



(11) **EP 1 595 618 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
24.11.2010 Bulletin 2010/47

(51) Int Cl.:
B22C 1/08 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **05103895.8**

(22) Date de dépôt: **10.05.2005**

(54) **Procédé de fonderie à cire perdue avec couche de contact**

Verlorene Wachsform-Giessverfahren mit Kontaktschicht

Lost wax pattern moulding process with contact layer

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **12.05.2004 FR 0405145**

(43) Date de publication de la demande:
16.11.2005 Bulletin 2005/46

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
• **Biramben, Arnaud**
75012, Paris (FR)
• **Marty, Christian**
92100, Boulogne Billancourt (FR)
• **Ragot, Patrice**
95550, Bessancourt (FR)

- **Husson, Jean-Christophe**
91940, Les Ulis (FR)
- **Chevalier, Patrick**
95110, Sannois (FR)
- **Fargeas, Serge**
75015, Paris (FR)
- **Truelle, Franck**
95100, Argenteuil (FR)

(74) Mandataire: **David, Daniel et al**
Bloch & Bonnetat
23bis, rue de Turin
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 399 727 US-A- 3 859 153
US-A- 5 618 633

EP 1 595 618 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention porte sur la fabrication de pièces telles que des aubages métalliques à géométries complexes selon la technique connue sous le nom de fonderie à cire perdue.

[0002] Pour la fabrication des aubages de turboréacteurs, tels que les pièces de rotors ou de statots, ou bien des pièces de structure selon cette technique, on en réalise d'abord un modèle en cire ou autre matériau équivalent facilement éliminable par la suite. Le cas échéant, on regroupe plusieurs modèles en une grappe. On confectionne autour de ce modèle un moule céramique par trempage dans une première barbotine pour former une première couche de matière au contact de sa surface. On sable la surface de cette couche afin de la renforcer et de faciliter l'accrochage de la couche suivante, et on sèche l'ensemble : ce qui constitue respectivement les opérations de stuccage et de séchage. On répète ensuite l'opération de trempage dans des barbotines de compositions éventuellement différentes, opération toujours associée aux opérations successives de stuccage et de séchage. On réalise ainsi une carapace céramique constituée d'une pluralité de couches. Les barbotines sont composées de particules de matériaux céramiques, notamment une farine, tel que l'alumine, la mullite, le zircon ou autre, avec un liant colloïdal minéral et des adjuvants le cas échéant en fonction de la rhéologie souhaitée. Ces adjuvants permettent de maîtriser et de stabiliser les caractéristiques des différents types de couches, tout en s'affranchissant des effets des différentes caractéristiques physicochimiques des matières premières constituant les barbotines. Il peut s'agir d'un agent mouillant, d'un fluidifiant ou d'un texturant en fonction, pour ce dernier, de l'épaisseur désirée pour le dépôt.

[0003] On procède ensuite au décirage du moule carapace, qui est une opération par laquelle on élimine le matériau constituant le modèle d'origine. Après élimination du modèle, on obtient un moule céramique dont la cavité reproduit tous les détails du modèle. Le moule subit ensuite un traitement thermique à haute température ou « cuisson » qui lui confère les propriétés mécaniques nécessaires. Le moule carapace est ainsi prêt pour la fabrication de la pièce métallique par coulée.

[0004] Après contrôle de l'intégrité interne et externe du moule carapace, l'étape suivante consiste à couler un métal en fusion dans la cavité du moule puis à le solidifier. Dans le domaine de la fonderie à cire perdue, on distingue actuellement plusieurs techniques de solidification, donc plusieurs techniques de coulée, selon la nature de l'alliage et les propriétés attendues de la pièce résultant de la coulée. Il peut s'agir de solidification dirigée à structure colonnaire (DS), de solidification dirigée à structure monocristalline (SX) ou de solidification équiaxe (EX) respectivement. Les deux premières familles de pièces concernent des superalliages pour des pièces soumises à de fortes contraintes, tant thermiques que mécaniques dans le turboréacteur, comme les

aubes de turbines HP.

[0005] Après la coulée de l'alliage, on casse la carapace par une opération de décochage, et on parachève la fabrication de la pièce métallique.

[0006] Lors de l'étape de moulage, plusieurs types de carapaces peuvent être réalisés au travers de plusieurs procédés. Chaque carapace doit posséder des propriétés spécifiques qui permettent d'assurer le type de solidification désiré.

[0007] Par exemple, pour la solidification équiaxe, plusieurs procédés différents peuvent être mis en oeuvre, l'un utilisant un liant à base de silicate d'éthyle, un autre utilisant un liant à base de silice colloïdale. Pour la solidification dirigée, les carapaces peuvent être réalisées à partir de charges différentes, à base silico-alumineuse, silice-zircon ou silice.

[0008] La première couche pour chacune de ces carapaces joue un rôle essentiel. Elle constitue l'interface entre le moule carapace et l'alliage coulé. Elle doit, dans le cas d'une solidification dirigée à structure colonnaire ou monocristalline, être non réactive avec l'alliage coulé. Dans le cas d'une solidification équiaxe, elle doit permettre la germination équiaxe des grains. Par ailleurs, l'intégrité de cette couche de contact détermine la qualité finale de la pièce coulée, en terme d'état de surface notamment.

[0009] La première couche doit en effet satisfaire à certaines exigences afin d'éviter des défauts tels que les décohésions céramiques, et les défauts de surface.

[0010] Les décohésions de la couche de contact avant ou pendant la coulée, peuvent générer des marques néfastes sur pièces.

[0011] Les défauts surfaciques résultent d'une micro porosité excessive de la couche de contact qui génère des surplus formant des reliefs en surface des pièces.

[0012] Les défauts surfaciques majeurs sont souvent la résultante d'un phénomène capillaire surfacique à l'interface entre le modèle en cire et la première couche. Après trempé de la première couche, lors du saupoudrage, les grains de sable forment des empilements, lesquels présentent de nombreux capillaires. Chacun agit comme une ventouse qui donne lieu à une dépression. Celle-ci est d'autant plus grande que le capillaire est petit. Cela correspond à une première couche d'épaisseur insuffisante. La dépression favorise une ascension capillaire de la barbotine vers le stucco et ce, jusqu'à ce que la colonne de liquide ainsi formée rétablisse la différence de pression. Il s'ensuit la formation d'une zone de retrait avec cavité qui conduit à la formation de défauts surfaciques. Ce phénomène est accentué par une première couche d'épaisseur trop faible.

[0013] Ces deux types de défauts, majeurs en fonderie, sont liés à des caractéristiques antagonistes intrinsèques de la couche de contact. En effet, pour éviter les défauts de décohésions céramiques on tend vers un dépôt de première couche fin et uniforme, alors que pour éviter les défauts surfaciques on vise plutôt un dépôt de première couche uniforme mais plus épais.

[0014] Les propriétés de la couche de contact doivent donc permettre de trouver un compromis entre ces caractéristiques antagonistes, afin de s'affranchir de tous défauts sur pièces.

[0015] L'invention parvient à ces objectifs avec le procédé conforme aux caractéristiques de la revendication 1.

[0016] Grâce à la composition de la barbotine, on parvient à remplir les objectifs assignés pour tous les moules de fonderie, dont les propriétés satisfont aux conditions de coulées répondant notamment aux contraintes des procédés de solidification DS et SX. En particulier, la couche de contact n'est pas réactive face aux superalliages coulés.

[0017] On connaît US 5618633 qui porte sur la fabrication d'une structure en nid d'abeille par coulée d'un métal en fusion dans un moule carapace. Le moule est réalisé par trempages successifs dans une barbotine formée de particules céramiques en suspension dans un fluide.

[0018] Pour satisfaire aux contraintes économiques liées aux rejets, la barbotine est avantageusement composée de farine de mullite en quantité comprise entre 65 et 90% en poids, sans zircon. De même, les particules de sable ou « stuccos », pour cette couche de contact, sont formées à partir de grains de mullite et non de zircon.

[0019] L'ajout des adjuvants dans la barbotine permet de maîtriser les dépôts sur cire et d'en assurer des caractéristiques optimales en terme d'épaisseurs et de répartition sur pièces.

[0020] De préférence et pour satisfaire aux contraintes environnementales, le liant est une solution colloïdale minérale base eau, telle que la silice colloïdale, et non un liant base alcool.

[0021] Le dépôt de couche de contact sur cire, associé à un renfort par saupoudrage d'un sable de mullite de granulométrie comprise entre 80 et 250 microns permet d'obtenir une très bonne cohésion de première couche et de très bons états de surface des pièces coulées.

[0022] On décrit ci-après le procédé plus en détail.

[0023] Le procédé de fabrication des moules carapaces comprend une première étape de fabrication du modèle en cire ou en un autre matériau équivalent connu dans le domaine. Le plus généralement connu est la cire. Selon le type de pièce, on peut regrouper les modèles en grappe de manière à pouvoir en fabriquer plusieurs simultanément. Les modèles sont façonnés aux dimensions des pièces définitives, au retrait près des alliages.

[0024] Les étapes de fabrication de la carapace sont de préférence menées par un robot dont les mouvements sont programmés pour avoir une action optimale sur la qualité des dépôts réalisés, et pour s'affranchir de l'aspect géométrique des différents aubages.

[0025] On prépare parallèlement des barbotines dans lesquelles on trempe successivement les modèles ou la grappe pour effectuer des dépôts de matières céramiques.

[0026] La composition de la première barbotine en

pourcentage pondéral est la suivante :

- farine de mullite 65 - 80
- liant silice colloïdale 20 - 35
- eau 0-5
- 3 adjuvants organiques qui sont des agents respectivement mouillant, fluidifiant et texturant.

[0027] Les 3 adjuvants ont respectivement les fonctions suivantes :

- Le fluidifiant permet d'obtenir plus rapidement la rhéologie désirée lors de la fabrication de la couche. Il agit en tant que dispersant. Il est choisi de préférence parmi les composés suivants : acides aminés, polyacrylates d'ammonium, tri-acides carboxyliques à groupements alcools.
- Le mouillant permet de faciliter le nappage de la couche lors du trempé. Il est de préférence choisi parmi les composés suivants : alcools gras poly-alkylènes, alcools alkoxyates.
- Le texturant permet d'optimiser la rhéologie de la couche afin d'obtenir des dépôts adaptés. Il est choisi de préférence parmi : les polymères de l'oxyde d'éthylène, les gommes de xanthane ou les gommes de guar.

[0028] Une fois le modèle retiré de la première barbotine après une phase d'immersion, le modèle recouvert subit une phase d'égouttage puis de nappage. On applique ensuite des grains de « stucco », particules de sable, par saupoudrage afin de ne pas perturber la fine couche de contact. On utilise de la mullite dont la granulométrie dans cette première couche est fine. Elle est comprise entre 80 et 250 microns. L'état de surface des pièces en final en dépend en partie.

[0029] On sèche la couche.

[0030] Les essais ont montré que pour obtenir des caractéristiques rhéologiques satisfaisantes, l'incorporation d'adjuvants était avantageuse sinon nécessaire.

[0031] On procède ensuite au trempé dans une seconde barbotine pour former une couche dite « intermédiaire ».

[0032] Comme précédemment, on dépose un « stucco » et on sèche.

[0033] On trempe ensuite le modèle dans une troisième barbotine pour former la couche 3 qui est la première couche dite « de renfort ».

[0034] On applique ensuite le stucco et on sèche. On répète les opérations de trempage dans la troisième barbotine, de stuccage et de séchage pour obtenir l'épaisseur de carapace souhaitée. Pour la dernière couche, on procède à une opération de glaçage.

[0035] Les deuxième et troisième barbotines peuvent comprendre un mélange de farines d'alumine et de mullite en quantités comprises entre 45 et 95% en poids, et

des grains de mullite en quantités comprises entre 0 et 25% en poids.

[0036] Les trempés pour les différentes couches sont effectués de manières différentes et adaptées afin d'obtenir une répartition homogène des épaisseurs et d'éviter la formation de bulles, notamment dans les zones enfermées.

[0037] On procède à un séchage final après la formation de la dernière couche.

[0038] La carapace peut ainsi comprendre de 5 à 12 couches.

[0039] Le cycle de cuisson des moules comprend une phase de montée en température pendant une période déterminée, un palier à la température de cuisson et une phase de refroidissement. Le cycle de cuisson est choisi pour optimiser les propriétés mécaniques des carapaces de manière à permettre les manipulations à froid sans risque de casses, et de manière à minimiser leurs sensibilités aux chocs thermiques pouvant être générés lors des différentes étapes de coulées.

[0040] On a décrit un exemple de procédé de fabrication de moule carapace à partir de la couche de contact selon l'invention. Cette couche de contact peut être associée à tous les types de couches selon les besoins, même le cas échéant avec des couches réalisées à partir de particules de zircon.

Revendications

1. Procédé de fabrication de moule carapace céramique à plusieurs couches dont au moins une couche de contact à partir d'un modèle d'aube de turbomachine à fabriquer, en cire ou autre matériau semblable, comprenant le trempage du modèle dans une première barbotine contenant des particules céramique et un liant pour former la couche de contact, à déposer des particules de sable sur ladite couche et à sécher celle-ci, **caractérisé par le fait que** les particules céramiques de la première barbotine sont des particules de mullite, la barbotine comprend un agent mouillant, un agent fluidifiant et un agent texturant, et lesdites particules de sables sont formées de grains de mullite, de granulométrie comprise en 80 et 250 microns.
2. Procédé selon la revendication 1 selon lequel les particules de céramiques ne comprennent pas de zircon.
3. Procédé selon la revendication 1 dont l'agent mouillant est choisi parmi les alcools gras poly-alkylènes, ou alcools alkoxyates.
4. Procédé selon la revendication 3 dont l'agent fluidifiant est choisi parmi les acides aminés, les polyacrylates d'ammonium ou les tri-acides carboxyliques à groupements alcools.

5. Procédé selon la revendication 1 dont l'agent texturant est choisi parmi les polymères de l'oxyde d'éthylène, les gommages de xanthane, ou les gommages de guar.
6. Procédé selon la revendication 1 dont le liant est à base de solutions colloïdales minérales à base eau, en particulier la silice colloïdale.
7. Procédé selon la revendication 1 dont les particules de sables sont appliquées par saupoudrage.
8. Procédé selon la revendication 1, dont la barbotine comprend une farine de mullite en quantité comprise entre 65 et 80 % en poids.
9. Utilisation d'un moule carapace selon l'une des revendications précédentes pour la fabrication d'une aube de turbomachine avec solidification de type dirigé à structure colonnaire.
10. Utilisation d'un moule carapace selon l'une des revendications 1 à 8 pour la fabrication d'une aube de turbomachine avec solidification de type dirigé à structure monocristalline.

Claims

1. A method of manufacture of a multilayer ceramic shell mould whereof at least one contact layer out of a wax master pattern or a part to be manufactured, or other similar material, consisting in dipping the master pattern in a first slip containing ceramic particles and a binder, in order to form said contact layer, in depositing the sable particles onto said layer and in drying said contact layer, **characterised in that** the ceramic particles of the first slip are mullite particles, the slip comprises a wetting agent, a liquefier and a texturing agent, the granulometry of said particles being comprised between 80 and 250 microns.
2. A method according to claim 1 wherein the ceramic particles do not contain any zircon.
3. A method according to claim 1 whereof the wetting agent is selected among polyalkylene fat alcohols or alkoxyate alcohols.
4. A method according to claim 3 whereof the liquefier is selected among the amino acids, ammonium polyacrylates or carboxylic tri-acids with alcohol groups.
5. A method according to claim 1 whereof the texturing agent is selected among ethylene oxide polymers, xanthan gums or guar gums.
6. A method according to claim 1 whereof the binder is

based on water-based mineral colloidal solutions, in particular colloidal silica.

7. A method according to claim 1 whereof the sand particles are applied by sprinkling.
8. A method according to claim 1, whereof the slip comprises mullite flour in an amount ranging between 65 and 80 % in weight.
9. A usage of a shell mould according to one of the previous claims for the manufacture of a part with columnar structure oriented solidification.
10. A usage of a shell mould according to one of the claims 1 to 8 for the manufacture of a turbomachine blade with mono-crystalline structure oriented solidification.

siert.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Sandteilchen durch Aufstreuen aufgetragen werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Gießschlicker ein Mullitmehl in einer Menge zwischen 65 und 80 Gewichtsprozent umfasst.
9. Verwendung einer Maskenform nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Herstellung einer Turbomaschinenschaufel mit gelenkter Erstarrung säulenförmiger Struktur.
10. Verwendung einer Maskenform nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Herstellung einer Turbomaschinenschaufel mit gelenkter Erstarrung monokristalliner Struktur.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer keramischen Maskenform mit mehreren Schichten, wozu mindestens eine Kontaktschicht gehört, ausgehend von einem Modell einer herzustellenden Turbomaschinenschaufel aus Wachs oder einem anderen ähnlichen Material, umfassend das Härten des Modells in einem ersten Gießschlicker, der Keramikteilchen und ein Bindemittel enthält, um die Kontaktschicht zu bilden, das Abscheiden der Sandteilchen auf der Schicht und das Trocknen derselben, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Keramikteilchen des ersten Gießschlickers Mulliteilchen sind, wobei der Gießschlicker ein Benetzungsmittel, einen Verflüssiger und einen Strukturfestiger umfasst und die Sandteilchen aus Mullitkörnern gebildet sind, deren Körnung zwischen 80 und 250 Mikrometern liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Keramikteilchen kein Zirkon umfassen.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Benetzungsmittel aus Polyalken-Fettalkoholen oder Alkoxyat-Alkoholen gewählt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Verflüssiger aus Aminosäuren, Ammoniumpolyacrylaten oder dreisäurigen Carboxylen mit Alkoholgruppen gewählt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Strukturfestiger aus Ethylenoxidpolymeren, Xanthangummi oder Guargummi gewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Bindemittel auf mineralischen kolloidalen Lösungen auf Wasserbasis, insbesondere auf kolloidaler Kiesel-erde ba-

20

25

30

35

40

45

50

55

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5618633 A [0017]