



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 099 768 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.05.2001 Bulletin 2001/20

(51) Int Cl.7: **C21D 5/00, B22D 30/00,
C22C 37/04**

(21) Numéro de dépôt: **00403023.5**

(22) Date de dépôt: **31.10.2000**

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

(30) Priorité: **10.11.1999 FR 9914111**

(71) Demandeur: **Françoise de Mécanique
62138 Douvrin (FR)**

(72) Inventeur: **Teeten, Frédéric
62950 Noyelles-Godault (FR)**

(74) Mandataire: **Robert, Jean-François
PSA Peugeot Citroen,
DTAT/MPG/BPI,
Route de Gisy
78943 Vélizy-Villacoublay Cédex (FR)**

(54) **Procédé de fabrication d'une fonte a graphite spheroidal brute de coulee bainitique**

(57) Procédé de fabrication de pièces en fonte à graphite sphéroïdal bainitique brute de coulée, comprenant les étapes suivantes consistant à :

- (i) élaborer un alliage métallique liquide de composition chimique choisie,
- (ii) procéder à un traitement de sphéroïdisation,
- (iii) réaliser des moules,
- (iv) couler l'alliage métallique liquide dans les moules,
- (v) refroidir les moules coulés placés sur un équipement mobile dans un dispositif de refroidissement à vitesse contrôlée,

caractérisé en ce que la composition chimique utilisée est la suivante :

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,30 à 3,60	2,30 à 2,60	0,20 à 0,40	0,80	2,0 à 3,0	0,5 à 1,0

et en ce que l'étape de refroidissement des pièces dans les moules a une durée minimale choisie de 5 h.

EP 1 099 768 A1

Description

[0001] La présente invention a trait à un procédé de fabrication d'une fonte à graphite sphéroïdal (GS) brute de coulée bainitique, ainsi qu'à son application à la fabrication de vilebrequins.

[0002] En général, une fonte GS bainitique est obtenue selon un procédé de fonderie complexe comprenant entre autres, après l'élaboration et la fusion d'un alliage métallique de composition chimique déterminée telle que la suivante, par exemple,

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,50	2,40	0,30	0,70	1	0,25

des étapes traditionnelles successives de :

- traitement de sphéroïdisation suivi d'une inoculation graphitisante,
- de coulée et de moulage,
- de refroidissement et de
- parachèvement avant usinage.

[0003] Les pièces ainsi obtenues en sortie de fonderie présentent une structure perlitique et ce n'est qu'après un traitement thermique approprié connu (Revue FFA 106 Juin-Juillet 1991) dit de trempe étagée, comprenant cinq phases distinctes et réalisé sur des pièces brutes ou en cours d'usinage juste après les opérations d'ébauche et avant la finition, que la transformation bainitique est réalisée.

[0004] Dans une perspective de réduction des coûts élevés de traitement occasionnés par la trempe étagée bainitique classique décrite ci-dessus, d'autres méthodes ont été proposées notamment par Wilford C.F et Clarkson I. dans la revue The Foundryman rapportant des extraits de la 86 ième Conférence Annuelle, Institute of British Foundrymen's, du 22 Juillet 1989 :

[0005] Dans ce document, pas moins de six essais de cycle thermique sont réalisés sur des éprouvettes parmi lesquels :

- la méthode de refroidissement dans le moule jusqu'à température ambiante :
Cette méthode est présentée comme étant d'application limitée. La forte teneur en éléments d'alliage mis en oeuvre dans cette méthode génère des surcoûts ainsi que des hétérogénéités de structure dans les pièces, avec de la ferrite dans les parties massives et de la martensite dans les minces.
- la technique du décochage à chaud :
L'idée essentielle est de réaliser un décochage à chaud du moule, lorsque la température des pièces avoisine 900 °C. Elles sont transférées immédiatement dans un four de traitement à température d'austénitisation. Le reste du traitement restant inchangé c'est à dire l'homogénéisation et la trempe en bain de sels ou sur lit fluidisé à 350 °C pendant 30 à 120 min.

et en variante,

- la technique de décochage à chaud à 900 °C suivie d'un refroidissement à l'air calme jusqu'à la température de 400 °C. A cette température les pièces sont immergées dans de la vermiculite afin de refroidir le plus lentement possible simulant ainsi le maintien en bain de sels. Ce mode de traitement permet d'obtenir une structure bainitique à condition d'avoir une fonte suffisamment riche en élément d'alliage pour la massivité de la pièce.

[0006] Même si selon les mêmes auteurs la technique de décochage à chaud est loin d'être souple, imposant par exemple que l'unité de traitement thermique soit située relativement à proximité de l'installation de moulage... cette technique comparée aux précédentes est considérée comme avantageuse car elle permet d'obtenir des pièces aux caractéristiques mécaniques identiques à celles en fonte bainitique traditionnelle, avec un gain de l'ordre de 200 kW par tonne de pièce.

[0007] Il reste que ces méthodes alternatives à la trempe étagée bainitique classique ont été manifestement réalisées au stade du laboratoire sur des éprouvettes de forme simple. Elles ne paraissent pas adaptées à une transposition industrielle s'agissant de fabriquer des pièces de forme beaucoup plus complexe telles que des vilebrequins, par exemple.

[0008] Par ailleurs, un refroidissement dans le moule jusqu'à température ambiante tel qu'enseigné dans l'article cité

ci-dessus impliquerait, en raison de sa durée trop longue notamment 12-15 h, de créer un stock tampon de pièces ce qui est une solution peu viable au stade industriel.

[0009] Aussi c'est de manière surprenante et en quelque sorte en vainquant un préjugé qu'il a pu être fabriqué, par un procédé de fonderie dénué de traitement thermique et comportant une étape de refroidissement *in situ* dans le moule à vitesse contrôlée, des pièces telles que des vilebrequins qui présentent en tout point une structure bainitique supérieure.

[0010] La présente invention, vise donc essentiellement à s'affranchir de tout traitement thermique du type trempe étagée bainitique et à surmonter les inconvénients des méthodes mentionnées ci-dessus, et a pour objet un procédé d'obtention d'une fonte GS à structure bainitique finale à l'état brut de coulée.

[0011] Aussi la présente invention a trait à un procédé de fabrication de pièces en fonte à graphite sphéroïdal bainitique brute de coulée, comprenant les étapes suivantes consistant à

- (i) élaborer un alliage métallique liquide de composition chimique choisie,
- (ii) procéder à un traitement de sphéroïdisation,
- (iii) réaliser des moules,
- (iv) couler l'alliage métallique liquide dans les moules, et
- (v) refroidir les moules coulés placés sur un équipement mobile dans un dispositif à vitesse de refroidissement contrôlée,

ledit procédé étant caractérisé en ce que les compositions chimiques utilisées sont les suivantes :

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,30 à 3,60	2,30 à 2,60	0,20 à 0,40	0,80	2,00 à 3,00	0,50 à 1,00

et en ce que l'étape de refroidissement des pièces dans les moules a une durée minimale choisie de 5 h.

[0012] Outre une forte réduction des coûts qu'il occasionne -pas d'investissement dans des fours de traitement thermique-, le procédé selon l'invention, autorisant l'absence de chauffage et de maintien à haute température (Austénitisation), évite les déformations et conduit à une meilleure précision dimensionnelle des pièces.

[0013] Le procédé conforme à la présente invention va maintenant être décrit de manière plus détaillée dans ces différentes caractéristiques et avantages en prenant comme exemple purement illustratif et non limitatif, la fabrication de vilebrequins et en référence aux dessins annexés, dans lesquels

la Figure 1 montre le refroidissement des vilebrequins *in situ* dans le moule et

les Figures 2 et 3 sont des analyses micrographiques des structures bainitiques supérieures obtenues après mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

[0014] L'étape (i) d'élaboration de l'alliage métallique liquide du procédé selon l'invention est réalisée dans un four 25 tonnes à induction basse fréquence selon la méthode dite Tap and Charge, où à chaque prélèvement de 3600 kg de l'alliage métallique liquide à la température de 1500 °C, on recharge aussitôt la même quantité de charge solide par l'intermédiaire de bennes. Les matières entrant dans le lit de fusion sont : les retours de vilebrequins (jets et rebuts) pour 40 %, le complément étant assuré par de l'acier conditionné sous forme de paquets de tôles compactées.

[0015] Avant chaque chargement d'une benne au four sont effectuées les corrections nécessaires afin de maintenir la composition chimique visée, en fonction de la quantité et du type de matière constituant l'alliage métallique liquide.

[0016] Dans le cadre de la présente invention, les valeurs pondérales des éléments de l'alliage sont données à $\pm 0,05$ % après analyse spectrométrique sur pièces.

[0017] Les compositions chimiques utilisées préférées sont les suivantes :

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,50	2,40	0,25	0,80	2,00	1,00

et

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,50	2,40	0,25	0,80	3,00	0,50

[0018] Bien entendu, les teneurs en Nickel et / ou en Molybdène peuvent varier dans l'intervalle respectivement de 2-3 % et 0,5-1 %, en fonction de la taille, la forme et la massivité des pièces que l'on souhaite fabriquer.

[0019] L'étape (ii) de sphéroïdisation a lieu dans la poche 3600 kg suivant le procédé Tundish cover, c'est-à-dire que les produits sont disposés en fond de poche juste avant le prélèvement de l'alliage métallique, avec tout d'abord un mélange Ferro-Silico-Calcium-Magnésium (36 kg), recouvert ensuite par un inoculant tel que du Ferro-Silicium (10 kg), lui-même recouvert d'acier sous forme de riblons servant de couverture. La sphéroïdisation a ainsi lieu dans la poche dite de traitement sphéroïdisant au cours du transfert vers l'aire de coulée.

[0020] Arrivée à destination, la poche est décrassée puis transvasée dans les poches de coulée. On ajoute au moment du transvasement un mélange Ferro-Silico-Lanthane. Ce dernier jouant le rôle d'inoculant graphitisant et ayant pour fonction de combattre la micro-retassure.

[0021] Après décrassage on procède à la coulée des moules.

[0022] L'étape (iii) de moulage du procédé selon la présente invention est effectuée de préférence suivant la technique des sables au silicate de soude durcis au dioxyde de carbone (CO₂), par exemple à l'aide d'une machine à mouler à carrousel 4 postes, disponible dans le commerce auprès de la Société OSBORN.

[0023] Le moule se compose de manière avantageuse de deux parties symétriques séparées par la descente de coulée commune. Dans chaque partie sont disposés deux vilebrequins avec une masselotte centrale commune alimentant les pièces par le deuxième maneton. Le fait de masselotter permet de garantir une pièce exempte de défaut.

[0024] Selon le procédé conforme à la présente invention, la coulée est avantageusement réalisée verticalement.

[0025] A l'étape (iv) du procédé selon l'invention, le moule après sa coulée est transporté vers un tunnel de refroidissement approprié à vitesse de refroidissement contrôlée. Un tel tunnel est par exemple celui vendu par la Société SIETAM. Avant l'entrée dans le tunnel de refroidissement, on procède au défonçage, où les mottes (la grappe de vilebrequin et le sable) sont débarrassées des frettes métalliques (châssis) et sont placées ensuite sur un plateau mobile à l'intérieur du tunnel.

[0026] Ce n'est qu'après une durée minimale contrôlée de 4,5 h qu'à lieu la décoche, où on sépare avantageusement la grappe de vilebrequin du sable à l'aide d'une grille vibrante placée après la ligne de refroidissement.

[0027] C'est au cours de cette étape qu'a lieu, conformément à la présente invention, la transformation bainitique et qu'avantageusement le vilebrequin présente plus précisément une structure composée de bainite supérieure, une fois celui-ci arrivé à la décoche.

Exemple 1:

[0028] Mesure du refroidissement dans le moule d'un alliage de composition chimique suivante :

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,50	2,40	0,30	0,80	2,00	1,00

[0029] Les paramètres de moulage et d'élaboration de l'alliage métallique sont les mêmes que ceux décrits précédemment.

[0030] Un demi-moule est instrumenté avec 4 thermocouples par vilebrequin, disposés dans des zones plus ou moins massives dans les parties supérieure et inférieure du moule.

[0031] Sur les différentes parties de la pièce analysée, on observe la présence d'une structure à graphite sphéroïdal avec un pourcentage surfacique de l'ordre de 8,9 % et environ 260 sphéroïdes/mm². On constate la présence de graphite dégénéré, ainsi que des hétérogénéités dans la taille des nodules et ceci principalement dans les paliers.

[0032] La structure est composée de bainite (voir Figure 2) avec présence de carbures de solidification au niveau des joints de cellules, ceux-ci n'excédant pas 1 %, mais pouvant par endroit former un réseau.

[0033] La courbe de refroidissement est telle que représentée à la Figure 1.

[0034] En schématisant un début de transformation à 450 °C et une fin à 350 °C, la queue du vilebrequin suivie de près par le plateau sont les premières parties à atteindre le domaine bainitique au bout de 3,5 h et les premières à le quitter 2,5 h après. Les parties les plus lentes sont les paliers ainsi que les manetons, la zone bainitique étant atteinte 4,5 h après coulée, et la sortie s'effectuant également après 2,5 h.

Exemple 2 :

[0035] Mesure du refroidissement dans le moule d'un alliage de composition chimique suivante :

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,50	2,40	0,30	0,80	3,00	0,50

[0036] Les paramètres de moulage et d'élaboration de l'alliage métallique sont les mêmes que ceux décrits précédemment.

[0037] Un demi-moule est instrumenté comme à l'Exemple 1.

[0038] On obtient un graphite sphéroïdal, avec environ 270 sphéroïdes/mm² et toujours du graphite dégénéré et des hétérogénéités dans les tailles de nodules.

[0039] La structure est composée de bainite supérieure avec la présence de ferrite autour des nodules (voir Figure 3). La concentration des carbures de fin de solidification en joint de cellules a disparu pour laisser la place à quelques carbures isolés.

[0040] L'allure des courbes de refroidissement est identique à celles de l'Exemple 1, ce qui permet de confirmer que les parties refroidissant le plus rapidement sont les plateaux et les queues. Ces parties franchissent la température de 450 °C au bout de 3,5 h après coulée, et 2,5 h plus tard la température de 350 °C. Quant aux parties plus massives, le début de réaction théorique s'effectue seulement 4,5 h après la coulée, la réaction s'achevant 2,5 h après.

[0041] Les deux Exemples précédents confirment que le temps de séjour / refroidissement dans le moule nécessaire à l'obtention de vilebrequins entièrement bainitiques est au minimum de 5 h avant de pouvoir procéder à la décoche.

[0042] Dans les deux vilebrequins, tels qu'analysés dans les deux Exemples précédents, on note également l'absence de ferrite à l'état libre et de toute autre structure indésirable.

[0043] Grâce au procédé selon l'invention sont obtenus des vilebrequins ayant une structure bainitique supérieure aux caractéristiques mécaniques suivantes :

Résistance à la traction $R_m = 850$ à 950 MPa,

Allongement $A \% = 3$ à 6 %,

Dureté Brinell HB = 300 à 330 .

[0044] Dans les années récentes, le développement de la motorisation diesel à injection directe a nécessité l'emploi de matériaux plus résistants aux sollicitations mécaniques. On observe ainsi que le nombre de vilebrequins réalisés en acier forgé augmente au détriment de celui obtenu avec la fonte GS classique à matrice perlitique.

[0045] Aussi, le procédé selon la présente invention de production de pièces, tels que des vilebrequins par exemple, en fonte GS à matrice bainitique supérieure, présente l'avantage d'être moins onéreux tout en étant aussi performant qu'un procédé utilisant de l'acier forgé.

Revendications

1. Procédé de fabrication de pièces en fonte à graphite sphéroïdal bainitique brute de coulée, comprenant les étapes suivantes consistant à

- (i) élaborer un alliage métallique liquide de composition chimique choisie,
- (ii) procéder à un traitement de sphéroïdisation
- (iii) réaliser des moules
- (iv) couler l'alliage métallique liquide dans les moules
- (v) refroidir les moules coulés placés sur un équipement mobile dans un dispositif de refroidissement à vitesse contrôlée,

caractérisé en ce que la composition chimique utilisée est la suivante :

EP 1 099 768 A1

%C	%Si	%Mn	%Cu	%Ni	%Mo
3,30 à 3,60	2,30 à 2,60	0,20 à 0,40	0,80	2,0 à 3,0	0,5 à 1,0

et en ce que l'étape de refroidissement des pièces dans les moules a une durée minimale choisie de 5 h.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape (ii) est réalisée avant le transfert vers l'aire de coulée en disposant, en fond de poche juste avant le prélèvement de l'alliage métallique, un mélange Ferro-Silico-Calcium-Magnésium, qu'on recouvre ensuite par un mélange de Ferro-Silicium, lui-même recouvert d'acier.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étape (iii) est effectuée au moyen de sable au silicate de soude durci au dioxyde de carbone (CO₂).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que la coulée de l'alliage métallique dans les moules a lieu verticalement.
5. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes à la fabrication de vilebrequins.

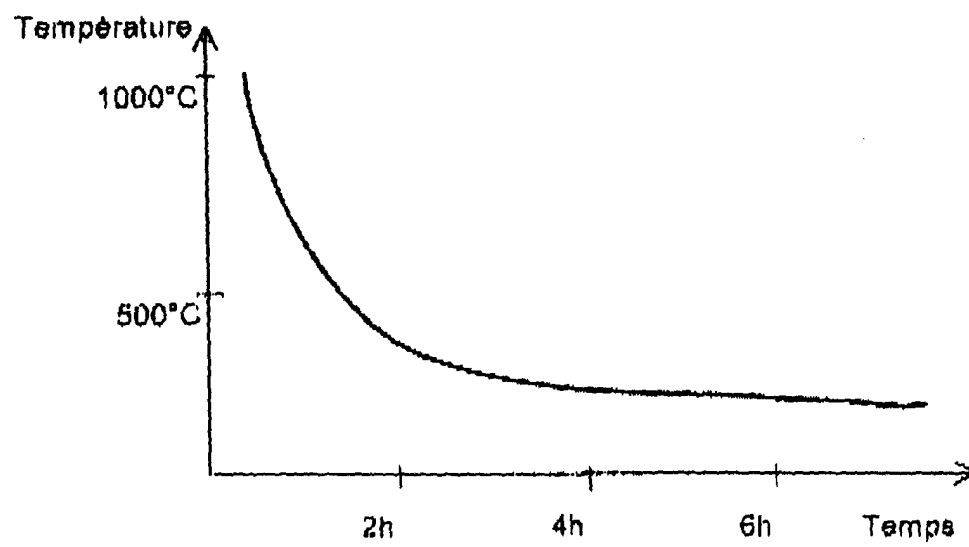


FIG. 1

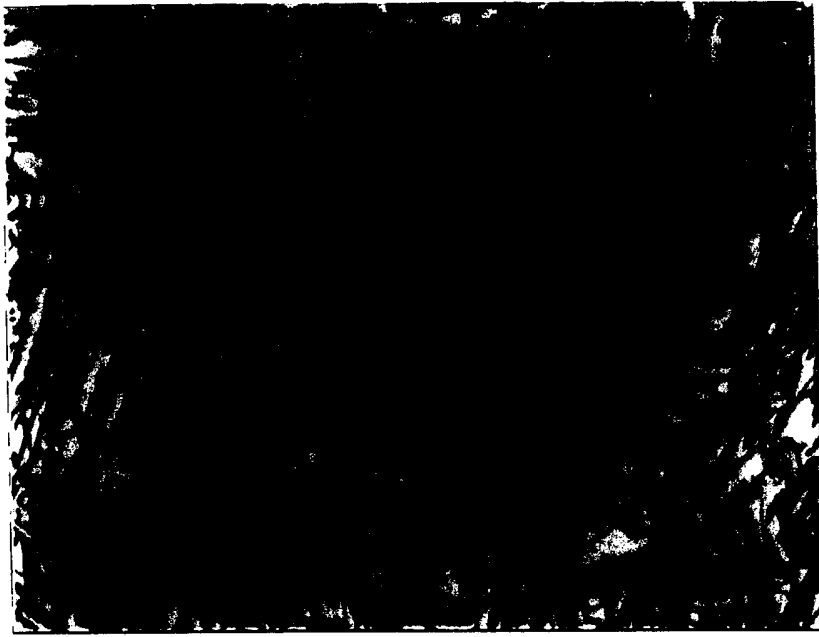


FIG. 2



FIG. 3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 00 40 3023

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)
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1997, no. 07, 31 juillet 1997 (1997-07-31) & JP 09 087797 A (NIPPON STEEL CORP), 31 mars 1997 (1997-03-31) * abrégé *	1	C21D5/00 B22D30/00 C22C37/04
Y	US 3 860 457 A (INGMAN YRJO ET AL) 14 janvier 1975 (1975-01-14) * colonne 1, ligne 18 - ligne 40; figure 1 *	1	
A	HASSE S: "BAINITISCHES GUSSEISEN MIT KUGELGRAPHIT - EIN WERKSTOFF MIT OPTIMALEN EIGENSCHAFTSKOMBINATIONEN" GIESSEREI-PRAXIS, DE, SCHIELE & SCHON. BERLIN, no. 7/08, 1997, pages 152-160, XP000196964		
A	US 4 541 878 A (MUEHLBERGER HORST ET AL) 17 septembre 1985 (1985-09-17)		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
A	DE 36 39 658 A (MUEHLBERGER HORST DIPL PHYS DR) 1 juin 1988 (1988-06-01)		C21D B22D C22C
A	DE 28 46 574 A (BABCOCK AG) 8 mai 1980 (1980-05-08)		
A	DE 26 47 129 A (ARENCO BMD MASCHFAB) 20 avril 1978 (1978-04-20)		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 5 mars 2001	Examineur Mollet, G
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			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

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

EP 00 40 3023

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.

05-03-2001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 09087797 A	31-03-1997	AUCUN	
US 3860457 A	14-01-1975	FI 49732 B	02-06-1975
		BE 802229 A	05-11-1973
		CA 1016372 A	30-08-1977
		CH 606461 A	31-10-1978
		DE 2334992 A	07-02-1974
		DK 143415 B	17-08-1981
		FR 2192184 A	08-02-1974
		GB 1417435 A	10-12-1975
		JP 49053115 A	23-05-1974
		JP 55003422 B	25-01-1980
		NL 7309637 A	15-01-1974
		NO 132764 B	22-09-1975
		SE 396093 B	05-09-1977
US 4541878 A	17-09-1985	AUCUN	
DE 3639658 A	01-06-1988	AUCUN	
DE 2846574 A	08-05-1980	AUCUN	
DE 2647129 A	20-04-1978	AUCUN	

EPO FORM P0460

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