

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20.10.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.04.24 Bulletin 24/17.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAFRAN SA — FR.

⑦2 Inventeur(s) : AGNE, Aboubakry, AGUILAR ORTIZ,
Julio-Alejandro et TENNE, Serge Vladimir.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN SA.

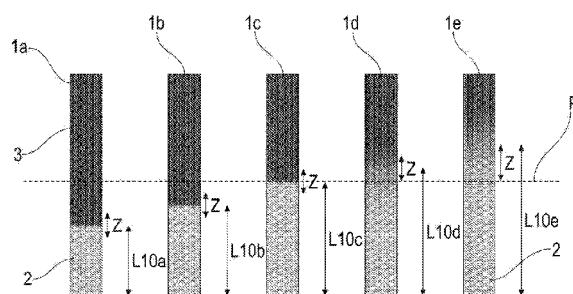
⑦4 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤4 PROCÉDE DE FABRICATION DE PLUSIEURS EPROUVETTES BI-MATÉRIAUX.

⑤7 L'invention concerne un procédé de fabrication de plu-
sieurs éprouvettes (1) de caractérisation, chaque éprou-
vette de caractérisation comprenant une première portion
(2) réalisée dans un premier matériau métallique et une
deuxième portion (3) réalisée dans un deuxième alliage mé-
tallique, le premier matériau métallique et le deuxième ali-
age ayant des compositions chimiques différentes.

Selon l'invention, le procédé comprend les étapes
suivantes :- réalisation de plusieurs premières portions (2)
de longueurs différentes, - mise en place de chaque pre-
mière portion (2) dans une cavité de moulage correspon-
dante d'un moule carapace (6) comprenant plusieurs telles
cavités de moulage, - préchauffage du moule carapace
pourvu des premières portions (2), dans un four avec un
gradient thermique selon l'axe des premières portions (2) de
longueurs différentes, - coulée du deuxième alliage métal-
lique (3) dans lesdites cavités de moulage contenant res-
pectivement lesdites premières portions (2) pour former les
deuxièmes portions.

Figure pour l'abrégé : 7



Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE FABRICATION DE PLUSIEURS EPROUVETTES BI-MATERIAUX

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine général de l'aéronautique. Elle vise en particulier la fabrication d'éprouvettes pour tester le comportement mécanique de matériaux ou assemblage de matériaux destinés en particulier à des pièces de turbomachine telle que des pièces de rotor.

Arrière-plan technique

[0002] De nos jours les turbomachines sont équipées de pièces qui sont réalisées en un ou plusieurs alliages de sorte à améliorer les performances de celle-ci. Les alliages présentent des performances en fluage spécifique à très haute température et peuvent être par exemple un CMSX-10, un CMSX4+, un TMS-162, un TMS-182 ou encore un TMS-196.

[0003] Le document FR-A1-3077224 décrit une pièce de turbomachine comprenant une première portion formée dans un premier alliage et une deuxième portion dans un deuxième alliage. La première portion est réalisée par une première étape de fonderie dans un premier moule. La deuxième portion est réalisée par une deuxième étape de fonderie dans un deuxième moule dans lequel est placée la première portion solidifiée précédemment obtenue. Lors de la deuxième étape, le matériau en fusion du deuxième alliage est versé dans le moule contenant la première portion solidifiée. La première portion est également utilisée comme germe. Le premier alliage est plus dense que le deuxième alliage de sorte à, d'une part éviter un mélange complet du premier alliage et du deuxième alliage, et d'autre part obtenir une zone de transition réduite ainsi que maîtrisée. En effet, une portion du premier alliage au niveau de la zone de transition est refondue lors du versement du deuxième alliage.

[0004] Il existe un besoin de définir les dimensions de la première portion de la pièce pour la réalisation ultérieure de la pièce finale et notamment pour maîtriser la zone de fusion de la première portion. En particulier, certaines questions peuvent se poser quant aux caractéristiques mécaniques de la jonction entre la première portion et la deuxième portion de la pièce, par exemple selon le caractère plus ou moins étendu de cette zone de jonction entre les deux portions (dû au fait que la partie supérieure de la première portion refonde plus ou moins, avant, ou pendant la coulée du matériau formant la deuxième portion).

[0005] Pour des raisons de performances mécaniques de la pièce finale, il existe également un besoin de déterminer d'une part, l'influence de la taille de la première portion sur la

pièce réalisée avec les deux alliages et d'autre part, le comportement physique, chimique et mécanique de la zone de jonction entre les deux alliages.

[0006] La présente invention cherche à répondre à tout ou partie des besoins susmentionnés.

Résumé de l'invention

[0007] L'objectif de la présente invention est de fournir une solution permettant de déterminer les caractéristiques de la zone de jonction entre deux matériaux différents d'une pièce.

[0008] Nous parvenons à cet objectif conformément à l'invention grâce à un procédé de fabrication de plusieurs éprouvettes de caractérisation, chaque éprouvette de caractérisation comprenant une première portion réalisée dans un premier matériau métallique et une deuxième portion réalisée dans un deuxième matériau métallique, le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique ayant des compositions chimiques ou des structures cristallographiques différentes, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- réalisation de plusieurs premières portions de l'éprouvette de longueurs différentes,
- mise en place de chaque première portion dans une cavité de moulage correspondante d'un moule carapace comprenant plusieurs telles cavités de moulage,
- préchauffage du moule carapace pourvu des premières portions, dans un four avec un gradient thermique selon l'axe des premières portions de longueurs différentes,
- coulée du deuxième matériau métallique dans lesdites cavités de moulage contenant respectivement lesdites premières portions pour former les deuxièmes portions.

[0009] Ainsi, cette solution permet d'atteindre l'objectif susmentionné. En particulier, le fait de fabriquer plusieurs éprouvettes dans un seul moule avec des premières portions de longueurs différentes permet d'étudier différentes zones de diffusion/zone de jonction entre le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique, et de déterminer les dimensions (épaisseurs) de cette zone qui conduiront aux meilleures résistances mécaniques et qui permettront d'améliorer les performances thermomécaniques des pièces finales.

[0010] Le procédé comprend également l'une ou plusieurs étapes et/ou caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

[0011] - lors de l'étape de préchauffage, le moule carapace est agencé dans le four par rapport à une position de référence et en ce qu'en fonction de la longueur des premières portions, au moins une première portion comprend une partie située au-dessus de la position de référence, où la température est supérieure à la température de fusion du premier matériau métallique et une partie située en-dessous de la position de référence où la température est inférieure à la température de fusion du premier matériau métallique.

- [0012] - pour au moins une des premières portions, une extrémité supérieure de ladite première portion est située en-dessous de la position de référence.
- [0013] - le procédé comprend une étape de mesure comprenant une mesure d'une dimension transverse interne de chaque cavité de moulage et en ce qu'il comprend une étape de parachèvement d'au moins une première portion d'éprouvette de manière à ce qu'une dimension transverse de la première portion considérée corresponde à la dimension transverse interne, mesurée sur le moule carapace, d'une des cavités de moulage destinée à recevoir ladite première portion.
- [0014] - un jeu subsiste entre une surface interne de la cavité de moulage destinée à recevoir ladite première portion, et une paroi latérale de ladite première portion, à une température de préchauffage atteinte lors de l'étape de préchauffage, préalablement à l'étape de coulée.
- [0015] - avantageusement, le jeu est positif ou nul.
- [0016] - le jeu est identique entre chaque première portion et la cavité de moulage dans laquelle est introduite la première portion considérée.
- [0017] - la dimension transverse est un diamètre et le diamètre $d_{\text{épr_Tmax}}$ des premières portions, près parachèvement, et à la température de préchauffage est donné par la relation :

$$d_{\text{épr_Tmax}} = d_{\text{carap_Tmax}} - \text{Jeu}, \text{ Où } d_{\text{carap_Tmax}} \text{ est le diamètre de chaque cavité de moulage à la température de préchauffage après dilatation thermique et Jeu est un jeu positif non nul entre la surface interne de la cavité de moulage et la surface latérale de chaque première portion,}$$

et en ce que le diamètre $d_{\text{carap_Tmax}}$ de chaque cavité de moulage à la température de préchauffage est calculé par la relation:

$$d_{\text{carap_Tmax}} = d_{\text{Carapace_Tamb}} + \alpha_{\text{Carapace_Tmax}} \cdot \Delta T,$$

Où $d_{\text{Carapace_Tamb}}$ est le diamètre de chaque cavité de moulage du moule carapace mesuré à température ambiante T_{amb} , $\alpha_{\text{Carapace_Tmax}}$ étant le coefficient de dilatation thermique du moule carapace à la température de préchauffage T_{max} et ΔT étant la variation de température ($T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}$).
- [0018] - l'étape de mesure est réalisée à partir d'un organe de mesure présentant au moins un segment de forme sensiblement correspondante à celle d'une cavité de moulage.
- [0019] - chaque première portion est réalisée par fabrication additive ou par la technique de moulage à cire perdue.
- [0020] - le procédé comprend une étape de traitement thermique de mise en solution des premières portions réalisées dans l'étape de réalisation, le traitement thermique étant réalisé dans un four.
- [0021] - le procédé comprend une étape de solidification dirigée du deuxième matériau mé-

tallique en partie inférieure de la cavité de moulage où sont installés les premières portions formées dans le premier matériau métallique, qui servent de germe à la solidification dirigée.

- [0022] - chaque première portion est réalisée par une coulée du premier matériau métallique qui est distincte de la coulée du deuxième matériau métallique.
- [0023] - le procédé comprend un traitement thermique des deuxièmes portions de l'éprouvette dans un four.
- [0024] - le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique sont des alliages à base de nickel.
- [0025] - le premier matériau métallique est un germe monocristallin.
- [0026] - le premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique présente(nt) une structure monocristalline.
- [0027] - le premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique présente(nt) une structure polycrocrystalline.
- [0028] - chaque deuxième portion est réalisée par la technique de moulage à cire perdue.
- [0029] - le procédé comprend une étape de fabrication d'un moule carapace comprenant les cavités de moulage ayant une longueur sensiblement identique à la longueur prédéterminée des éprouvettes.
- [0030] - le procédé comprend une étape de fixation des premières portions dans les cavités de moulage.
- [0031] - le procédé comprend une étape de détermination du volume et de la masse du deuxième matériau métallique préalable à l'étape de coulée.
- [0032] - le volume du deuxième matériau métallique à verser est égal au volume totale du moule carapace moins le volume des premières portions à l'état solide.
- [0033] - l'organe de mesure présente un axe de révolution et des dimensions différentes le long de l'axe de révolution.
- [0034] - le jeu a une valeur comprise entre 50 μm et 200 μm .
- [0035] - la température de préchauffage est comprise entre 1450°C et 1600°C.

Brève description des figures

- [0036] L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lecture de la description explicative détaillée qui va suivre, de modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples purement illustratifs et non limitatifs, en référence aux dessins schématiques annexés dans lesquels :
- [0037] La [Fig.1] est une vue schématique d'un exemple d'éprouvette selon l'invention ;
- [0038] La [Fig.2] est un organigramme représentant les différentes étapes d'un procédé de fabrication de plusieurs éprouvettes de caractérisation selon l'invention ;

- [0039] La [Fig.3] est une vue en perspective d'un exemple de moule carapace selon l'invention ;
- [0040] La [Fig.4] est une vue de dessous du moule carapace de la [Fig.3] ;
- [0041] La [Fig.5] est une vue schématique et en coupe longitudinale d'un exemple d'organe de mesure destiné à mesurer au moins un paramètre des cavités de moulage d'un moule carapace selon l'invention ;
- [0042] La [Fig.6] illustre de manière schématique et en coupe partielle longitudinale un dispositif de chauffage dans lequel est disposé un moule carapace selon l'invention ; et
- [0043] La [Fig.7] représente de manière schématique plusieurs éprouvettes fabriquées à partir d'un procédé de fabrication d'éprouvettes de caractérisation selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0044] La [Fig.1] représente une éprouvette 1 destinée à caractériser une pièce de turbomachine bi-matériau. Une éprouvette 1 de caractérisation est utilisée de manière connue pour reproduire les caractéristiques du matériau de la pièce et est soumise à différents essais thermomécaniques afin de vérifier son comportement, qui permettront ainsi fabriquer des pièces robustes de manière à prévoir la durée de vie attendue.
- [0045] La pièce bi-matériau peut être une pièce de rotor de turbomachine soumise à de fortes contraintes thermomécaniques et/ou environnementales. La pièce de rotor peut par exemple être une aube de turbine. Bien entendu, la pièce bi-matériau peut encore être utilisée dans d'autres domaines où les contraintes thermomécaniques que celle-ci subit sont importantes. La pièce bi-matériaux permet, d'une part d'obtenir un gain de masse et d'autre part d'obtenir des propriétés matériau différentes pour les deux parties constituant la pièce finale. En particulier, la pièce bi-matériau permet d'améliorer les performances de celle-ci grâce à des matériaux ayant des caractéristiques physico-chimiques et thermomécaniques renforcées.
- [0046] L'éprouvette 1 de caractérisation telle que représentée sur la [Fig.1] s'étend suivant un axe d'allongement A. L'éprouvette 1 présente une longueur prédéterminée L1. L'éprouvette 1 comprend une première portion 2 réalisée dans un premier matériau métallique et une deuxième portion 3 réalisée dans un deuxième matériau métallique. Une zone de jonction 4 est située entre la première portion 2 et la deuxième portion 3. Sur la [Fig.1], la première portion 2 présente une longueur L10 différente de celle de la deuxième portion 3. La longueur L10 peut être inférieure, égale ou supérieure à celle de la deuxième portion 3.
- [0047] Le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique sont différents. Plus précisément, le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique ont des compositions physico-chimiques différentes et/ou des densités différentes. Les première et deuxième portions 2, 3 peuvent présenter éventuellement des formes et/ou

structures cristallographiques différentes. Le choix des alliages dépend de l'application visée, du gain de masse recherché et des performances thermomécaniques souhaitées pour l'éprouvette et/ou la pièce finale.

[0048] De manière avantageuse, le premier matériau métallique peut comprendre un métal pur ou un alliage. Dans le cas d'un alliage, le premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique est/sont un alliage (ou superalliage) à base de nickel.

[0049] Dans le but d'améliorer la tenue des pièces face aux contraintes mécaniques et thermiques, le premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique présente(nt) une structure cristalline spécifique. Concernant la structure cristalline, le deuxième matériau métallique peut être équiaxe, colonnaire ou monocristalline. Avantageusement, la structure du premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique est/sont monocristalline. De manière alternative, le premier matériau métallique et/ou le deuxième alliage présente(nt) une structure polycroscristalline. Dans le cas d'une structure monocristalline, les superalliages ont une concentration de tantale, titane, d'aluminium, chrome, et/ou cobalt faible (inférieur par exemple à 10% de la masse totale de l'alliage).

[0050] Avantageusement, le premier matériau métallique et/ou le deuxième matériau métallique sont choisis dans le groupe comprenant CMSX4®, CMSX4® (SLS), AM1, AM3, René N6, René N5, TMS 75, Inconel® 100, et Inconel® 718.

[0051] De manière avantageuse, le premier matériau métallique est un CMSX4® (SLS), et le deuxième matériau métallique est un AM1. Le CMSX4® est un alliage très résistant au fluage spécifique à haute température et a une densité de l'ordre de 8,70 à température ambiante (comprise entre 20° et 25°). Le CMSX4® (SLS) présente une résistance au fluage à haute température encore améliorée ainsi qu'également une résistance à l'oxydation et à la corrosion à haute température. L'alliage AM1 présente une densité de l'ordre de 8,60 à température ambiante (comprise entre 20° et 25). Le CMSX4® comme le CMSX4®(SLS) est plus dense que l'AM1.

[0052] La [Fig.2] illustre les différentes étapes d'un procédé de fabrication 100 de plusieurs éprouvettes de caractérisation telles que susmentionnées. De manière avantageuse, les étapes de procédé permettent de fabriquer également une pièce de turbomachine présentant une première portion dans un premier matériau métallique et une deuxième portion dans un deuxième matériau métallique.

[0053] Le procédé 100 selon l'invention comprend la réalisation 101 de plusieurs premières portions 2 de l'éprouvette de longueurs différentes. Le premier matériau métallique, plus dense, est fabriqué en premier.

[0054] De manière avantageuse, mais non limitativement, les premières portions 2 sont réalisées par la technique de moulage à cire perdue. En particulier, l'étape de réalisation 101 comprend les sous-étapes successives de :

- fabrication 102 d'au moins un premier modèle en cire ou dans un autre matériau équivalent. Dans le présent exemple, le premier modèle est en cire.
- fabrication 103 d'une grappe avec plusieurs premiers modèles. De manière avantageuse, les premiers modèles présentent des longueurs identiques. De manière alternative, les longueurs des premiers modèles sont différentes.
- fabrication 104 d'un premier moule carapace en matériau réfractaire. De manière connue, le premier moule carapace est obtenu par dépôts successifs de plusieurs couches de barbotine et chaque dépôt est suivi d'un trempage, égouttage, sablage, et séchage. La barbotine peut être différente à chaque opération de dépôt de couche. De manière avantageuse, mais non limitativement, le matériau réfractaire comprend une céramique.
- suppression 105 des premiers modèles en cire dans la grappe (connue sous l'expression décirage).
- cuisson 106 du premier moule carapace (connue sous l'expression de frittage).
- coulée 107 du premier matériau métallique en fusion.
- solidification 108 du premier alliage.
- décochage 109 du premier moule carapace afin de révéler les différentes premières portions d'éprouvette. Le premier moule carapace est détruit.

[0055] L'étape de réalisation 101 peut éventuellement comprendre une étape de séchage finale avant l'étape de suppression 105 des modèles en cire. L'étape de réalisation 101 peut éventuellement comprendre une étape de refroidissement après la solidification. L'étape de réalisation 101 peut éventuellement comprendre une étape de découpage des premières portions 2 après le décochage.

[0056] De manière alternative, les premières portions 2 sont chacune réalisées par fabrication additive.

[0057] Suivant une autre alternative, le premier moule carapace est réalisé par fabrication additive.

[0058] De manière avantageuse, le procédé de fabrication comprend une étape de traitement thermique 110 des premières portions 2. Ce traitement thermique est en particulier un traitement thermique de mise en solution de chaque première portion 2. Une température de l'ordre de 1250°C à 1350°C. est appliquée aux premières portions 2 pendant une période de temps prédéterminée. De manière avantageuse, ce traitement thermique a lieu après une étape de décochage (soit à l'extérieur du premier moule carapace) ou après la fabrication des premières portions par fabrication additive.

[0059] Une mise en solution est un traitement thermique consistant à porter un alliage métallique à une température prédéterminée et pendant une durée prédéterminée permettant de d'obtenir des phases à l'état de solutions solides homogènes à l'échelle macroscopique. La mise en solution se fait à température d'autant plus élevée que des

éléments d'additions ont un caractère réfractaire. Les éléments d'additions sont par exemple, le tungstène, le tantale, le molybdène, le rhénium, etc. Le traitement thermique 110 est réalisé dans un four dédié. De manière avantageuse, mais non limitativement, le four est de type sous vide.

- [0060] Le procédé comprend une étape de réalisation 120 de plusieurs deuxièmes portions 3 dans le deuxième matériau métallique qui seront assemblées avec (en pratique coulées sur) les premières portions 2 installées dans une cavité de moulage 7 pour former respectivement une éprouvette avec des zones de jonction différentes.
- [0061] La zone de jonction 4 est une zone de rencontre entre le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique. La zone de jonction 4 pourrait présenter des caractéristiques mécaniques et thermiques différentes selon son épaisseur (i.e. : selon sa hauteur). Le but de l'invention est de pouvoir ainsi réaliser des essais sur les zones de jonction 4 entre les matériaux des premières et deuxièmes portions 2, 3 et pour différentes zones de jonction 4 qui sont plus ou moins épaisses de sorte à pouvoir identifier la meilleure configuration au vu des propriétés souhaitées pour la pièce bi-matériau.
- [0062] Suivant une caractéristique avantageuse, les deuxièmes portions 3 sont réalisées par la technique de moulage à cire perdue. A cet effet, l'étape de réalisation 120 comprend une sous-étape de fabrication 121 d'un deuxième modèle (en cire ou dans un matériau équivalent) et une sous-étape de fabrication 122 d'un deuxième moule carapace 6 en forme de grappe avec plusieurs deuxièmes modèles. De manière avantageuse, les deuxièmes modèles sont façonnés aux dimensions souhaitées pour chaque deuxième portion 3 de l'éprouvette.
- [0063] Le deuxième moule carapace 6 est en matériau réfractaire (par exemple en céramique). Comme pour le premier moule carapace, le deuxième moule carapace 6 est obtenu par dépôts successifs de plusieurs couches de barbotine et chaque dépôt est suivi d'un trempage, égouttage, sablage, et séchage. La barbotine peut être différente à chaque opération de dépôt de couches.
- [0064] Ces étapes sont suivies de manière avantageuse, de la suppression des deuxièmes modèles en cire dans le deuxième moule et de la cuisson du deuxième moule carapace.
- [0065] Un exemple de deuxième moule carapace 6 est illustré sur les figures 2 et 3. Le deuxième moule carapace 6 comprend plusieurs cavités de moulage 7 (dont une est représentée en pointillé sur la [Fig.3]). De manière avantageuse, les cavités de moulage 7 sont disposées régulièrement autour d'un axe central B. L'axe central B est vertical dans le plan de la [Fig.3] dans cet exemple. Les cavités de moulage 7 ont avantageusement la forme de l'éprouvette à fabriquer.
- [0066] De même, la géométrie des éprouvettes 1 ou du moins leurs portions 2, 3 définissent la forme du moule carapace. Dans le présent exemple, chaque éprouvette 1 présente

une forme cylindrique à section circulaire. De la sorte, chaque première portion 2 et chaque deuxième portion 3 sont respectivement cylindriques à section circulaire. Chaque cavité de moulage 7 dans ce présent exemple est cylindrique d'axe parallèle à l'axe central B.

- [0067] De manière alternative, les éprouvettes 1 présentent une section rectangulaire au lieu de circulaire. De manière générale, la forme des éprouvettes doit être simple de manière à réaliser aisément les moules carapaces. En particulier, la géométrie des éprouvettes doit permettre de faire toutes les caractérisations physico-chimiques et mécaniques envisagées. De plus, elle doit faciliter l'intégration, par insertion dans des orifices (tels que les orifices 8 décrits ci-après dans la description) des éprouvettes 1 dans un moule pour faire la deuxième coulée. Nous comprenons de la sorte que la section transversale de l'éprouvette est de préférence constante (ou identique) suivant toute sa longueur.
- [0068] Sur les figures 3 et 4, chaque cavité de moulage 7 débouche d'une part, par un orifice 8 défini dans une surface externe 9 du deuxième moule carapace 6 et d'autre part, dans un godet d'alimentation 10 (via une couronne 13 et un fut central 12). Chaque orifice 8 permettra l'insertion ultérieure d'une première portion 2 d'éprouvette. Dans le cadre de cet exemple, chaque cavité de moulage 7 débouche dans un canal annulaire 11 (représenté en pointillé sur la [Fig.3]) dans lequel débouche le godet d'alimentation 10.
- [0069] Le deuxième moule carapace 6 est formé autour d'un fut central 12 d'axe central B dans lequel débouche le godet d'alimentation 10. Ce dernier est centré sur l'axe central B. Le deuxième moule carapace 6 comprend un anneau ou couronne 13 centrée sur l'axe central B, une base 14 et des parois tubulaires 15 s'étendant entre la couronne 13 et la base 14. La couronne 13 entoure le fut central 12. Les cavités de moulage 7 sont délimitées chacune par une paroi tubulaire 15 dont l'axe est parallèle à l'axe B et qui est formée de matériau céramique (portions de la carapace). La couronne 13 délimite les parois du canal annulaire 11 et est également creuse. Les cavités de moulage 7 et le canal annulaire 11 sont en effet obtenus après les étapes suppression des deuxièmes modèles et cuisson du deuxième moule carapace 6 où le matériau du deuxième modèle a été éliminé. La base 14 du deuxième moule carapace 6 comprend la surface externe 9 laquelle définit un disque dans le présent exemple. Bien entendu, cette surface externe 9 peut définir une forme rectangulaire ou tout autre permettant une insertion des premières portions et la fabrication de plusieurs portions d'éprouvette.
- [0070] La base 14 est ici opposée suivant l'axe central B au godet d'alimentation 10.
- [0071] De manière avantageuse, chaque cavité de moulage 7 présente une longueur L2 identique ou sensiblement identique (+ ou - 5 cm).
- [0072] Le procédé comprend de manière avantageuse une étape de coulée 123 du deuxième matériau métallique formant les deuxièmes portions 3 dans plusieurs cavités de

moulage 7 contenant respectivement une première portion 2 d'éprouvette. Cette étape 123 est une sous étape de l'étape de réalisation 120 des deuxièmes portions 3 d'éprouvette. Ces dernières sont situées vers la base du deuxième moule carapace 6 et en partie inférieure des cavités de moulage 7 (mais au-dessus des premières portions 2). Le deuxième matériau métallique est préalablement fondu dans un creuset à une température spécifique avant d'être versée dans le deuxième moule carapace 6 avec une loi de versement prédéterminée. Le deuxième moule carapace 6 est avantageusement disposé dans le four et le deuxième matériau métallique est versé depuis la première ouverture 36 de l'enceinte 33.

- [0073] Le procédé de fabrication comprend une étape de mesure 130 d'au moins une dimension de chaque cavité de moulage 7. De manière avantageuse, mais non limitativement, la dimension est une dimension transverse interne de chaque cavité de moulage. Dans le cadre de cet exemple de réalisation, la dimension transverse interne est le diamètre de la cavité de moulage qui présente une section circulaire. Cette étape de mesure 130 est réalisée préalablement à l'étape de coulée 123. En effet, les dimensions des premières portions 2 d'éprouvette destinées à être insérées dans les cavités de moulage 7 du deuxième moule carapace 6 peuvent présenter des écarts avec les dimensions souhaitées au préalable. De même, les cavités de moulage 7 du deuxième moule carapace 6 peuvent présenter des dimensions ne correspondant pas à celles souhaitées et notamment les diamètres des orifices 8 peuvent être légèrement différents d'une valeur nominale souhaitée, et différents les uns des autres. Avantageusement, la mesure porte sur chaque orifice 8. Ces écarts ou variabilités sont dus aux tolérances géométriques des premiers modèles en cire, des deuxièmes modèles en cire, et/ou des différentes étapes du procédé de fabrication. Ces écarts ou variabilités sont compris par exemple entre 50 μm et 200 μm .
- [0074] L'étape de mesure 130 va permettre d'ajuster la dimension des premières portions 2 qui vont se dilater pendant le traitement thermique (notamment pendant l'étape de préchauffage et avant la coulée 123 du deuxième matériau métallique). En particulier, sans précaution particulière, les premières portions 2 pourraient venir en contact avec la surface interne des cavités de moulage 7 lors de la dilatation et exercer des contraintes sur celle-ci pouvant générer des fractures ou ruptures du deuxième moule carapace 6 avant la coulée du deuxième matériau métallique.
- [0075] Cette étape de mesure 130 est de manière avantageuse, mais non limitativement, réalisée à partir d'un organe de mesure 20 adéquat (ou pige). L'organe de mesure 20 est inséré jusqu'à ce que celui-ci soit en contact avec la surface interne de la cavité de moulage 7 (soit avec la carapace). Une fois en contact avec la carapace, le diamètre correspondant est noté pour chaque numéro d'orifice 8.
- [0076] La [Fig.5] illustre un exemple d'organe de mesure 20 permettant de mettre en œuvre

le procédé de fabrication, notamment l'étape de mesure 130. L'organe de mesure 20 présente au moins une portion de forme semblable ou correspondante à celle d'une cavité de moulage 7. De manière avantageuse, l'organe de mesure 20 présente un axe de révolution C et des dimensions différentes suivant l'axe de révolution C. Dans cet exemple de réalisation, l'organe de mesure 20 présente une forme cylindrique d'axe de révolution C et présente plusieurs diamètres étagés le long de l'axe de révolution C. L'organe de mesure 20 s'étend entre une première extrémité 21 et une deuxième extrémité 22 suivant l'axe de révolution C.

[0077] De manière avantageuse, l'organe de mesure 20 comprend plusieurs segments 20a, 20b, 20n ayant chacun un diamètre d différent et qui varie en croissant de la première extrémité 21 à la deuxième extrémité 22 ou inversement. De même, l'organe de mesure 20 comprend une longueur L3 sensiblement égale à celle d'une cavité de moulage 7. De préférence, mais non limitativement, la longueur L3 est supérieure à la longueur L2 des cavités de moulage 7 de manière à permettre une meilleure manipulation de l'organe de mesure 20. Chaque segment 20a, 20b, 20c, 20d, 20n présente sur l'exemple illustré une longueur L4 identique.

[0078] Suivant un exemple de réalisation de la [Fig.5], la longueur L3 est de l'ordre de 300 mm et l'organe de mesure 20 présente dix diamètres distincts d1, d2, d3, d10, ..., dn suivant l'axe de révolution C. Le diamètre d1 du segment 20a est de 12,2 mm, le diamètre d2 du segment 20b est de 12,4 mm, le diamètre d3 du segment d3 est de 12,6 mm et le diamètre dn du segment 20n est de 14 mm. Chaque segment présente une longueur L4 de 30 mm environ.

[0079] Le procédé de réalisation comprend une étape de parachèvement 140 d'au moins une première portion 2 d'éprouvette. Cette étape 140 permet que les dimensions des premières portions correspondent aux dimensions d'au moins une cavité de moulage 7. Dans le présent exemple, le parachèvement comprend un usinage d'au moins une première portion 2. Les dimensions à usiner sur la première portion 2 sont au moins une dimension transverse telle qu'ici le diamètre (pour l'adapter au diamètre effectif de l'orifice 8 correspondant). De la sorte, cela permet d'avoir un même jeu entre chaque surface interne d'une cavité de moulage 7 (destinée à recevoir une première portion 2) et une paroi latérale d'une première portion 2 à la température de préchauffage atteinte lors de l'étape de préchauffage. Cette étape de parachèvement 140 est réalisée préalablement à l'étape de coulée 123. Le jeu qui subsiste est positif ou nul.

[0080] De manière avantageuse, l'étape de parachèvement 140 comprend également l'usinage des premières portions 2 suivant différentes longueurs L10 (si les premières portions 2 n'ont pas déjà des longueurs différentes), pour obtenir des premières portions de longueurs différentes. Les portions de différentes longueurs permettent de réaliser ultérieurement des zones de jonction 4 plus ou moins épaisses. En particulier,

la longueur L10 des premières portions 2 varie et augmente d'un pas compris entre 5 et 10 mm par exemple.

[0081] Ainsi à titre d'exemple et en référence à la [Fig.7], la longueur L10 varie de 60 à 95 mm par pas de 5mm. Une première portion 2 présente une longueur L10a de 60 mm, une première portion 2 présente une longueur L10b de 65mm, une première portion 2 présente une longueur L10c de 70mm, une première portion 2 présente une longueur L10d de 75mm et une première portion 2 présente une longueur L10e de 80mm.

[0082] De manière avantageuse, le jeu « Jeu » entre chaque surface interne d'une cavité de moulage 7 et la paroi latérale d'une première portion 2 a une valeur comprise entre 50 μm et 200 μm , par exemple égale à 100 μm , pour la température maximale atteinte lors de l'étape de préchauffage. Cette température correspond à la température finale maximale de préchauffage avant de l'étape de coulée 123. Elle est appelée température de préchauffage Tmax dans la suite, et vaut par exemple 1530°C. La température de liquidus du premier matériau métallique est ici de l'ordre de 1360°C et la dilatation thermique du premier matériau métallique est calculée à sa température de solidus, ici de 1290°C. Le diamètre recherché des premières portions 2 à la température de préchauffage, $d_{\text{épr_Tmax}}$, est donné par la relation (1) :

$$d_{\text{épr_Tmax}} = d_{\text{carap_Tmax}} - \text{Jeu} \quad (1).$$

[0083] Où $d_{\text{carap_Tmax}}$ est le diamètre de chaque cavité de moulage après dilatation thermique (i.e. : à la température de préchauffage) et « Jeu » est le jeu positif non nul souhaité entre la surface interne de la cavité de moulage (carapace) et la surface latérale de chaque première portion formée du premier matériau métallique.

[0084] Le diamètre de chaque cavité de moulage 7 à la température de préchauffage, $d_{\text{carap_Tmax}}$, est calculé par la relation (2) suivante :

$$d_{\text{carap_Tmax}} = d_{\text{Carapace_Tamb}} + \alpha_{\text{Carapace_Tmax}} \cdot \Delta T \quad (2).$$

[0085] Où $d_{\text{Carapace_Tamb}}$ est le diamètre de chaque cavité de moulage 7 (mesuré sur le deuxième moule carapace 6 grâce à l'organe de mesure 20) du deuxième moule carapace 6 à température ambiante, $\alpha_{\text{Carapace_Tmax}}$ est le coefficient de dilatation thermique du deuxième moule carapace 6 à la température de préchauffage (1530°C) et ΔT la variation de température ($T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}$).

[0086] Connaissant le diamètre de chaque cavité de moulage à la température de préchauffage Tmax avec la relation (2), il est possible de calculer à partir de la relation (1), le diamètre de chaque éprouvette recherché à Tmax. Une fois cette valeur connue pour chaque cavité de moulage 7, la relation (3) ci-après permet de calculer le diamètre qu'il faut à température ambiante, $d_{\text{épr_Tamb}}$, pour chaque première portion (c'est à cette valeur qu'est ajusté le diamètre de la première portion considérée, lors de l'étape de parachèvement 140) :

$$d_{\text{épr_Tamb}} = d_{\text{épr_Tmax}} - \alpha_{\text{alliage1_Tsolidus}} \cdot \Delta T \quad (3).$$

- [0087] Où $\alpha_{\text{alliage1_Tsolidus}}$ est le coefficient de dilatation thermique du premier matériau métallique 1 à la température du solidus (1290°C) et ΔT la variation de température (Tsolidus – Tamb).
- [0088] Ces différents calculs permettent de bien dimensionner le diamètre des éprouvettes en prenant en compte la dilatation thermique et d'éviter un contact entre chaque première portion 2 et la surface interne des cavités de moulage 7 lors d'une étape de préchauffage décrite ultérieurement. Ces différents calculs peuvent également éviter, s'il y a contact, que la première portion 2 en se dilatant, ne contraigne le deuxième moule carapace 6.
- [0089] Le procédé de fabrication comprend une étape de mise en place 150 de chaque première portion 2 dans une cavité de moulage 7. Cette étape a lieu après les étapes de mesure 130 et de parachèvement. Les premières portions 2 sont insérées dans le deuxième moule 6 carapace via les orifices 8. A cet effet, le deuxième moule carapace 6 est basculé de sorte que la surface externe 9 et les orifices 8 soient accessibles. La géométrie et configuration du deuxième moule 6 permet d'insérer et de positionner facilement les premières portions dans un premier matériau métallique.
- [0090] Le procédé de fabrication comprend de manière avantageuse, mais non limitativement, une étape de fixation 160 des premières portions 2 dans chaque cavité de moulage 7. Dans l'exemple de réalisation, la fixation est réalisée au moyen d'une colle. La fixation des premières portions 2 permet de garantir un bon maintien de celles-ci dans leurs cavités de moulage 7 respectives lors de la manipulation du deuxième moule 6 carapace jusqu'à sa mise en place dans un dispositif de chauffage 30 ultérieur. D'autre part, la fixation permet de centrer chaque première portion 2 dans la cavité de moulage 7 correspondante. Avantageusement, les moyens de fixation (une colle) sont disposés sur les premières portions 2 avant leur insertion ou mise en place dans chaque cavité de moulage 7. Avantageusement, l'étape de fixation 160 a lieu préalablement à l'étape de coulée 123.
- [0091] Le procédé comprend une étape de préchauffage 170 du deuxième moule carapace 6 comprenant les premières portions 2 agencées dans chaque cavité de moulage 7. L'étape de préchauffage 170 est destinée à fondre une partie des premières portions 2 d'éprouvettes. Cette étape de préchauffage 170 est réalisée préalablement à l'étape de coulée 123. L'étape de préchauffage 170 permet d'éviter un choc thermique du deuxième moule 6 (qui peut casser le deuxième moule) lors d'un versement d'un alliage en fusion. Le deuxième moule 6 est généralement préchauffé jusqu'à une température proche de celle de l'alliage qui sera versé. Dans le cadre de cet exemple de réalisation, cette étape de préchauffage 170 est également utilisée pour faire fondre une partie des germes (premier matériau métallique).

- [0092] Pour cela, le deuxième moule carapace 6 est agencé par rapport à une position de référence P et de manière avantageuse dans le dispositif de chauffage 30. Le dispositif de chauffage 30 est ici un four avec un gradient thermique selon l'axe des premières portions de longueurs différentes. De manière avantageuse, mais non limitativement, le four est de type Bridgman.
- [0093] Dans la position de référence P, les premières portions 2 d'éprouvette sont positionnées suivant une hauteur spécifique par rapport aux zones froides 31 et zones chaudes 32 du four. La position de référence P est dans le présent exemple, la séparation entre les zones chaudes et froides 31, 32 par rapport à l'axe du four.
- [0094] De manière avantageuse, le deuxième moule carapace 6 est disposé sur un socle connu sous le terme de « sole » et qui sera utilisé dans la suite de la description. De manière avantageuse, la sole est mobile. La sole est également avantageusement froide (environ 20°C). La sole 40 permet de positionner facilement le deuxième moule carapace 6 par rapport à la position de référence P. Les orifices 8 sont de la sorte orientés vers la sole 40 (soit tournés vers le bas). De cette manière, les premières portions 2 sont situées en partie inférieure du deuxième moule carapace 6 en référence à l'axe vertical de la [Fig.6] (ou axe d'allongement A de l'éprouvette). Avantageusement, les premières portions 2 sont même en contact (via leurs extrémités inférieures) avec la sole 40 dans cet exemple de réalisation.
- [0095] En fonction de la longueur L10 (i.e. : hauteur) de chaque première portion 2, certaines premières portions 2 comprennent une partie qui est située d'une part, au-dessus de la position de référence P et dans la zone chaude et une partie qui est située d'autre part en-dessous de la position de référence P et dans la zone froide. La partie des premières portions 2 au-dessus de la position de référence P permettra de définir la zone de jonction 4 avec le deuxième matériau métallique qui sera coulé avec refusion. Au moins une première portion est entièrement située en-dessous de la position de référence P.
- [0096] Lors de la phase de préchauffage 170 du deuxième moule carapace 6, les parties des premières portions 2 du premier matériau métallique qui seront en face (au niveau) des zones chaudes du four seront essentiellement fondues (vont devenir liquides) lorsque la température sera supérieure à la température de fusion du premier matériau métallique. Une certaine hauteur/longueur d'au moins une première portion est fondue de manière à définir une zone de refusion Z (puisque le premier matériau métallique a déjà été fondu). En d'autres termes, en-dessous de la position de référence P, la température des zones froides est inférieure à la température de fusion du premier matériau métallique. La partie dans la zone froide reste essentiellement solide (en tout cas avant que le deuxième matériau métallique, liquide, ne soit versé). Au-dessus de la position de référence P, la température des zones chaudes est supérieure à la température de fusion

du premier alliage. Ainsi, lors de la coulée du deuxième matériau métallique, il y aura une interaction entre cette zone de refusion et de deuxième matériau métallique.

- [0097] La zone de refusion Z correspondra à la zone de jonction 4 de l'éprouvette finale obtenue.
- [0098] La [Fig.6] illustre partiellement et suivant une vue en coupe longitudinale un exemple de four avec un gradient thermique. Le four est avantageusement, mais non limitativement un four de Bridgman. Ce dernier comprend une enceinte 33 qui est destinée à recevoir le deuxième moule carapace 6. L'enceinte 33 comprend un fond 34 depuis lequel s'élève une paroi latérale 35 suivant un axe de révolution D. L'enceinte 33 comprend une première ouverture 36 débouchant à l'intérieur de celle-ci. La première ouverture 36 est opposée au fond 34 de l'enceinte. L'enceinte 34 peut comprendre en outre une deuxième ouverture 37 permettant le passage de la sole 40 suivant l'axe de révolution D. L'enceinte 33 comprend une zone froide 31 et une zone chaude 32 qui s'étendent suivant l'axe de révolution D. De manière avantageuse, la zone froide 31 est située en partie inférieure de celle-ci et la zone chaude 32 est située en partie supérieure de celle-ci suivant l'axe de révolution D.
- [0099] L'étape de coulée 123 a lieu après l'étape de préchauffage 170.
- [0100] Préalablement à l'étape de coulée 123, le procédé comprend une étape de détermination 180 du volume et de la masse du deuxième matériau métallique. Le volume nécessaire du deuxième matériau métallique nécessaire pour le remplissage de chaque cavité de moulage 7 est calculée à partir du volume du deuxième moule carapace 6 et du volume des premières portions après dilatation. La formule pour déterminer le volume à verser est la suivante :
- [0101] $\text{Volume du deuxième matériau métallique} = \text{volume totale du deuxième moule carapace} - \text{le volume des premières portions à l'état solide.}$
- [0102] De même, la masse du deuxième matériau métallique est déterminée à partir de la masse de la masse volumique du deuxième matériau métallique.
- [0103] Le procédé comprend une étape de solidification dirigée 200 du deuxième matériau métallique. En particulier, la solidification dirigée permet de maîtriser la germination et la croissance des cristaux solides dans le métal en fusion du deuxième matériau métallique. Plus précisément encore, lors de l'étape de solidification dirigée, le deuxième matériau métallique peut adopter (de manière imposée) la structure du premier matériau métallique, ici la structure monocristalline, ou de façon alternative prendre une structure colonnaire ou équiaxe selon les paramètres de solidification et la composition du deuxième matériau métallique. De la sorte, le premier matériau métallique est un germe monocristallin. Cette étape est réalisée dans le deuxième moule carapace 6 et dans le four avec les premières portions installées en partie inférieure du deuxième moule carapace 6.

- [0104] La [Fig.7] illustre plusieurs exemples d'éprouvettes avec des zones de refusion et de jonctions différentes. Nous voyons que les éprouvettes ont ici toutes la même longueur/hauteur totale, mais de manière non limitative. Les trois premières éprouvettes 1a, 1b, 1c n'ont pas de zones de refusion Z en tant que telle, car la hauteur des premières portions 2 et la position de la sole 40 sont telle que l'extrémité supérieure de la première portion 2 est située à une hauteur inférieure à la position de référence P. Les éprouvettes 1d, 1e présentent chacune une zone de refusion Z au-dessus de la position de référence P. L'extrémité supérieure (opposée à l'extrémité inférieure de la première portion suivant sa longueur) de ces premières portions des éprouvettes 1d, 1e sont au-dessus de la position de référence. Les deux zones de refusion Z présentent une hauteur différente.
- [0105] Des opérations standards de parachèvement de l'éprouvette sont réalisées pour récupérer les éprouvettes bi-matériaux.
- [0106] Une fois les opérations de parachèvement de l'éprouvette bi-matériaux ont eu lieu, le procédé comprend une étape de traitement thermique 210 de la deuxième portion 3 dans un four. Ce dernier est le même utilisé pour le traitement thermique des premières portions 3, soit un four sous vide.
- [0107] La température de ce traitement thermique est inférieure à la température de traitement thermique appliqué aux premières portions 2. En particulier, la température du traitement thermique 210 est la température de traitement du deuxième matériau métallique qui est plus léger que celui des premières portions 2. La température maximum de ce traitement thermique est inférieure aux températures de fusion et de traitement thermique du premier matériau métallique.
- [0108] Le procédé de fabrication permet en une seule coulée du deuxième matériau métallique sur une première portion 2 d'un premier matériau métallique d'obtenir plusieurs éprouvettes bi-matériaux avec différentes zones de jonction 4. Il sera alors possible d'étudier les caractéristiques mécaniques et physicochimiques de ces différentes zones de jonction 4 afin de déterminer la longueur et la position adéquate des différentes portions. Suivant ce procédé de réalisation, chaque éprouvette bi-matériau avec sa zone de jonction spécifique et longueur de la première portion est réalisée au moins deux fois afin vérifier la répétabilité des essais.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication de plusieurs éprouvettes (1) de caractérisation, chaque éprouvette (1) de caractérisation comprenant une première portion (2) réalisée dans un premier matériau métallique et une deuxième portion (3) réalisée dans un deuxième matériau métallique, le premier matériau métallique et le deuxième matériau métallique ayant des compositions chimiques ou des structures cristallographiques différentes, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- réalisation (101) de plusieurs premières portions (2) de l'éprouvette (1) de longueurs différentes,
 - mise en place (150) de chaque première portion (2) dans une cavité de moulage (7) correspondante d'un moule carapace (6) comprenant plusieurs telles cavités de moulage (7),
 - préchauffage (170) du moule (6) pourvu des premières portions (2), dans un four (30) avec un gradient thermique selon l'axe des premières portions (2) de longueurs différentes,
 - coulée (123) du deuxième matériau métallique (3) dans lesdites cavités de moulage (7) contenant respectivement lesdites premières portions (2) pour former les deuxièmes portions.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que, lors de l'étape de préchauffage (170), le moule carapace (6) est agencé dans le four par rapport à une position de référence (P) et en ce qu'en fonction de la longueur des premières portions, au moins une première portion (2) comprend une partie située au-dessus de la position de référence (P), où la température est supérieure à la température de fusion du premier matériau métallique et une partie située en-dessous de la position de référence (P) où la température est inférieure à la température de fusion du premier matériau métallique.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que, pour au moins une des premières portions (2), une extrémité supérieure de ladite première portion (3) est située en-dessous de la position de référence (P).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de mesure (130) comprenant une mesure d'une dimension transverse interne de chaque cavité de moulage (7) et en ce qu'il comprend une étape de parachèvement (140) d'au moins une

première portion (2) d'éprouvette de manière à ce qu'une dimension transverse de la première portion (2) considérée corresponde à la dimension transverse interne, mesurée sur le moule carapace (6), d'une des cavités de moulage (7) destinée à recevoir ladite première portion (2).

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un jeu subsiste entre une surface interne de la cavité de moulage (7) destinée à recevoir ladite première portion (2), et une paroi latérale de ladite première portion (2), à une température de préchauffage atteinte lors de l'étape de préchauffage (170), préalablement à l'étape de coulée (123).

[Revendication 6] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le jeu est identique entre chaque première portion (2) et la cavité de moulage (7) dans laquelle est introduite la première portion considérée.

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la dimension transverse est un diamètre et en ce que le diamètre $d_{\text{épr_Tmax}}$ des premières portions (2), après parachèvement, et à la température de préchauffage, est donnée par la relation :

$$d_{\text{épr_Tmax}} = d_{\text{carap_Tmax}} - \text{Jeu}, \text{ Où } d_{\text{carap_Tmax}} \text{ est le diamètre de chaque cavité de moulage à la température de préchauffage après dilatation thermique et Jeu est un jeu positif non nul entre la surface interne de la cavité de moulage (7) et la surface latérale de chaque première portion, et en ce que le diamètre } d_{\text{carap_Tmax}} \text{ de chaque cavité de moulage (7) à la température de préchauffage est calculé par la relation:}$$

$$d_{\text{carap_Tmax}} = d_{\text{Carapace_Tamb}} + \alpha_{\text{Carapace_Tmax}} \cdot \Delta T,$$

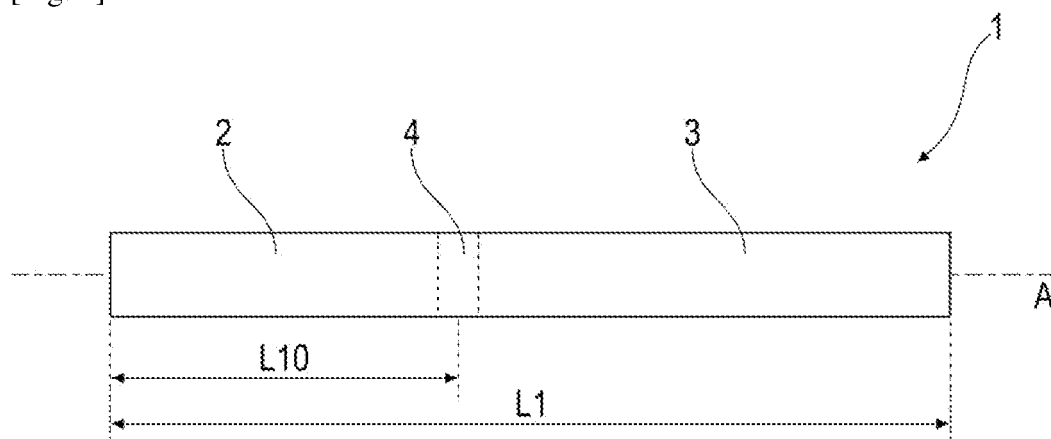
Où $d_{\text{Carapace_Tamb}}$ est le diamètre de chaque cavité de moulage (7) du moule carapace (6) mesuré à température ambiante T_{amb} , $\alpha_{\text{Carapace_Tmax}}$ étant le coefficient de dilatation thermique du moule carapace (6) à la température de préchauffage T_{max} et ΔT étant la variation de température ($T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}$).

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que l'étape de mesure (130) est réalisée à partir d'un organe de mesure (20) présentant au moins un segment de forme sensiblement correspondante à celle d'une cavité de moulage (7).

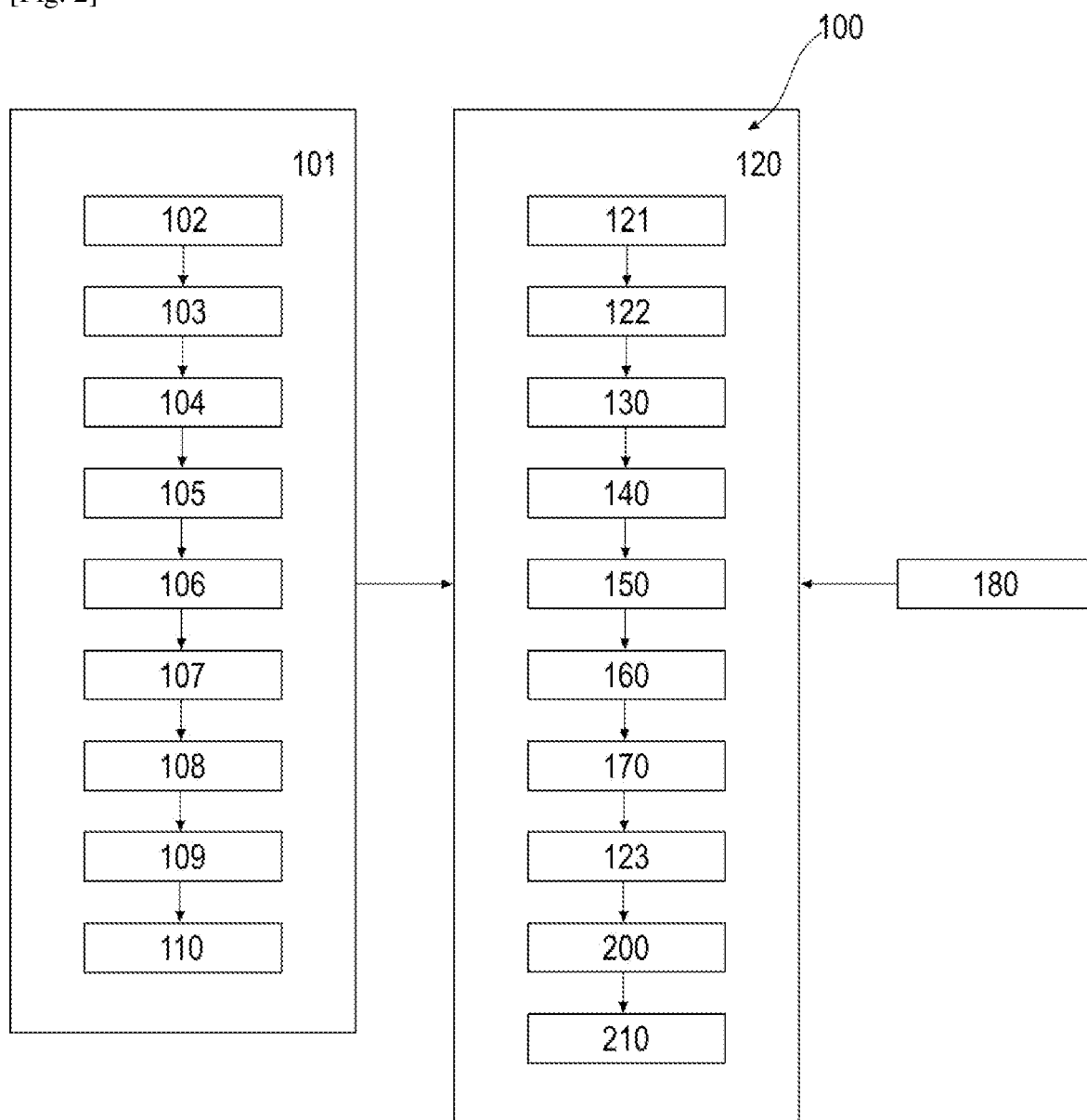
[Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque première portion (2) est réalisée par fabrication additive ou par la technique de moulage à cire perdue.

- [Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de traitement thermique (110) de mise en solution des premières portions (2) réalisées dans l'étape de réalisation (101), le traitement thermique (110) étant réalisé dans un four.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de solidification (200) dirigée du deuxième matériau métallique en partie inférieure de la cavité de moulage (7) où sont installés les premières portions (2) formées dans le premier matériau métallique, qui servent de germe à la solidification dirigée.

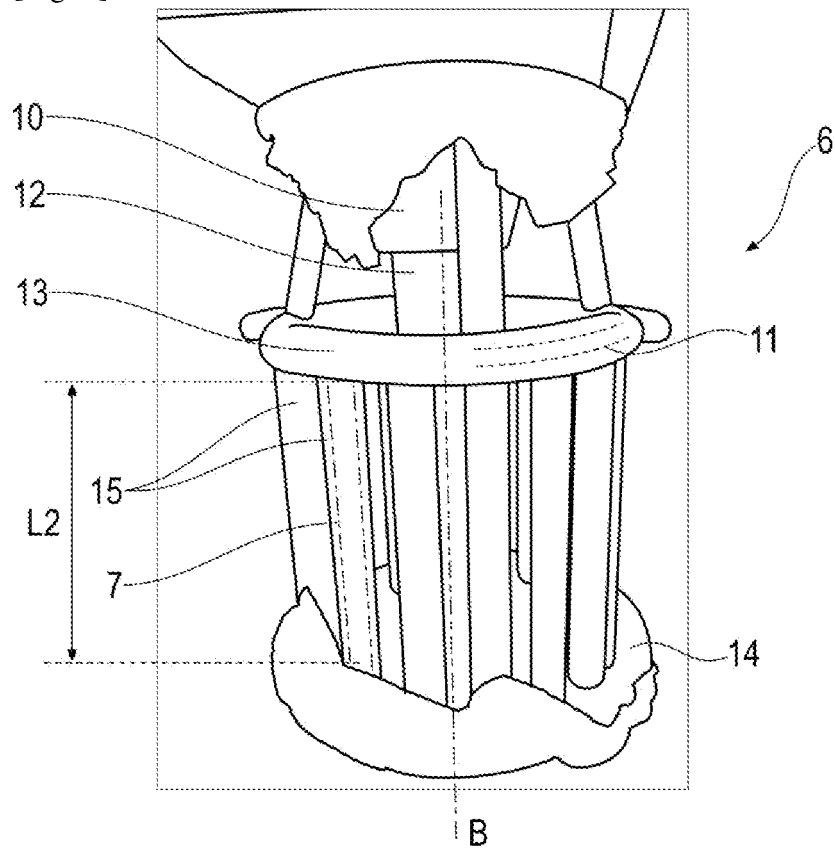
[Fig. 1]



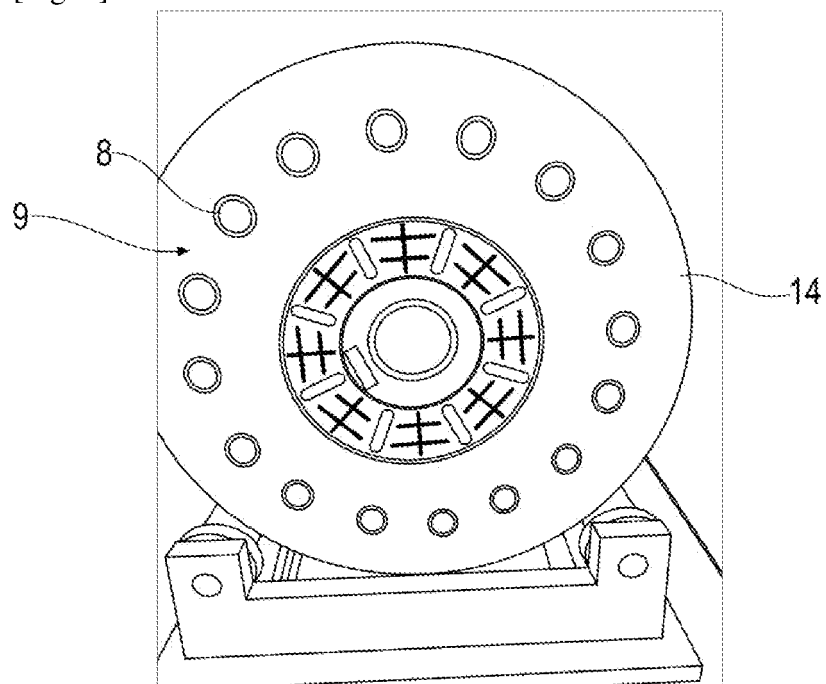
[Fig. 2]



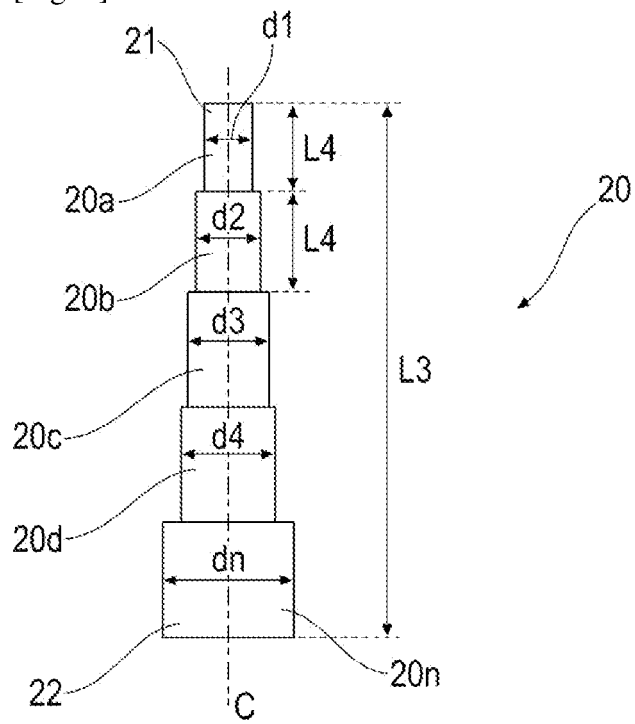
[Fig. 3]



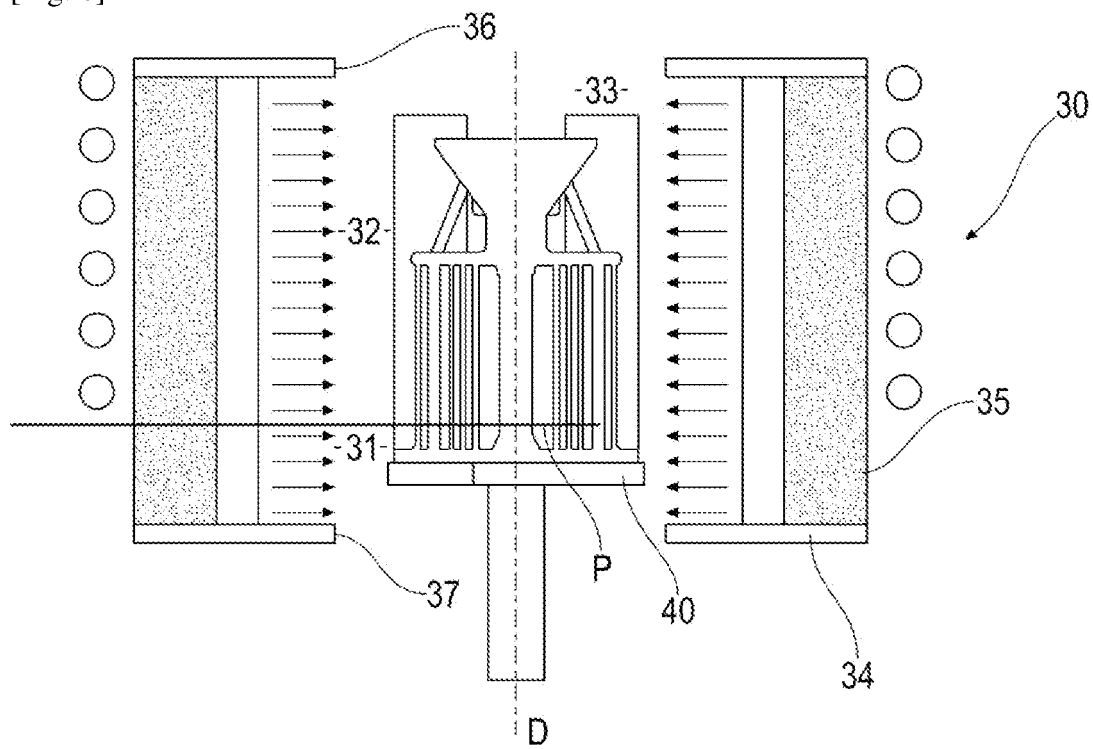
[Fig. 4]



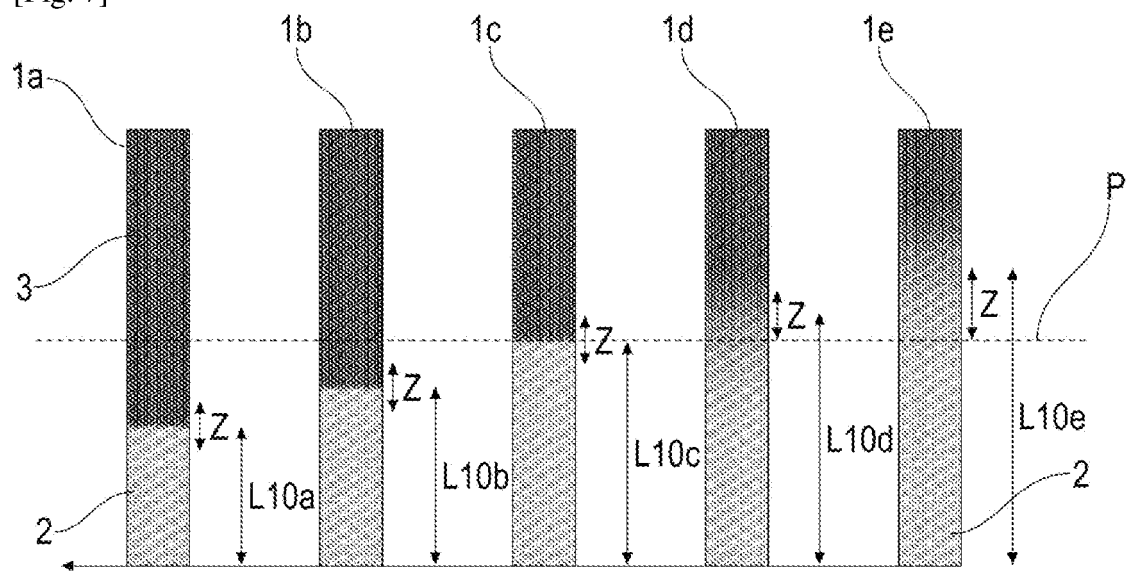
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 912808
FR 2210848

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 2 931 458 B1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 6 février 2019 (2019-02-06)	1-6, 9-11	G01N3/62
Y	* abrégé; figures 4-8, 10-12 * * alinéas [0008], [0067], [0068], [0073], [0099] - [0109] * -----	7, 8	
Y	CN 104 624 965 A (UNIV QILU TECHNOLOGY) 20 mai 2015 (2015-05-20) * abrégé; figures 1-8 * * Specific embodiments; Case study on implementation * -----	7, 8	
A	EP 2 332 674 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]; ALMT CORP [JP]) 15 juin 2011 (2011-06-15) * abrégé; figures 7, 8, 9 * * alinéa [0261] * -----	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B32B G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
17 avril 2023		Zarowna-Dabrowska, A	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2210848 FA 912808**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **17-04-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2931458	B1	06-02-2019	EP 2931458 A2	21-10-2015
			EP 3479925 A2	08-05-2019
			SG 10201610144X A	27-01-2017
			SG 11201503471R A	29-06-2015
			US 2015328681 A1	19-11-2015
			US 2017259330 A1	14-09-2017
			US 2019168296 A1	06-06-2019
			WO 2014093826 A2	19-06-2014

CN 104624965	A	20-05-2015	AUCUN	

EP 2332674	A1	15-06-2011	CN 102170986 A	31-08-2011
			CN 103394668 A	20-11-2013
			EP 2332674 A1	15-06-2011
			US 2011256419 A1	20-10-2011
			US 2015225635 A1	13-08-2015
			WO 2010038483 A1	08-04-2010
