



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
12.06.2002 Bulletin 2002/24

(51) Int Cl.7: **C22F 1/04, C21D 7/00,
B21J 5/00, B22D 31/00**

(21) Numéro de dépôt: **01402944.1**

(22) Date de dépôt: **16.11.2001**

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

(72) Inventeurs:
• **Marchal, Arnault
25200 Montbeliard (FR)**
• **Rezel, Dominique
25200 Grand Charmont (FR)**

(30) Priorité: **17.11.2000 FR 0014856**

(74) Mandataire: **Texier, Christian et al
Cabinet Régimbeau
20, rue de Chazelles
75847 Paris cedex 17 (FR)**

(71) Demandeur: **Process Conception Ingenierie S.A.
92190 Meudon (FR)**

(54) **Procédé de fabrication de pièces en alliages légers, avec un refroidissement avant pressage**

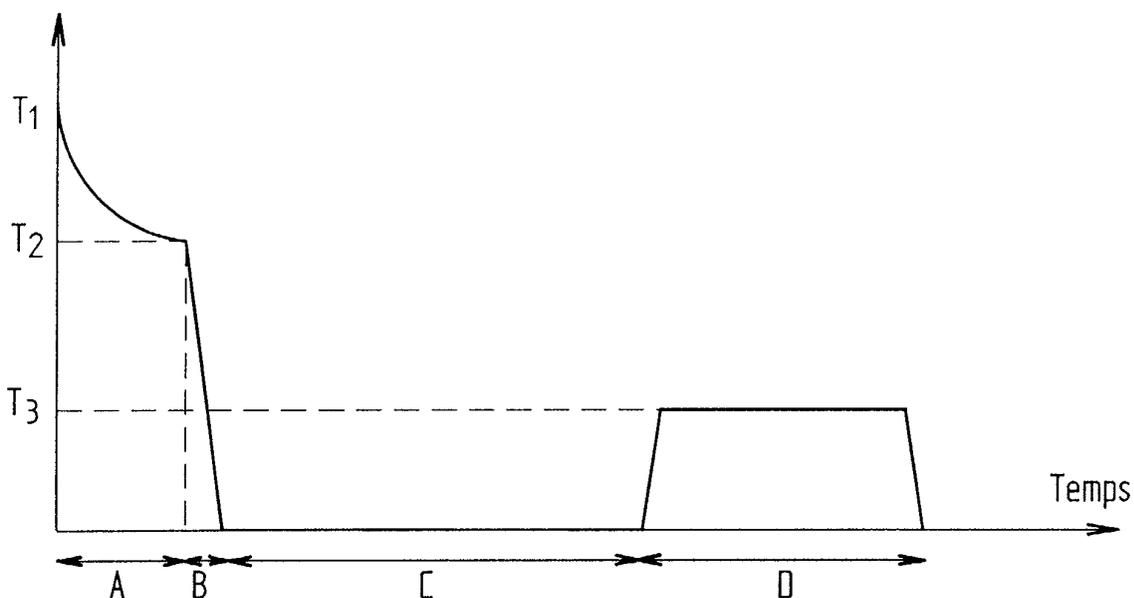
(57) L'invention concerne un procédé pour fabriquer des pièces coulées en un alliage léger, consistant:

- à remplir un moule avec un alliage à l'état liquide,
- à démouler la pièce après solidification et
- à soumettre la pièce à un pressage entre les deux

empreintes d'une matrice,

caractérisé en ce qu'il comporte une étape intermédiaire, après le démoulage de la pièce et avant son pressage, consistant à refroidir rapidement la pièce dé-moulée de façon à obtenir une structure homogène, le pressage étant ensuite réalisé à température ambiante.

Température



Description

- [0001] La présente invention concerne un procédé pour la fabrication de pièces coulées réalisées en un alliage léger, notamment en alliage d'aluminium.
- 5 [0002] Les pièces coulées par moulage dans un moule sable ou métallique présentent une structure eutectique grossière, des porosités ou inclusions et principalement des inclusions de gaz, et un état de surface grossier.
- [0003] Ceci affecte les caractéristiques mécaniques et donc la tenue en service de ces pièces.
- [0004] C'est pourquoi de nombreux procédés ont été mis au point pour améliorer les caractéristiques mécaniques des pièces coulées.
- 10 [0005] Ainsi, on connaît de nombreux procédés consistant à remplir un moule avec un alliage à l'état liquide, à démouler la pièce obtenue après solidification et ensuite à soumettre la pièce à un pressage entre deux empreintes métalliques.
- [0006] Le document FR-2 614 814 décrit un procédé de ce type dans lequel l'opération de pressage s'effectue à froid ou à basse température, les empreintes de matrice présentant des dimensions légèrement inférieures à celles de la pièce.
- 15 [0007] Cependant, les procédés de fabrication de pièces coulées proposés plus récemment ont souligné la nécessité de réaliser un pressage à chaud ou encore d'introduire une étape intermédiaire entre le démoulage de la pièce et son pressage, consistant à chauffer cette pièce.
- [0008] On peut notamment citer le document EP-119 365 dans lequel la pièce est démoulée aussitôt après la coulée et encore chaude, puis placée dans les empreintes d'une matrice.
- 20 [0009] Cette étape supplémentaire permet d'obtenir des pièces coulées présentant de meilleures performances mécaniques, notamment en termes d'allongement et de résistance à la traction.
- [0010] Par ailleurs, le document EP-816 042 prévoit un refroidissement et une solidification de la pièce dans le moule, la pièce démoulée étant soumise ensuite à une étape de chauffage pour obtenir une liquéfaction partielle de l'alliage, notamment à une température comprise entre 500 et 550°C.
- 25 [0011] Ce réchauffage facilite l'écoulement des cristaux et permet donc d'obtenir une distribution homogène, ce qui contribue également à améliorer les propriétés mécaniques de la pièce coulée obtenue.
- [0012] On citera encore le document EP-955 113, présenté comme un perfectionnement apporté au procédé décrit dans le document EP-119 365, dans lequel on prévoit également de placer la pièce coulée dans un four assurant sa mise en solution, avant de réaliser le pressage de la pièce.
- 30 [0013] On connaît également un procédé consistant à remplir un moule avec un alliage à l'état liquide, à effectuer un moulage sous pression à chaud, pendant la phase de solidification après coulée.
- [0014] Ainsi, les procédés actuels prévoient l'application d'une pression afin notamment de réduire les espaces occupés par les inclusions dans la matière moulée. L'application de cette pression s'effectue par ailleurs à chaud, certains procédés prévoyant même une opération de réchauffage de la pièce avant pressage. Ceci permet sans doute d'améliorer les propriétés mécaniques des pièces coulées obtenues mais rend ces procédés relativement complexes, notamment lorsqu'il faut prévoir un four tunnel entre le poste de moulage et le poste de pressage pour réchauffer les pièces.
- 35 [0015] Ces procédés sont donc nécessairement complexes et coûteux.
- [0016] L'invention a pour objet de pallier ces inconvénients en proposant un procédé, très simplifié par rapport aux procédés utilisés actuellement, ce procédé permettant par ailleurs d'obtenir des pièces dont les caractéristiques mécaniques sont optimisées.
- 40 [0017] Ainsi, l'invention concerne un procédé pour fabriquer des pièces coulées, réalisées en alliage léger, qui consiste à remplir un moule avec un alliage léger à l'état liquide, à démouler la pièce après solidification et à soumettre la pièce à un pressage entre les deux empreintes d'une matrice.
- 45 [0018] De plus, ce procédé comporte une étape intermédiaire réalisée après le démoulage et avant le pressage, cette étape intermédiaire consistant à refroidir rapidement la pièce démoulée, de façon à obtenir une structure homogène, le pressage étant ensuite réalisé à température ambiante.
- [0019] L'invention se démarque donc complètement des procédés actuellement utilisés dans lesquels les pièces sont pressées à chaud, lors du moulage ou du forgeage.
- 50 [0020] Dans le procédé selon l'invention, les pièces sont pressées à froid, comme dans les techniques plus anciennes illustrées par exemple dans le document FR-2 614 814 et, de surcroît, la pièce démoulée est refroidie rapidement et subit donc un traitement du type trempe avant le pressage.
- [0021] Ce refroidissement rapide permet d'obtenir une pièce de structure homogène, grâce à la mise en solution de l'alliage résultant du processus de coulée.
- 55 [0022] Le procédé selon l'invention utilise une propriété particulière des alliages légers, entre autres d'aluminium, à l'état trempé: ceux-ci présentent une très bonne aptitude au forgeage ou au formage en raison d'un accroissement de leur ductilité.

EP 1 213 367 A1

[0023] Ainsi, une pièce coulée en alliage léger et trempée présente une structure ductile et peut être formée à froid.

[0024] De plus, avec un formage ou un forgeage à froid, la prédétermination des dimensions de la pièce finale est facilement réalisable par le moyen d'une modélisation numérique simple (calcul dans le domaine du forgeage à froid, en fonction du comportement élasto-plastique du matériau sans nécessité de prise en compte d'effet thermique).

5 **[0025]** La pièce obtenue par ce type de formage, présente une précision dimensionnelle ainsi qu'un état de surface, une structure de la matière et une réduction des porosités ou inclusions très sensiblement améliorés par rapport à une pièce obtenue par un forgeage à chaud.

[0026] La réduction, voire la disparition, des porosités ressort notamment de l'examen comparé de micrographies de l'alliage brut de fonderie et de l'alliage après forgeage à froid.

10 **[0027]** On a pu également constater que le procédé selon l'invention écrouit les grains en surface, affine et fibre la structure, ce qui améliore ainsi la tenue en service de la pièce.

[0028] L'état de surface peut être apprécié au moyen de la rugosité. Les mesures effectuées sur des pièces obtenues par le procédé selon l'invention ont donné une valeur d'environ 1,5 µm. A titre de comparaison, la rugosité d'une pièce brute de fonderie est comprise entre 8 et 10 µm tandis que celle obtenue par un procédé du type décrit dans EP-199
15 365 ou EP-955 113 est d'environ 3 µm.

[0029] Par ailleurs, le forgeage à froid présente un autre avantage important par rapport au forgeage à chaud, puisqu'il permet de réduire la masse de métal nécessaire pour obtenir la pièce finie.

[0030] De façon générale, l'application d'une pression a pour but de déplacer la matière pour fermer des zones de discontinuité dues aux inclusions.

20 **[0031]** L'expression de l'énergie à apporter pour déplacer la matière est de la forme:

$$E=K\sigma\epsilon$$

E: énergie de déformation

25 σ : contrainte de déformation du matériau

ϵ : déformation de la matière

K: constante due au frottement

30 **[0032]** Lors de pressage à chaud, la contrainte est plus faible qu'à froid. Pour obtenir la même énergie de déformation, les déplacements et écoulements de matière à chaud sont donc plus importants.

[0033] Il en résulte d'un point de vue pratique que les bavures, qui servent en particulier à la régulation de ces écoulements lors du forgeage, sont plus importantes à chaud qu'à froid.

[0034] A titre d'exemple, pour une pièce industrielle de masse 1 Kg à l'état fini, on obtient les résultats suivants qui sont regroupés dans le Tableau 1:

35

Tableau 1

Procédé utilisé	Procédé selon l'invention	Procédé du type EP-955 113
Epaisseur de la bavure nécessaire au forgeage	0 à 4 mm	3 à 5 mm
Masse de métal nécessaire pour obtenir la pièce/ masse de métal de pièce finie (mise au mille induite par le forgeage)	1 à 1.1	≥ 1.4

40

Le procédé selon l'invention conduit donc à des économies de matière lors de l'obtention des pièces.

45 **[0035]** Après le pressage entre les deux empreintes de la matrice, la pièce peut être maintenue à température ambiante. Il s'agit d'un traitement de vieillissement en ambiance naturelle (maturation).

[0036] L'alliage métallique a alors tendance à retrouver l'équilibre, phénomène qui est responsable du durcissement structural par maturation à la température ambiante.

[0037] De façon préférée, après le pressage, la pièce est soumise à un traitement de revenu.

50 **[0038]** Un tel traitement de revenu permet d'accélérer le retour à l'équilibre de l'alliage et il se traduit généralement par un durcissement plus important de l'alliage.

[0039] Il permet également de diminuer partiellement les tensions internes. Cette diminution est fonction de l'alliage, mais également de la température de traitement.

55 **[0040]** De façon générale, ce traitement de revenu ou de maturation permet de donner à la pièce de bonnes caractéristiques mécaniques.

[0041] Des mesures ont été réalisées sur différentes pièces pour déterminer leur résistance mécanique (Rm)(limite de rupture de la pièce sollicitée en traction), leur limite élastique (Re), leur capacité d'allongement (A%) ainsi que leur

EP 1 213 367 A1

limite de fatigue en flexion à 1 million de cycles (LF).

[0042] Elles montrent que le procédé selon l'invention améliore l'ensemble de ces caractéristiques des pièces qui ont été soumises à ce procédé, par rapport à des pièces brutes de fonderie, qu'elles aient ou non été soumises à un traitement thermique postérieur.

[0043] Ces mesures montrent que le procédé selon l'invention améliore également les caractéristiques Re, Rm et LF par rapport à des pièces obtenues par un procédé de moulage sous pression à chaud ou un procédé selon EP-199 365 ou EP-955 153 qui prévoit un forgeage à chaud.

[0044] Ces mesures sont indiquées dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2

	Pièce brute de fonderie	Pièce brute de fonderie + traitement thermique	Procédé du type EP-955 153	Moulage sous pression à chaud	Procédé selon l'invention
Rm (MPa)	150-200	240-300	280-330	280-340	290-350
Re (MPa)	70-110	200-250	200-250	250-300	260-310
A%	5-10	2-7	6-11	7-11	6-11
LF (MPa)	72,5-77,5	107,5-112,5	130-135	120-125	132,5-137,5

[0045] L'amélioration de ces caractéristiques mécaniques est essentielle pour des pièces de construction mécanique telles que, par exemple, les pièces de liaison au sol de véhicules automobiles.

[0046] Enfin, les empreintes de la matrice peuvent présenter des dimensions légèrement inférieures à celles du moule ce qui permet d'obtenir, lors du pressage, un pressage à coeur et un corroyage.

[0047] On se réfère maintenant à la figure unique qui illustre très schématiquement, sous forme d'un graphique donnant la température de la pièce en fonction du temps, les différentes étapes du procédé selon l'invention.

[0048] Pendant la période A, est réalisée la coulée de la pièce à une température T_1 à laquelle l'alliage se présente sous forme liquide, puis la solidification de la pièce jusqu'à une température inférieure T_2 .

[0049] A titre d'exemple, pour des pièces réalisées en un alliage aluminium-silicium-magnésium, la température T_1 est comprise entre 740 et 760° C.

[0050] Pendant la période B, est effectué le traitement de trempe, la température de la pièce passant de la température T_2 à la température ambiante.

[0051] Pendant la période C, est effectué le pressage à température ambiante de la pièce. Ce pressage est effectué entre deux empreintes de la matrice de façon à écrouir le matériau et, par création de dislocations, à augmenter ses caractéristiques mécaniques.

[0052] Dans l'exemple illustré sur la figure, le procédé se poursuit pendant la période D, par un traitement de revenu, la pièce est alors chauffée à une température T_3 .

[0053] Ce traitement de revenu permet d'optimiser les caractéristiques mécaniques par précipitation des éléments d'alliage, notamment dans le cas des alliages d'aluminium.

[0054] Les températures de revenu sont comprises typiquement entre 80°C et 200°C, selon la nuance pour des alliages d'aluminium.

[0055] A titre d'exemple, pour des pièces réalisées en un alliage aluminium-silicium-magnésium, la température T_3 est comprise, de préférence, entre 80° C et 140 ° C.

[0056] Ainsi, de façon générale, ce procédé de fabrication permet d'optimiser la qualité des pièces coulées obtenues, et grâce à sa simplicité, il permet également d'en optimiser le coût.

[0057] En effet, par rapport au procédé du type décrit dans le brevet EP-955 113 qui prévoit un traitement thermique de durée importante consistant en pratique en un réchauffage et en un maintien à une température d'environ 540° C et pendant une durée de l'ordre de 6 heures, suivi d'une trempe et d'un revenu à environ 160° C pendant 6 heures, le procédé selon l'invention évite tout traitement thermique tout en améliorant les caractéristiques mécaniques des pièces obtenues. En effet, le procédé selon l'invention ne nécessite pas de réchauffage des pièces et de maintien en tempé-

EP 1 213 367 A1

rature avant forgeage.

[0058] Dans la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, on peut recourir à un traitement de revenu pour s'affranchir de la durée requise par la maturation.

5 **[0059]** Cependant, le traitement de revenu dure entre 1 et 3 heures et s'effectue à une température comprise entre 80° C et 200° C.

[0060] Ainsi, même avec un traitement de revenu, le procédé selon l'invention conduit à une très forte réduction du cycle de fabrication (de l'ordre de 10 heures) et de la consommation d'énergie (de l'ordre de 85%).

10 **[0061]** Le procédé selon l'invention entraîne également une réduction du nombre d'installations de traitement thermique. A titre comparatif, la mise en oeuvre du procédé selon l'invention nécessitera deux fours et celle d'un procédé du type EP-955 113 nécessitera quatre fours.

Revendications

15 **1.** Procédé pour fabriquer des pièces coulées, réalisées en un alliage léger, consistant:

- à remplir un moule avec un alliage léger à l'état liquide,
- à démouler la pièce après solidification et
- 20 - à soumettre la pièce à un pressage entre les deux empreintes d'une matrice,

caractérisé en ce qu'il comporte une étape intermédiaire, après le démoulage de la pièce et avant son pressage, consistant à refroidir rapidement la pièce démoulée de façon à obtenir une structure homogène, le pressage étant ensuite réalisé à température ambiante.

25 **2.** Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la pièce est maintenue à température ambiante après le pressage.

3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**après le pressage, la pièce est soumise à un traitement de revenu.

30 **4.** Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les empreintes de la matrice présentent des dimensions légèrement inférieures à celles du moule.

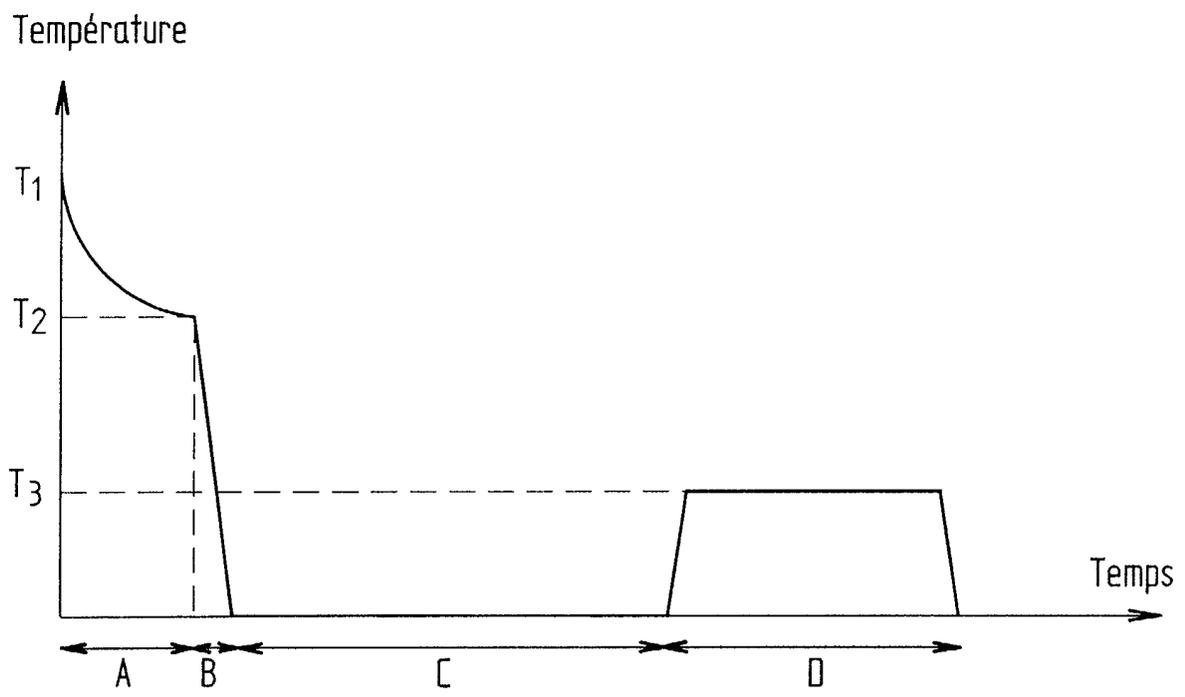
35

40

45

50

55





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.7)
Y	US 1 711 000 A (SHORT CHARLES R) 30 avril 1929 (1929-04-30) * revendication 1 *	1-4	C22F1/04 C21D7/00 B21J5/00 B22D31/00
Y	US 4 775 426 A (MURLEY JOHN ET AL) 4 octobre 1988 (1988-10-04) * revendications 1,6 *	1-4	
D,A	FR 2 614 814 A (SERIO THOMAS DI) 10 novembre 1988 (1988-11-10) * le document en entier *	1-4	
D,A	EP 0 119 365 A (SERIO THOMAS DI) 26 septembre 1984 (1984-09-26) * le document en entier *	1-4	
D,A	EP 0 816 042 A (GUIDO BAGGIOLI S N C DI BAGGIO) 7 janvier 1998 (1998-01-07) * le document en entier *	1-4	
D,A	EP 0 955 113 A (SERIO EMILE DI) 10 novembre 1999 (1999-11-10) * le document en entier *	1-4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.7) C22F C21D B21J B22D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 17 avril 2002	Examineur Mailliard, A
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 01 40 2944

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.

17-04-2002

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 1711000	A	30-04-1929	AUCUN	
US 4775426	A	04-10-1988	AUCUN	
FR 2614814	A	10-11-1988	FR 2614814 A3	10-11-1988
EP 0119365	A	26-09-1984	EP 0119365 A1	26-09-1984
			DE 3373281 D1	08-10-1987
			DE 119365 T1	07-03-1985
EP 0816042	A	07-01-1998	EP 0816042 A1	07-01-1998
EP 0955113	A	10-11-1999	FR 2778125 A1	05-11-1999
			EP 0955113 A1	10-11-1999
			JP 2000017410 A	18-01-2000

EPC FORM P0480

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