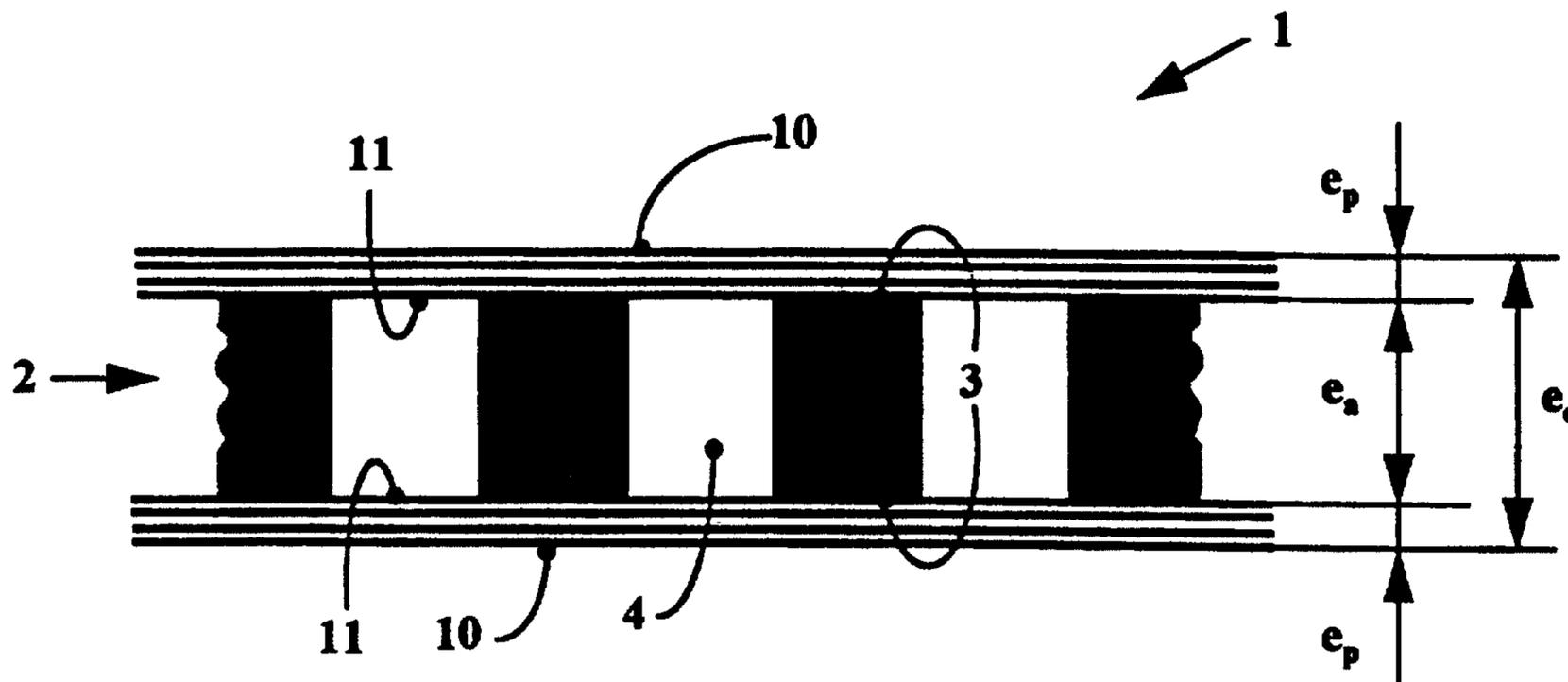




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1999/10/15  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2000/04/20  
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2004/12/14  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2000/06/08  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1999/002515  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2000/021746  
 (30) Priorité/Priority: 1998/10/15 (98/12917) FR

(51) Cl.Int.<sup>7</sup>/Int.Cl.<sup>7</sup> B32B 15/04, B23K 20/02, C22C 47/00  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
 GIRAULT, DANIEL GEORGES, FR;  
 GAUTHIER, GERARD PHILIPPE, FR;  
 MOLLIEUX, LUDOVIC EDMOND CAMILLE, FR  
 (73) Propriétaire/Owner:  
 SNECMA MOTEURS, FR  
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE D'OBTENTION DE PIÉCES MÉTALLIQUES MINCES, LÉGERES ET RIGIDES  
 (54) Title: METHOD FOR OBTAINING THIN, LIGHT AND RIGID METAL PARTS



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention propose un procédé de réalisation de pièces en alliage métallique mince, légères et rigides comportant essentiellement les opérations suivantes: réalisation d'une âme (2) à la forme de la pièce (1), réalisation de cavités (4) dans ladite âme (2), réalisation de peaux (10) en composite alliage métallique + fibres de renfort à haut module d'élasticité, densification des peaux (10), soudage-diffusion desdites peaux (10) sur l'âme (2) par compression aux conditions de température et de pression de forgeage isotherme de l'alliage métallique employé.

PCT

ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE  
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> : B32B 15/04, C22C 1/09, B23K 20/02	A1	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 00/21746</b>
		(43) Date de publication internationale: 20 avril 2000 (20.04.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/02515

(22) Date de dépôt international: 15 octobre 1999 (15.10.99)

(30) Données relatives à la priorité:  
98/12917 15 octobre 1998 (15.10.98) FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET DE CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION "SNECMA" [FR/FR]; 2, boulevard du Général-Martial-Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): GIRAULT, Daniel, Georges [FR/FR]; 11, rue de l'Ecluse, F-77000 Melun (FR). GAUTHIER, Gérard, Philippe [FR/FR]; 32, rue Corot, F-91240 Saint Michel sur Orge (FR). MOLLIEUX, Ludovic, Edmond, Camille [FR/FR]; 13, avenue Madeleine, F-91800 Brunoy (FR).

(74) Mandataire: BERROU, Paul; Snecma, Service des brevets, Boîte postale 81, F-91003 Evry Cedex (FR).

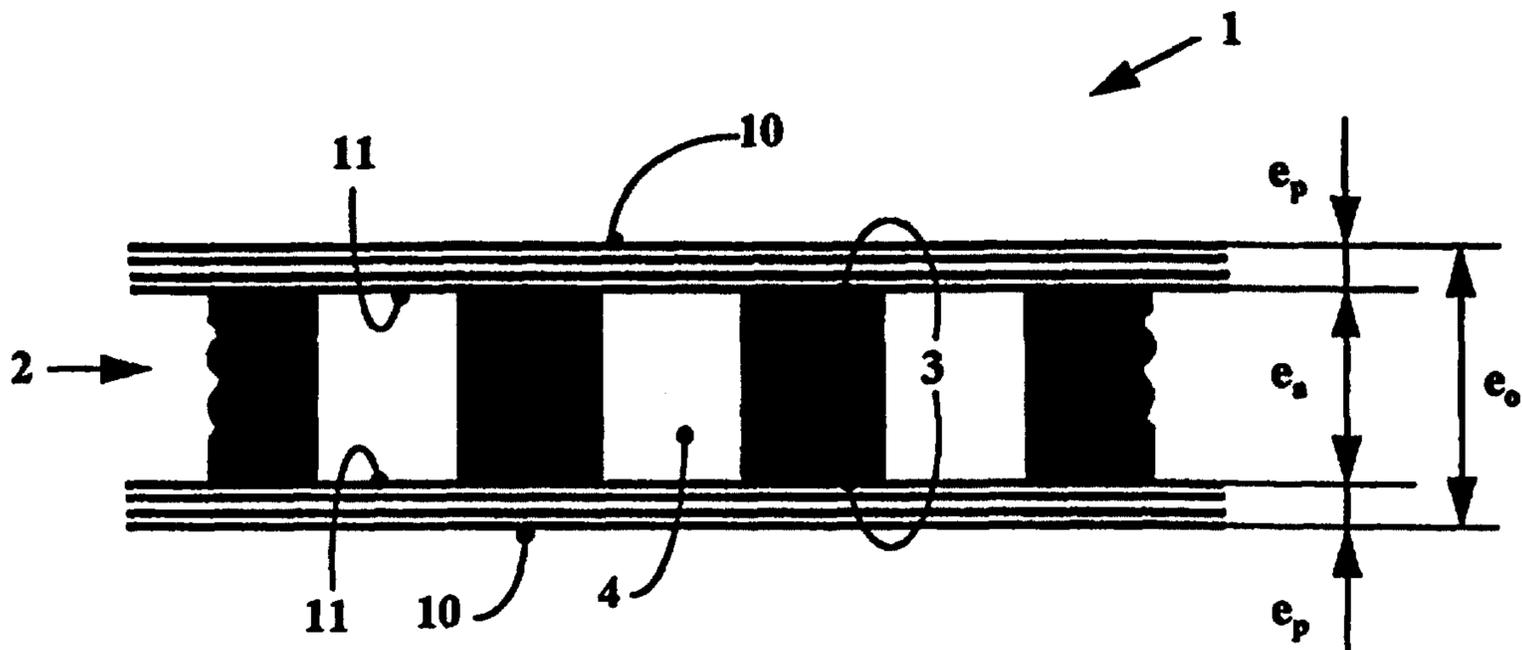
(81) Etats désignés: CA, JP, US.

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: METHOD FOR OBTAINING THIN, LIGHT AND RIGID METAL PARTS

(54) Titre: PROCEDE D'OBTENTION DE PIECES METALLIQUES MINCES, LEGERES ET RIGIDES



(57) Abstract

The invention concerns a method for producing parts made of thin, light and rigid metal alloy essentially comprising the following steps: producing a core (2) having the part (1) shape; producing cavities (4) in said core; producing skins (10) made of metal alloy combined with reinforcing fibres with high modulus of elasticity; densifying the skins (10); diffusion welding of said skins (10) on the core (2) by compression at temperature and pressure conditions for isothermal forging of the metal alloy used.

**(57) Abrégé**

L'invention propose un procédé de réalisation de pièces en alliage métallique mince, légères et rigides comportant essentiellement les opérations suivantes: réalisation d'une âme (2) à la forme de la pièce (1), réalisation de cavités (4) dans ladite âme (2), réalisation de peaux (10) en composite alliage métallique + fibres de renfort à haut module d'élasticité, densification des peaux (10), soudage-diffusion desdites peaux (10) sur l'âme (2) par compression aux conditions de température et de pression de forgeage isotherme de l'alliage métallique employé.

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

**PROCEDE D'OBTENTION DE PIECES METALLIQUES MINCES,  
LEGERES ET RIGIDES**

Domaine technique de l'invention.

5

L'invention se rapporte à un procédé de fabrication de pièces métalliques à structure sandwich renforcées par des fibres à haut module d'élasticité et assemblées par soudage-diffusion.

10 Etat de la technique et problème à résoudre.

On utilise en aéronautique des pièces minces et légères réalisées en alliages métalliques à haut rapport résistance/masse, soit principalement les alliages  
15 d'aluminium, de magnésium et de titane. Dans le cas des turbomoteurs, ce sont typiquement les carters, les bras de carters et les aubes. De tels alliages présentant cependant l'inconvénient d'avoir un module d'Young réduit, et les pièces réalisées avec ces alliages doivent en conséquence  
20 être renforcées par des nervurages afin de présenter une rigidité suffisante. La présence des ces nervurages a cependant l'inconvénient d'augmenter la masse de la pièce. De plus, ces nervurages peuvent prendre des formes complexes et leur réalisation peut en conséquence devenir très coûteuse.

25

On utilise aussi aujourd'hui en aéronautique des matériaux composites constitués de fibres de renfort noyées dans une matrice métallique, les fibres pouvant être en carbure de silicium SiC, en bore ou en carbone, et la matrice en alliage  
30 d'aluminium, de magnésium et de titane. De tels matériaux ont des propriétés mécaniques sensiblement améliorées par rapport au même alliage de matrice employé seul. A titre d'exemple, si on compare un composite constitué de fibres de carbure de silicium SiC noyées dans une matrice en alliage de titane  
35 Ta6V avec l'alliage de titane Ta6V employé seul, on constate que la résistance mécanique est augmentée de 120%, que le module d'Young est augmenté de 100% alors que la masse spécifique est réduite de 15%.

Les matériaux composites à matrice métallique sont obtenus essentiellement en comprimant fortement à la température de formage superplastique de l'alliage métallique une préforme constituée de fibres de renfort et d'alliage métallique, les fibres pouvant être tissées ou bobinées, l'alliage métallique pouvant se présenter sous la forme de feuillards disposés entre les fibres, sous la forme d'un revêtement appliqué autour des fibres par le procédé appelé "physical vapor deposition" ou "CVD", l'alliage métallique pouvant aussi être appliqué par projection plasma sur les fibres tissées ou bobinées. La compression à chaud peut s'effectuer en matrice sur une presse lorsque la forme de la pièce le permet, c'est à dire lorsqu'elle est de forme à dominante plane. Dans le cas contraire, la compression peut aussi être effectuée en autoclave, la pièce étant alors entourée d'un conteneur, c'est à dire d'une enveloppe métallique étanche dans laquelle le vide est fait, la pièce pouvant aussi être appuyée contre une forme. De tels procédés permettent de réaliser des pièces composites minces aux propriétés mécaniques améliorées par rapport à une même pièce en alliage métallique. Toutefois, l'utilisation de ces procédés pour la réalisation de grosses pièces dans la totalité de leur épaisseur nécessiterait la mise en oeuvre d'une quantité importante de fibre, alors que seules les fibres à la surface de la pièce participant à la raideur de cette pièce selon un principe bien connu en résistance des matériaux. Ainsi, du fait que l'achat et la mise en oeuvre de ces fibres à haute résistance sont très coûteux, le prix de revient de telles pièces serait prohibitif.

30

On réalise aussi des pièces mixtes comportant une partie en composite fibre + alliage métallique et une partie en alliage métallique seul. Pour fabriquer de telle pièces, on usine une ébauche de la seconde partie et on comprime ensemble la première et la seconde partie selon le procédé général précité, cette compression à chaud réalisant un soudage des deux parties par diffusion mutuelle de l'alliage de chaque partie dans l'autre partie.

35

D'une manière générale, la constitution et la compression à chaud d'une pièce en matériau composite comportant des fibres de renfort à haut module d'élasticité noyées dans une matrice en alliage métallique reste une opération délicate, car ces fibres ne supportent pas sans se rompre des courbures importantes du fait de leur haut module d'élasticité. Comme les pressions requises aussi bien pour la densification que pour le soudage-diffusion sont très élevées, on respecte habituellement les conditions suivantes pour ne pas casser les fibres :

- les fibres sont disposées régulièrement en nappes parallèlement les unes à côté des autres,
- le procédé doit permettre, lors de la densification, une grande homogénéité d'écoulement de la matrice autour des fibres afin de ne pas provoquer, sous l'effet de la pression, des déplacements localisés desdites fibres qui risqueraient de les rompre.

A titre d'exemple, la compression et le soudage-diffusion d'un matériau composite constitué de fibres de renfort en carbure de silicium SiC avec une matrice en alliage de titane Ta6V nécessitent une pression de 600 à 800 bars à une température de l'ordre de 900°C.

Exposé de l'invention.

L'invention propose un procédé de réalisation de pièces métalliques minces et rigides, ledit procédé comportant notamment les opérations suivantes :

- réalisation d'une âme en alliage métallique,
- application sur chaque face de l'âme d'une peau en matériau composite comportant des fibres de renfort noyées dans un alliage métallique, lesdites fibres ayant un module d'élasticité au moins égal à quatre fois celui dudit alliage métallique.
- densification des peaux par compression au moins dans le sens de l'épaisseur à la température de superplasticité de l'alliage métallique entourant les fibres,

- soudage-diffusion desdites peaux sur l'âme par compression au moins dans le sens de l'épaisseur à la température de diffusion des alliages métalliques des peaux et de l'âme.

5 Un tel procédé est remarquable en ce que :

- on réalise dans l'âme une pluralité de cavités débouchantes au moins sur une face de ladite âme, par exemple par perçage, par électroérosion ou par poinçonnage, avec une fraction volumique de l'âme la plus faible possible, par exemple 0,9,
- 10 la fraction volumique de l'âme étant le rapport  $V/V_a$  dans lequel  $V_a$  est le volume de l'âme pleine et  $V$  le volume de la matrice restante de l'âme après la réalisation des cavités, lesdites cavités étant régulièrement réparties sur la pièce,
- on densifie les peaux à la forme de l'âme préalablement à
- 15 leur application sur l'âme.

Ceci a pour effet de constituer dans la pièce des cavités fermées au moins d'un côté par les peaux avec un fluage négligeable desdites peaux à l'intérieur desdites cavités, et

20 pour résultat simultanément d'alléger et de rigidifier les pièces sans augmenter leur épaisseur.

La courbure des fibres de renfort est maintenue sensiblement constante au-dessus de chaque cavité, et dans le voisinage de

25 chacune d'elle, ce qui permet simultanément de ne pas casser les fibres ou de n'en casser qu'une proportion négligeable, ainsi que de laisser ces fibres dans la meilleure position pour assurer la résistance et la rigidité de la pièce.

30 Ainsi, et contrairement à ce qu'on aurait pu penser, il est possible de comprimer, dans les conditions précitées et sans fluage notable dans les cavités des peaux composites constituée de fibres de renfort à haut module d'élasticité noyées dans une matrice en alliage métallique sur une âme

35 comportant elle-même une multitude de cavités ouvertes à sa surface, la densification préalable des peaux apportant auxdites peaux une rigidité suffisante pour en limiter le fluage dans les cavités à des valeurs négligeables.

Avantageusement, les alliages métalliques seront pris dans le groupe comprenant le titane, l'aluminium et le magnésium, et les fibres de renfort dans le groupe comprenant le carbure de silicium, le bore et le carbone, afin d'associer un alliage métallique léger à des fibres de renfort à haute résistance et à haut module d'élasticité.

Dans une première forme de réalisation de l'invention, le soudage-diffusion est réalisé en matrice à la presse, par exemple avec une matrice chauffante ou avec un four-presse. Une telle disposition a pour effet de maintenir l'épaisseur moyenne de matière entre les cavités à une valeur suffisante compatible avec le procédé de compression employé, et pour résultat d'empêcher l'écrasement de l'âme pendant la compression en matrice;

Dans une forme préférée de mise en oeuvre du procédé, les peaux sont soudées sur l'âme par compression isostatique en autoclave. Il faut alors limiter la largeur des cavités à une valeur compatible avec ce type de compression. On peut alors appliquer le présent procédé à des pièces impossibles à réaliser en matrice, par exemple des carters de turbomachine. On comprend que la pression appliquée sur la pièce par l'intermédiaire d'un fluide, en l'occurrence le gaz de l'autoclave favorise le fluage des peaux dans les cavités. Il a cependant été constaté que ce fluage peut être considéré comme étant négligeable, lorsque les dimensions des cavités restent inférieures à une certaine limite qui dépend des propriétés de la peau composite, ce qui autorise dans ces conditions la fabrication de pièces de qualité aéronautique ou aérospatiale.

Avantageusement, on adoptera une fraction volumique de l'âme minimale, afin de réduire la masse de l'âme et d'alléger les pièces à résistance et rigidité égale.

Avantageusement aussi, on augmentera la fraction volumique de l'âme  $V/V_a$  au voisinage des zones de liaison de la pièce. Ceci a pour effet d'augmenter à ces endroits la résistance à l'écrasement de la pièce et pour résultat d'autoriser le

boulonnage de la pièce avec des couples de serrage élevés. Dans un mode particulier de réalisation, l'âme sera pleine au voisinage immédiat desdits organes de liaison.

- 5   Avantageusement, on peut usiner dans l'âme des cavités jointives selon des lignes appropriées. Ceci a pour effet de constituer entre les peaux des conduits et pour résultat de permettre des circulations de fluide dans l'épaisseur de la pièce. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas de
- 10  pièces structurales de turbomachine telles les carters et les bras de carters : on peut ainsi distribuer du lubrifiant, du carburant ou du gaz à diverses température, notamment pour le contrôle des jeux de fonctionnement.
- 15  Avantageusement ces cavités jointives ne débouchent chacune que d'un seul côté de l'âme, afin de maintenir la cohésion de ladite âme pendant la réalisation de la pièce.

Avantageusement, la pièce étant une aube de turbomachine

20  comportant une pale et un pied à une extrémité, l'âme s'étendant dans la pale et dans le pied, on réalisera des cavités avec une fraction volumique de l'âme  $V/V_a$  réduite dans l'âme de la pale, et on réalisera éventuellement des cavités avec une fraction volumique de l'âme  $V/V_a$  élevée dans

25  le pied, ce qui permet de réaliser des aubes très légères qui pourront cependant supporter des sollicitations d'encastrement importantes au pied. Avantageusement, l'aube sera réalisée en matrice, ce qui autorise des fractions volumiques de l'âme faibles, donc un gain de masse important.

30

Description des figures.

L'invention sera mieux comprise et les avantages qu'elle procure apparaîtront plus clairement au vu d'un exemple

35  détaillé de réalisation et des figures annexées.

La figure 1 illustre par une vue en coupe une paroi de carter.

Les figures 2 et 3 illustrent des formes possibles des cavités usinées dans l'âme.

La figure 4 illustre par un graphique les résultats obtenus dans le cas de fibres de carbure de silicium SiC et d'un alliage métallique à base titane Ta6V.

#### Description détaillée.

On se reportera en premier lieu à la figure 1. La pièce 1 est mince et comporte une âme 2 également mince et délimitée dans le sens de son épaisseur par deux faces 3. L'âme 2 comporte une pluralité de cavités 4 débouchant chacune au moins sur l'une des faces 3 de l'âme 2. Dans cet exemple, les cavités 4 débouchent chacune sur les deux faces 3 de l'âme 2. Sur chacune des faces 3 de l'âme 2 est soudée par diffusion une peau 10. On référencera 11 les faces intérieures des peaux 10 par lesquelles le soudage-diffusion est effectué, ce soudage-diffusion consistant en une interpénétration par diffusion des matières de l'âme 2 et des peaux 10 au niveau des faces 3 et 11 respectivement de l'âme 2 et des peaux 10 en contact mutuel. On comprend que les cavités 4 sont fermées par les peaux 10. En pratique, ces cavités 4 seront cylindriques. Dans l'exemple de la figure 2, ces cavités 4 ont une section circulaire et sont disposées en quinconce le long de lignes sensiblement parallèles, la distance  $d$  entre une cavité 4 et chacune de ses voisines étant sensiblement constante au moins localement, c'est à dire dans une zone limitée. Dans l'exemple de la figure 3, les cavités 4 sont triangulaires et disposées tête-bêche le long de lignes sensiblement parallèles, les sommets des triangles d'une ligne étant inversés par rapport aux sommets des triangles des deux lignes voisines, la distance  $d$  entre les sommets et/ou les côtés d'un triangle et de tous les triangles voisins étant sensiblement constante. Par ailleurs, les sommets des triangles sont arrondis afin de réduire les concentrations de contraintes qu'ils pourraient provoquer dans le matériau de l'âme 2.

Dans cet exemple, l'âme 2 est en alliage métallique à base titane Ta6V et les peaux sont en composite constitué de fibres de renfort en carbure de silicium SiC noyées dans une matrice en alliage métallique à base titane Ta6V également.

5

Le procédé est le suivant :

Fabrication de l'âme 2 à la forme de la pièce 1, par exemple par laminage, forgeage, usinage ; réalisation des cavités 4  
10 directement à la fonderie, ou par perçage, poinçonnage, électroérosion ; les cavités 4 pouvant être réparties régulièrement sur la pièce 1 et/ou interrompue afin de renforcer l'âme 2 localement lorsqu'il y a par exemple des points d'application de charges ponctuelles ou des bossages ;  
15 usinage et décapage des faces 3 de l'âme 2.

Fabrication des peaux 10 en matériau composite à matrice métallique grâce à une opération de pressage à chaud (compactage isostatique à chaud ou pressage uniaxial à la  
20 presse, en matrice s'il y a lieu), avec des conditions de température et de pression qui permettent de densifier ce matériau à partir de l'une des techniques habituelles : fibre + feuillard, monocouches renforcées, préimprégnés obtenus par plasma, bobinage de fibres revêtues par PVD (Physical Vapor  
25 Deposition) ou autre procédé équivalent. Usinage et décapage de la face intérieure 11 des peaux 10. Ces peaux 10 comportant le nombre de couches de fibres exigé pour obtenir la raideur et la résistance mécanique que l'on désire.

30 Afin de réaliser l'assemblage par soudage-diffusion des peaux 10 sur l'âme 2, il faut :

- usiner les faces 3 de l'âme 2 si nécessaire ;
- nettoyer, décaper chimiquement et rincer les faces 3 de l'âme 2 et les faces intérieures 11 des peaux 10, afin de les  
35 préparer au soudage par diffusion ;
- assembler les peaux 10 sur l'âme 2 et disposer l'ensemble dans un outillage de pressage ou dans un conteneur capable de la compression isostatique à chaud en autoclave, et comprimer en respectant les cycles de pression et de température  
40 adaptés aux alliages constituant l'âme 2 et la matrice des

peaux 10 afin d'effectuer le soudage-diffusion des peaux 10 sur l'âme 2.

On se reportera maintenant simultanément aux figures 1 et 4.

5 On désignera en premier lieu :  $e_0$  l'épaisseur de la pièce 1,  $e_a$  l'épaisseur de l'âme 2,  $e_p$  l'épaisseur de chaque peau 10 avec la relation  $e_0 = 2e_p + e_a$ . On désignera aussi :  $K$  la raideur de la pièce obtenue avec le présent procédé,  $K_0$  la raideur de cette même pièce 1 monolithique, c'est à dire tout métal et  
10 sans cavités 4,  $M$  la masse de la pièce obtenue avec le présent procédé, et  $M_0$  masse de la pièce monolithique. On désignera enfin :  $V_a$  le volume total de l'âme 2,  $V$  le volume de matière de l'âme 2 restant après la réalisation des cavités 4, et  $V/V_a$  la fraction volumique de l'âme.

15

L'abscisse du graphique représente la fraction d'épaisseur des peaux 10, soit  $2.e_p/e_0$ , cette fraction ne pouvant évidemment varier qu'entre 0 et 1.

20 Les courbes 20 et 21 représentent respectivement les variations des rapports  $K/K_0$  et  $M/M_0$  en fonction de la fraction d'épaisseur des peaux  $2.e_p/e_0$  pour une fraction volumique de l'âme  $V/V_a = 1$ , c'est à dire sans cavités 4. Les courbes 22 et 23 représentent ces mêmes rapports pour une  
25 fraction volumique de l'âme  $V/V_a = 0,75$ , et les courbes 24 et 25 représentent ces mêmes rapports pour une fraction volumique de l'âme  $V/V_a = 0,50$ .

La courbe 20 montre que le rapport de raideur  $K/K_0$  peut  
30 atteindre la valeur maximale 2 lorsque la pièce est fibreuse sur toute son épaisseur, c'est à dire lorsque la fraction d'épaisseur des peaux  $2.e_p/e_0$  est égale à 1. Il est intéressant de constater que le rapport de raideur  $K/K_0$  se maintient à 1,85 et que le rapport de masse  $M/M_0$   
35 correspondant donné par la courbe 21 tombe à 0,94 lorsque la fraction d'épaisseur des peaux  $2.e_p/e_0$  est ramené à 0,25. En d'autres termes, alors que chaque peau 10 n'occupe que 12,5% de l'épaisseur de la pièce 1, la raideur de la pièce est augmentée de 85% et sa masse réduite de 6%.

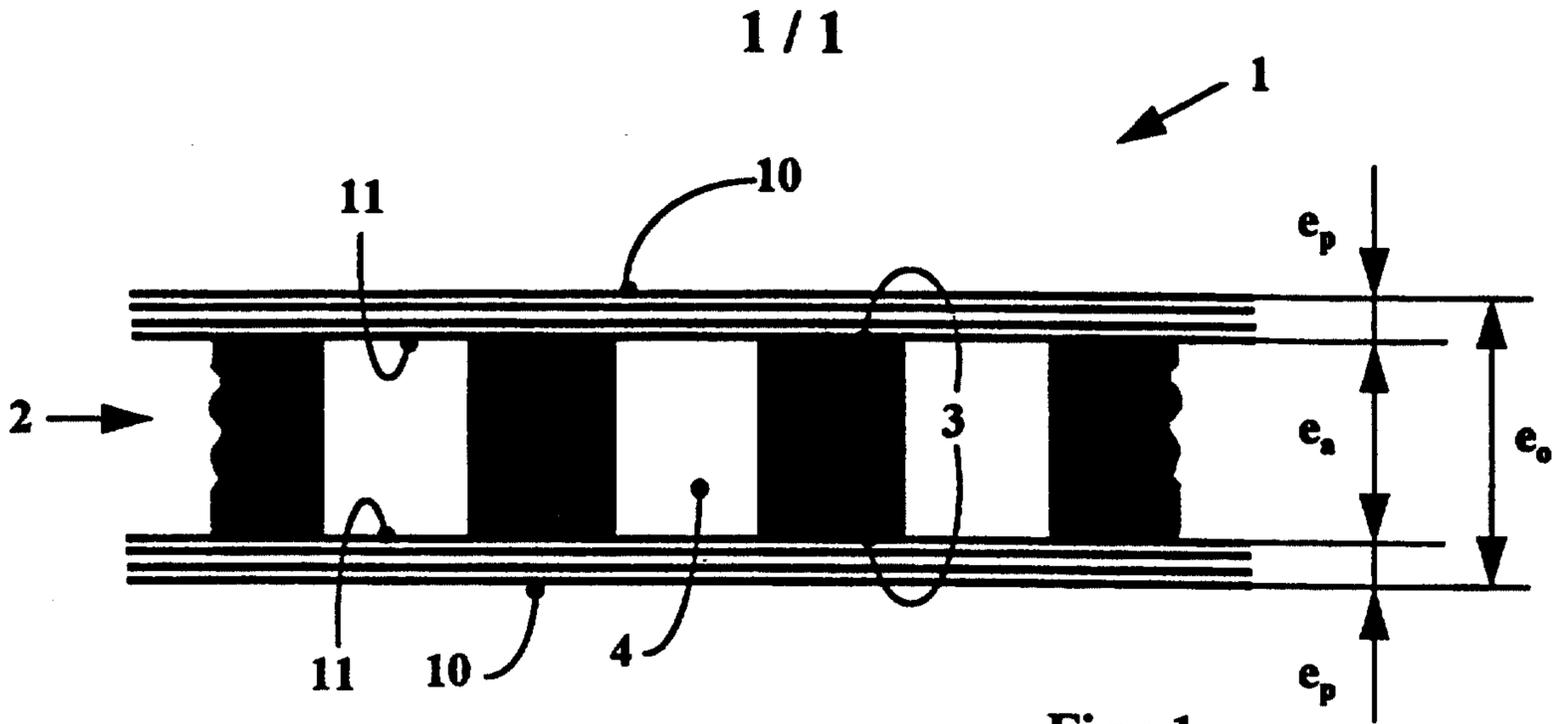
40

Il est remarquable de constater, grâce aux courbes 24 et 25, que l'on augmente la raideur de la pièce de 80% et que l'on diminue sa masse de 33% lorsque l'âme 2 est allégée de 50% et que chaque peau occupe 12,5% de l'épaisseur de la pièce, ce  
5 qui correspond respectivement aux valeurs  $K/K_0 = 1,80$ ,  
 $M/M_0 = 0,67$ ,  $V/V_a = 0,5$  et  $2.e_p/e_0 = 0,25$ . Les courbes 22 et 23 correspondant à une fraction volumique de l'âme  
 $V/V_a = 0,75$  donnent évidemment un résultat intermédiaire.

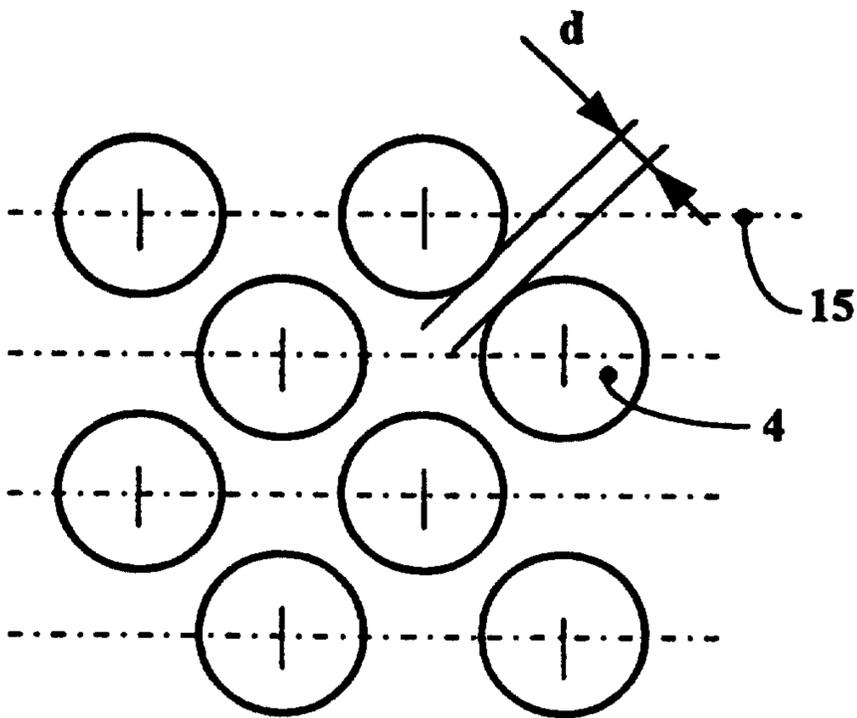
**REVENDICATIONS**

1. Procédé d'obtention de pièces métalliques minces, légères  
5 et rigides, ladite pièce étant référencée 1, ledit procédé  
comportant notamment les opérations suivantes :
- réalisation d'une âme (2) mince en alliage métallique ;
  - application sur chaque face (3) de l'âme (2) d'une peau  
10 (10) constituée de fibres de renfort ayant un module  
d'élasticité au moins égal à quatre fois celui de l'alliage  
métallique, lesdites fibres de renfort étant noyées dans une  
matrice en alliage métallique formant matrice,
  - densification des peaux (10) par compression au moins dans  
le sens de l'épaisseur à la température de superplasticité de  
15 l'alliage métallique de la matrice, et soudage-diffusion  
desdites peaux (10) sur ladite âme (2) par compression dans  
le sens de l'épaisseur de la pièce (1) à la température de  
forgeage isotherme des alliages métalliques de l'âme (2) et  
de la matrice des peaux (10), caractérisé en ce que :
- 20 - on réalise dans l'âme (2) une pluralité de cavités (4)  
débouchantes au moins sur une face (3) de l'âme (2) ;
  - on densifie les peaux (10) à la forme de l'âme (2)  
préalablement à leur application sur ladite âme (2),  
afin de constituer dans la pièce (1) des cavités (4) fermées  
25 au moins d'un côté par une peau (10) ayant localement une  
courbure sensiblement constante.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on  
emploie un alliage métallique pris dans le groupe des  
30 alliages à base de titane, de magnésium ou d'aluminium, et en  
ce qu'on emploie des fibres de renfort prises dans le groupe  
comprenant le carbure de silicium, le bore ou le carbone,  
afin d'associer un alliage métallique léger à des fibres de  
renfort à haute résistance et à haut module d'élasticité.
- 35
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce  
que le soudage est effectué par compression à la presse en  
matrice,

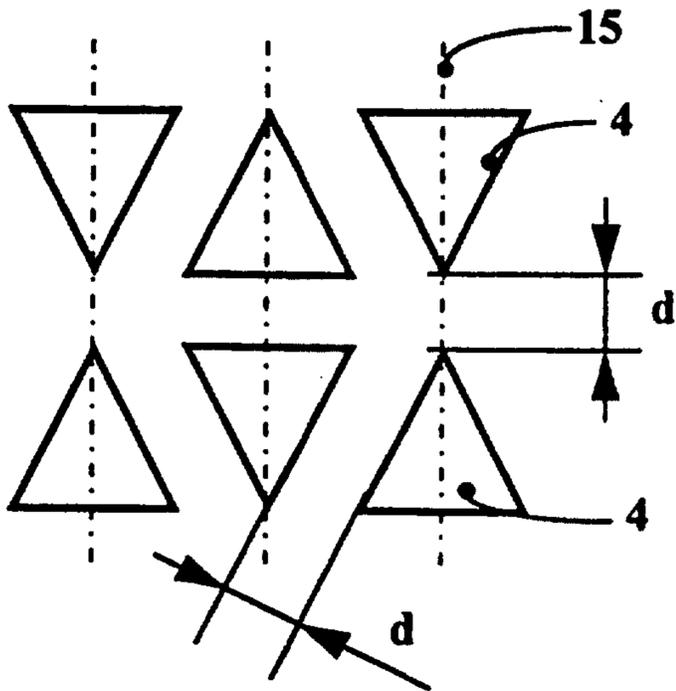
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le soudage-diffusion étant effectué par compression isostatique en autoclave
- 5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ladite pièce(1) comportant des zones de liaison, caractérisé en ce que la fraction volumique de l'âme  $V/V_a$  est augmentée dans lesdites zones de liaison afin d'augmenter la résistance à l'écrasement de la pièce (1) dans lesdites zones de  
10 liaison.
6. Procédé selon la revendication 5, la pièce (1) étant une aube de turbomachine, ladite aube comportant une pale mince et un pied par lequel elle est maintenue, caractérisé en ce  
15 qu'on réalise une âme (2) s'étendant dans la pale et dans le pied, et en ce qu'on réalise dans l'âme (2) de la pale des cavités (4) avec une fraction volumique de l'âme  $V/V_a$  réduite.
- 20 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'aube est réalisée en matrice.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'on réalise dans l'âme (2) des cavités  
25 (4) jointives selon des lignes appropriées, afin de constituer des canalisations entre les peaux (10).
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que les cavités (4) jointives ne débouchent chacune que d'un seul  
30 côté de l'âme (2), afin de maintenir la cohésion de ladite âme (2) pendant la réalisation de la pièce (1).



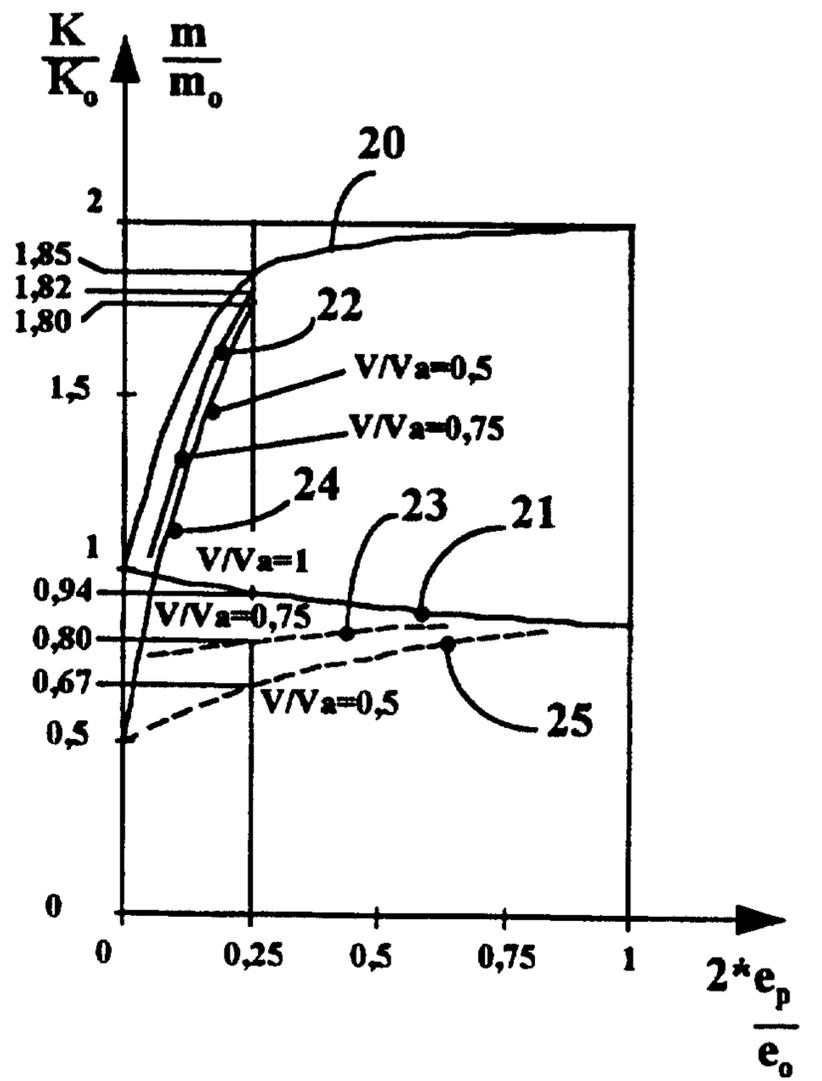
**Fig : 1**



**Fig : 2**



**Fig : 3**



**Fig : 4**

