



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 0 775 754 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
28.05.1997 Bulletin 1997/22

(51) Int Cl.⁶: **C22C 1/09**

(21) Numéro de dépôt: **96402499.6**

(22) Date de dépôt: **21.11.1996**

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB IT

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

(30) Priorité: **22.11.1995 FR 9513832**

(72) Inventeur: **Honnorat, Yves Christian Louis 91400 Orsay (FR)**

(54) **Procédé de fabrication d'un rotor composite à matrice métallique**

(57) Procédé de fabrication d'un rotor composite à matrice métallique (1, 2, 3, 26) renforcée d'enroulements fibreux (25). Pour supprimer le foisonnement des enroulements (25), on procède par une compression isostatique à chaud après avoir posé sur les enroule-

ments (25) une couronne (2) de même surface que le réseau qu'ils forment, et qui s'affaisse en correspondance au dégazage. L'invention s'applique à la fabrication de rotors formés d'un bloc et qui sont ensuite usinés à la forme voulue.

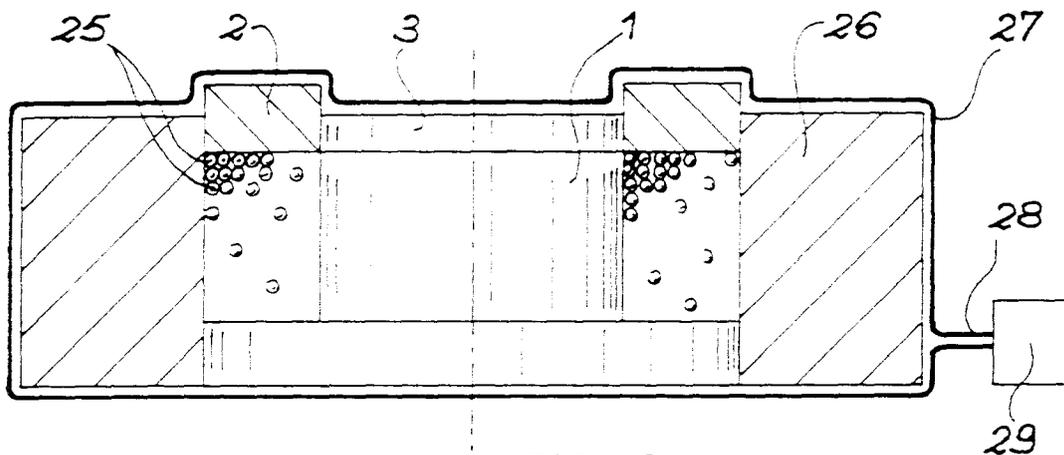


FIG. 2

EP 0 775 754 A1

Description

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un rotor composite à matrice métallique.

On recourt désormais assez souvent à des pièces de rotor formées d'un bloc à partir d'une matrice métallique qui est ensuite usinée à la forme voulue.

On a également eu l'idée de renforcer la matrice, qui est souvent formée d'un alliage fragile tel que de titane et d'aluminium, par des fibres enroulées en cercles internes, noyées dans la matrice, autour de l'axe du rotor.

Ces fibres, plus résistantes à la rupture que la matrice et à module d'élasticité plus élevé, permettent de construire des rotors résistants, à hautes performances et dont le poids n'est pas très élevé. Elles sont généralement enroulées autour d'un moyeu du rotor et noyées dans la matrice métallique. De la matière métallique de composition identique à celle de la matrice est ajoutée entre les enroulements de la fibre pour donner une bonne cohésion. La méthode de fabrication impose donc de former les enroulements des fibres, de placer ces enroulements dans la matière de la matrice et d'unir l'ensemble par une compression à chaud qui produit une agglomération entre les fibres et la matrice tout en supprimant les interstices entre les enroulements et la matière métallique ajoutée. Il faut toutefois se prémunir contre le foisonnement de la fibre, c'est-à-dire des déplacements irréguliers des enroulements qui perturbent la régularité de leur position dans la pièce finie.

On a en effet démontré qu'une pièce de cette composition, soumise à un essai à la rupture en traction dans la direction des fibres, se rompait normalement avec une décohésion de cisaillement de la liaison entre la matrice et les fibres, entre deux plans de rupture de deux fibres voisines ; ce mode de rupture absorbe une énergie importante mais n'apparaît que si les fibres sont régulièrement réparties. Sinon, les concentrations de contraintes créées au voisinage d'une fibre s'étendent jusqu'à ses voisines si celles-ci sont proches, avec la conséquence qu'elles se rompent à leur tour presque tout de suite. On peut observer une propagation de la rupture à travers toute l'éprouvette selon un plan, à une force assez faible et sans participation notable de la matière de la matrice à la résistance.

On a donc conçu divers procédés pour obtenir une disposition régulière des enroulements de la fibre. Dans un premier d'entre eux, la fibre est enroulée couche par couche autour d'un mandrin et la matière ajoutée de la matrice est projetée en plasma entre les spires de la couche exposée. Des projections obliques dans les deux sens sont nécessaires pour bien combler les interstices entre spires, et il faut ensuite réaliser une projection supplémentaire pour couvrir les spires. Cela est malcommode et compliqué.

On a aussi imaginé de disposer la matière ajoutée de la matrice en feuilards qu'on alternait avec les couches de spires de la fibre. Les feuilards pouvaient être enroulés directement sur la machine de fabrication, ou

bien la structure pouvait être préparée en posant à plat, alternativement, des feuilards et des nappes de fibre, et l'enroulement était réalisé dans une étape suivante. Mais on rencontrait des difficultés de fabrication, pour joindre les extrémités des feuilards, pour éviter qu'ils ne se plissent et pour réaliser des recouvrements homogènes, sans notamment laisser les fibres glisser à l'enroulement. Des concentrations de contraintes dues à des irrégularités de structure étaient observées sur les pièces finies.

Le dépôt de couches hélicoïdales alternées de couches de fibre et de feuilard, proposé dans le brevet français 2 607 071, possède des inconvénients analogues.

Enfin, on a eu l'idée de déposer la matière ajoutée de la matrice sur la fibre avant de former les enroulements et de soumettre l'assemblage à une compression isostatique à chaud. Ce procédé est exposé dans le brevet français 2 684 578. Il est plus facile à exécuter mais n'élimine pas complètement les défauts de régularité sur la structure de la pièce.

L'origine de l'invention peut être vue dans l'idée que la compression isostatique à chaud contribuait elle aussi à l'apparition des irrégularités de structure, quels qu'aient pu être le procédé choisi pour l'enroulement et le soin apporté à sa réalisation. En effet, la suppression des interstices implique un resserrement des enroulements, et donc une contraction de leur diamètre et des déformations de flambement des fibres.

La caractéristique de l'invention est d'éviter ces contractions de diamètre des spires et leurs conséquences, grâce à une compression à chaud améliorée, qui ne s'exerce qu'en direction axiale.

Cependant, il faut aussi garantir une régularité parfaite des enroulements pour éviter qu'ils ne foisonnent à la compression à chaud, ce qui est très difficile à cause de la finesse des fibres, dont le diamètre est voisin de 50 microns : les fibres sont donc très souples, et leurs enroulements nombreux. Un procédé de placement des enroulements qui soit fiable et d'utilisation simple dans l'industrie serait donc souhaité ; il est décrit ci-dessous et appartient aussi à l'invention.

Le rotor à matrice métallique incluant des enroulements de fibre qu'on obtient finalement forme une masse unitaire et compacte aux enroulements de fibre beaucoup plus régulièrement disposés.

Le procédé de l'invention comprend les étapes que voici :

- construire un moyeu métallique composé d'un plateau et d'une tige dressée sur le plateau,
- poser un disque métallique sur la tige, une couronne métallique étant unie au disque et s'étendant autour du disque, puis :
- enrouler des fibres enrobées de la matière de la matrice autour de la tige et entre le disque et le plateau,
- disposer une douille métallique autour du plateau et des fibres, la couronne dépassant de la douille et de la tige, et libérer la couronne du disque,

- entourer le moyeu, la douille et la couronne par une gaine munie d'un orifice de dégazage,
- comprimer la gaine par une compression isostatique à chaud jusqu'à ce que la couronne s'enfonce et atteigne un niveau déterminé,
- ôter la gaine et usiner si nécessaire le bloc métallique à une forme désirée.

Le bloc est donc formé par l'agglomération résultant d'un forgeage isotherme du moyeu, de la douille, de la couronne et de l'enrobage des fibres, qui sont normalement formées de la même matière de la matrice et forment un bloc unique à la fin du procédé. Les fibres continuent d'adhérer à leur enrobage et sont donc parfaitement intégrées à la pièce formée.

L'invention va maintenant être décrite plus en détail à l'aide des figures suivantes qui décrivent une réalisation possible et sont fournies à titre illustratif et non limitatif :

- les figures 1, 2, 3 et 4 représentent quatre étapes de la fabrication.

La matrice métallique est initialement formée de quatre morceaux dont trois sont visibles à la figure 1 : un moyeu 1, une couronne 2 et un disque 3. Le moyeu 1 est formé d'un plateau 4 circulaire inférieur du centre duquel se dresse une tige 5 cylindrique. La couronne 2 a un diamètre légèrement plus large que la tige 5 et un diamètre externe identique à celui du plateau 4. Quant au disque 3, son diamètre est semblable à celui de la tige 5. On commence par poser le disque 3 sur la tige 5 et la couronne 2 autour du disque 3, de façon qu'elle puisse coulisser autour de lui et de la tige 5, et le plateau 4 est posé sur un support 6 de façon qu'il soit coaxial à un axe 7 soutenant le support 6, de même que la couronne 2, le disque 3 et la tige 5. Un moteur 8 fait tourner l'axe 7.

Une fibre 9 a été préparée. Elle est déroulée d'une bobine 10 tournant à volonté, et on la fait passer par une poulie 11 tournant librement sur un châssis 12 lui-même mobile en translation le long de deux glissières verticales et parallèles 13 et 14. Le châssis 12 est relié par une bielle 15 à un point intermédiaire 16 d'un levier 17, dont une extrémité est articulée à un point fixe 18 et l'autre extrémité à un écrou 19 mobile le long d'une vis d'Archimède 20 verticale et mobile sous l'action d'un moteur 21. Deux interrupteurs 22 et 23 sensibles au contact de la bielle 17 sont prévus contre la vis d'Archimède 20 pour fournir des fin de course.

L'avance de la fibre 9 est produite en faisant tourner le moteur 8, ce qui la dévide de la bobine 10 en formant des enroulements autour de la tige 5. Simultanément, le moteur 21 est mis en marche pour abaisser peu à peu la bielle 17 et donc la poulie 11 de l'interrupteur supérieur 22 à l'interrupteur inférieur 23. La poulie 11 entraîne peu à peu la fibre 9 vers le bas et contribue à former des enroulements sur toute la hauteur de la tige 5, entre

le disque 3 et le plateau. Dans cette réalisation, l'extrémité de la fibre 9 est coincée entre le disque 3 et la surface supérieure de la tige 5, mais d'autres façons d'entraîner la fibre en la liant aux morceaux 1, 2 et 3 de la matrice peuvent être envisagées. La couronne 2 a une hauteur supérieure à celle du disque 3 et est maintenue de façon à saillir autour de lui vers le haut par un pion de coincement 24 logé dans une cavité ménagée à la fois dans la couronne 2 et le disque 3, à leur face inférieure. Un autre pion 30 est utilisé pour centrer le disque 3 sur la tige 5 ; il est logé dans une cavité ménagée sur l'axe de ces pièces. Mais d'autres solutions existent pour assurer cet assemblage : ainsi, la couronne 2 peut sertir le disque 3 avec un léger coincement et s'étendre un peu au-dessous de lui, au niveau du sommet de la tige 5 qui assure elle-même le centrage. Le pion de centrage 30 peut être choisi avec un diamètre suffisant pour que l'entraînement en rotation du disque 3 soit assuré. Dans une autre réalisation possible, l'axe 7 est remplacé par un axe plus mince sur lequel le moyeu 1 et le disque 2, percés en leur centre, sont enfilés. Ce procédé garantit des enroulements très réguliers sans imposer aucune dextérité, contrairement aux procédés précédents délicats à accomplir. La couronne 2 sert de joue de bobine pendant l'enroulement et empêche donc tout déplacement des couches enroulées.

La fibre 9 est coupée quand les enroulements sont réalisés. On procède alors pour arriver à l'état illustré à la figure 2. Le pion de centrage 24 est retiré et on fait glisser une douille 26, qui est le quatrième morceau de la matrice métallique, autour de la couronne 2, des enroulements 25 et du plateau 4 ; puis une gaine 27 hermétique est formée autour de toute la matrice, en prévoyant toutefois de la percer d'un conduit de dégazage 28 aboutissant à une pompe 29. On s'aperçoit que, quand la douille 26 est posée à hauteur du plateau 4, son sommet arrive à hauteur du disque 3 mais la couronne 2 est en saillie vers le haut.

Une compression isostatique à chaud est alors entreprise pour, selon le schéma de la figure 3, obtenir une masse compacte dans la gaine 27. Les procédés de compression isostatique à chaud sont maintenant bien connus et ne seront pas évoqués davantage. Dans le cas présent, l'effet principal obtenu est une agglomération des enroulements 25 qui se traduit par une diminution du volume qu'ils occupent et par un affaissement progressif de la couronne 2. La compression isostatique devient une compression purement axiale des enroulements 25 à cause de la continuité de la douille 26, qui remplace un cercle de noyaux utilisé dans des procédés antérieurs et qui se contracte radialement jusqu'à ce que les noyaux se touchent. On a déjà mentionné les inconvénients de cette compression radiale pour la régularité des enroulements 25. Le foisonnement de la fibre est beaucoup plus petit avec l'invention. Avantagusement, la hauteur de la couronne 2 est calculée pour que sa surface supérieure affleure aux surfaces supérieures du disque 3 et de la douille 26 quand une agglomération

mération satisfaisante des enroulements 25 a été obtenue, ce qui est représenté à la figure 3. On peut alors arrêter la compression.

Enfin et conformément à la figure 4, la gaine 27 est ôtée par usinage et la matrice métallique correspondant aux anciens morceaux 1, 2, 3 et 26 peut être usinée à volonté pour former la pièce souhaitée.

On peut ainsi la creuser dans son axe pour former un alésage 30, et enlever de la matière à sa périphérie extérieure pour n'y laisser subsister que des aubes 31 ; plus généralement, la pièce peut être usinée à volonté. On conçoit qu'une très grande liberté existe en fonction de la forme finale souhaitée. En variante, les morceaux 1, 2, 3 et 26 peuvent être prévus dès le début avec une surface extérieure semblable à celle de la pièce à l'état définitif ; la gaine 27 a alors la forme conséquente.

Un exemple effectif de fabrication concerne une matrice en alliage TAGV et des fibres en carbure de silicium SIC enrobées également de titane. Les enrobages des enroulements 25 forment une masse compacte pendant la compression. Une cohésion parfaite de la pièce est ainsi obtenue.

face supérieure de la douille.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un rotor composite à matrice métallique, composé d'un bloc métallique contenant des fibres (9) disposées en cercles, consistant à :

- construire un moyeu métallique (1) composé d'un plateau (4) et d'une tige (5) dressée sur le plateau,
- poser un disque métallique (3) sur la tige (5), une couronne métallique (2) étant unie au disque (3) et s'étendant autour du disque (3), puis :
- enrouler les fibres, enrobées de matière de la matrice, autour de la tige et entre le disque et le plateau,
- disposer une douille métallique (26) autour du plateau et des fibres, la couronne dépassant de la douille et de la tige, et libérer la couronne (2) du disque (3),
- entourer le moyeu, la douille et la couronne par une gaine (27) munie d'un orifice de dégazage (28),
- comprimer la gaine par une compression isostatique à chaud jusqu'à ce que la couronne s'enfonce et atteigne un niveau déterminé,
- ôter la gaine et usiner si nécessaire le bloc métallique à une forme désirée.

2. Procédé de fabrication d'un rotor composite suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le niveau prédéterminé correspond à un niveau où une surface supérieure de la couronne affleure à une sur-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

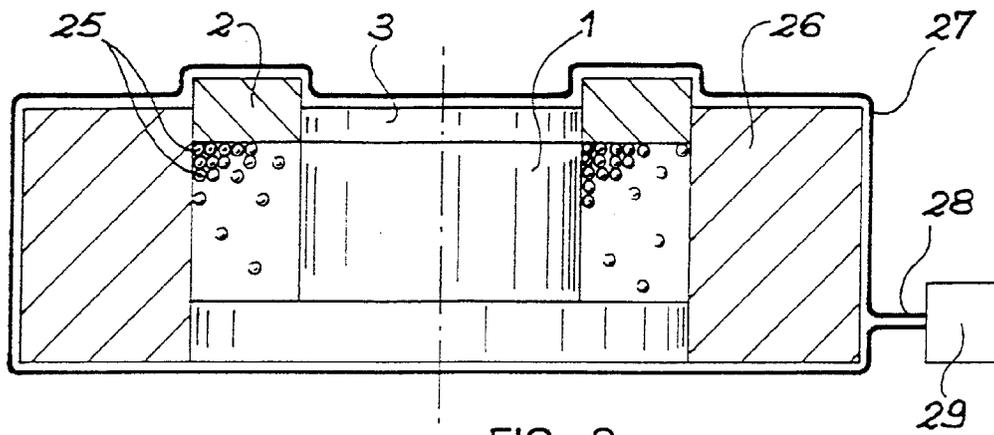


FIG. 2

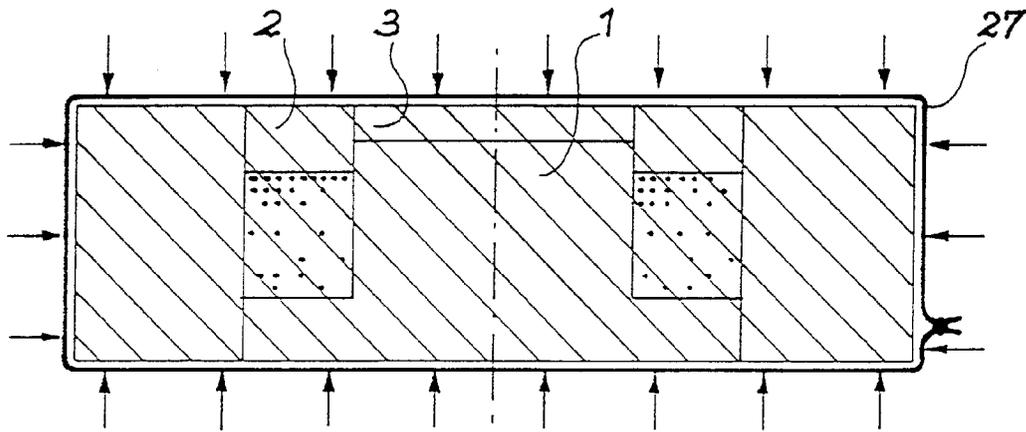


FIG. 3

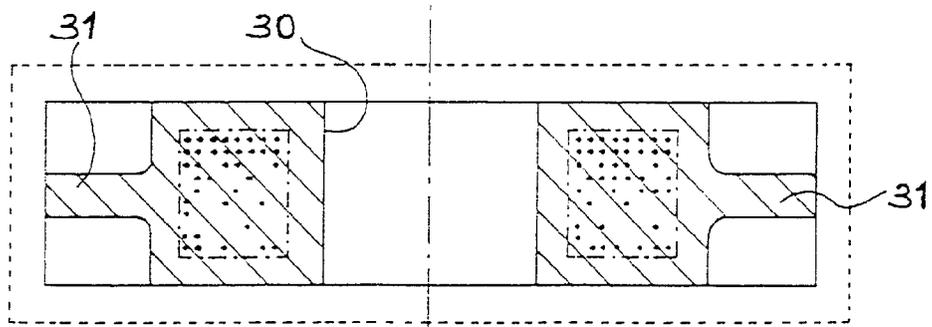


FIG. 4

Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande
EP 96 40 2499

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.6)
A,D	FR 2 607 071 A (TEXTRON INC) 27 Mai 1988 * page 14, ligne 28 - page 15, ligne 34; revendications 15,18,19 *	1-3	C22C1/09
A,D	FR 2 684 578 A (SNECMA) 11 Juin 1993 * revendication 1 *	1-3	
A	FR 2 289 425 A (SNECMA) 28 Mai 1976 * revendication 1 *	1-3	
A	EP 0 657 554 A (SNECMA) 14 Juin 1995 * colonne 5, ligne 11 - colonne 6, ligne 57 *	1-3	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			C22C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 5 Mars 1997	Examineur Schruers, H
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)