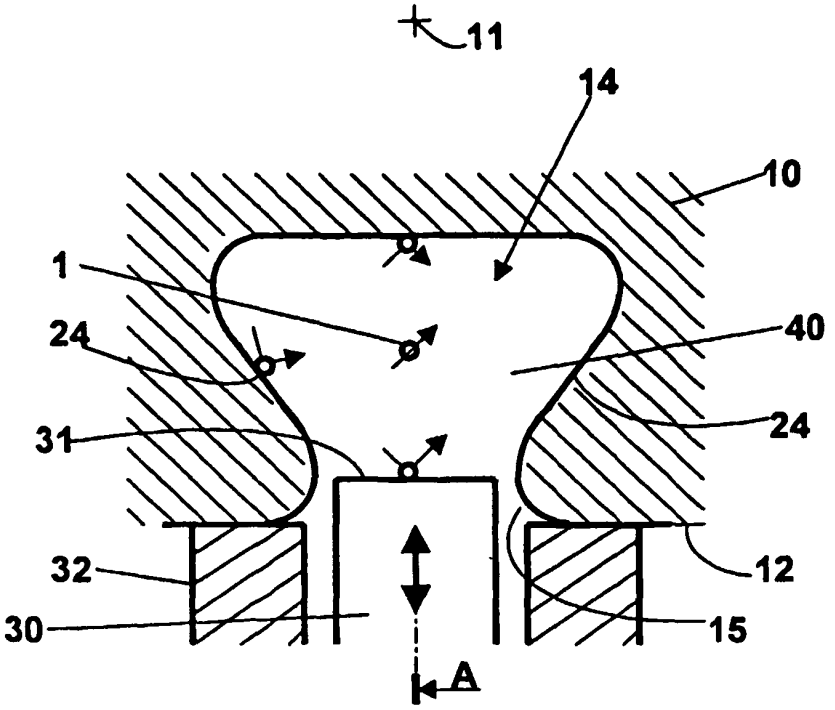


Fig : 4

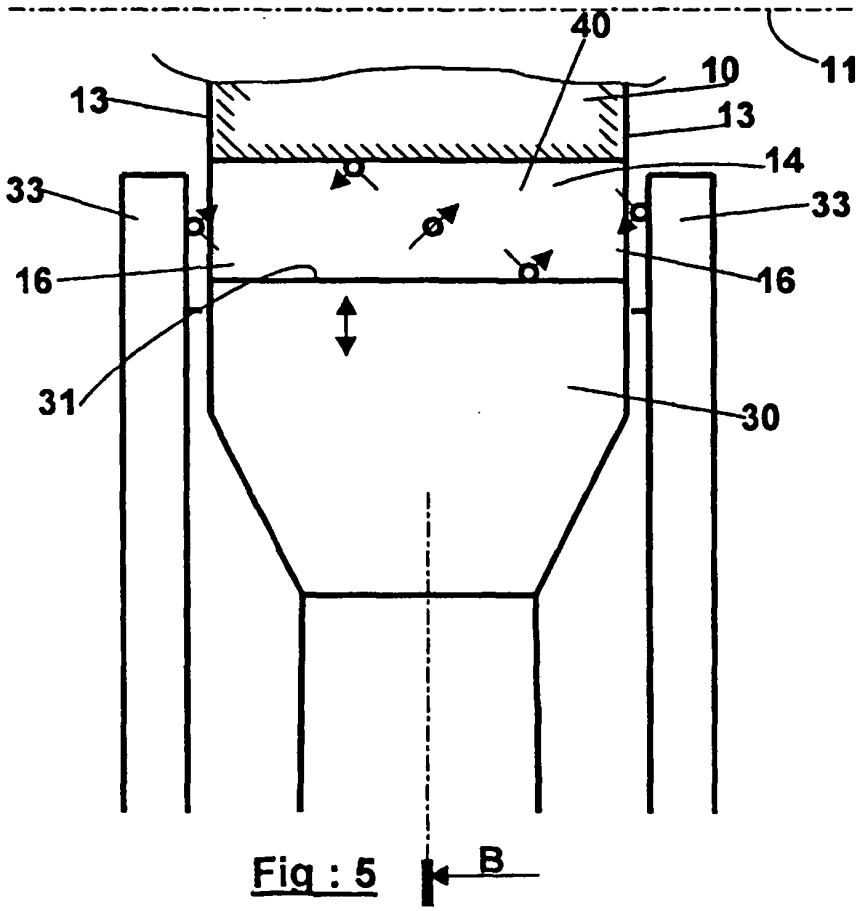


Fig : 5

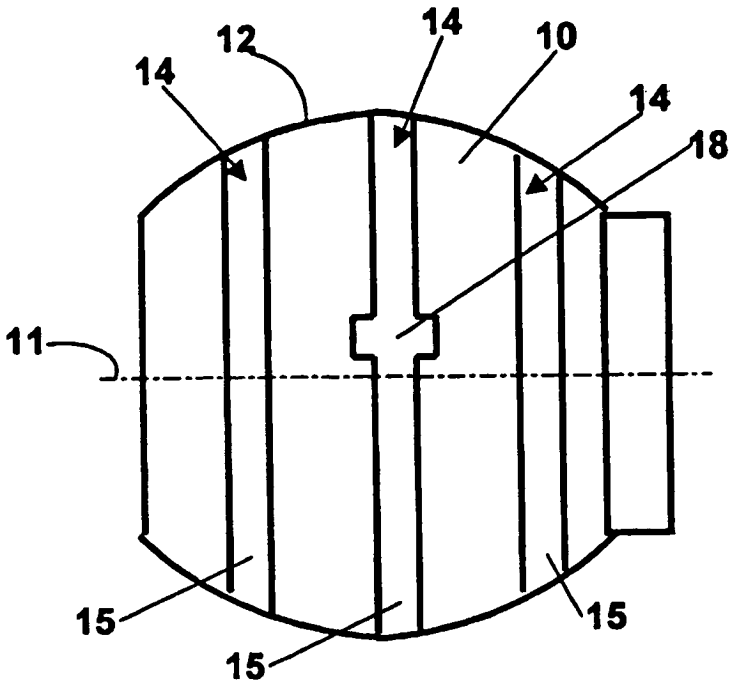


Fig : 6

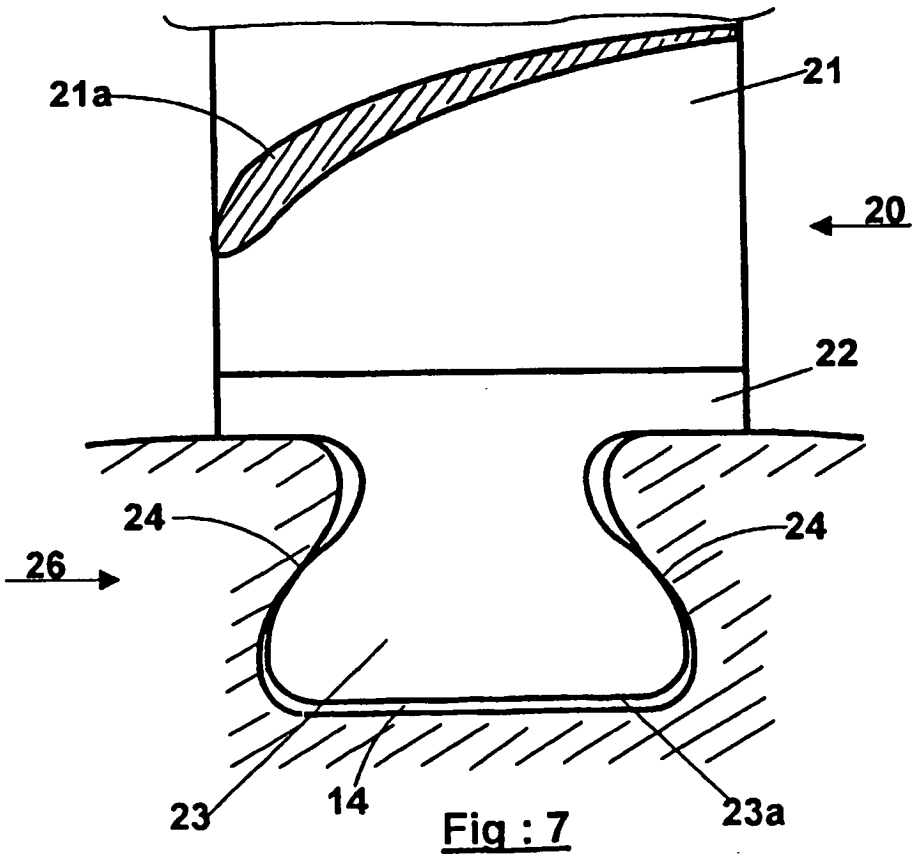


Fig : 7

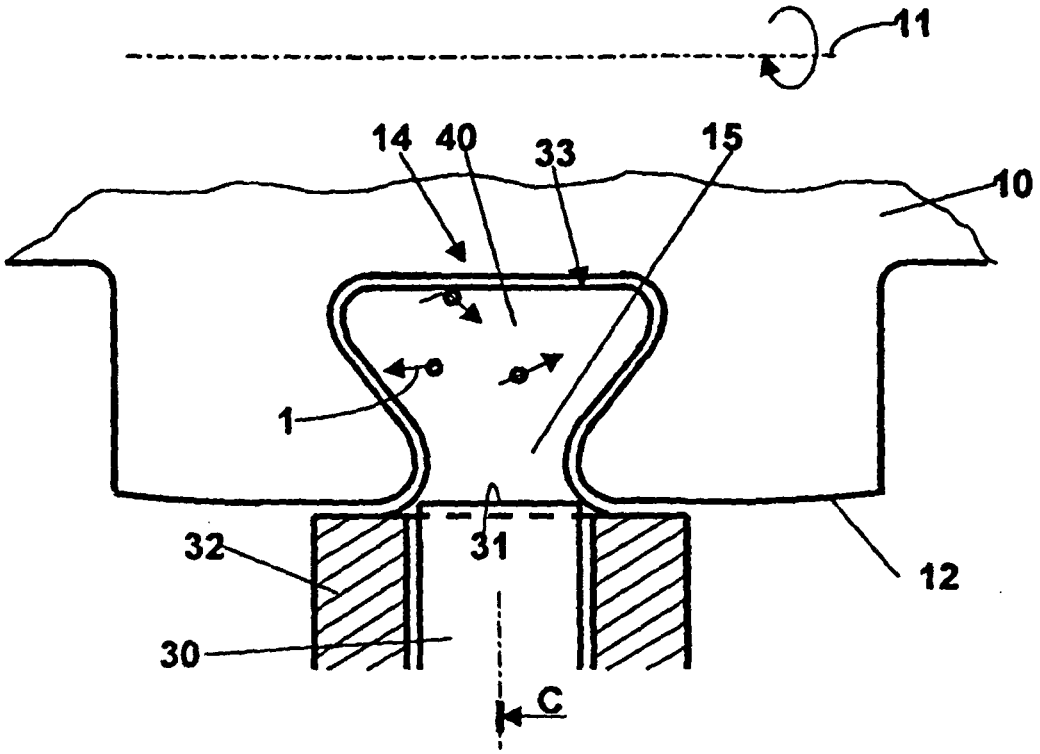


Fig : 8

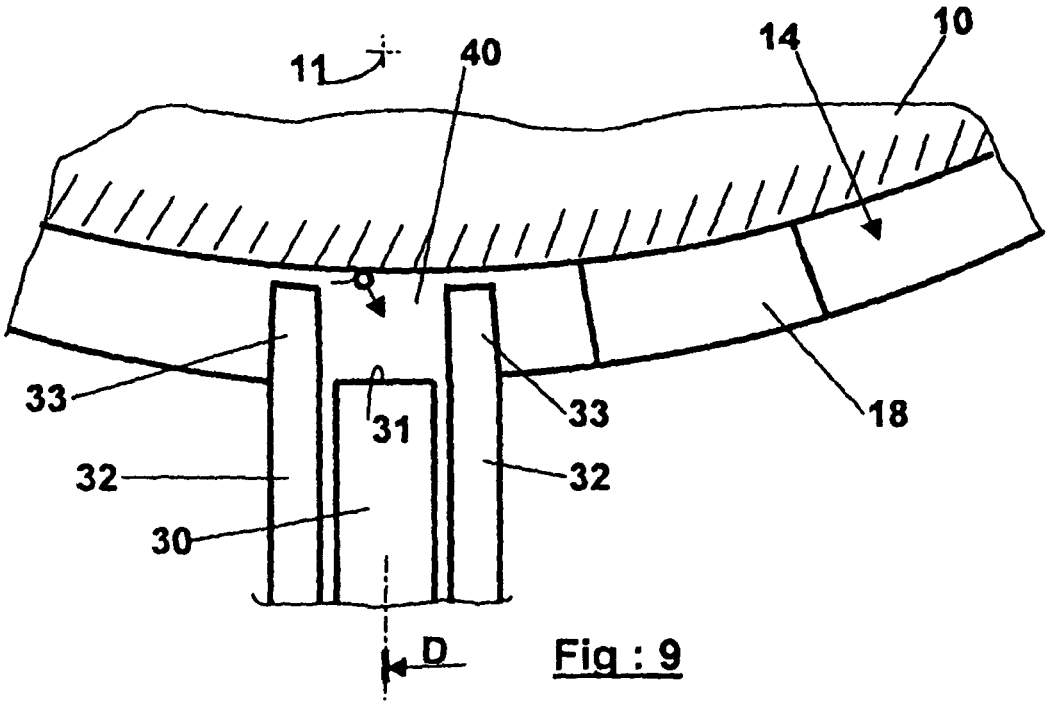


Fig : 9

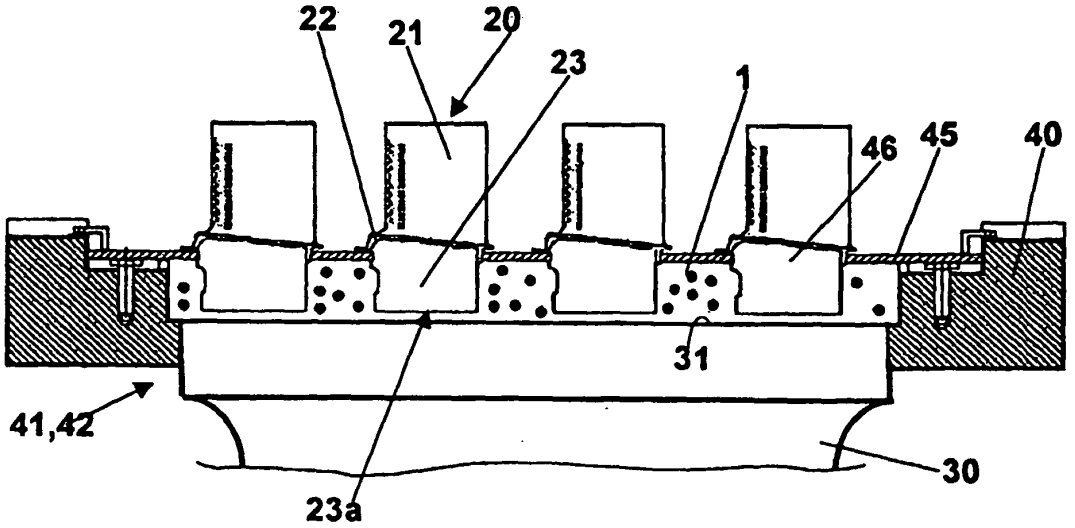


Fig : 10

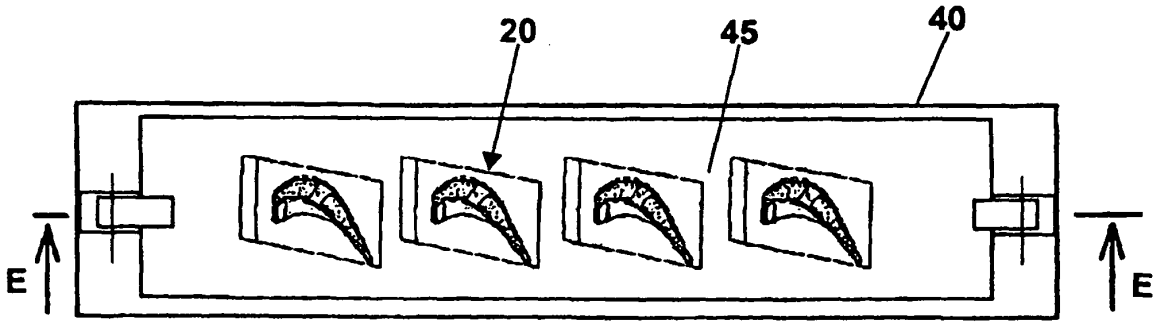


Fig : 11

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0922532 A **[0005]**
- US 4888863 A **[0007]**
- FR 2743742 **[0010]**
- FR 2689431 **[0011]**