



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **95400426.3**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> : **B22C 3/00, C23C 4/02**

(22) Date de dépôt : **28.02.95**

(30) Priorité : **01.03.94 FR 9402327**

(43) Date de publication de la demande :  
**06.09.95 Bulletin 95/36**

(84) Etats contractants désignés :  
**DE ES GB IT**

(71) Demandeur : **AUTOMOBILES PEUGEOT**  
**75, avenue de la Grande Armée**  
**F-75116 Paris (FR)**

(71) Demandeur : **AUTOMOBILES CITROEN**  
**62 Boulevard Victor-Hugo**  
**F-92200 Neuilly-sur-Seine (FR)**

(72) Inventeur : **Lenoir, Eric**  
**5 Rue de l'Arquebuse**  
**F-08000 Charleville-Mezieres (FR)**  
Inventeur : **Azemar, Philippe**  
**3 Rue Bayard**  
**F-08000 Charleville-Mezieres (FR)**  
Inventeur : **Kopniaeff, José**  
**Rue de Treffort,**  
**Iges**  
**F-08200 Glaire (FR)**

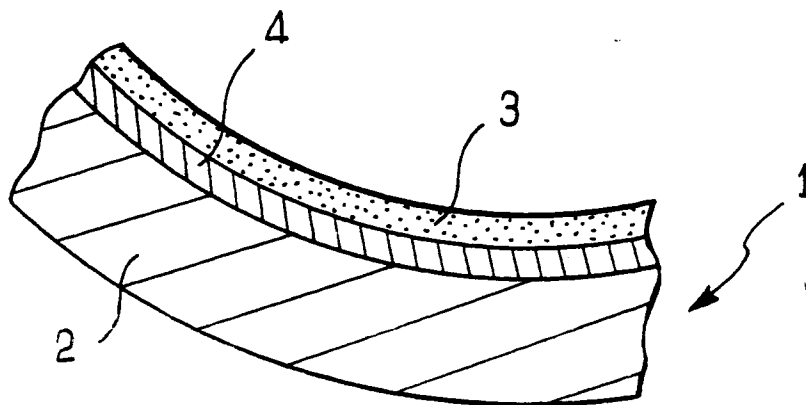
(74) Mandataire : **Martin, Jean-Jacques**  
**Cabinet REGIMBEAU**  
**26, Avenue Kléber**  
**F-75116 Paris (FR)**

(54) **Moule de fonderie et son procédé de réalisation.**

(57) L'invention concerne un moule de fonderie comprenant un substrat (2) métallique revêtu d'une couche protectrice (3,4).

La couche protectrice est permanente et comporte un revêtement (3) en un matériau réfractaire inerte vis-à-vis du métal coulé, ainsi qu'une sous-couche (4) d'accrochage interposée entre le revêtement (3) et le substrat (2), cette sous-couche (4) d'accrochage étant en un matériau choisi de façon que le revêtement (3) ne se détériore pas, lors des cycles de moulage, par différence de dilatation thermique avec le substrat (2).

L'invention propose également un procédé pour la réalisation de ce moule.



La présente invention est relative à un moule de fonderie, ainsi qu'à un procédé pour sa réalisation.

Le moulage en coquille (c'est à dire au moyen d'un moule métallique) constitue un procédé éprouvé et au point sur le plan technologique, notamment pour le moulage d'alliages d'aluminium-silicium.

Classiquement, pour protéger les parois du moule des interactions entre, d'une part, l'alliage liquide et, d'autre part, l'acier ou la fonte qui constituent le moule, on revêt lesdites parois d'une couche de matériau réfractaire.

Ce revêtement est habituellement réalisé par "poteyage", c'est-à-dire par dépôt (au pinceau ou en utilisant un pistolet de projection) d'une suspension en solution, le moule ainsi revêtu étant ensuite étuvé aux alentours de 300°C pour évacuer les solvants.

Cette couche réfractaire a plusieurs fonctions.

Elle permet d'éviter l'étamage, c'est-à-dire le collage de l'alliage liquide sur les parois du moule.

Elle assure la lubrification du moule et permet de réduire les défauts de surface de celui-ci (rugosité trop importante, entailles, criques, joints d'assemblage, etc.).

En outre, de par sa "friabilité", elle facilite le démoulage : quelques grains à la surface du moule sont arrachés à chaque extraction de pièce coulée, sans pour autant altérer notablement cette surface.

Egalement, ce revêtement réfractaire protège la coquille et évite ainsi sa destruction prématurée.

En particulier, ce revêtement constitue une interface entre le moule et l'alliage liquide, qui minimise les interactions.

Il constitue également une barrière thermique qui abaisse la température maximale atteinte à la surface de la coquille et prolonge ainsi la durée de vie du moule.

En outre, un tel revêtement assure certains échanges thermiques et participe à la maîtrise de la solidification dirigée.

Cependant, la cohésion et la rugosité des revêtements réalisés par poteyage sont telles que ces revêtements se détruisent progressivement lors des cycles de fabrication des pièces de fonderie.

La technique de poteyage est de ce fait coûteuse. Elle nécessite en particulier l'immobilisation et le démontage réguliers des moules. Le poteyage a donc une incidence non négligeable sur le prix de revient des pièces.

Un but de l'invention est donc de proposer un moule de fonderie qui présente un revêtement réfractaire permanent, c'est-à-dire dont la durée de vie est augmentée de façon substantielle par rapport à celle des revêtements obtenus par poteyage.

Il a déjà été proposé de remplacer les revêtements classiquement réalisés par poteyage par des couches de protection à base de  $Y_2O_3$ . On pourra avantageusement se référer à cet égard à la demande de brevet EP-252 862.

Ces couches de protection sont déposées directement sur l'acier du moule et s'avèrent d'une tenue dans le temps peu satisfaisante. Elles se détériorent rapidement du fait de la différence importante entre leur coefficient de dilatation thermique et celui du substrat sur lequel elles sont déposées.

Lors d'un cycle de moulage, en effet, un moule de fonderie est soumis à de forts écarts thermiques. Avant l'opération de coulée, il est chauffé par des brûleurs de façon à être maintenu à une température de l'ordre de 350°C. Puis, l'alliage y est coulé à une température qui est de l'ordre de 680°C dans le cas des alliages d'aluminium. Les températures des parois du moule varient donc entre 350°C et 680°C à chaque fois qu'une pièce est coulée, les cadences de coulée pouvant atteindre le rythme d'une coulée toutes les cinq minutes. Ces écarts thermiques entre le substrat et son revêtement induisent des différences de dilatation qui par leur répétition détruisent ledit revêtement.

Pour résoudre ce problème technique, l'invention propose un moule de fonderie comportant un substrat métallique revêtu d'une couche protectrice, ladite couche présentant un revêtement en un matériau réfractaire inerte vis-à-vis du métal coulé, ainsi qu'une sous-couche d'accrochage interposée entre le revêtement et le substrat, caractérisé en ce que le revêtement est en un matériau choisi dans le groupe comprenant la mullite, l'oxyde d'yttrium et les mélanges  $MgO-Al_2O_3$ , tels que la spinelle, et en ce que la couche d'accrochage est en un alliage de nickel, de chrome, d'aluminium et d'yttrium.

L'invention propose également un procédé pour sa réalisation.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit. Cette description est purement illustrative et non limitative. Elle doit être lue en regard de la figure unique annexée (figure 1) sur laquelle on a représenté schématiquement, en vue en coupe, un détail avec arraché d'un moule conforme à l'invention.

Le moule 1 représenté sur cette figure comporte un substrat 2, ainsi qu'un revêtement 3. Entre le substrat 2 et le revêtement 3 est interposée une couche intermédiaire 4.

Le substrat 2 est par exemple réalisé en acier Z38CDVO5, cet acier étant utilisé classiquement pour réaliser les moules de fonderie et présentant une bonne résistance aux chocs thermiques.

Le matériau du revêtement 3 réfractaire est choisi pour ses qualités isolantes, réfractaires, et inertes vis-à-vis des alliages coulés. Il résiste ainsi à l'agressivité chimique des alliages coulés et permet d'éviter l'éta-  
mage.

Dans le cas où les alliages coulés sont des alliages d'aluminium, le revêtement 3 est avantageusement  
réalisé en un matériau choisi dans le groupe comprenant :

- l'oxyde d'yttrium  $Y_2O_3$ ,
  - la mullite, de composition  $3Al_2O_3 - 2SiO_2$ ,
  - les mélanges  $MgO - Al_2O_3$ , et parmi ceux-ci plus particulièrement la spinelle de composition  $Mg Al_2O_4$ .
- Cette liste est bien entendu non limitative.

La couche 4 intermédiaire constitue, pour le revêtement 3 réfractaire, une sous-couche d'accrochage. Elle est en un matériau qui est choisi de façon que ledit revêtement 3 réfractaire ne se détériore pas lors des cycles de moulage, par différence de dilatation thermique avec le substrat 2.

Avantageusement, on choisit pour la sous-couche 4 d'accrochage un matériau ayant un coefficient de dilata-  
tion thermique voisin de celui du substrat 2 et permettant un bon accrochage du revêtement 3 réfractaire.

Cette sous-couche 4 d'accrochage est dans un mode de réalisation préféré en un alliage de Ni Cr Al Y (Nickel Chrome Aluminium Yttrium), par exemple avec les pourcentages pondéraux suivants: 67 % Ni, 22 % Cr, 10 % Al, 1 % Y.

Les coefficients thermiques de dilatation de l'acier du substrat 2 et des différents constituants cités ci-  
dessus pour la sous-couche 4 et le revêtement 3, sont les suivants : (en m/mK)

Z38CDV5	: entre 12,6 et 13,2.10 <sup>-6</sup>
Mullite	: 5.10 <sup>-6</sup>
$Al_2O_3$	: 8.10 <sup>-6</sup>
MgO	: 12 à 16.10 <sup>-6</sup>
Spinelle	: 8,3.10 <sup>-6</sup>
$Y_2O_3$	: 8.10 <sup>-6</sup>
Ni Cr Al Y	: 15,2.10 <sup>-6</sup> (dans la composition ci-dessus)

A titre d'exemple non limitatif, l'épaisseur de la sous-couche 4 en alliage Ni Cr Al Y peut être comprise entre 0,02 et 0,2 mm, celle du revêtement 3 entre 0,01 et 0,11 mm lorsqu'il est en alumine-magnésie et nota-  
mment entre 0,01 et 0,03 mm lorsqu'il est en spinelle.

La cohésion, la rugosité, la dureté de la couche protectrice ainsi réalisée par le revêtement 3 et la sous-  
couche d'accrochage 4, sont telles que l'on n'observe pas de dégradation de la surface du moule comparée à celle observée sur un moule poteyé de manière traditionnelle. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des revêtements 3 de spinelle.

On notera que la bonne résistance du revêtement 3 vis-à-vis des alliages d'aluminium permet d'envisager  
d'utiliser des aciers de moins bonne qualité que l'acier Z38CDV05 pour réaliser le substrat 2 du moule 1.

Le procédé selon l'invention pour la réalisation d'un moule 1 du type de celui qui vient d'être décrit comprend la succession d'étapes suivantes:

- a) préparation de la surface du substrat 2 métallique ;
- b) dépôt de la sous-couche 4 d'accrochage ; et
- c) dépôt du revêtement 3 réfractaire.

Une préparation très méticuleuse du substrat 2 est nécessaire pour éliminer de la surface de celui-ci une éventuelle couche d'oxyde et créer des rugosités favorisant l'adhérence de la sous-couche 4 d'accrochage. Cette préparation de la surface à revêtir consiste avantageusement en un corindonnage, c'est-à-dire en une projection (grenailage) de corindon (alumine cristallisée), sur la surface du substrat 2.

L'opération de corindonnage est réalisée au moyen d'une machine à commande numérique. L'état de sur-  
face obtenu pour les pièces à revêtir, en particulier leur rugosité, est maîtrisé de façon très précise en jouant sur la distance entre la buse de corindonnage et la pièce à revêtir, ainsi que sur l'angle d'incidence suivant lequel les particules de corindon sont projetées sur la pièce.

La qualité de cette préparation est primordiale pour le procédé conforme à l'invention, puisqu'elle condi-  
tionne l'accrochage mécanique des dépôts sur le substrat 2.

Cette préparation est préférentiellement réalisée juste avant les opérations de dépôt de la sous-couche 4 d'accrochage et du revêtement 3 réfractaire, afin de ne pas donner à la pièce revêtue le temps de s'oxyder ou de se polluer.

Selon un mode de mise en oeuvre possible avantageux du procédé de l'invention, les opérations de dépôt  
sont réalisées par projection thermique par torche plasma.

La torche plasma est manipulée par un robot et pilotée par un automate programmable, ce qui permet la  
répétibilité des opérations.

En variante, le dépôt peut également être réalisé en utilisant un chalumeau oxy-acétylénique. La matière

à déposer est placée sur le substrat 2 sous forme de cordon ou de poudre, ledit substrat 2 étant porté à haute température (de l'ordre de ou supérieure à 600°C), de façon à favoriser les liaisons chimiques entre la sous-couche d'accrochage 4 et le substrat 2.

5 Le même soin doit être apporté à la préparation du substrat 2 par corindonnage, les opérations de dépôt étant également réalisées rapidement après la préparation dudit substrat 2.

Les résultats les plus probants ont été obtenus avec la torche plasma.

En variante encore, les dépôts de la sous-couche 4 d'accrochage et du revêtement 3 peuvent être réalisés par la torche plasma sur un substrat 2 porté à haute température (de l'ordre de ou supérieure à 600°C).

L'invention permet :

- 10
- des gains substantiels au niveau du coût de fabrication des pièces produites en aluminium coulées en coquille ;
  - une dotation moins importante en nombre de moules pour assurer la production d'une pièce donnée du fait de la suppression du poteyage (aujourd'hui : 8 moules en fabrication, pour 2 moules en poteyage), ce qui se traduit par une réduction des investissements pour fabriquer les pièces de fonderie ;
  - 15 - une diminution de la masse des pièces produites du fait de la réduction possible des dépouilles nécessaires à l'extraction de la pièce du moule, les moules poteyés nécessitant quant à eux des dépouilles importantes de façon à éviter la dégradation rapide du poteyage à chaque démoulage de pièce ;
  - l'utilisation de matériaux moins chers que ceux utilisés actuellement pour réaliser des parties de moules du fait de la résistance des dépôts.

20 L'invention a été décrite pour la fonderie des alliages d'aluminium en coquille de gravité. Elle s'applique bien entendu de façon générale à tout moulage en coquille, sans restriction quant à l'alliage coulé, et notamment au moulage en coquille sous haute pression ou sous basse pression.

En outre, indépendamment du problème technique relatif aux moules de fonderie, précédemment évoqué, il a été constaté que, de façon générale, les pièces métalliques recouvertes d'une sous-couche d'accrochage et d'un revêtement du type de ceux qui viennent d'être décrits, présentent une résistance thermomécanique et une adhérence de leur revêtement élevées.

Une application avantageuse de l'invention est la fabrication de pièces pour véhicules automobiles.

### 30 **Revendications**

1. Moule de fonderie comportant un substrat métallique (2) revêtu d'une couche protectrice (3,4), ladite couche présentant un revêtement (3) en un matériau réfractaire inerte vis-à-vis du métal coulé, ainsi qu'une sous-couche (4) d'accrochage interposée entre le revêtement (3) et le substrat (2), caractérisé en ce que le revêtement (3) est en un matériau choisi dans le groupe comprenant la mullite, l'oxyde d'yttrium et les mélanges MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tels que la spinelle, et en ce que la couche d'accrochage est en un alliage de nickel, de chrome, d'aluminium et d'yttrium.
- 35
2. Moule de fonderie selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit alliage présente la composition pondérale suivante : 67 % de nickel, 22 % de chrome, 10 % d'aluminium et 1 % d'yttrium.
- 40
3. Procédé de réalisation d'un moule (1) selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
  - a) préparation de la surface du substrat (2) métallique ;
  - 45 b) dépôt de la sous-couche (4) d'accrochage ; et
  - c) dépôt du revêtement (3).
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'étape a) consiste à éliminer de la surface du substrat (2) une éventuelle couche d'oxyde et à créer des rugosités facilitant le dépôt de la sous-couche (4) d'accrochage.
- 50
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape a) comprend une opération de grenailage de la surface du substrat (2) avec des particules de corindon.
- 55
6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que les étapes b) et c) sont effectuées suffisamment rapidement après l'étape a) pour que le substrat (2) n'ait pas le temps de s'oxyder.
7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que les étapes b) et/ou l'étape c) sont ef-

fectuées à l'aide d'un appareil à torche à plasma.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la torche est montée sur un robot et pilotée par un automate programmable afin d'obtenir des dépôts répétitifs.

5

9. Procédé selon l'une des revendications 3 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend une étape supplémentaire d), effectuée après l'étape a) et avant l'étape b), consistant à chauffer le substrat (2) à une température suffisante pour favoriser une liaison chimique entre le substrat (2) et la sous-couche (4) d'accrochage.

10

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite température est supérieure ou égale à 600°C.

11. Procédé selon l'une des revendications 3 à 10, caractérisé en ce que l'étape b) et/ou l'étape c) sont effectuées à l'aide d'un appareil tel qu'un chalumeau oxyacétylénique.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

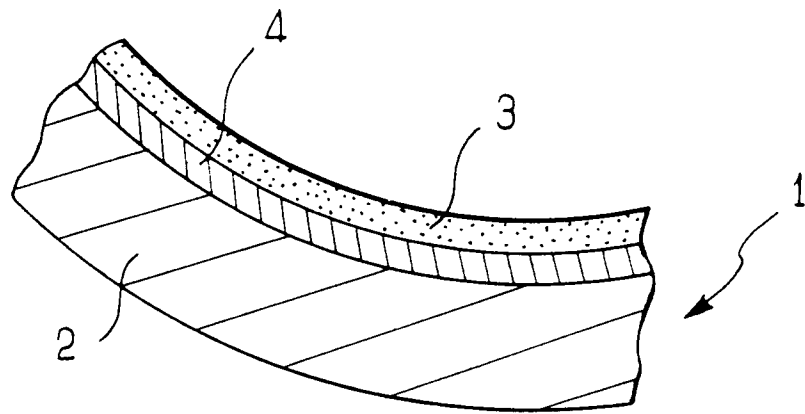


FIG. 1



Office européen  
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 95 40 0426

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.6)
X	EP-A-0 340 791 (HITACHI LTD)	3-7	B22C3/00
Y	* page 3, ligne 21 - ligne 31; exemple 1 *	1,2	C23C4/02
	---		
X	EP-A-0 338 520 (INCO LTD)	3,7	
Y	* page 3, ligne 1 - ligne 6 *	1,2	
	* page 3, ligne 42 - ligne 44 *		
	* page 3, ligne 45 - ligne 47 *		
	* page 4, table 1 "Ni 211" *		
	---		
Y	EP-A-0 536 754 (KROSAKI CORP)	1,2	
	* page 2, ligne 54 - ligne 56 *		
	* page 3, ligne 37 - ligne 52 *		
	---		
A	US-A-5 034 284 (BORNSTEIN ET AL)	1	
	* revendication 1; figure 2 *		
	---		
Y	DATABASE WPI Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 88-216977 & JP-A-63 153 256 (HONDA) , 17 Décembre 1986 * abrégé *	1,2	
	-----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			B22C C23C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 8 Juin 1995	Examineur Ashley, G
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			