



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 340 832 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**03.09.2003 Bulletin 2003/36**

(51) Int Cl.7: **C22F 1/18, B21K 3/04**

(21) Numéro de dépôt: **03290458.3**

(22) Date de dépôt: **27.02.2003**

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

- **Venard, Agathe**  
**92100 Boulogne Billancourt (FR)**
- **Gallois, Philippe**  
**91100 Corbeil (FR)**
- **Vignolles, Pascal**  
**75017 Paris (FR)**
- **Mons, Claude**  
**77176 Savigny Le Temple (FR)**

(30) Priorité: **01.03.2002 FR 0202602**

(71) Demandeur: **SNECMA MOTEURS**  
**75015 Paris (FR)**

(74) Mandataire: **Le Roux, Martine et al**  
**Cabinet Beau de Loménie**  
**158, rue de l'Université**  
**75340 Paris Cédex 07 (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Barbier, Blandine**  
**91770 Saint-Vrain (FR)**

(54) **Produits minces en alliages de titane bêta ou quasi bêta, fabrication par forgeage**

- (57) La présente invention a pour objet :
- des produits manufacturés, non axisymétriques, d'une épaisseur inférieure à 10 mm, en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , dont la microstructure à coeur est constituée de grains entiers présentant un taux d'éclatement supérieur à 4 et un diamètre compris entre 10 et 300  $\mu\text{m}$  ;
  - la fabrication par forgeage desdits produits.

**EP 1 340 832 A1**

## Description

**[0001]** La présente invention a pour objet des produits minces en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$  ainsi que la fabrication par forgeage desdits produits minces.

**[0002]** Elle concerne plus précisément :

- des produits manufacturés, non axisymétriques, d'une épaisseur inférieure à 10 mm, en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , qui présentent une microstructure originale ;
- un procédé pour la fabrication desdits produits qui, de façon caractéristique, est basé sur une opération de forgeage.

**[0003]** Le contexte de conception et de développement de l'invention présentement revendiquée a été celui de la fabrication de disques aubagés monoblocs (DAM) avec pales rapportées par soudure friction linéaire. Lesdits disques aubagés monoblocs, en référence à leurs propriétés mécaniques et notamment leur résistance à la fatigue vibratoire, sont généralement en un alliage de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ . Ils sont obtenus, à ce jour, par usinage, dans un brut massif.

**[0004]** A l'encontre de l'obtention par forgeage des aubes de tels disques en un alliage de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , il existait un réel préjugé. Le forgeage de structures en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , c'est-à-dire de structures à gros grains, pour élaborer des pièces de faibles épaisseurs (pales), ne pouvait a priori conduire qu'à de telles pièces, aux propriétés mécaniques (notamment tenue aux chocs, résistance à la fatigue vibratoire) décevantes.

**[0005]** De façon tout à fait surprenante, dans le cadre de la présente invention, des aubes (produits minces) en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$  performantes (présentant une bonne santé métallurgique et de bonnes caractéristiques mécaniques) ont été obtenues par forgeage (c'est-à-dire avec économie de matière, par rapport à la technique d'usinage, classiquement mise en oeuvre). Lesdites aubes ont de plus des durées de vie supérieures à celles des aubes obtenues par usinage ; elles peuvent par ailleurs être obtenues avec des géométries optimisées, permettant d'améliorer l'aérodynamique, donc les performances du moteur dans lequel elles sont susceptibles d'intervenir.

**[0006]** L'invention a donc été conçue et développée, de manière non évidente, dans ce contexte de la fabrication des disques aubagés monoblocs (DAM). Elle n'est toutefois nullement limitée audit contexte ; elle s'exprime, également, tout naturellement dans des contextes plus ou moins voisins, tels celui de la fabrication d'anneaux aubagés monoblocs (ANAM), ceux de la réparation desdits disques aubagés monoblocs (DAM) et anneaux aubagés monoblocs (ANAM), et plus généralement celui de la fabrication de produits minces en titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ .

**[0007]** La maîtrise du forgeage, selon l'invention, de

lopins en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , de faibles épaisseurs, a permis l'obtention de produits minces, en lesdits alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , originaux de par leur microstructure à coeur.

5 **[0008]** Lesdits produits constituent le premier objet de la présente invention.

**[0009]** Le procédé de forgeage maîtrisé qui conduit auxdits produits en constitue le second objet.

10 **[0010]** Selon son premier objet, la présente invention concerne donc des produits manufacturés, non axisymétriques (les fils sont ainsi exclus), d'une épaisseur inférieure à 10 mm (ces 10 mm précisent les notions de "faible épaisseur", de "produits minces", utilisées dans le présent texte), en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , dont la microstructure à coeur est constituée de grains entiers présentant un taux d'éclatement supérieur à 4 et un diamètre équivalent compris entre 10 et 300  $\mu\text{m}$ .

15 **[0011]** Les alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$  (que l'on peut aussi qualifier de proche  $\beta$ ) sont familiers à l'homme du métier. Ils présentent une structure hexagonale compacte. Ils sont parfaitement définis, notamment dans les Handbooks américains (US) : l'ASMH (AMERICAN SOCIETY MATERIAL HANDBOOK) et le MILH (MILITARY HANDBOOK). Leur utilisation est, à ce jour, cantonnée à la fabrication de pièces forgées massives ou de fortes épaisseurs.

20 **[0012]** De façon caractéristique, les produits manufacturés de l'invention, en lesdits alliages, sont des produits minces qui portent l'héritage de leur procédé de fabrication, basé sur une ou plusieurs opérations de forgeage. Leur microstructure à coeur est originale. Les grains de ladite microstructure à coeur ont été corroyés.

25 **[0013]** Ils présentent un taux d'éclatement supérieur à 4 ; ledit taux d'éclatement étant classiquement défini comme le rapport de la plus grande dimension sur la plus petite dimension dans le plan de coupe axiale.

30 **[0014]** Ils présentent un diamètre équivalent compris entre 10 et 300  $\mu\text{m}$ .

35 **[0015]** En lieu et place des gros grains tronqués que l'on trouve dans la structure de produits équivalents (minces) obtenus par usinage, ce sont des grains entiers, écrasés, lenticulaires que l'on trouve au coeur des produits de l'invention.

40 **[0016]** Les produits manufacturés de l'invention, de par les caractéristiques énoncées ci-dessus, sont des produits nouveaux. Ces produits nouveaux sont susceptibles d'être obtenus par forgeage. Comme expliqué précédemment, il existait un réel préjugé à chercher à obtenir des structures minces par forgeage de structures plus épaisses à gros grains et, de manière tout à fait surprenante, de telles structures minces se sont révélées présenter des caractéristiques très intéressantes.

45 **[0017]** Les produits manufacturés de l'invention consistent avantageusement en des aubes de compresseurs de turbomachines.

50 **[0018]** L'invention n'est toutefois nullement limitée à ce contexte. Les produits en cause peuvent également consister en des hélices, de sous-marins notamment,

en des pales de ventilateurs ou mélangeurs (susceptibles d'intervenir dans des milieux justifiant la constitution desdites pales en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ ). Cette liste ne saurait être exhaustive.

**[0019]** Selon une variante particulièrement préférée (en aucun cas, limitative), les produits manufacturés de l'invention sont en alliage  $Ti_{17}$ . Cet alliage, familier à l'homme du métier, est utilisé à ce jour pour fabriquer des pièces massives, notamment des disques de compresseurs. Il présente des contraintes d'écoulement élevées et a lui aussi la réputation d'être difficilement forgeable.

**[0020]** Il s'agit plus précisément de l'alliage :

$Ta_5CD_4$ , selon la nomenclature métallurgique,  
 $TiAl_5Cr_2MO_4$ , selon la nomenclature chimique.

**[0021]** De manière tout à fait surprenante, les inventeurs ont, dans le cadre de l'invention présentement revendiquée, forgé des pièces minces, en ledit alliage  $Ti_{17}$ , avec des taux de corroyage importants ; lesdites pièces forgées présentant des propriétés mécaniques élevées.

**[0022]** On en vient maintenant au deuxième objet de la présente invention, à savoir le procédé de fabrication des produits nouveaux, décrits ci-dessus.

**[0023]** Ledit procédé de fabrication comprend :

- l'obtention d'un lopin émaillé ;
- la transformation, si nécessaire, dudit lopin en un produit long d'un diamètre équivalent inférieur à 100 mm ;
- le forgeage dudit produit long ;
- la trempe dudit produit long forgé ; et
- le revenu dudit produit long forgé trempé.

**[0024]** Le produit à forger est, de façon classique, préalablement émaillé.

**[0025]** Ledit produit consiste généralement en un demi-produit, obtenu par filage ou forgeage d'un matériau de départ, à plus gros diamètre équivalent (à plus forte épaisseur). Il peut notamment s'agir d'une barre (présentant, par exemple, un diamètre de 25 mm), obtenue par filage d'une billette. Les alliages en titane  $\beta$  ou proche  $\beta$  existent en effet principalement sous la forme de telles billettes (destinées à la fabrication de disques de compression par usinage).

**[0026]** Ce produit émaillé, généralement donc demi-produit émaillé, d'un diamètre (équivalent) inférieur à 100 mm, est, selon l'invention, transformé par forgeage en un produit manufacturé d'une épaisseur inférieure à 10 mm.

**[0027]** Pour l'obtention d'un tel produit manufacturé, aux propriétés optimisées, on préconise la mise en oeuvre du forgeage dans les conditions ci-après. L'opération de forgeage comprend au moins deux chaudes :

- une première chaude en sub ou super transus  $\beta$ ,

généralement à une température comprise entre 700 et 1000°C ;

- une dernière chaude en super transus  $\beta$ , généralement à une température supérieure à 880°C.

**[0028]** Les températures en cause sont bien évidemment dépendantes de l'alliage de  $Ti \beta$  ou  $Ti$  quasi  $\beta$  concerné.

**[0029]** Le taux de réduction à chaque chaude est supérieur ou égal (avantageusement supérieur) à 2 et les vitesses de forge (ou vitesses d'écrasement) sont comprises entre 1 et  $1.10^{-5} s^{-1}$ .

**[0030]** L'opération de forgeage peut tout à fait être limitée aux deux chaudes, telles que précisées ci-dessus (la seconde desdites deux chaudes étant impérativement une chaude en super transus  $\beta$ ). Elle peut inclure une chaude supplémentaire, en sub ou super transus  $\beta$ , avant la dernière (troisième) chaude en super transus  $\beta$ . Il n'est pas totalement exclu qu'elle inclut plus de trois chaudes (la dernière de ces chaudes étant impérativement une chaude en super transus  $\beta$ ) mais l'intérêt de multiplier ainsi le nombre de chaudes n'est pas évident.

**[0031]** L'opération de forgeage inclut donc généralement deux ou trois chaudes, mises en oeuvre dans les conditions précisées ci-dessus.

**[0032]** De façon classique, le produit forgé est éventuellement ré-émaillé entre deux chaudes successives.

**[0033]** Selon une variante de mise en oeuvre avantageuse, la matrice de forgeage est maintenue à une température comprise entre 100 et 700°C.

**[0034]** L'opération de forgeage est classiquement suivie d'une trempe (généralement immédiatement suivie d'une telle trempe). Une telle trempe peut notamment être mise en oeuvre sous air pulsé, sous air calme, dans un bain d'huile ou sur matrice. Elle est avantageusement mise en oeuvre dans des conditions qui induisent une vitesse de refroidissement inférieure ou égale à celle induite par une trempe dans un bain d'huile.

**[0035]** Le revenu du produit forgé, trempé, est avantageusement mis en oeuvre à une température comprise entre 620 et 750°C, pendant 3 à 5 h. On optimise ses conditions de mise en oeuvre en fonction des caractéristiques recherchées pour le produit fini. On veille à effectuer ledit revenu sous atmosphère inerte (notamment vide ou argon) si l'émaillage est fissuré ou écaillé.

**[0036]** Selon une variante particulièrement avantageuse, le procédé de l'invention est mis en oeuvre dans les conditions ci-après :

- le lopin est en alliage  $Ti_{17}$  ( $Ta_5CD_4$  ou  $TiAl_5Cr_2MO_4$ );
- le forgeage comprend une première chaude à une température inférieure ou égale à  $840 \pm 10^\circ C$  (en sub transus  $\beta$ ) ou à une température supérieure ou égale à  $940 \pm 10^\circ C$  (en super transus  $\beta$ ) et une seconde chaude à une température de  $940 \pm 10^\circ C$  (en super transus  $\beta$ );
- la trempe est mise en oeuvre sur matrice puis à l'air

- calme ;  
- le revenu est mis en oeuvre à 630°C pendant 4 h.

**[0037]** Il conduit à un produit, tel que décrit dans la première partie de ce texte, qui peut notamment consister en une aube.

**[0038]** La fabrication d'une telle aube est précisée dans l'exemple ci-après, donné à titre purement illustratif.

**[0039]** Sur les figures 1 et 2 annexées, on montre, à différentes échelles, la microstructure à coeur - microstructure originale - d'une telle aube.

**[0040]** Sur la figure 1 - coupe dans les trois directions : coupe transversale selon le plan A, longitudinale selon le plan B et faciale selon le plan C ; grossissement : x 20 - on voit clairement la forme lenticulaire des grains : fortement écrasés dans les directions transversale et longitudinale et présentant une large face dans la coupe faciale.

**[0041]** Sur la figure 2 - fort grossissement : x 5000 - on montre la microstructure interne des grains. On a référencé 1 un grain écroui, 2 un grain recristallisé. Les aiguilles  $\alpha$  sont très fines et très enchevêtrées.

Exemple : Fabrication d'une aube en  $Ti_{17}$  par forgeage.

**[0042]** Le procédé mis en oeuvre comporte les étapes successives ci-après :

- filage d'une barre ( $\phi < 100$  mm) pour obtenir un lopin ( $\phi$  : 27 mm) de 240 mm de long ;
- émaillage ;
- écrasement radial de la barre filée pour former la pale et le pied ;
- matrice de forgeage portée à 200°C ;
- vitesse de frappe (presse à vis) :  $10^{-4}$  s $^{-1}$  ;
- 1<sup>ère</sup> chaude : le lopin émaillé, maintenu 45 min à 940°C (chaude en super transus  $\beta$ ) est écrasé jusqu'à présenter une épaisseur de 13 à 8 mm.
- 2<sup>ème</sup> chaude : conditions identiques à la 1<sup>ère</sup>. Le nouvel écrasement génère une pièce dont l'épaisseur varie de 9 à 1 mm.
- refroidissement sur matrice puis par air calme sur table ;
- revenu direct après forge de 630°C/4 h.

**[0043]** Il génère une aube dont la microstructure à coeur est telle que montrée sur les figures annexées.

## Revendications

1. Produits manufacturés, non axisymétriques, d'une épaisseur inférieure à 10 mm, en alliages de titane  $\beta$  ou quasi  $\beta$ , dont la microstructure à coeur est constituée de grains entiers présentant un taux d'éclatement supérieur à 4 et un diamètre équivalent compris entre 10 et 300  $\mu$ m.

2. Produits manufacturés selon la revendication 1, susceptibles d'être obtenus par forgeage.

3. Produits manufacturés selon l'une des revendications 1 ou 2, consistant en des aubes de compresseurs de turbomachines.

4. Produits manufacturés selon l'une quelconque de revendications 1 à 3, en alliage  $Ti_{17}$  ( $TA_5CD_4$  ou  $TiAl_5Cr_2MO_4$ ).

5. Procédé de fabrication d'un produit selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend :

- l'obtention d'un lopin émaillé ;
- la transformation, si nécessaire, dudit lopin en un produit long d'un diamètre équivalent inférieur à 100 mm ;
- le forgeage dudit produit long ;
- la trempe dudit produit long forgé ; et
- le revenu dudit produit long forgé trempé.

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** ledit forgeage comprend au moins deux chaudes, la première en sub ou super transus  $\beta$  et la dernière en super transus  $\beta$ ; le taux de réduction à chaque chaude étant supérieur ou égal à 2 et les vitesses de forge étant comprises entre 1 et  $1.10^{-5}$  s $^{-1}$ .

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit forgeage comprend trois chaudes ; une première et une seconde, indépendamment, en sub ou super transus  $\beta$  et une troisième en super transus  $\beta$ .

8. Procédé selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce qu'il** comprend un réémaillage du produit entre deux chaudes.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, **caractérisé en ce que** la matrice de forgeage est maintenue à une température comprise entre 100 et 700°C.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, **caractérisé en ce que** ladite trempe est mise en oeuvre dans des conditions qui induisent une vitesse de refroidissement inférieure ou égale à celle induite par une trempe dans un bain d'huile.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, **caractérisé en ce que** ledit revenu est mis en oeuvre à une température comprise entre 620 et 750°C, pendant 3 à 5 h.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications

5 à 11, caractérisé en ce que :

- ledit lopin est en alliage  $Ti_{17}$  ( $TA_5CD_4$  ou  $TiAl_5Cr_2MO_4$ ) ;
- ledit forgeage comprend une première chaude à une température inférieure ou égale à  $840 \pm 10^\circ C$  ou à une température supérieure ou égale à  $940 \pm 10^\circ C$  et une seconde chaude à une température de  $940 \pm 10^\circ C$  ;
- ladite trempe est mise en oeuvre sur matrice puis à l'air calme ; et
- ledit revenu est mis en oeuvre à  $630^\circ C$  pendant 4 heures.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

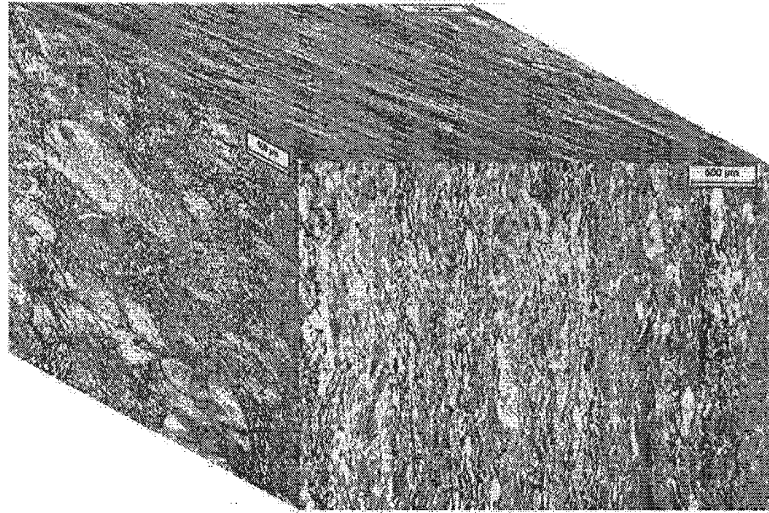
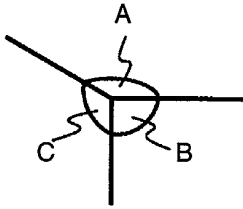


FIG.1

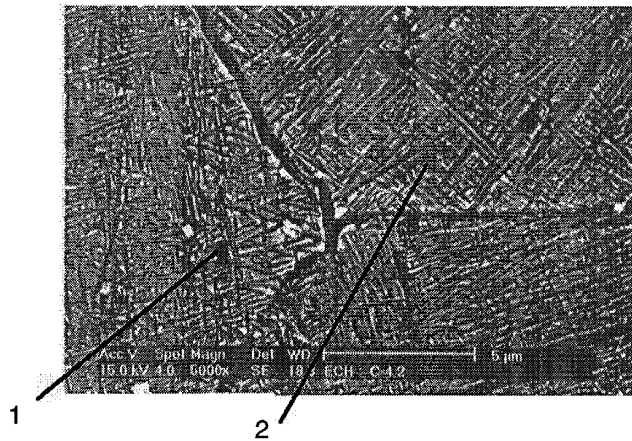


FIG.2



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X	EP 1 127 949 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 29 août 2001 (2001-08-29) * alinéas [0002],[0007]-[0012],[0020],[0023],[0091] *	1-3,5,10	C22F1/18 B21K3/04
A	EP 0 852 164 A (BOEHLER SCHMIEDETECHNIK GES MI ; TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO (JP)) 8 juillet 1998 (1998-07-08) * page 1, ligne 11 - page 2, ligne 40 *	2-4,6,9, 11,12	
A	US 2001/050117 A1 (ABUMIYA TADASU ET AL) 13 décembre 2001 (2001-12-13) * alinéas [0002]-[0013] *	1,5	
A	US 4 854 977 A (ALHERITIERE EDOUARD ET AL) 8 août 1989 (1989-08-08) * colonne 1, ligne 8 - colonne 2, ligne 7 *	1,5	
A	US 6 284 071 B1 (NODA TOSHIHARU ET AL) 4 septembre 2001 (2001-09-04) * colonne 1, ligne 14 - colonne 2, ligne 48 *	1,5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
A	US 6 110 302 A (GORMAN MARK D) 29 août 2000 (2000-08-29) * colonne 1, ligne 12 - colonne 2, ligne 37 *	1,5	C22F B21K B23P B21D F01D
A	EP 0 980 961 A (HITACHI LTD) 23 février 2000 (2000-02-23) * alinéas [0001],[0003],[0013] *	1,5	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche MUNICH		Date d'achèvement de la recherche 25 avril 2003	Examineur Augé, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 03 29 0458

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

25-04-2003

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1127949	A	29-08-2001	JP 2001316743 A	16-11-2001
			EP 1127949 A2	29-08-2001
			US 2001022946 A1	20-09-2001
-----				
EP 0852164	A	08-07-1998	WO 9710066 A1	20-03-1997
			DE 69529178 D1	23-01-2003
			EP 0852164 A1	08-07-1998
			US 6127044 A	03-10-2000
-----				
US 2001050117	A1	13-12-2001	JP 11343548 A	14-12-1999
			JP 11342230 A	14-12-1999
			JP 11343529 A	14-12-1999
			FR 2779155 A1	03-12-1999
			GB 2337762 A ,B	01-12-1999
-----				
US 4854977	A	08-08-1989	FR 2614040 A1	21-10-1988
			BR 8801837 A	22-11-1988
			CA 1314792 A1	23-03-1993
			DD 281422 A5	08-08-1990
			DE 3861736 D1	14-03-1991
			EP 0287486 A1	19-10-1988
			IL 86029 A	16-09-1991
			JP 2088598 C	02-09-1996
			JP 7116577 B	13-12-1995
			JP 63277745 A	15-11-1988
			US 4878966 A	07-11-1989
			ZA 8802635 A	03-10-1988
-----				
US 6284071	B1	04-09-2001	JP 10195563 A	28-07-1998
			EP 0851036 A1	01-07-1998
			US 5922274 A	13-07-1999
-----				
US 6110302	A	29-08-2000	US 5795413 A	18-08-1998
-----				
EP 0980961	A	23-02-2000	JP 2000054802 A	22-02-2000
			EP 0980961 A1	23-02-2000
			US 6206634 B1	27-03-2001
			US 2001021346 A1	13-09-2001
-----				

EPO FORM P0460

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