

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication :

3 086 567

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

18 59120

⑤1 Int Cl⁸ : **B 22 F 5/00** (2019.01), B 22 F 3/14, B 22 F 3/00,
C 04 B 35/645, B 22 C 3/00, B 29 C 64/10, B 33 Y 10/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 PROCÉDE DE REALISATION DE CONTREFORME ET PROCÉDE DE FABRICATION DE
PIECE DE FORME COMPLEXE UTILISANT UNE TELLE CONTRE-FORME.

②2 Date de dépôt : 02.10.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 03.04.20 Bulletin 20/14.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 22.07.22 Bulletin 22/29.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *NORIMAT Société par actions
simplifiée — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *EPHERRE ROMAIN et BEYNET
YANNICK.*

⑦3 Titulaire(s) : *NORIMAT Société par actions
simplifiée.*

⑦4 Mandataire(s) : *CABINET JUNCA.*

FR 3 086 567 - B1



PROCÉDÉ DE REALISATION DE CONTRE-FORME ET PROCEDE DE FABRICATION DE PIECE DE FORME COMPLEXE UTILISANT UNE TELLE CONTRE-FORME

5

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] L'invention se rapporte à un procédé de réalisation de contre-forme destinée à la fabrication de pièces de formes complexes, ainsi qu'à un
10 procédé de fabrication de pièce de forme complexe par frittage sous pression à partir d'une telle contre-forme.

[0002] L'invention concerne le domaine de la fabrication de pièces, en particulier de pièces mécaniques industrielles, par densification de matériaux poreux ou pulvérulents. Ce domaine recouvre différentes techniques de
15 densification par frittage sous charge isostatique, uni ou multiaxial, par exemple le pressage à chaud, notamment isostatique, le frittage flash à haute pression dit « SPS » (acronyme de « Spark Plasma Sintering » en terminologie anglaise), ou le frittage sélectif par laser.

[0003] Plus particulièrement la technique de frittage SPS consiste à
20 consolider un volume de poudres de céramiques, de polymères ou métalliques dans un moule conducteur pour l'obtention rapide de matériaux denses à microstructure fine. Cette consolidation est réalisée par l'application simultanée d'une charge (sous une forte pression uni-axiale exercée sur le moule, par exemple de l'ordre de 100 MPa) et d'un chauffage, de l'ordre de 500°C à 2000°C,
25 fourni par un courant continu crénelé de grande intensité dans le moule (par exemple de l'ordre de 500 à 10000A) le frittage complet des poudres étant alors obtenu en seulement quelques minutes.

[0004] L'avantage essentiel de cette technique de frittage SPS réside dans le fait que, étant donné la vitesse de montée en température élevée et les
30 durées de séjour à haute température relativement courtes, la densification du matériau ne s'accompagne pas, ou très peu, d'une croissance cristalline.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0005] La pression uniaxiale exercée par la technique de frittage SPS présente l'inconvénient de provoquer une hétérogénéité de densification, en particulier pour des pièces de formes complexes ayant des épaisseurs fortement différenciées induisant un retrait de matière non uniforme, dans le temps et dans l'espace restreint, entre les zones d'épaisseurs différentes. De manière générale, une forme complexe se rapporte à une forme à courbure variable avec ou sans variation d'épaisseur, ou à forte variation de courbure avec ou sans variation d'épaisseur, et/ou à rupture géométrique, et donc à dépouille difficilement ou non démoulable.

[0006] Afin de remédier à cet inconvénient, le document de brevet FR 3 042 992 prévoit d'ajouter une couche d'interface déformable entre la matière pulvérulente (ou poreuse) et la face de contre-forme du moule adaptée pour réaliser la pièce.

[0007] Cependant, les techniques de frittage présentent également un problème lié à l'utilisation de moule ou de contre-formes de moule qui ne permettent pas de réaliser un démoulage aisé lorsque la pièce présente une forme complexe, formant en particulier des contre-dépouilles difficilement accessibles sans détruire la pièce.

[0008] Les contre-formes peuvent être des empreintes obtenues par pressage d'un lit de poudre céramique agglomérée par un liant ou par liantage de poudre céramique sur une préforme polymère, la contre-forme étant recouverte d'une interface inerte. Et ces techniques présentent de fortes limitations au regard des géométries accessibles, dues aux problèmes de contre-dépouilles des formes complexes, et de l'état de surface de ces contre-formes qui nécessite un recouvrement par une interface.

[0009] Pour réaliser des contre-formes compatibles avec les contre-dépouilles, il convient alors de multiplier le nombre de contre-formes afin d'éviter les problèmes de démoulage. Il est alors nécessaire de fabriquer les outils adaptés à chaque contre-forme, entraînant des étapes supplémentaires de

conception et d'usinage. L'assemblage de ces nombreuses contre-formes est également source de défauts (géométrie non ajustée de la pièce finale, amorces de fissures, perte de matière, etc.).

EXPOSÉ DE L'INVENTION

5 **[0010]** L'invention vise à s'affranchir de cette problématique, en particulier elle vise à éviter l'élaboration d'un outillage spécialisé pour la réalisation de la contre-forme et à faciliter l'assemblage des parties de contre-forme, tout en maîtrisant l'état de surface des contre-formes. Pour ce faire, l'invention prévoit d'utiliser une contre-forme de structure issue d'une technique additive à
10 commande numérique.

[0011] Plus précisément, la présente invention a pour objet un procédé de réalisation d'une contre-forme de fabrication de pièce de forme complexe par densification par frittage sous pression. Dans ce procédé, la contre-forme est formée de couches successives déposées par une impression additive en trois
15 dimensions (3D) pilotée numériquement selon les étapes suivantes:

 - modéliser numériquement un négatif en trois dimensions de la pièce à réaliser dans une unité de commande d'un système d'impression additive en trois dimensions afin de constituer une empreinte de la contre-forme à réaliser, le reste de la contre-forme présentant des faces de conformation adaptée à un moule de
20 fabrication de la pièce; et

 - réaliser chaque partie de contre-forme par une technique d'impression additive 3D.

[0012] Selon des modes de mises en œuvre avantageux:

 - la technique d'impression additive 3D est choisie entre la stéréolithographie, la projection de liant (« binder jetting » en terminologie
25 anglaise), l'extrusion pilotée, la fusion de filaments, l'impression jet d'encre et le jet d'aérosol;

 - le matériau poreux utilisé pour réaliser la contre-forme est choisi entre une céramique, une silice, un silicate métallique, et un matériau composite ;

30 - le matériau des parties de contre-forme est choisi de sorte que les matériaux de contre-forme et de la pièce à fabriquer présentent un comportement

similaire au frittage, en particulier en termes de températures de début et de fin de frittage et en termes de densification;

- la température du début de frittage, respectivement de fin de frittage, d'une céramique de contre-forme est supérieure ou égale, respectivement
5 supérieure, à celle de la pièce à fabriquer;

- la céramique peut être choisie entre de la poudre d'YSZ (de la zircone dite « yttrée », c'est-à-dire stabilisée par l'oxyde d'yttrium), d'ATZ (de la zircone renforcée par de l'alumine), de ZTA (de l'alumine renforcée par de la zircone) et d'alumine présentant des taux de densification pouvant aller de 40 à 80%;

10 - ladite contre-forme est partagée en au moins deux parties assemblées selon au moins un plan de joint de sorte à éliminer au moins une contre-dépouille, le plan de joint entre les parties séparant la forme complexe en parties (30a, 30b) directement démoulables;

- au moins un conduit débouchant est prévu hors de la contre-forme, afin
15 de remplir la contre-forme d'une matière pulvérulente ou poreuse destinée à constituer la pièce, et d'éliminer l'éventuelle poudre en excès;

- l'impression additive de la contre-forme est complétée par un frittage de la contre-forme, ce le frittage pouvant être appliqué en même temps que le frittage de la pièce à fabriquer;

20 - la dimension de chaque partie de contre-forme est augmentée pour compenser un retrait de dimension de la pièce à fabriquer dans le sens de la pression appliquée lors de la densification par frittage ;

- chaque partie de contre-forme présente des parois d'épaisseur inférieure ou égale à cinq millimètres, afin d'éviter toute fissuration lors des
25 frittages ultérieurs de la pièce.

[0013] Une étape de déliantage de la contre-forme peut être avantageusement effectuée en sortie d'impression additive 3D par un traitement thermique à des températures comprises entre 200 et 600°C et des vitesses de montée en température comprises entre 0,1 et 1°C/min, suivant le matériau de la
30 contre-forme. Cette étape permet d'éliminer les composés organiques introduits dans le matériau pendant la réalisation de la contre-forme.

[0014] De plus, l'étape de déliantage peut être suivie d'une étape de pré-frittage qui consiste à traiter thermiquement la contre-forme à des températures supérieures, entre 600 et 1500°C suivant le matériau de la contre-forme, cette étape permettant de débiter la densification de la contre-forme en lui donnant une tenue mécanique et favorisant l'application de l'interface.

[0015] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une pièce de forme complexe par frittage sous pression utilisant une contre-forme réalisée par le procédé tel que défini ci-dessus, le procédé de fabrication de pièce se déroulant selon les étapes suivantes :

- 10 - réunir les parties de contre-forme dans un moule de densification pour le frittage sous pression;
- introduire une matière pulvérulente à densifier dans au moins un conduit traversant une partie de contre-forme;
- densifier par frittage sous pression ladite matière à densifier;
- 15 - séparer les parties de contre-forme pour libérer la pièce ainsi fabriquée.

[0016] Le matériau poreux ou pulvérulent de la pièce à fabriquer peut être choisie entre une céramique, un alliage métallique, un polymère et un matériau composite. En outre, l'une au moins des parois externes de partie de contre-forme est évidée puis remplie de poudre de céramique de température de frittage équivalente à la céramique de la partie de contre-forme.

[0017] Selon un mode de réalisation avantageux, il est prévu d'agencer une couche de matériau poreux et/ou pulvérulent en interface entre la contre-forme et la matière à densifier. Cette interface de séparation permet d'éviter toute interaction entre la contre-forme et la poudre de la pièce à obtenir.

25 **[0018]** Avantageusement, l'interface est constituée par au moins une couche de matériau choisi entre du graphite, un oxyde d'Yttrium et du nitrure de bore. La couche d'interface peut être appliquée sous une forme choisie entre une pulvérisation, un dépôt de poudre et une feuille de forme adaptée.

PRÉSENTATION DES FIGURES

[0019] D'autres données, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description non limitée qui suit, en référence aux figures annexées qui représentent, respectivement :

- 5 - la figure 1a, un exemple de pièce de forme complexe à réaliser selon le procédé de l'invention;
- la figure 1b, un modèle numérique d'un négatif en trois dimensions de la pièce à réaliser de la figure 1a ;
- la figure 2, des vues schématiques en coupe des étapes essentielles 2a
- 10 à 2e du procédé de fabrication d'une pièce de forme complexe selon l'invention par frittage utilisant une contre-forme réalisée par le procédé selon l'invention;
- les figures 3a à 3c, des vues de deux contre-formes réalisées dans le cadre de la fabrication de pièce des figures 1a et 1b, ainsi qu'une vue de ces deux
- contre-formes réunies dans un moule de densification par frittage sous pression
- 15 SPS (figure 3c), et
- la figure 4, une vue en perspective de la pièce fabriquée.

[0020] Sur les figures, des éléments identiques sont repérés par un même signe de référence qui renvoie au(x) passage(s) de la description qui le mentionne(nt).

20 DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0021] En référence à la figure 1a, est présenté un exemple de pièce 1 de forme complexe à réaliser selon le procédé de fabrication de l'invention. Le plan « P » - parallèle au plan de référence XOZ) est le plan de joint de deux contre-formes à réaliser préalablement (comme cela sera expliqué ci-après) pour

25 permettre un démoulage aisé de la pièce une fois réalisée: en effet, la pièce 1 présente en particulier un creux « C » formant une contre-dépouille, qui rend difficile le démoulage. Selon l'invention, le creux « C » se trouve alors entièrement du côté d'une seule contre-forme.

[0022] La figure 1b montre un modèle numérique 3 du négatif 10 en trois

30 dimensions de la pièce 1 de la figure 1a. Ce modèle numérique 3 est réalisé dans une unité de commande d'un système d'impression additive en trois dimensions

(non représentée), afin de constituer la forme positive des parties de la contre-forme à réaliser. Pour un démoulage facile, cette forme positive est partagée en deux parties, comme le présente la figure 1a. L'étape ultérieure est la réalisation de chaque partie de contre-forme par une technique d'impression additive 3D, la stéréolithographie dans l'exemple, le résultat étant présenté en référence à la figure 3 avec les deux parties de contre-forme 30a et 30b.

[0023] La figure 2 présente des vues schématiques en coupe des moyens mis en œuvre dans des étapes essentielles 2a à 2e du procédé de fabrication selon l'invention d'une pièce de forme complexe 24d par frittage sous pression, ce procédé utilisant une contre-forme 20 réalisée (étape 2a) selon l'invention par une technique d'impression additive 3D, la stéréolithographie dans l'exemple, à partir de poudre de céramique liantée.

[0024] Dans le cas illustré, une seule contre-forme en dièdre suffit pour un démoulage aisé de la pièce prismatique 24d (cf. étape 2e) de forme considérée comme complexe dans cet exemple simplifié. Une couche d'interface 22 de graphite d'épaisseur constante est alors déposée sur la contre-forme 20 (étape 2b) par pulvérisation, puis la matière à densifier 24 est ajoutée sur cette interface 22 (étape 2c). Cette interface 22 sert à éviter une interaction entre la contre-forme 20 et la poudre 24 de la pièce à fabriquer.

[0025] Les matériaux à densifier utilisés dans l'exemple pour fabriquer la pièce sont des alliages métalliques, un alliage de TiAl (titane et aluminium) et un super-alliage à base de nickel de la famille des Renés.

[0026] Avantageusement, le matériau de la contre-forme 20 est choisi pour que les matériaux de contre-forme et de la pièce à fabriquer 24 présentent un comportement au frittage similaire, en termes de températures de début et de fin de frittage ainsi que de taux de densification.

[0027] Dans le cas des alliages utilisés pour la pièce à fabriquer, la céramique utilisée pour la contre-forme est alors de l'ATZ (de la zircone renforcée par de l'alumine) pour une pièce en TiAl, et de l'YSZ (de la zircone yttrée) pour le superalliage à base de nickel choisi dans la famille des Renés. Plus généralement, la température du début de frittage (respectivement de fin de

frittage) de la céramique utilisée pour la contre-forme est supérieure ou égale (respectivement supérieure) à celle de l'alliage de métal de la pièce à fabriquer.

[0028] Un frittage sous pression SPS de la matière à densifier 24 densifie également la contre-forme 20 dans cet exemple (prévoir -10% à - 45% de retrait),
5 la matière 24 et la contre-forme 20 étant introduites dans un moule SPS (non représenté).

[0029] En prévision de cette densification, la dimension de chaque partie de contre-forme 20 est augmentée pour anticiper le retrait de la pièce 24 dans la direction de frittage SPS selon la pression « F » exercée (étape 2d). La géométrie
10 de la pièce 24 est ainsi préalablement « étirée » d'un facteur d'étirement « Fe » afin de compenser ce retrait de dimension de pièce. Le facteur Fe est défini par le rapport la masse volumique de la poudre à densifier rapportée à la masse volumique de la poudre densifiée. Avantageusement, la géométrie simplifiée des parties de contre-forme 20 peut facilement évoluer dans le cas d'un changement
15 de valeur du facteur Fe.

[0030] Ainsi, dans cet exemple de réalisation, la pression « F » provoque une diminution de hauteur maximale de la contre-forme 20 de 40%, cette hauteur passant d'une valeur « H » (étape 2c) à une valeur « h » (étape 2d). Cette diminution de hauteur permet de fabriquer la pièce 24d selon la hauteur prévue, la
20 hauteur initiale « H » ayant été augmentée par l'application du coefficient Fe. La contre-forme et la pièce condensées, référencées 20d et 24d, sont alors aisément séparées (étape 2e).

[0031] Les vues des figures 3a et 3b présentent une contre-forme en céramique ATZ sous forme de parties 30a et 30b, dans le cadre de l'exemple de
25 fabrication de la pièce 1 en TiAl selon les figures 1a et 1b, la céramique ATZ et l'alliage TiAl présentant des comportements similaires au frittage. Ces parties de contre-forme 30a et 30b présentent des faces de jonction 40a et 40b dans le plan de joint « P » (cf. figure 1a).

[0032] Avantageusement, un déliantage des parties de contre-forme 30a,
30 30b est mise en œuvre par un traitement thermique à des températures comprises entre 200 et 600°C, 400°C dans l'exemple, avec une vitesse de montée en température comprises entre 0,1 et 1°C/min, 0,5°C/min dans l'exemple. Cette

étape permet d'éliminer les composés organiques qui peuvent s'introduire dans la poudre de céramique pendant l'impression 3D de réalisation des parties de contre-forme.

5 **[0033]** De préférence, un pré-frittage est également réalisé après le déliantage. Ce pré-frittage consiste à traiter les parties de contre-forme déliantées 30a, 30b à des températures encore plus élevées, par exemple entre 600°C à 1500°C suivant les matériaux utilisés, à 1200°C dans l'exemple. Ce traitement thermique permet de commencer la densification des parties de contre-forme pour leur donner une tenue mécanique et faciliter ainsi l'application de couche(s)
10 d'interface, comme décrit ci-dessous.

[0034] Les deux demi-empreintes 41a et 41b de la pièce à fabriquer sont recouvertes de graphite 42 par pulvérisation, puis d'une couche à base d'oxyde d'yttrium pour éviter la réaction entre la céramique et le matériau de la pièce à fabriquer, du TiAl dans l'exemple. Pour la réalisation de contre-forme par
15 stéréolithographie, la contre-forme divisée en deux parties permet d'éliminer la pâte non polymérisée. De plus, les parties de contre-forme 30a, 30b ont avantageusement une épaisseur maximale de 5 mm afin d'éviter tout risque de fissuration lors du frittage et du traitement thermique de déliantage lors de la récupération de la pièce.

20 **[0035]** En référence à la figure 3c, les deux parties de contre-forme 30a, 30b sont assemblées dans un moule 2 de frittage SPS de sorte que les deux demi-empreintes 41a, 41b forment une seule empreinte correspondant, en négatif, à la pièce à fabriquer. Le remplissage de cette empreinte par de la poudre de TiAl se fait par les trois conduits creux 4. Ces conduits 4 traversent la face 42a
25 opposée à la face de joint 40a de la partie de contre-forme 30a (cf. figure 3a). Les conduits 4 permettent également d'évacuer le cas échéant la poudre de TiAl en excès.

[0036] Les parois externes d'une ou des parties de contre-forme 30a, 30b peuvent être avantageusement évidées, afin de faciliter leur réalisation par
30 impression 3D. Ces espaces évidés sont alors remplis de poudre d'YSZ (zircone yttrée) qui a une température de frittage équivalente à celle de la céramique de contre-forme ATZ utilisée.

[0037] Lors du frittage sous pression SPS, la céramique et l'alliage métallique de la pièce à fabriquer vont fritter simultanément, la céramique frittée venant recouvrir la pièce métallique. Grâce aux couches d'interfaces de graphite et d'oxyde d'Yttrium 42 (cf. figures 3a et 3b), la céramique est séparée aisément
5 de la pièce par décrochage mécanique et/ou chimique. La figure 4 illustre la pièce finale 1 obtenue avec quelques résidus de céramique 43 encore à retirer.

[0038] L'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés. Ainsi, la contre-forme peut être divisée en un nombre de parties minimal pour éviter les contre-dépouilles de la pièce à fabriquer.

10 **[0039]** Par ailleurs, la contre-forme peut être structurée avec des zones de faiblesse localisées sans restriction d'emplacement, afin de faciliter le démoulage final.

[0040] En outre, la pièce à fabriquer peut être constituée par une poudre
15 d'alliage métallique, une céramique, un matériau composite ou tout type de matériau approprié.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de réalisation d'une contre-forme (20, 30a, 30b) de fabrication de pièce de forme complexe (1; 24d) par densification par frittage sous
5 pression, caractérisé en ce que la contre-forme (20; 30a, 30b) est formée de couches successives réalisées par une impression additive en trois dimensions (3D) pilotée numériquement selon les étapes suivantes :

- enregistrer numériquement un négatif (3) en trois dimensions de la pièce à réaliser (1; 24d) dans une unité de commande d'un système d'impression
10 additive en trois dimensions afin de constituer une empreinte de la contre-forme (20; 30, 30b) à réaliser, le reste de la contre-forme présentant des faces de conformation adaptée à un moule de fabrication de la pièce (1; 24d);

- réaliser la contre-forme (30a, 30b) par une technique d'impression additive 3D, la dimension de la contre-forme (20; 30a, 30b) étant augmentée d'un
15 facteur d'étirement de masse volumique compensant un retrait de dimension de la pièce à fabriquer (1; 24d) dans le sens de la pression (F) appliquée lors de la densification par frittage de la pièce à fabriquer ; et

- compléter l'impression additive de la contre-forme (20 ; 30a, 30b) par un frittage.

20 2. Procédé de réalisation d'une contre-forme selon la revendication 1, dans lequel la technique d'impression additive 3D est choisie entre la stéréolithographie, la projection de liant, l'extrusion pilotée, la fusion de filaments, l'impression jet d'encre, et le jet d'aérosol.

25 3. Procédé de réalisation d'une contre-forme selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel la contre-forme (20; 30a, 30b) est réalisée en un matériau poreux choisi entre une céramique, une silice, un silicate métallique, et un matériau composite.

30 4. Procédé de réalisation d'une contre-forme selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'impression est effectuée avec une épaisseur de parois de la contre-forme (20; 30a, 30b) inférieure ou égale à cinq millimètres.

5. Procédé de réalisation d'une contre-forme (20, 30a, 30b) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une étape de déliantage de contre-forme (30a, 30b) est effectuée en sortie d'impression additive 3D par un traitement thermique à une température comprise entre 200 et 600°C et des vitesses de montée en température comprises entre 0, 1 et 1°C/min.

6. Procédé de réalisation selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape de déliantage est suivie d'une étape de pré-frittage par traitement thermique de la contre-forme (3a, 30b) à une température comprise entre 600 et 1500°C.

7. Procédé de réalisation d'une contre-forme selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite contre-forme est, dans une étape ultérieure à l'étape de frittage, partagée en au moins deux parties (30a, 30b) assemblées selon au moins un plan de joint (P) de sorte à éliminer au moins une contre-dépouille, le plan de joint (P) entre les parties (30a, 30b) séparant la forme complexe en parties (30a, 30b) directement démoulables.

8. Procédé de fabrication d'une pièce de forme complexe (1; 24d) par frittage utilisant une contre-forme (20; 30a, 30b) réalisée par le procédé tel que défini selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il se déroule selon les étapes suivantes :

- réunir les parties de contre-forme (20, 30a, 30b) dans un moule de densification pour le frittage sous pression ;
- introduire une matière pulvérulente ou poreuse à densifier dans au moins un conduit (4) traversant une partie de contre-forme (30a) ;
- densifier la matière pulvérulente ou poreuse par frittage sous pression; et
- séparer les parties de contre-forme (30a, 30b) pour libérer la pièce (1; 24d) ainsi fabriquée.

9. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la contre-forme (20; 30a, 30b) est réalisée en un matériau poreux choisi de sorte que les matériaux de contre-forme (20; 30a, 30b) et de la pièce à fabriquer (1; 24d) présentent un même comportement au frittage.

10. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la température du début de frittage, respectivement de fin de frittage, d'une céramique de contre-forme (20; 30a, 30b) est supérieure ou égale, respectivement supérieure, à celle de la pièce à fabriquer (1; 24d).

5 11. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la céramique est choisie entre de la poudre d'YSZ, d'ATZ, de ZTA et d'alumine présentant des taux de densification pouvant aller de 40 à 80%.

10 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, dans lequel au moins un conduit débouchant (4) de remplissage par une matière pulvérulente ou poreuse destinée à constituer la pièce (1; 24d) est prévu hors de la contre-forme (20; 30a, 30b).

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, dans lequel le frittage de la contre-forme (20; 30a, 30b) est appliqué en même temps que le frittage de la pièce à fabriquer (1; 24d).

15 14. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 8 à 13, dans lequel la matière poreuse ou pulvérulente de la pièce à fabriquer (1; 24d) est choisie entre une céramique, un alliage métallique, un polymère et un matériau composite.

20 15. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, dans lequel l'une au moins des parois externes de partie de contre-forme (30a, 30b) est évidée puis remplie de poudre de céramique de température de frittage égale à celle de la céramique de la partie de contre-forme (30a, 30b).

25 16. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 8 à 15, dans lequel une interface de matériau poreux ou pulvérulent (22; 42) est agencée entre la contre-forme (20; 30a, 30b) et la matière à densifier (24).

17. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel l'interface (22; 42) est constituée par au moins une couche de matériau choisi entre du graphite, un oxyde d'yttrium et du nitrure de bore.

30 18. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel la couche d'interface (22; 42) est appliquée sous une forme choisie entre une pulvérisation, un dépôt de poudre et une feuille de forme adaptée.

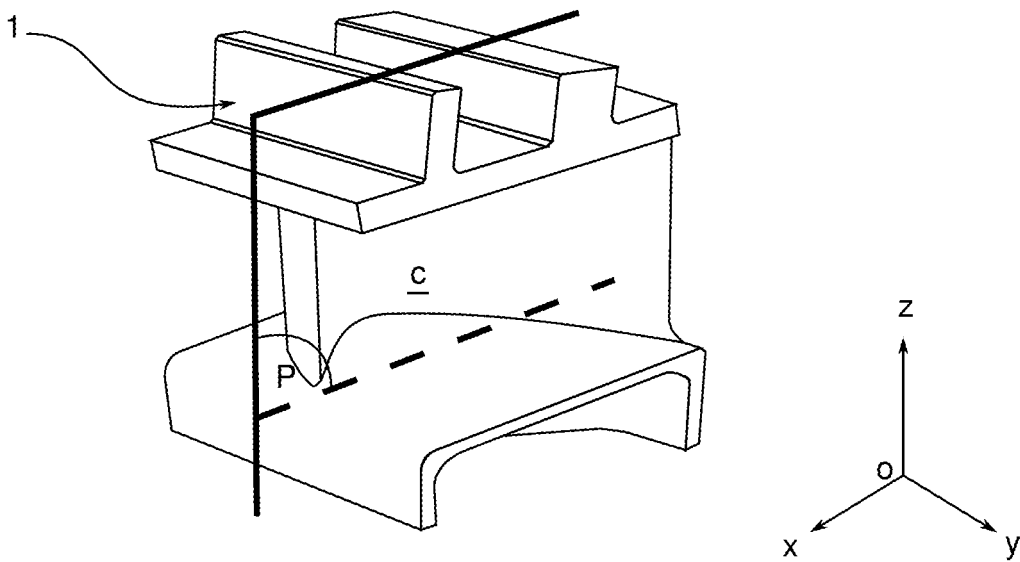


Fig.1a

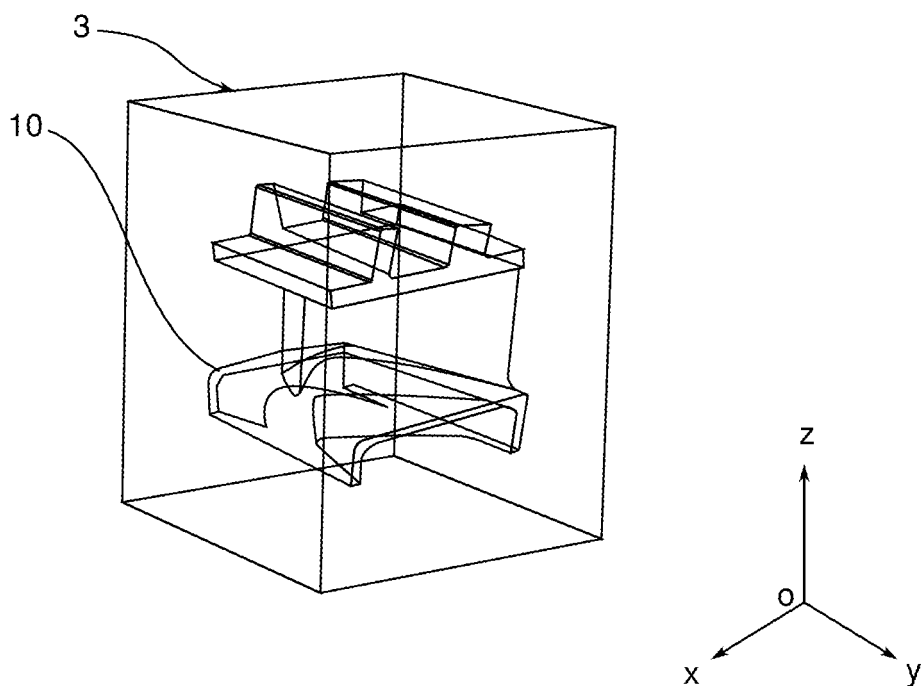


Fig.1b

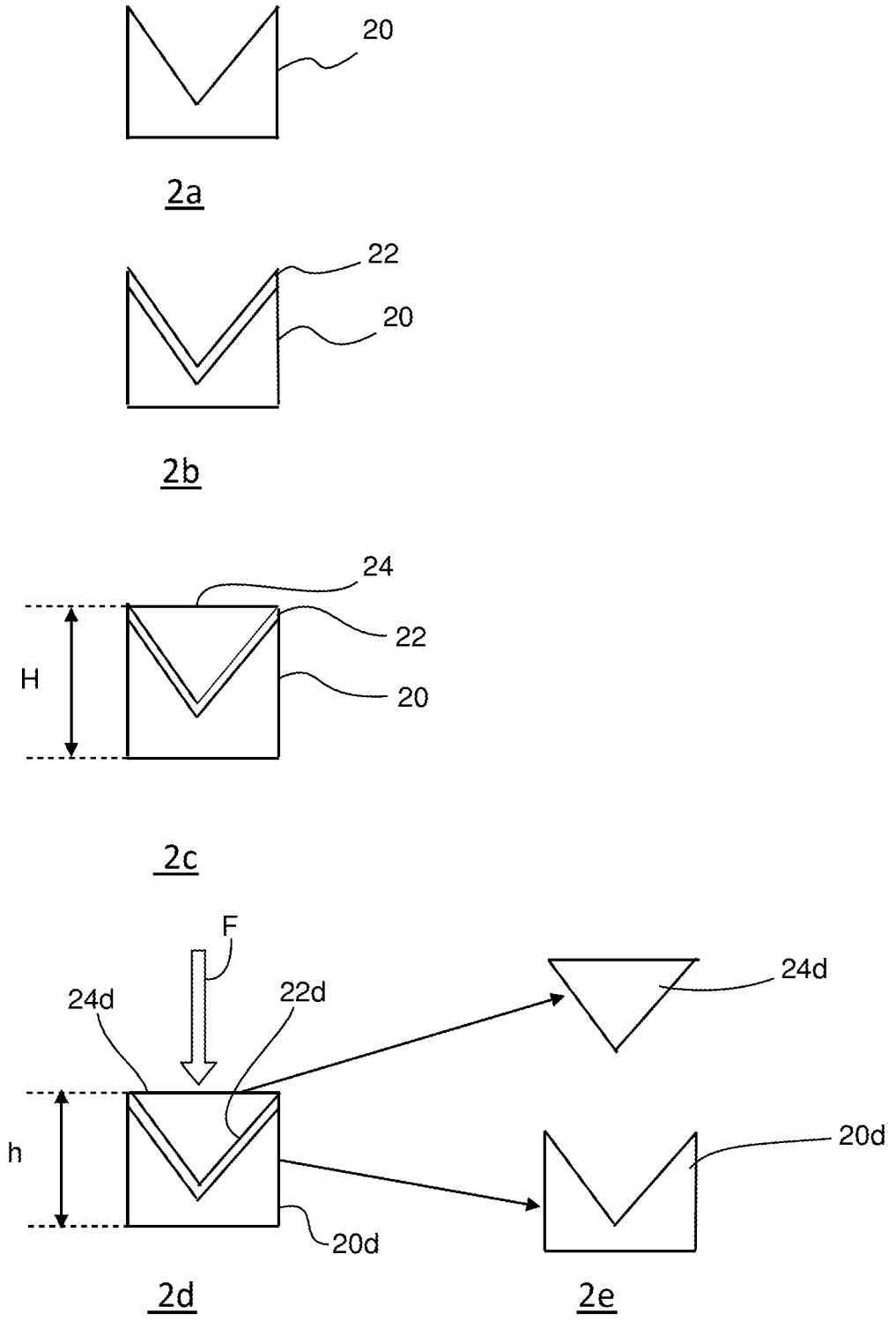


Fig.2

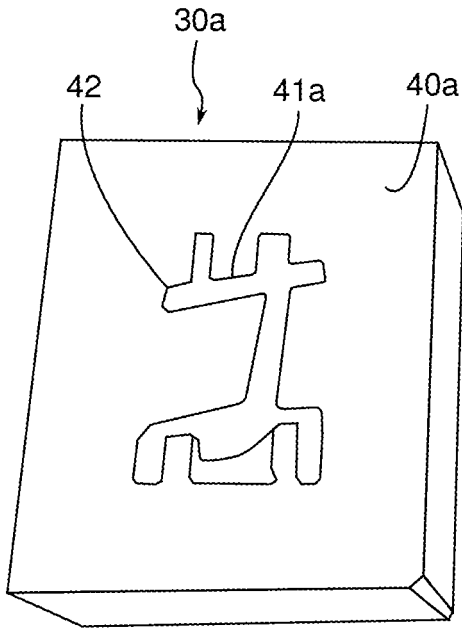


Fig.3a

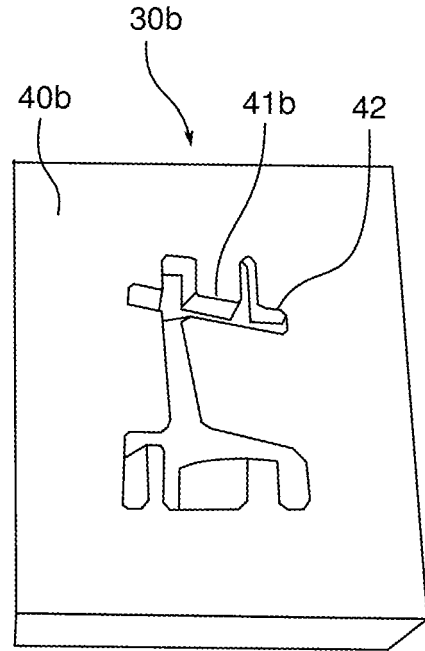


Fig.3b

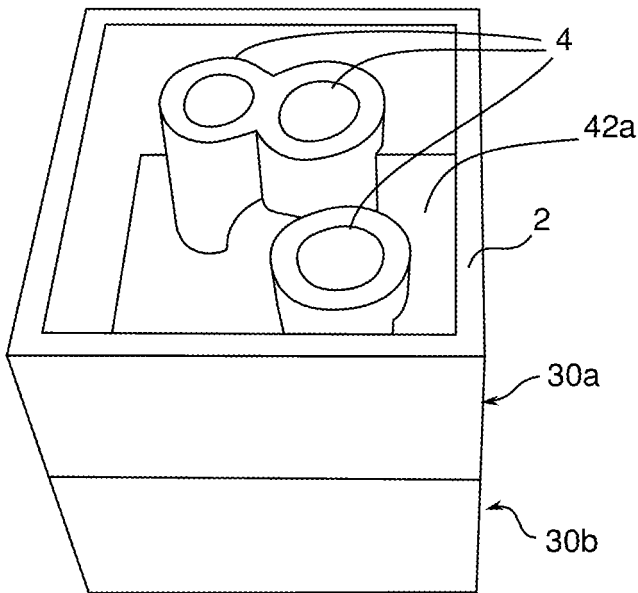


Fig.3c



Fig.4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 2017/291221 A1 (SWANK JOHN P [US] ET AL) 12 octobre 2017 (2017-10-12)

US 2017/368780 A1 (MIDDLEMISS STEWART [US]) 28 décembre 2017 (2017-12-28)

EP 2 551 040 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]; EADS UK LTD [GB]) 30 janvier 2013 (2013-01-30)

US 2017/361490 A1 (HERNY EMILIE [FR] ET AL) 21 décembre 2017 (2017-12-21)

US 2016/144432 A1 (CLARK GERRY [GB]) 26 mai 2016 (2016-05-26)

WO 2016/030654 A1 (CASTINGS TECHNOLOGY INTERNAT LTD [GB]) 3 mars 2016 (2016-03-03)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT