



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2005/05/11
 (41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2005/11/12
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2012/12/11
 (30) Priorité/Priority: 2004/05/12 (FR04 05143)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22C 9/04* (2006.01),
B22C 1/16 (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
 BIRAMBEN, ARNAUD, FR;
 CALERO, PATRICK, FR;
 CHEVALIER, PATRICK, FR;
 HUSSON, JEAN-CHRISTOPHE, FR;
 MARTY, CHRISTIAN, FR;
 RAGOT, PATRICE, FR;
 RICHARD, JEAN-PIERRE, FR;

...

(73) Propriétaire/Owner:
 SNECMA, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCEDE DE FONDERIE A CIRE PERDUE
 (54) Title: LOST WAX CASTING PROCESS

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention porte sur un procédé de fabrication de moule carapace céramique à plusieurs couches dont au moins une couche de contact, une couche intermédiaire et plusieurs couches de renfort à partir d'un modèle de la pièce à fabriquer, en cire ou autre matériau semblable, consistant à réaliser les opérations successives suivantes: trempage dans une première barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche et séchage de celle-ci, de manière à former la couche de contact, trempage dans une deuxième barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche intermédiaire, et séchage de celle-ci, de manière à former la couche intermédiaire, trempage dans au moins une troisième barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche, séchage de celle-ci, de manière à former une couche de renfort, la formation de couches de renfort étant répétée jusqu'à obtenir une épaisseur de moule carapace définie, caractérisé par le fait que les particules céramiques des barbotines comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon, aucune des couches ne comportant de zircon. Ce procédé est caractérisé par le fait que les particules céramiques des barbotines comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon.

(72) Inventeurs(suite)/Inventors(continued): TRUELLE, FRANCK, FR; VALENTE, ISABELLE, FR

ABREGE DESCRIPTIF

L'invention porte sur un procédé de fabrication de moule carapace céramique à plusieurs couches dont au moins une couche de contact, une couche
5 intermédiaire et plusieurs couches de renfort à partir d'un modèle de la pièce à fabriquer, en cire ou autre matériau semblable, consistant à réaliser les opérations successives suivantes :

trempage dans une première barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche et séchage de celle-ci, de
10 manière à former la couche de contact,

trempage dans une deuxième barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche intermédiaire, et séchage de celle-ci, de manière à former la couche intermédiaire,

trempage dans au moins une troisième barbotine contenant des particules
15 céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche, séchage de celle-ci, de manière à former une couche de renfort, la formation de couches de renfort étant répétée jusqu'à obtenir une épaisseur de moule carapace définie, caractérisé par le fait que les particules céramiques des barbotines comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon, aucune des
20 couches ne comportant de zircon.

Ce procédé est caractérisé par le fait que les particules céramiques des barbotines comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon.

25

Procédé de fonderie à cire perdue

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.

Pour la fabrication des aubages de turboréacteurs, tels que les pièces de rotors ou de stators, 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 physico-chimiques 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.

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. 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
5 solidification dirigée à structure monocristalline (SX) ou de solidification équiaxe (EX) respectivement. Les deux premières familles de pièces concernent des superalliages pour pièces soumises à de fortes contraintes tant thermiques que mécaniques dans le turboréacteur, comme les aubes de turbines HP.

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

Lors de l'étape de moulage, plusieurs types de carapaces peuvent être réalisés au travers de plusieurs procédés. Chaque carapace doit posséder des propriétés
15 spécifiques qui permettent d'assurer le type de solidification désiré. Par exemple, pour la solidification équiaxe, plusieurs procédés différents peuvent être mis en œuvre, l'un utilisant un liant silicate d'éthyle, un autre utilisant un liant silice colloïdale. Pour la solidification dirigée, les carapaces peuvent être réalisées à partir de charges différentes, à base silico-alumineuse, silice-zircon ou silice.

20 Dans un but de simplification et d'uniformisation des procédés mis en œuvre, il existe un besoin pour une carapace à structure dite « unique » dont les propriétés lui permettraient d'être utilisée dans les différents cas de solidification.

25 D'autre part, pour des raisons de respect des normes environnementales et de coûts, il existe aussi un besoin d'éviter l'emploi de liants à base alcool tel que le silicate d'éthyle.

Pour des raisons de coûts de rejet, il est aussi souhaitable de mettre au point une
30 structure de carapace ne comprenant pas de zircon. Ce matériau, même faiblement radio-actif, nécessite en effet l'établissement de procédures de traitement des déchets très contraignantes industriellement et financièrement.

L'invention parvient à ces objectifs avec le procédé suivant.

35 Le procédé de fabrication de moule carapace céramique à plusieurs couches, dont au moins une couche de contact, une couche intermédiaire et plusieurs couches

de renfort à partir d'un modèle en cire ou autre matériau semblable, consiste à réaliser les opérations suivantes :

5 trempage dans une première barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable sur la couche et à sécher ladite couche, de manière à former la couche de contact,

trempage dans une deuxième barbotine contenant des particules céramiques, un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche et à sécher celle-ci, de manière à former la couche intermédiaire

10 trempage dans au moins une troisième barbotine contenant des particules céramiques, un liant, dépôt de particules de sable sur ladite couche, à sécher celle-ci, de manière à former une couche de renfort. On répète la formation de couches de renfort jusqu'à obtenir une épaisseur de moule carapace définie.

15 Conformément à l'invention le procédé est caractérisé par le fait que les particules céramiques des barbotines comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon, aucune des couches ne comportant de zircon.

De préférence la barbotine pour la formation des couches de renfort est beaucoup plus fluide que la deuxième barbotine.

20

On a constaté qu'un moule carapace présentant cette composition et cette structure, à la couche de contact près, pouvait être conçu pour être commun à tous les types de pièces coulées selon les techniques rapportées plus haut. On peut ainsi avantageusement ajuster les propriétés mécaniques du moule, en particulier, sa sensibilité aux chocs thermiques, pour satisfaire aux conditions de coulée répondant aux contraintes des différents procédés de solidification (EX, DS ou SX).

25

De préférence et pour satisfaire aux contraintes économiques et environnementales, le liant pour les différentes barbotines est une solution colloïdale minérale telle que la silice colloïdale. De même pour satisfaire aux contraintes économiques liées aux rejets, les grains de stucco pour les couches de contact, intermédiaire et de renfort sont constitués à partir de grains de mullite et non de zircon.

30

Afin de maîtriser la porosité du moule, et de ce fait maîtriser la sensibilité de la carapace aux chocs thermiques, les opérations de stuccage sont réalisées avec des

grains de stucco couvrant une gamme granulométrique comprise entre 80 et 1000 microns. Par ailleurs, le stucco est appliqué de préférence par saupoudrage pour les premières couches, et est appliqué de préférence par lit fluidisé, pour les couches à partir de la quatrième. On applique le stucco automatiquement, de sorte que les mouvements du robot permettent de réaliser un moule carapace présentant une porosité après cuisson, comprise entre 20 et 35%. Plus la carapace est poreuse, plus on diminue sa sensibilité aux chocs thermiques tels que ceux produits lors des différents types de coulées.

En particulier, pour pouvoir être appliqué à deux modes distincts de solidification, le cycle de cuisson du moule comprend un chauffage jusqu'à une température comprise entre 1000 et 1150°C, de préférence entre 1030°C et 1070°C.

Il suffit d'adapter seulement la couche de contact au mode de solidification. Ainsi la première barbotine peut être formée à partir de farines de mullite et d'alumine sans zircon, avec ou sans germinant.

Dans un cas particulier, pour des solidifications de types DS ou SX, la couche de contact est composée majoritairement de farine de mullite en quantité comprise entre 40 et 80% en poids, éventuellement de farine d'alumine, un liant à base de silice colloïdale, et des adjuvants organiques.

Dans le cas particulier de la solidification équiaxe, la couche de contact est composée d'un mélange de farines d'alumine et de mullite en quantités respectivement comprises entre 40 et 80% en poids et entre 2 et 30% en poids, le reste comprenant un liant à base de silice colloïdale, un germinant, et des adjuvants organiques.

Conformément à une autre caractéristique, les deuxième et troisième barbotines sont communes à tout procédé de solidification, et comprennent un mélange de farines d'alumine et de mullite en quantité comprise entre 45 et 95% en poids, et des grains de mullite en quantité comprise entre 0 et 25% en poids.

La structure de moule ainsi définie trouve, indifféremment, une utilisation pour la fabrication d'une pièce avec solidification de type dirigé à structure colonnaire, la couche de contact étant formée majoritairement à partir d'une farine de mullite,

pour la fabrication d'une pièce avec solidification de type dirigé à structure monocristalline, la couche de contact étant formée majoritairement à partir d'une farine de mullite ou bien

pour la fabrication d'une pièce avec solidification de type équiaxe, la couche de contact étant formée à partir d'un mélange de farine d'alumine et de mullite.

5 L'invention porte aussi sur un procédé de fabrication de pièces par coulée de métal en fusion selon lequel, quel que soit le type de solidification, dirigée à structure colonnaire, dirigée à structure monocristalline ou équiaxe, on utilise des moules présentant un squelette de carapaces commun : couche intermédiaire et couche de renfort communes.

10

L'invention porte aussi sur une installation pour la fabrication de pièces par coulée d'un métal en fusion dans un moule carapace comprenant un poste de fabrication de moules et des postes de coulée pour des solidifications différentes, lesdits postes étant alimentés avec des moules présentant des couches de renfort
15 identiques.

On décrit ci-après le procédé plus en détail.

20

Le procédé de fabrication des moules carapaces permettant une utilisation commune à tous types de pièces 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
25 des alliages.

30

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

On prépare parallèlement des barbotines dans lesquelles on trempe successivement les modèles ou la grappe pour effectuer un dépôt de matière
35 céramique.

On distingue une première barbotine pour la solidification EQX.

Elle comprend en pourcentage pondéral :

- un mélange de farines d'alumine (40 - 80%) et de mullite (2 - 30%) ;
- un germinant, aluminat de cobalt (0 - 10%) ;
- 5 - un liant silice colloïdale (18 - 30%) ;
- de l'eau (0 - 5%) ;
- trois adjuvants : agents mouillant, fluidifiant et texturant ;

10 Pour la solidification dirigée à structure colonnaire ou monocristalline, la composition de la première barbotine en pourcentage pondéral est la suivante :

- un mélange de farines d'alumine (2 - 30%) et de mullite (40 - 80%) ;
- un liant silice colloïdale (18 - 30%) ;
- de l'eau (0-5%) ;
- 15 - trois adjuvants : agents mouillant, fluidifiant et texturant ;

La deuxième barbotine intermédiaire, commune à tous types de solidification, comprend en pourcentage pondéral les composants suivants :

- 20 - un mélange de farines d'alumine (50 - 75%) et de mullite (5 - 20%) ;
- un liant silice colloïdale (20 - 30%) ;
- de l'eau (0 - 5%) ;
- trois adjuvants : agents mouillant, fluidifiant et texturant ;

25 La troisième barbotine de renfort, commune à tous types de solidification, comprend les composants suivants en pourcentage pondéral :

- un mélange de farines d'alumine (30 - 45%) et de mullite (15 - 30%) ;
- des grains de Mullite (14 - 24%) ;
- 30 - un liant silice colloïdale (10 - 20%) ;
- de l'eau (5 - 15%) ;
- quatre adjuvants : agents mouillant, fluidifiant, texturant et de frittage ;

Les 3 premiers adjuvants ont respectivement les fonctions suivantes :

35

- Le fluidifiant permet d'obtenir plus rapidement la rhéologie désirée lors de la fabrication de la couche. Il agit en tant que

dispersant. Il peut appartenir à la famille des acides aminés, à la gamme des polyacrylates d'ammonium, ou à la famille des tri - acides carboxyliques à groupements alcools ;

5 - Le mouillant permet de faciliter le nappage de la couche lors du trempé. Il peut appartenir à la famille des alcools gras poly - alkylènes, ou alcools alkoxyates ;

10 - Le texturant permet d'optimiser la rhéologie de la couche afin d'obtenir des dépôts adaptés. Il peut appartenir à la famille des polymères de l'oxyde d'éthylène, des gommes de xanthane, ou des gommes de guar ;

15 Pour la couche N°1, de contact, 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. Puis, on applique des grains de stucco par saupoudrage afin de ne pas perturber la fine couche de contact. Pour l'opération de stuccage, 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.

20 On sèche la couche N°1.

On procède ensuite au trempé dans une seconde barbotine pour former une couche N°2, dite intermédiaire. La composition est la même quel que soit le mode de solidification adopté.

25

Comme précédemment, on dépose un stucco par saupoudrage, et on sèche. Pour l'opération de stuccage, on utilise de la mullite dont la granulométrie est moyenne. Elle peut être comprise entre 120 et 1000 microns. L'état de porosité des carapaces en final en dépend en partie.

30

On trempe ensuite le modèle dans une troisième barbotine pour former la couche N°3 qui est la première couche dite de renfort.

35 On applique ensuite le stucco identique à la couche N°2 par saupoudrage, et on sèche. On répète les opérations de trempage dans la troisième barbotine, de

stuccage et de séchage pour former les couches « de renfort ». Pour ces couches de renfort, le stuccage s'effectue par lit fluidisé.

5 Pour la dernière couche, on procède à une opération de glaçage qui ne comprend pas d'opération de stuccage.

La carapace en final peut être constituée de 5 à 12 couches.

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

15 Les programmes de trempés sont optimisés pour chaque type de couche, afin de s'affranchir de l'aspect géométrique des différents types de pièces, et sont donc communs à toutes références.

15

20 La gamme de séchage intercouche est optimisée pour chaque type de couche, afin de s'affranchir de l'aspect géométrique des différents types de pièces. La gamme est donc commune. La gamme permet en effet pour chaque type de couche, un séchage de moules à géométries aussi différentes que des aubes mobiles, des distributeurs, ou bien des pièces de structure.

On procède à un séchage final après la formation de la dernière couche, commun à tous types de pièces.

25 Le cycle de cuisson des moules est le même pour tous les types de solidification, et s'affranchit donc aussi du type de pièce. Il comprend une phase de montée en température, 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
30 risques de casses, et de manière à minimiser la sensibilité aux chocs thermiques pouvant être générés lors des différentes étapes de coulées.

35 On constate, que l'on peut réaliser une cuisson unique au lieu des deux types de cuisson qui étaient réalisées auparavant pour préparer les carapaces EQX, DS et SX aux différents modes de coulée.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication de moule carapace céramique à plusieurs couches dont au moins une couche de contact, une couche intermédiaire et
5 plusieurs couches de renfort à partir d'un modèle de la pièce à fabriquer, en cire ou autre matériau semblable, consistant à réaliser les opérations successives suivantes:

trempage d'un modèle dans une première barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de
10 sable et séchage, de manière à former la couche de contact;

trempage du modèle dans une deuxième barbotine contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable, et séchage de manière à former la couche intermédiaire; et

trempage du modèle dans au moins une troisième barbotine
15 contenant des particules céramiques et un liant, dépôt de particules de sable, séchage de manière à former une couche de renfort, la formation de couches de renfort étant répétée jusqu'à obtenir une épaisseur de moule carapace définie;

dans lequel les particules céramiques des barbotines
20 comprennent un oxyde réfractaire ou un mélange d'oxydes réfractaires sans zircon, aucune des couches ne comportant de zircon;

lesdites particules de sable sont constituées de grains
d'oxydes réfractaires sans zircon;

les particules de sable sont appliquées de manière que la
25 carapace présente une porosité après cuisson comprise entre 20 et 35%;

le cycle de cuisson du moule carapace final est unique quelle que soit la pièce et comprend un chauffage jusqu'à une température comprise entre 1000 et 1150°C; et

les deuxième et troisième barbotines comprennent un
30 mélange de farines d'alumine et de mullite et de grains de mullite, et sont communes à tout procédé de solidification dirigée ou équiaxe.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel lesdites particules de sable sont constituées de grains de mullite.

- 10 -

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel le cycle de cuisson comprend un chauffage jusqu'à une température comprise entre 1030 et 1070°C.
- 5 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'oxyde réfractaire l'un de : mullite et alumine.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les liants pour les différentes barbotines sont à base de solutions
10 colloïdales minérales.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel les liants sont à base de silice colloïdale.
- 15 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les grains ont une granulométrie comprise entre 80 et 1000 microns.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, pour au moins une des couches, les particules de sable sont
20 appliquées par saupoudrage.
9. Procédé selon la revendication 7, dans lequel les particules de sable sont appliquées par saupoudrage pour les trois premières couches.
- 25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, pour au moins une des couches, les particules de sable sont appliquées par lit fluidisé.
11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel les particules de
30 sable sont appliquées par lit fluidisé à partir de la quatrième couche.
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel le séchage entre deux couches successives est réalisé selon la même gamme quelles que soient la pièce et sa géométrie.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel le trempage est effectué par robot, programmé de façon que les mouvements du robot soient les mêmes quelle que soit la géométrie de la pièce.

5

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel le dépôt des particules de sable est réalisé automatiquement par robot de sorte que les mouvements du robot soient les mêmes quelle que soit la géométrie de la pièce.

10

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel la première barbotine a une composition en alumine et en mullite différente selon que le procédé de fabrication de la pièce est à solidification dirigée ou équiaxe.

15

16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la première barbotine, pour une solidification dirigée, comprend majoritairement de la farine de mullite, en quantité comprise entre 40 et 80% en poids, un liant à base de silice colloïdale, et des adjuvants organiques.

20

17. Procédé selon la revendication 16, dans lequel la première barbotine comprend de la farine d'alumine.

18. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la première barbotine, pour une solidification équiaxe, comprend un mélange de farines d'alumine et de mullite en quantités respectivement comprises entre 40 et 80% en poids et entre 2 et 30% en poids, un liant à base de silice colloïdale, un germinant, et des adjuvants organiques.

25

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, dans lequel les deuxième et troisième barbotines sont communes à tous procédés de solidification, et comprennent un mélange de farines d'alumine et de mullite en quantité comprise entre 45 et 95% en poids, et des grains de mullite en quantité comprise entre 0 et 25% en poids.

35

20. Utilisation d'un moule carapace fabriqué selon le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 19 pour la fabrication de pièces par coulée de métal en fusion, quel que soit le type de solidification dirigée à structure colonnaire, dirigée à structure monocristalline, ou équiaxe.

5

21. Installation pour la fabrication de pièces par coulée d'un métal en fusion dans un moule carapace, comprenant un poste pour un procédé de fabrication de moules selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, et des postes de coulée pour des solidifications différentes, lesdits postes étant alimentés avec des moules présentant des couches intermédiaire et de renfort identiques.

10