

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 867 096

②1 N° d'enregistrement national : **04 50466**

⑤1 Int Cl⁷ : B 21 D 53/78

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 08.03.04.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 09.09.05 Bulletin 05/36.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SNECMA MOTEURS Société anonyme — FR.

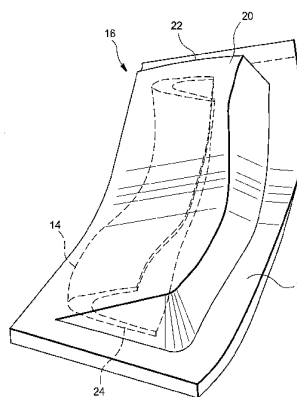
⑦2 Inventeur(s) : DESPREAUX JEAN LOUIS PAUL VICTOR, FRANCHET JEAN MICHEL PATRICK MAURICE, JOFFROY PHILIPPE, KLEIN GILLES CHARLES CASIMIR, LEVEQUE STEPHANE ANDRE, LHOMME DANIEL GASTON et LORIEUX ALAIN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX.

⑤4 PROCÉDE DE FABRICATION D'UN BORD D'ATTAQUE OU DE FUITE DE RENFORCEMENT POUR UNE AUBE DE SOUFFLANTE.

⑤7 Un procédé de fabrication de pièces de renforcement (14) pour les bords d'attaque (10) et/ou de fuite (12) des aubes (1) de soufflante est décrit. En particulier, l'invention concerne l'utilisation du procédé de SPF/DB (soudage par diffusion sous formage superplastique) pour ce type de pièces non creuses.



FR 2 867 096 - A1



**PROCEDE DE FABRICATION D'UN BORD D'ATTAQUE OU DE FUITE
DE RENFORCEMENT POUR UNE AUBE DE SOUFFLANTE**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE ET ETAT DE LA TECHNIQUE

La présente invention concerne un procédé
5 de fabrication d'un bord d'attaque et/ou d'un bord de
fuite métallique, destinés à renforcer par exemple les
aubes de soufflantes de turbomachine à large code.

Les aubes de soufflantes de turbomachine
subissent d'importantes contraintes mécaniques,
10 notamment au vu de leur vitesse de rotation, tout en
devant satisfaire à des conditions strictes de poids et
d'encombrement. L'une des options envisagées pour
alléger les aubes est l'utilisation de matériau
composite pour leur fabrication. Cependant, les aubes
15 de soufflante de turbomachines doivent également
répondre à des critères sévères d'utilisation,
notamment résister aux impacts de corps étranger. Or le
matériau composite, notamment sur le bord d'aube, peut
s'avérer cassant lorsque son épaisseur est minimale.

20 Pour pallier ce problème, il a été envisagé
de consolider le bord d'attaque des aubes de soufflante
en matériau composite au moyen d'une pièce métallique
s'intégrant au profil aérodynamique de l'aube. Une
telle pièce métallique de renforcement, également
25 appelée bord d'attaque, ou bord de fuite, de
consolidation, est alors ajoutée, généralement collée,
au bord d'attaque et/ou fuite de l'aube en composite
sans altérer son profil aérodynamique. Cette pièce

métallique est constituée d'une partie massive de plusieurs millimètres prolongée de deux lèvres, intrados et extrados, très fines, de quelques dixièmes de millimètres.

5 L'invention se propose de réaliser des pièces susceptibles d'être utilisées comme bord d'attaque et/ou de fuite de consolidation pour des aubes.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

10 Afin de remédier aux problèmes inhérents au développement de techniques d'usinage pour fabriquer un bord de consolidation dont la géométrie est complexe, sous l'un de ses aspects, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un bord d'attaque et/ou de
15 fuite de renforcement comprenant la réalisation d'une enveloppe creuse suivie d'une découpe de l'enveloppe pour obtenir la pièce désirée. De préférence, la réalisation de l'enveloppe est effectuée par la technique de « soudage par diffusion et formage
20 superplastique », incluant éventuellement un cambrage-vrillage. La découpe est de préférence effectuée par laser ou jet pressurisé. Il peut s'avérer souhaitable de procéder à un usinage du bord ainsi formé.

25 Sous un autre aspect, l'invention concerne l'utilisation du procédé de soudage par diffusion et formage superplastique pour la fabrication de pièces ayant la forme de bords de renforcement, et plus particulièrement de bords de fuite et/ou d'attaque de consolidation pour aubes.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre et en référence aux dessins annexés, donnés à titre illustratif et nullement limitatifs, sur lesquels :

La figure 1a représente une aube de turbomachine, la figure 1b montre un bord d'attaque de renforcement pour une telle aube ;

La figure 2 représente schématiquement une vue en perspective de l'enveloppe du bord de la figure 1b, telle que modélisée ou réalisée par SPF/DB ;

La figure 3 illustre schématiquement les étapes de la fabrication d'un bord d'attaque de consolidation selon l'invention, la figure 3a représentant les pièces primaires constituant le bord d'attaque, la figure 3b représentant les pièces primaires lors de l'étape d'assemblage suivie du soudage par diffusion, la figure 3c représentant l'enveloppe issue du gonflage et formage superplastique, la figure 3d représentant une section transversale du bord d'attaque après découpe.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La figure 1a représente une aube 1, du type aube de rotor de soufflante à grande corde. De géométrie complexe, une telle aube comporte un pied 2 prolongé par une pale 4 dans une direction radiale. La pale 4, destinée à être placée dans la veine de circulation d'un flux d'air d'une turbomachine, est munie de deux surfaces extérieures, respectivement

appelées surface d'extrados 6 et surface d'intrados 8, raccordées par un bord d'attaque 10 et un bord de fuite 12. Typiquement, la longueur entre bord d'attaque 10 et bord de fuite 12 est de l'ordre de 600 mm. Des renforcements 13 peuvent s'avérer nécessaires sur le bord de fuite 12, et surtout sur le bord d'attaque 10, pour éviter ou simplement retarder leur détérioration, notamment en cas d'impact.

Ces renforcements 13 peuvent être formés directement sur l'aube lors de sa fabrication, par exemple par moulage de métal. Cependant, cette solution n'est pas toujours possible, ni souhaitable, par exemple lorsque deux matériaux différents sont choisis pour l'aube et le renforcement. Notamment, dans le cas des aubes réalisées en matériau composite, un renforcement du bord d'attaque et/ou de fuite en métal, par exemple en alliage de titane, sera fabriqué de manière séparée. Un tel bord de consolidation 14 est alors ajouté sur l'aube 1, épousant le plus possible sa forme, de façon à ne pas altérer les propriétés mécaniques et aérodynamiques.

Au vu de la géométrie de l'aube présentée sur la figure 1a, on déduit rapidement que le profil du bord de renforcement 14 aura lui aussi un dessin complexe. Par ailleurs, l'aérodynamisme devant être conservé et le poids restant un souci constant, les dimensions souhaitées pour le bord de renforcement 14 ajoutent des contraintes supplémentaires. La figure 1b présente une telle géométrie de bord d'attaque et/ou de fuite de consolidation 14 pour aube de soufflante de turbomachine à large code, cette aube étant en matériau

composite ou non. Un exemple de dimensions pour un tel bord d'attaque de renforcement 14 est une longueur l de recouvrement de l'ordre de 100 à 150 mm, de préférence 130 mm, une hauteur h de la partie massive de renforcement de l'ordre de 50 à 60 mm, et une épaisseur e de paroi des lèvres inférieure à 2 mm, si possible de l'ordre de 0,5 mm, sur la plus grande partie de la longueur (l-h).

Selon l'invention, pour fabriquer un tel profil complexe, il a été choisi de passer par un produit intermédiaire *a priori* plus complexe encore à réaliser : une enveloppe 16 du bord d'attaque de renforcement 14, de forme générale creuse. En se référant à la figure 2, l'enveloppe 16 comprend un pourtour formé du bord d'attaque 14 et de parties additionnelles 18, ce pourtour définissant une cavité intérieure 20. L'intérêt de définir une telle enveloppe 16 est l'utilisation de procédés de fabrication de pièces creuses, suivie de la découpe de la pièce creuse 16 pour en extraire le bord d'attaque de renforcement 14.

En particulier, on connaît un procédé de fabrication, par exemple du document EP-A-1 338 353, qui permet de fabriquer des géométries creuses complexes : le procédé de « soudage par diffusion et formage superplastique » (SPF/DB, de la dénomination anglo-saxonne « Super Plastic Forming / Diffusion Bonding »), procédé utilisé notamment dans le domaine aéronautique.

La première étape consiste à modéliser le profil du bord d'attaque de consolidation 14, par

exemple celui de la figure 1b, pour obtenir une pièce, ou enveloppe, 16 réalisable par SPF/DB, par exemple celle de la figure 2. L'une des possibilités consiste à utiliser la modélisation ou la conception assistée par ordinateur (CAO), par exemple en procédant virtuellement à un découpage du bord d'attaque 14 en sections transversales normales à un axe longitudinal fictif défini à l'étude. Ces sections sont alors modifiées afin d'obtenir des sections internes fermées puis combinées pour obtenir une enveloppe creuse 16. Il est clair que d'autres techniques connues de l'homme du métier peuvent être utilisées.

Une opération dite « de mise à plat » consiste ensuite à plaquer sur un même plan les parois intrados 22 et extrados 24 de cette enveloppe 16 fermée du bord d'attaque 14. Cette opération de mise à plat peut s'effectuer par simulation également, en utilisant des moyens de CAO, par exemple en trois phases, un dégonflage suivi d'un dévrillage et d'un « décambrage » puis de la mise à plat proprement dit. De cette mise à plat est déduit le dessin des pièces primaires 26, 28, de façon usuelle au nombre de deux pour ce genre de profil, schématisées en figure 3a.

Les pièces primaires 26, 28 constitutives d'un bord sont ensuite usinées, habituellement à partir d'une tôle laminée ou forgée. L'épaisseur de la tôle peut correspondre à la demi épaisseur maximale du bord d'attaque ou de fuite de consolidation que l'on désire fabriquer ; de façon préférée, la tôle est en alliage de titane, par exemple TiAlV, mais tout métal ou alliage dont les propriétés correspondent à l'usage

souhaité et susceptible d'être utilisé en suivant la technique SPF/DB peut être choisi. On peut également utiliser des tôles différentes pour l'intrados 22 et l'extrados 24, voire des tôles d'épaisseurs variables, dont la somme des épaisseurs est au moins égale ou supérieure à l'épaisseur maximale du bord d'attaque de renforcement 14. L'usinage consiste à répartir les épaisseurs de chaque pièce primaire 26, 28 constituant le bord d'attaque ou de fuite de renforcement suivant la définition fournie par la CAO. Des outils tels que la CFAO (conception fabrication assistées par ordinateur) peuvent être employés, et toute technique connue de l'homme du métier peut être utilisée.

Avec les pièces primaires 26, 28 ainsi usinées, on procède ensuite au soudage par diffusion afin de former la préforme 30 : figure 3b. Par exemple, on procède à un nettoyage « parfait » des pièces primaires 26, 28 ; on applique ensuite un produit anti-diffusant sur une face interne des pièces primaires au moins, suivant un motif prédéfini, par exemple par un procédé de sérigraphie. Ce produit anti-diffusant est cuit, et les pièces primaires 26, 28 sont assemblées en une préforme 30.

A titre d'exemple, pour un bord d'attaque de consolidation 14 en alliage de titane pour une aube 1 de soufflante de turbomachine à large corde en matériau composite, on peut choisir les paramètres suivants pour le soudage par diffusion : température de 875°C à 940°C sous une pression de 3 à 6 MPa pendant 1 heure au moins. Le soudage par diffusion peut être réalisé par une pression mécanique ou isostatique sur

une presse équipée d'outillage adéquat ; il est de préférence réalisé dans une enceinte pour traitement thermomécanique sous pression isostatique à l'aide d'un gaz inerte du type argon, dite enceinte HIP (« Hot Isostatic Pressure »). Cette opération a pour but de souder par diffusion les parties internes métalliques non revêtues de produit diffusant entre elles.

De manière avantageuse, l'opération de soudage par diffusion peut être combinée à une mise en forme dans le cas d'un soudage sur presse. Cette mise en forme aura but de mieux positionner la préforme soudée sur le moule de gonflage de l'opération de gonflage et formage superplastique.

Suite au soudage par diffusion, on peut procéder à une étape de cambrage et vrillage de la préforme 30. Cette étape peut également être combinée avec le soudage par diffusion.

La préforme 30 issue du soudage par diffusion est enfin placée dans un appareillage de gonflage afin de subir un formage superplastique. Par exemple, on peut la réaliser entre 850°C et 940°C sous pression de 2 à 6 MPa d'argon. Cette étape peut par ailleurs être combinée avec le soudage par diffusion, éventuellement couplé au cambrage-vrillage. La pièce issue de ce processus correspond à l'enveloppe 16 du bord d'attaque de renforcement 14, illustrée schématiquement sur la figure 3c, et représentée également en figure 2.

On note que les étapes sont semblables jusqu'ici à la formation d'une aube creuse de soufflante par SPF/DB, dont un exemple d'utilisation

est décrit par exemple dans le document
FR-A-2 834 481 : le procédé selon l'invention permet en
effet d'utiliser l'outillage et le savoir-faire connus,
ce qui permet d'alléger les coûts de fabrication de ces
5 parties sensibles des aubes.

On procède enfin à la découpe de
l'enveloppe 16 afin de parvenir à un bord d'attaque de
renforcement 14 lui-même, tel que schématisé sur la
figure 3d. La découpe peut être effectuée par toute
10 technique connue de l'homme du métier ; découpes au
laser ou par jet d'eau pressurisée sont préconisées.

Il peut s'avérer utile ensuite de procéder
à un usinage de finition, notamment un polissage du
bord 14 résultant. Par ailleurs, afin d'optimiser la
15 complémentarité entre bord d'attaque de renforcement 14
et bord d'attaque de l'aube 10, un ajustement des côtes
peut s'avérer préférable. De manière générale, une fois
réalisé, le bord d'attaque de consolidation 14 peut
être usiné selon toutes les techniques connues de
20 l'homme du métier, et notamment un usinage chimique
et/ou mécanique peut être envisagé pour amincir les
intrados et extrados.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un bord de
renforcement (14) pour une aube (1) comprenant les
5 étapes de :

- réalisation d'une enveloppe (16)
comprenant une cavité (20) délimitée par un pourtour,
le pourtour incluant le bord de renforcement (14) ;
- découpe de l'enveloppe (16) pour en
10 extraire le bord de renforcement (14).

2. Procédé selon la revendication 1, dans
lequel la réalisation de l'enveloppe (16) comprend les
étapes de :

- 15 - réalisation de pièces primaires (26,
28) ;
- soudage par diffusion des pièces
primaires (26, 28) en une préforme (30) ;
- gonflage sous pression gazeuse de la
20 préforme (30) et formage superplastique de l'enveloppe
(16).

3. Procédé selon la revendication 2,
comprenant en outre une étape de cambrage et vrillage
25 de la préforme (30), après l'opération de soudage par
diffusion.

4. Procédé selon la revendication 2,
comprenant un cambrage et un vrillage combinés avec le
30 soudage par diffusion en une seule opération.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel le soudage par diffusion, le cambrage et le vrillage sont combinés avec le gonflage et le formage superplastique en une même opération.

5

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la découpe est effectuée par laser et/ou jet pressurisé.

10

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre une étape d'usinage du bord de renforcement (14) résultant de la découpe de l'enveloppe (16).

15

8. Utilisation d'un procédé de soudage par diffusion sous formage superplastique pour fabriquer une pièce métallique (14) composée d'une partie massive prolongée de deux lèvres.

20

9. Utilisation selon la revendication précédente, pour fabriquer un bord d'attaque et/ou de fuite de renforcement (14) destiné à renforcer une aube (1) de soufflante de turbomachine.

1 / 3

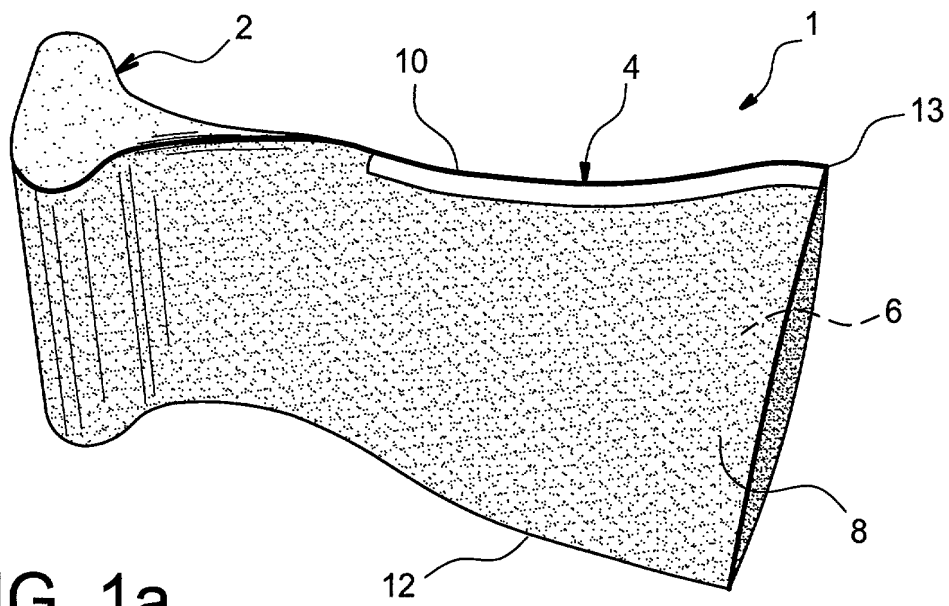
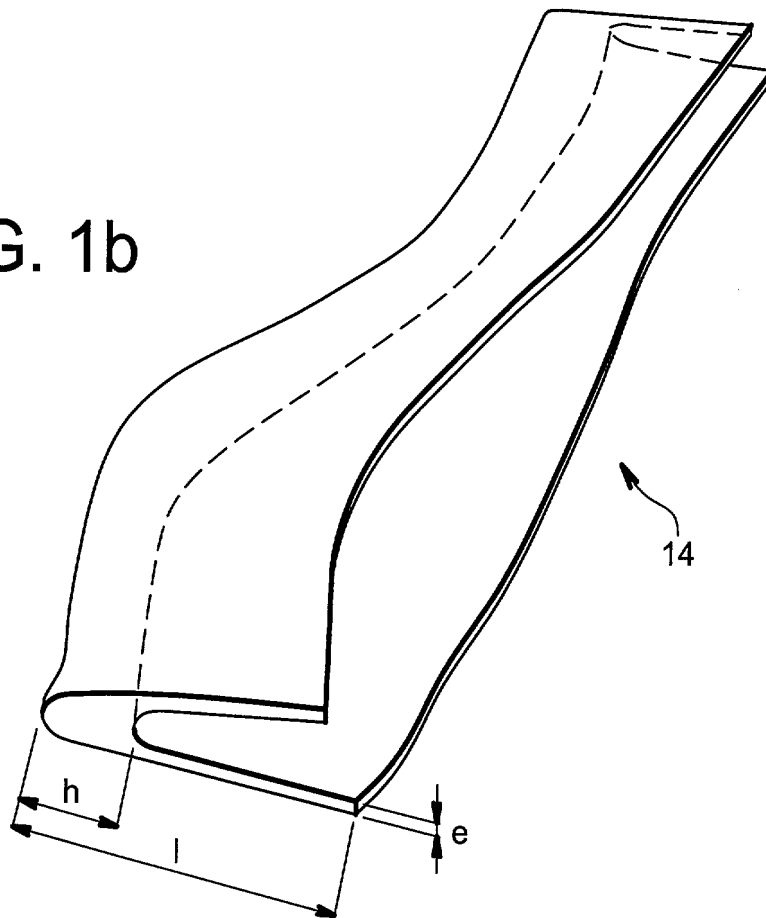


FIG. 1b



2 / 3

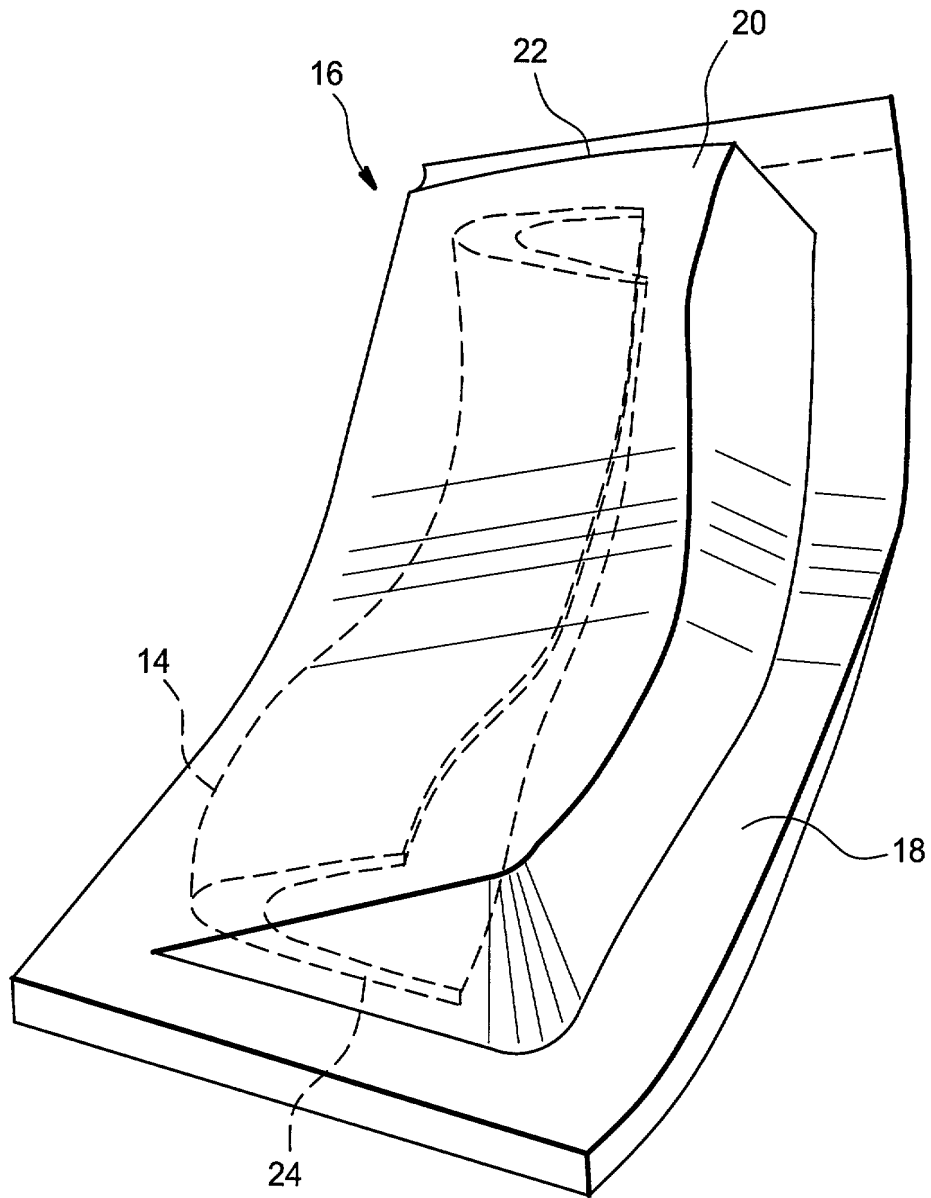


FIG. 2

3 / 3

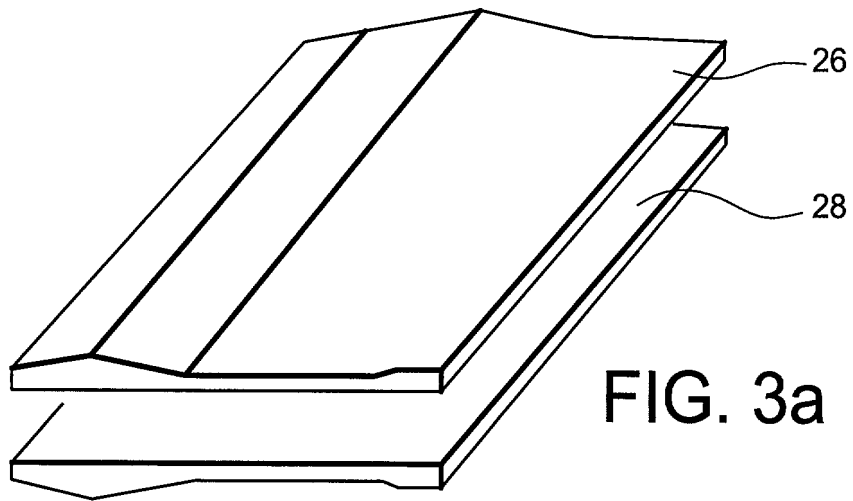


FIG. 3a

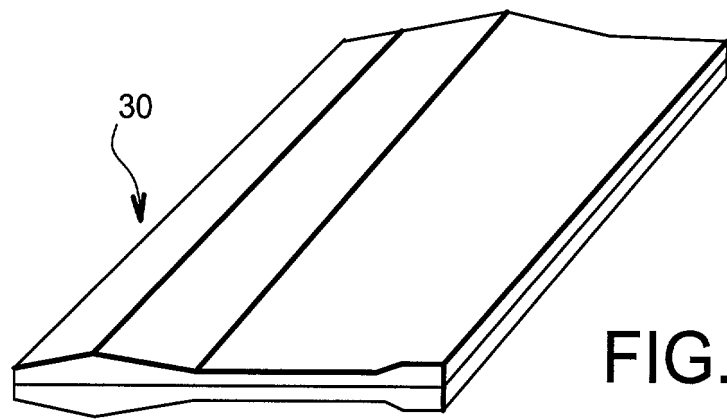


FIG. 3b



FIG. 3c



FIG. 3d

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0450466 FA 644541**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 13-09-2004

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2739832 A	18-04-1997	FR 2739832 A1	18-04-1997
		AU 7304396 A	30-04-1997
		CA 2208435 A1	17-04-1997
		DE 69618760 D1	14-03-2002
		DE 69618760 T2	22-08-2002
		EP 0800474 A1	15-10-1997
		ES 2171729 T3	16-09-2002
		WO 9713683 A1	17-04-1997
		JP 10511623 T	10-11-1998
		US 5975465 A	02-11-1999
EP 0893342 A	27-01-1999	JP 11034993 A	09-02-1999
		EP 0893342 A2	27-01-1999
		US 6119978 A	19-09-2000
		US 6279228 B1	28-08-2001
US 5694683 A	09-12-1997	WO 9423890 A1	27-10-1994
EP 1106783 A	13-06-2001	DE 19959598 A1	13-06-2001
		EP 1106783 A2	13-06-2001
		US 2001029668 A1	18-10-2001
US 6471485 B1	29-10-2002	DE 19751129 C1	17-06-1999
		WO 9927234 A1	03-06-1999
		DE 59804362 D1	11-07-2002
		EP 1032749 A1	06-09-2000
		ES 2178294 T3	16-12-2002
		JP 2001524633 T	04-12-2001
		RU 2221922 C2	20-01-2004