

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 991 613**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **12 55245**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **B 22 F 3/105 (2013.01), B 23 K 26/34**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 06.06.12.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 13.12.13 Bulletin 13/50.

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** :

⑦1 **Demandeur(s)** : SNECMA — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : VILARO THOMAS, CHANTOISEAU OLIVIER et RIX SEBASTIEN.

⑦3 **Titulaire(s)** : SNECMA.

⑦4 **Mandataire(s)** : CABINET BEAU DE LOMENIE  
Société civile.

⑤4 **PROCEDE DE FABRICATION DE PIECE PAR FUSION SELECTIVE OU FRITTAGE SELECTIF DE LITS DE POUDRE(S) AU MOYEN D'UN FAISCEAU DE HAUTE ENERGIE.**

⑤7 Selon le procédé de l'invention, on réalise les étapes suivantes:

a) on fournit un dispositif comprenant un bac d'alimentation (70), un bac de construction (85) dont le fond est formé d'un plateau de fabrication (80) déplaçable en translation verticale et un système de transfert (30) apte à déposer de la poudre depuis ledit bac d'alimentation (70) vers ledit bac de construction (85), en une couche de poudre (10) d'épaisseur constante, et un système optique (52, 54) à faisceau de haute énergie apte à balayer la surface de ladite couche de poudre déposée(10);

b) on fournit une poudre placée dans ledit bac d'alimentation (70),

c) on dépose, sur le plateau de fabrication (80), une première série de couches de poudre, et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre de façon à former, au-dessus du plateau de fabrication (80), plusieurs colonnes de matière (210) séparées entre elles par des particules de poudre (220), et

d) on dépose, sur ladite première série de couches de particules de poudre, une deuxième série de couches de poudre et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre de façon à former à former un élément d'un seul

tenant comportant la pièce (100) et surmontant lesdites colonnes de matière (210),

ce par quoi les colonnes de matière forment une plateforme d'isolation thermique (200) entre le plateau de fabrication (80) et ledit élément d'un seul tenant (100, 300).

Application à la fabrication d'aubes de turbomachines.

FR 2 991 613 - A1



La présente invention concerne le domaine de la fabrication de pièces par fusion ou frittage de particules de poudre au moyen d'un faisceau de haute énergie.

5 Parmi ces faisceaux de haute énergie, on peut mentionner notamment, de façon non limitative, le faisceau laser et le faisceau d'électrons.

L'invention vise en particulier la fabrication rapide de pièces par fusion sélective frittage sélectif de lits de poudre par faisceaux de haute énergie, et tout particulièrement par faisceau laser.

10 Par "fusion sélective par laser", en anglais "*Selective Laser Melting*" (SLM), on entend un procédé dont les caractéristiques principales sont rappelées ci-après, en référence à la figure 1 illustrant un dispositif classique de fabrication de pièce par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau laser.

15 On dépose, par exemple à l'aide d'un rouleau 30 (ou tout autre moyen de dépose), une première couche 10 de poudre d'un matériau sur un plateau de fabrication 80 (il peut s'agir d'un plateau seul ou surmonté d'un support massif, d'une partie d'une autre pièce ou d'une grille support utilisée pour faciliter la construction de certaines pièces).

20 Cette poudre est transvasée depuis un bac d'alimentation 70 lors d'un mouvement aller du rouleau 30 puis elle est raclée, et éventuellement légèrement compactée, lors d'un (ou de plusieurs) mouvement(s) de retour du rouleau 30. La poudre est composée de particules 60. L'excédent de poudre est récupéré dans un bac de recyclage 40 situé de  
25 façon adjacente au bac de construction 85 dans lequel se déplace verticalement le plateau de fabrication 80.

On utilise également un générateur 90 de faisceau laser 95, et un système de pilotage 50 apte à diriger ce faisceau 95 sur n'importe quelle région du plateau de fabrication 80 de façon à balayer n'importe quelle  
30 région d'une couche de poudre préalablement déposée. La mise en forme du faisceau laser 95 et la variation de son diamètre sur le plan focal se font respectivement au moyen d'un dilatateur de faisceau ou « Beam Expander » 52 et d'un système de focalisation 54, l'ensemble constituant le système optique.

Ensuite, on porte une région de cette première couche 10 de poudre, par balayage avec un faisceau laser 95, à une température supérieure à la température de fusion  $T_F$  de cette poudre.

5 Le procédé SLM peut utiliser n'importe quel faisceau de haute énergie à la place du faisceau laser 95, et notamment un faisceau d'électrons, tant que ce faisceau est suffisamment énergétique pour fondre les particules de poudre et une partie du matériau sur lequel les particules reposent (encore appelée zone diluée faisant partie intégrante du bain liquide).

10 Ce balayage du faisceau est effectué par exemple par une tête galvanométrique faisant partie d'un système de pilotage 50. Par exemple ce système de pilotage comprend à titre non limitatif au moins un miroir 55 orientable sur lequel le faisceau laser 95 se réfléchit avant d'atteindre une couche de poudre dont chaque point de la surface se trouve située  
15 toujours à la même hauteur par rapport à la lentille de focalisation, contenue dans le système de focalisation 54, la position angulaire de ce miroir étant pilotée par une tête galvanométrique pour que le faisceau laser balaye au moins une région de la première couche de poudre, et suive ainsi un profil de pièce préétabli. Pour ce faire, la tête  
20 galvanométrique est commandée selon les informations contenues dans la base de données de l'outil informatique utilisé pour la conception et la fabrication assistées par ordinateur de la pièce à fabriquer.

Ainsi, les particules de poudre 60 de cette région de la première couche 10 sont fondues et forment un premier élément 15 d'un seul tenant, solidaire avec le plateau de fabrication 80. A ce stade, on peut également balayer avec le faisceau laser plusieurs régions indépendantes de cette première couche pour former, après fusion et solidification de la matière, plusieurs premiers éléments 15 disjoints les uns des autres.

On abaisse le plateau de fabrication 80 d'une hauteur  
30 correspondant à l'épaisseur de la première couche de poudre 10 (20 à 100  $\mu\text{m}$  et en général de 30 à 50  $\mu\text{m}$ ).

On dépose ensuite une deuxième couche 20 de poudre sur la première couche 10 et sur ce premier élément d'un seul tenant ou consolidé 15, puis on chauffe par exposition au faisceau laser 95 une  
35 région de la deuxième couche 20 qui est située partiellement ou complètement au-dessus de ce premier élément d'un seul tenant ou

consolidé 15 dans le cas illustré à la figure 1, de telle sorte que les particules de poudre de cette région de la deuxième couche 20 sont fondues avec au moins une partie de l'élément 15 et forment un deuxième élément d'un seul tenant ou consolidé 25, l'ensemble de ces deux  
5 éléments 15 et 25 formant, dans le cas illustré à la figure 1, un bloc d'un seul tenant.

On comprend que selon le profil de la pièce à construire, et notamment dans le cas de surface en contre-dépouille, il se peut que la région précitée de la première couche 10 ne se trouve pas, même  
10 partiellement, en dessous de la région précitée de la deuxième couche 20, de sorte que dans ce cas le premier élément consolidé 15 et le deuxième élément consolidé 25 ne forment alors pas un bloc d'un seul tenant.

On poursuit ensuite ce processus de construction de la pièce couche par couche en ajoutant des couches supplémentaires de poudre sur l'ensemble déjà formé par les éléments d'un seul tenant ou consolidés  
15 15, 25 ....

Le balayage avec le faisceau laser 95 permet de construire chaque couche en lui donnant une forme en accord avec la géométrie de la pièce à réaliser. Les couches inférieures de la pièce se refroidissent plus ou  
20 moins vite au fur et à mesure que les couches supérieures de la pièce se construisent.

Le procédé SLM présente cependant des inconvénients.

En effet, la poudre est portée complètement au-dessus de sa température de fusion TF par exposition directe au faisceau laser 95 ou en arrivant dans le bain de matériau liquide chauffé par le faisceau laser 95  
25 (fusion indirecte de la poudre). La matière de la poudre fondue subit alors un cycle de montée en température et de refroidissement lorsque le bain se solidifie jusqu'à sa température de fusion puis se refroidit de TF à la température ambiante.

30 Le chauffage du bain est très rapide, car le faisceau laser 95 apporte en un temps très bref une énergie importante à la matière.

Le refroidissement du bain est également très rapide, car il y a un pompage thermique de la chaleur du bain par le bloc de matière massif formé des couches précédemment formées sous le bain et déjà solidifiées  
35 et du plateau de fabrication 80.

De plus, le bain passe dans un temps très bref (inversement proportionnel à la vitesse de balayage du faisceau laser 95) d'un environnement très chaud du fait de l'exposition au faisceau laser à un environnement soumis à une température proche de l'ambiante, ce qui équivaut à une trempe à l'air, voir à une trempe à l'eau.

Ces chauffages et refroidissements rapides successifs de portions de la pièce génèrent durant la construction des contraintes et/ou des déformations selon la géométrie et le bridage de la pièce. Le bridage désigne l'action d'utiliser un guide qui va supporter une partie mince d'une pièce pour éviter la déformation de cette partie mince.

Si la pièce construite est massive et donc peu déformable, des contraintes vont s'accumuler dans la pièce lors de sa fabrication sous forme de contraintes résiduelles voire de fissures lorsque ces contraintes dépassent la contrainte à la rupture du matériau. Plus tard, en service, si la température de fonctionnement de la pièce est trop élevée, il va alors se produire une déformation de la pièce par relaxation de ces contraintes résiduelles.

Si la pièce construite présente des parois minces et peu bridées (c'est-à-dire qu'une de leurs dimensions est faible devant les deux autres et libres de se déplacer), les contraintes générées lors du refroidissement de chaque bain vont déformer la pièce. Ces déformations conduisent à fabriquer une pièce dont la forme finale n'est pas celle souhaitée.

De plus, ces déformations de la pièce vont perturber son procédé de fabrication. En effet, étant donné que la position des cordons d'une couche dépend du fichier CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) déduit du traitement des données CAO (Conception Assistée par Ordinateur) de la pièce à fabriquer qui reproduit le volume de la pièce, une couche supérieure risque par exemple de ne pas se former entièrement au-dessus d'une couche inférieure, puisque cette dernière aura été déformée et déplacée par rapport à sa position initialement prévue par le fichier CFAO.

L'invention vise à proposer un procédé qui permette de diminuer voire supprimer les contraintes générées lors de la formation des bains induite par un chauffage rapide, puis lors du refroidissement brutal de ces bains.

Cette problématique est notamment particulièrement cruciale pour la fabrication de pièces en superalliage utilisés en aéronautique, notamment mais non exclusivement pour des aubes de turbine basse pression ou haute pression, des pièces de distributeur, des parties  
5 d'anneau de turbine ou des portions de la chambre de combustion.

En effet, on utilise par exemple des superalliages à base nickel, et notamment des superalliages à base nickel qui sont renforcés (notamment par ajout de titane et/ou d'aluminium), permettant d'atteindre des températures de service des turbines aéronautiques de l'ordre de 900°C à  
10 1000°C.

Cependant, ce type de matériau est très sensible à la fissuration à chaud : ainsi, ces matériaux ont tendance à provoquer de la fissuration inter-granulaire lorsque la vitesse de refroidissement et les gradients thermiques ne sont pas parfaitement contrôlés.

15 Certaines solutions ont déjà été proposées pour surmonter ces inconvénients.

Dans le brevet EP1355760, on chauffe le support de construction sur lequel la pièce est fabriquée.

20 Dans le brevet FR2856614, on place tout le dispositif de fabrication dans une enceinte chauffée pendant l'opération de fabrication de la pièce.

Dans les deux cas, on cherche à éviter un trop grand refroidissement, ou plus exactement un refroidissement trop rapide, d'une zone de la pièce afin d'éviter les phénomènes de fissuration.

25 Cependant, ces solutions sont limitées en température car elles ne permettent pas de dépasser 600°C.

Par ailleurs, ces solutions requièrent de modifier de façon importante le matériel préexistant, en lui ajoutant un équipement supplémentaire.

30 La présente invention a pour objectif de fournir un procédé permettant de surmonter les inconvénients de l'art antérieur et en particulier offrant la possibilité d'utiliser un dispositif classique de fabrication de pièce par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau de haute énergie.

35 Ce but est atteint grâce à un procédé de pièce par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau de haute

énergie, caractérisé en ce que l'on réalise les étapes suivantes :

- 5 a) on fournit un dispositif comprenant un bac d'alimentation, un bac de construction dont le fond est formé d'un plateau de fabrication déplaçable en translation verticale et un système de transfert apte à déposer de la
- 10 poudre depuis ledit bac d'alimentation vers ledit bac de construction, en une couche de poudre d'épaisseur constante, et un système optique à faisceau de haute énergie apte à balayer la surface de ladite couche de poudre déposée pour fusionner ou fritter entre elles les particules présentes dans des zones prédéterminées de la couche de poudre déposée;
- 15 b) on fournit une poudre placée dans ledit bac d'alimentation,
- c) on dépose, sur le plateau de fabrication, une première série de couches de poudre, et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre après le dépôt de chaque nouvelle couche de poudre de façon à former,
- 20 au-dessus du plateau de fabrication, plusieurs colonnes de matière séparées entre elles par des particules de poudre, et
- d) on dépose, sur ladite première série de couches de particules de poudre, une deuxième série de couches de poudre et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre après le dépôt de chaque
- 25 nouvelle couche de poudre de façon à former à former un élément d'un seul tenant comportant la pièce et surmontant lesdites colonnes de matière,
- ce par quoi les colonnes de matière de ladite première série de couches de particules de poudre forment une plateforme d'isolation thermique entre le
- 30 plateau de fabrication et ledit élément d'un seul tenant.

En effet, les particules de poudre non fusionnées et non frittées de la première série de couches qui sont disposées entre les colonnes de matières sont des obstacles à la conduction thermique dans la plateforme d'isolation thermique.

- 30 Ainsi, grâce au fait que l'on a disposé une plateforme d'isolation thermique entre le plateau de fabrication et ledit élément d'un seul tenant, on évite ou tout au moins on réduit de façon très importante la conductivité thermique entre la pièce et le plateau de fabrication, de sorte que l'on ne se trouve plus en présence du phénomène de pompage
- 35 thermique entre ledit élément d'un seul tenant en cours de fabrication et

le plateau de fabrication qui est lui-même réalisé dans un matériau très bon conducteur thermique (en général en métal).

On comprend que le faisceau de haute énergie permet, après dépôt d'une couche de poudre, non seulement de fusionner ou fritter  
5 entre elles les particules présentes dans des zones prédéterminées de la couche de poudre qui vient d'être déposée, mais également de fusionner ou fritter entre elles les particules présentes à la fois dans la couche de poudre qui vient d'être déposée avec des particules d'une ou de plusieurs  
10 couches de poudre adjacentes et placées au-dessous de ladite couche de poudre qui vient d'être déposée.

Ainsi, on comprend que les colonnes de matières résultant du dépôt de la première série de couche de particules sont reliées à l'élément d'un seul tenant résultant du dépôt de la deuxième série de couches.

De cette manière, on comprend que par la formation de la  
15 plateforme d'isolation thermique, la chaleur dissipée par l'élément d'un seul tenant au fur et à mesure de sa construction, s'évacue par conduction soit par les côtés au travers des portions intactes des couches de poudres déposées de la deuxième série de couches de poudre, qui présentent une conductivité très faible, soit en direction du plateau de fabrication au  
20 travers de la plateforme d'isolation thermique qui présente une conductivité faible et très réduite par rapport à une portion massive car seules les colonnes de matière permettent à une faible partie de la chaleur de s'évacuer par le plateau de fabrication.

Cette solution présente aussi l'avantage supplémentaire, de  
25 permettre, en outre, de former la plateforme d'isolation thermique par la même technique de fabrication que la pièce, ce qui permet une mise en œuvre de l'invention très facile.

Globalement, grâce à la solution selon la présente invention, il est possible de fabriquer des pièces par fusion ou frittage de particules de  
30 poudre au moyen d'un faisceau de haute énergie sans changer d'équipement de fabrication et en évitant des vitesses de refroidissement trop importantes des zones lors de leur fabrication, donc en réduisant de façon importante les phénomènes de fissuration .

De préférence, les colonnes de matière présentent une largeur  
35 non nulle et inférieure à 1 mm.



Avantageusement, les colonnes de matière présentent une largeur inférieure à 0,8 mm, et préférentiellement inférieure à 0,5 mm. Ces colonnes de matières présentent de préférence une largeur supérieure à 0.05 mm, et préférentiellement une largeur supérieure à 0.2 mm. En général, ces colonnes de matière présentent une largeur comprise entre 0.2 et 0.5 mm.

Par ailleurs, selon un mode de réalisation préférentiel, ledit élément d'un seul tenant est composé d'un premier bloc de matière disposé au-dessus de la plateforme d'isolation thermique et d'un deuxième bloc de matière disposé au-dessus du premier bloc de matière et formant ladite pièce, ledit premier bloc de matière venant servir de soubassement à ladite pièce.

De cette façon, on comprend que le soubassement formé par le premier bloc de matière permet, en augmentant la massivité et le volume de matière formé par le premier bloc de matière et le deuxième bloc de matière en construction, d'y maintenir plus longtemps la chaleur induite par le faisceau de haute énergie à chaque nouvelle activation de ce faisceau.

Autant par la présence de la plateforme d'isolation thermique que par la présence, préférentielle, du soubassement, il s'agit donc de maintenir une température de préchauffage élevée dans la pièce en cours de construction.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, représente un dispositif classique de fabrication de pièce par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau laser,
- la figure 2 illustre les phénomènes de conduction thermique dans une aube lors de sa fabrication par un procédé de fabrication classique,
- la figure 3 représente la structure de pièce obtenue lors de la fabrication d'une aube selon le procédé de fabrication classique de la figure 2,

- la figure 4 illustre les phénomènes de conduction thermique dans une aube lors de sa fabrication par le procédé de fabrication selon l'invention, et

5 - la figure 5 représente la structure de pièce obtenue lors de la fabrication d'une aube selon le procédé de fabrication selon l'invention de la figure 4.

Sur les figures 2 à 5, de préférence, le faisceau de haute énergie est un laser et la fabrication est effectuée par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre par laser.

10 Alternativement, le faisceau de haute énergie est un faisceau d'électrons.

Dans l'exemple des figures 2 à 5, la pièce est une aube 100 de turbomachine comprenant un pied 110 et une pale 120, ainsi qu'une tête 130.

15 Selon le procédé classique de fabrication d'une telle aube 100, illustré sur les figures 1 et 2, on réalise les étapes suivantes :

(étape 1) On dépose une première couche 10 de poudre dudit matériau sur un plateau de fabrication 80,

20 (étape 2) On balaye une première région de ladite première couche 10 avec ce faisceau 95 de façon à chauffer localement la poudre de ladite région à une température supérieure à la température de frittage de cette poudre, de telle sorte que les particules de ladite poudre ainsi fondue ou frittée provenant de ladite première région forment alors un premier élément d'un seul tenant 15,

25 (étape 3) On dépose une deuxième couche 20 de poudre dudit matériau sur ladite première couche de poudre 10,

(étape 4) On balaye une deuxième région de ladite deuxième couche 20 recouvrant au moins partiellement ledit premier élément d'un seul tenant 15 par le faisceau 95 de façon à chauffer la poudre de cette deuxième région à une température supérieure à la température de frittage de cette poudre, de telle sorte que les particules de la poudre ainsi frittée ou fondue forment un deuxième élément d'un seul tenant 25 lié au premier élément d'un seul tenant 15 et qui surmonte ce dernier,

30 (étape 5) On répète les étapes (3) et (4) pour chaque nouvelle couche de poudre à déposer au-dessus d'une couche précédente, et ce jusqu'à la formation complète de l'aube 100, en commençant par le pied 110

construit directement sur le plateau de fabrication 80, puis en poursuivant par la pale 120 et en terminant par la tête 130, d'où l'obtention d'un ensemble d'un seul tenant comprenant le plateau de fabrication 80 et l'aube 100.

5 Dans cette situation de l'art antérieur, comme il ressort de la figure 2, au fur et à mesure de la construction de l'aube 100, des couches de particules de poudre non liées restent disposées autour de l'élément d'un seul tenant résultant de la fusion ou du frittage des particules de  
10 poudre : ces couches de particules de poudre non liées forment un volume 90 autour de la pièce, dans lequel (flèches A) la conduction thermique est très faible, notamment dans les directions orthogonales à la direction principale de l'aube 100 . Par ailleurs, le pied 110 se trouve lié au plateau de fabrication 80 qui est en un matériau à forte conductivité thermique, ce qui provoque (flèche B) une évacuation massive et rapide de la chaleur  
15 engendré par le faisceau de haute énergie par dissipation au travers du plateau de fabrication 80, et donc un refroidissement rapide du bain engendré par chaque passage du faisceau de haute énergie.

On obtient une aube 100 telle que représentée sur la figure 3, qui contient des contraintes résiduelles, voire des fissures.

20 On se tourne maintenant sur les figures 4 et 5 selon l'invention.

Dans ce cas, on considère des étapes de fabrication supplémentaires pour former une plateforme d'isolation thermique 200 entre le plateau de fabrication 80 et ledit élément d'un seul tenant comportant l'aube 100 constituant la pièce fabriquée et ayant une forme  
25 identique à celle des figures 2 et 3.

En effet, avant de démarrer la construction du pied 110 de l'aube 100, on réalise l'étape (0) dans laquelle on dépose successivement plusieurs couches de poudre constituant une première série de couches de particules de poudre, en réalisant après la formation de chaque couche, et  
30 par balayage discontinu de multiples zones de surface très limitées (de préférence inférieure à  $1 \text{ mm}^2$  séparées entre elles au sein de la couche déposées mais superposées d'une couche à l'autre ; de multiples éléments d'un seul tenant au sein de chaque couche qui constituent entre eux des colonnes 210 de matière d'un seul tenant entourées de volumes  
35 220 de particules de poudre au sein d'une plateforme d'isolation thermique 200 présentant une hauteur H2, et ensuite on reprend à l'étape

(1) précitée en déposant la première couche 10 non pas sur le plateau de fabrication mais sur la plateforme d'isolation thermique 200.

5 Ensuite, selon un premier mode de réalisation non représenté, on réalise après l'étape (0), et selon les étapes (1) à (5) précitées, directement l'aube 100, en commençant par le pied 110 construit directement sur la plateforme d'isolation thermique 200, puis en poursuivant par la pale 120 et en terminant par la tête 130, d'où l'obtention d'un ensemble d'un seul tenant comprenant le plateau de fabrication 80, la plateforme d'isolation thermique 200 et l'aube 100.

10 Les colonnes de matière 210 présentent une largeur non nulle et inférieure à 1 mm, notamment de l'ordre de 0.1 mm.

Entre les colonnes de matière 210, la poudre reste présente et majoritaire en rapport volumique avec une conductivité thermique relativement faible compte tenu de sa porosité qui est de l'ordre de 50 à 15 60%.

Il faut rappeler que les pertes par convection et rayonnement du bain liquide sont également très faibles.

20 A titre d'exemple, les colonnes de matière 210 et la plateforme d'isolation thermique 200 contenant lesdites colonnes de matière 210 présentent une hauteur H2 comprise entre 2 mm et 10 mm, et en particulier de l'ordre de 4 à 5 mm.

En comparaison, le pied 110 présente une hauteur H1 comprise entre 5 mm et 10 mm, et en particulier de l'ordre de 7 mm.

25 De cette façon, on peut réduire les pertes par conduction au travers du plateau de fabrication 80 formant une pièce massive (on rappelle qu'on entend par l'expression « plateau de fabrication » un plateau seul ou surmonté d'un support massif, d'une partie d'une autre pièce ou d'une grille support utilisée pour faciliter la construction de certaines pièces), en intercalant un volume essentiellement formé de 30 particules de poudre de plusieurs millimètres d'épaisseur (la plateforme d'isolation thermique 200 est majoritairement constituée des volumes 220 de poudre) dont la conductivité thermique est très faible. Alors, la chaleur induite par le laser reste dans le bas de la pièce dans les premiers millimètres de construction puis se déplace vers le haut au fur et à mesure 35 de l'empilement des couches, maintenant ainsi une température de

préchauffage suffisamment élevée dans la pièce pour supprimer toute éventuellement fissuration à chaud de l'alliage.

La solution proposée vise donc à isoler la pièce du plateau de fabrication 80 par des supports fins et discontinus à la surface du plateau de fabrication 80 (les colonnes de matière 210) de manière à limiter le flux de chaleur vers celui-ci. Ces supports sont bien entendu noyés dans le volume de poudre.

Selon un deuxième mode de réalisation représenté sur les figures 4 et 5, on réalise après l'étape (0), et avant de construire l'aube 100, une étape (00) consistant à réaliser les étapes (1) à (5) pour former un premier bloc de matière 300 disposé au-dessus de la plateforme d'isolation thermique 200 et directement dessous et dans le prolongement vertical du pied 110, en servant de soubassement 300 au pied de l'aube 100.

Dans ce cas, l'aube 100 (ou plus généralement la pièce) constitue un deuxième bloc de matière disposé au-dessus du premier bloc de matière, et ledit élément d'un seul tenant est composé du premier bloc de matière (soubassement 300) et d'un deuxième bloc de matière formant l'aube 100 (ou plus généralement la pièce).

Ainsi, on comprend que le deuxième bloc de matière comporte ledit pied 110 et ladite pôle 120 et que ledit pied 110 est disposé dans le prolongement du premier bloc de matière de façon à former avec lui un volume de matière massif.

Sur les figures 4 et 5, on voit même que le soubassement 300 et le pied 110 de l'aube ont le même contour en projection verticale de façon à se trouver dans une stricte superposition et un strict prolongement vertical.

Dans ce deuxième mode de réalisation, l'ensemble d'un seul tenant comprend le plateau de fabrication 80, la plateforme d'isolation thermique 200, le soubassement 300 et l'aube 100 (ou plus généralement la pièce).

A titre d'exemple, le soubassement 300 présente une hauteur H4 comprise entre 10 mm et 40 mm, et en particulier de l'ordre de 20 mm.

Dans cet exemple du deuxième mode de réalisation, la formation du soubassement 300 revient à augmenter l'épaisseur du pied 110 de l'aube de plusieurs millimètres (hauteur H4) de façon à ce que le balayage successif du volume de matière massif ainsi constitué et présentant une

hauteur H3 ( $H3 = H1 + H4$ ) qui permette de maintenir une température plus élevée dans ledit volume de matière massif de hauteur H3.

5 Ainsi, la partie basse de l'aube (son pied 11 et le soubassement 300) est plus haute de manière à former un volume de matière suffisamment important pour que celui-ci devienne chaud grâce aux balayages successifs du faisceau laser. Alors la température de la partie ajoutée au bas de la pièce atteint une température suffisamment haute pour fabriquer sainement le matériau, c'est-à-dire permettre de supprimer totalement les problèmes de fissuration à chaud de l'alliage.

10 De préférence, ledit premier bloc de matière (soubassement 300) présente un volume au moins égal à celui du pied 110 de l'aube 100.

Par exemple, ledit premier bloc de matière (soubassement 300) présente une hauteur H4 au moins égale la hauteur H1 du pied 110 de l'aube 100, et de préférence égale à la hauteur H1 du pied 110 de l'aube  
15 100.

On obtient une aube 100 telle que représentée sur la figure 5 qui ne contient pas ou peu de contraintes résiduelles.

Le procédé objet de la présente invention s'applique à la fabrication de multiples types de pièces et à tous les matériaux utilisés  
20 dans les procédés de fabrication de pièce par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau de haute énergie.

En particulier, le procédé objet de la présente invention s'applique à une poudre qui forme, après fusion ou frittage, un matériau sensible à la fissuration, et notamment un matériau métallique, intermétallique, ou en  
25 composite à matrice métallique.

Par exemple, ledit matériau est un superalliage à base de nickel, et notamment un superalliage à base de nickel fortement renforcé (en particulier par ajout de titane et/ou d'aluminium comme dans les alliages DS200, René 77...).

30

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication de pièce (100) par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre(s) au moyen d'un faisceau de haute énergie (95), caractérisé en ce que l'on réalise les étapes
- 5 suivantes :
- a) on fournit un dispositif comprenant un bac d'alimentation (70), un bac de construction (85) dont le fond est formé d'un plateau de fabrication (80) déplaçable en translation verticale et un système de transfert (30) apte à déposer de la poudre depuis ledit bac d'alimentation (70) vers ledit
- 10 bac de construction (85), en une couche de poudre (10) d'épaisseur constante, et un système optique (52, 54) à faisceau de haute énergie apte à balayer la surface de ladite couche de poudre déposée(10) pour fusionner ou fritter entre elles les particules présentes dans des zones prédéterminées de la couche de poudre déposée (10);
- 15 b) on fournit une poudre placée dans ledit bac d'alimentation (70),
- c) on dépose, sur le plateau de fabrication (80), une première série de couches de poudre, et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre après le dépôt de chaque nouvelle couche de poudre de façon à former, au-dessus du plateau de fabrication (80), plusieurs colonnes de
- 20 matière (210) séparées entre elles par des particules de poudre (220), et
- d) on dépose, sur ladite première série de couches de particules de poudre, une deuxième série de couches de poudre et on fusionne ou on fritte entre elles les particules de poudre après le dépôt de chaque nouvelle couche de poudre de façon à former à former un élément d'un
- 25 seul tenant comportant la pièce (100) et surmontant lesdites colonnes de matière (210),
- ce par quoi les colonnes de matière de ladite première série de couches de particules de poudre forment une plateforme d'isolation thermique (200) entre le plateau de fabrication (80) et ledit élément d'un seul tenant (100,
- 30 300).
2. Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les colonnes de matière (210) présentent une largeur inférieure à 1 mm.
3. Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication
- 35 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit élément d'un seul tenant est composé

d'un premier bloc de matière disposé au-dessus de la plateforme d'isolation thermique et d'un deuxième bloc de matière disposé au-dessus du premier bloc de matière et formant ladite pièce, ledit premier bloc de matière venant servir de soubassement (300) à ladite pièce (100).

5           4.           Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le faisceau de haute énergie est un laser et la fabrication est effectuée par fusion sélective ou frittage sélectif de lits de poudre par laser.

10           5.           Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la pièce (100) est une aube de turbomachine comprenant un pied (10) et une pale (120).

15           6.           Procédé de fabrication d'une aube selon la revendication précédente et la revendication 3, caractérisé en ce que le deuxième bloc de matière comporte ledit pied (110) et ladite pale (120) et en ce que ledit pied (110) est disposé dans le prolongement du premier bloc de matière de façon à former avec lui un volume de matière massif.

7.           Procédé de fabrication d'une aube selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit premier bloc de matière présente un volume au moins égal à celui du pied (110) de l'aube.

20           8.           Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la poudre forme, après fusion ou frittage, un matériau sensible à la fissuration.

25           9.           Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit matériau présente des liaisons chimiques de nature métallique.

10.          Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit matériau est un superalliage à base de nickel.



1/3

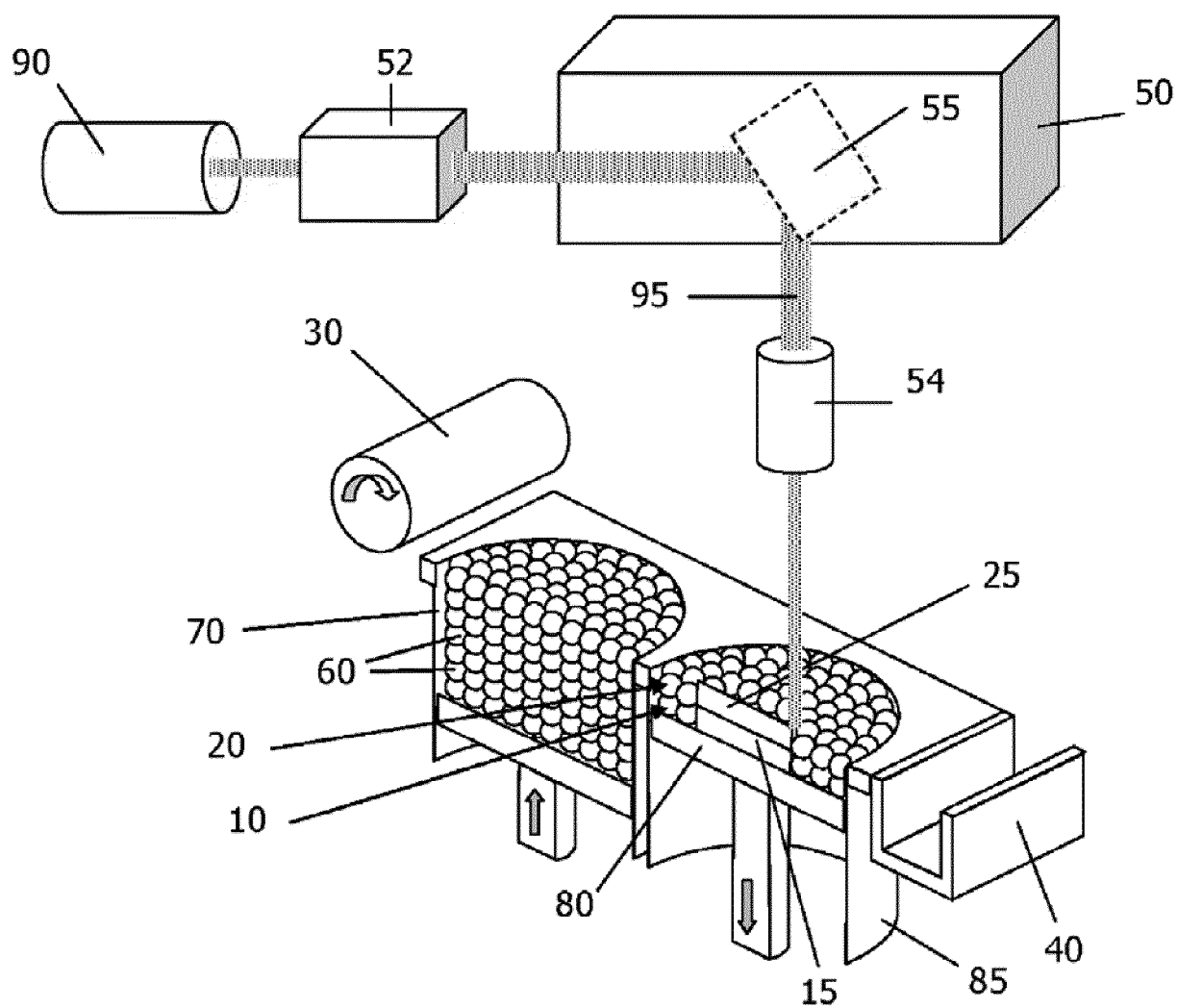
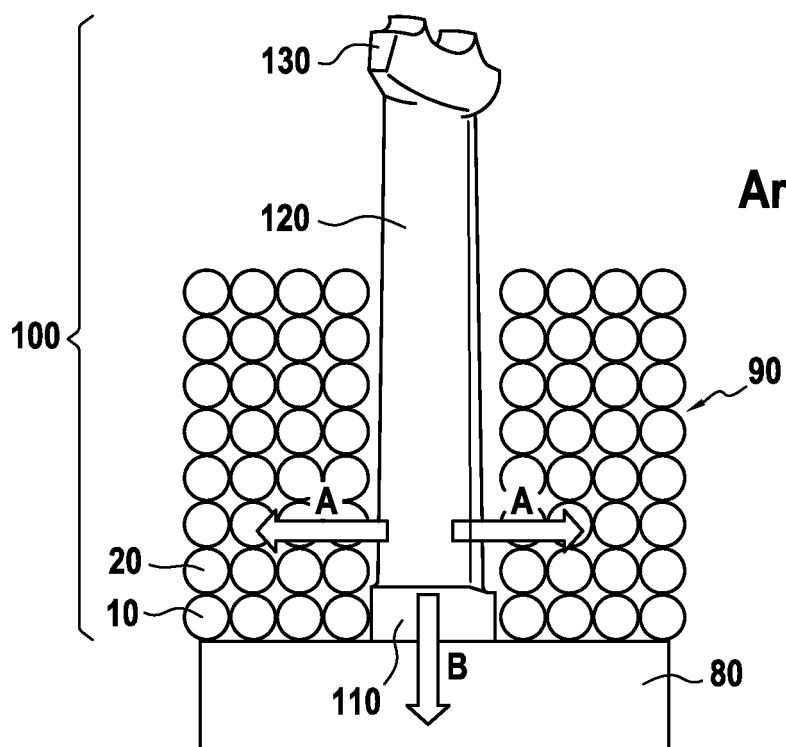
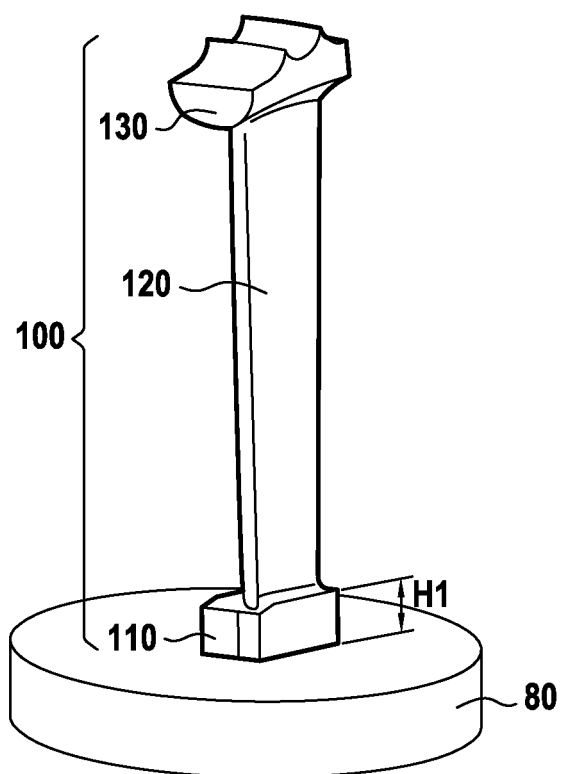


FIG.1

2/3



**FIG. 2**  
Art antérieur



**FIG. 3**  
Art antérieur

3/3

FIG.4

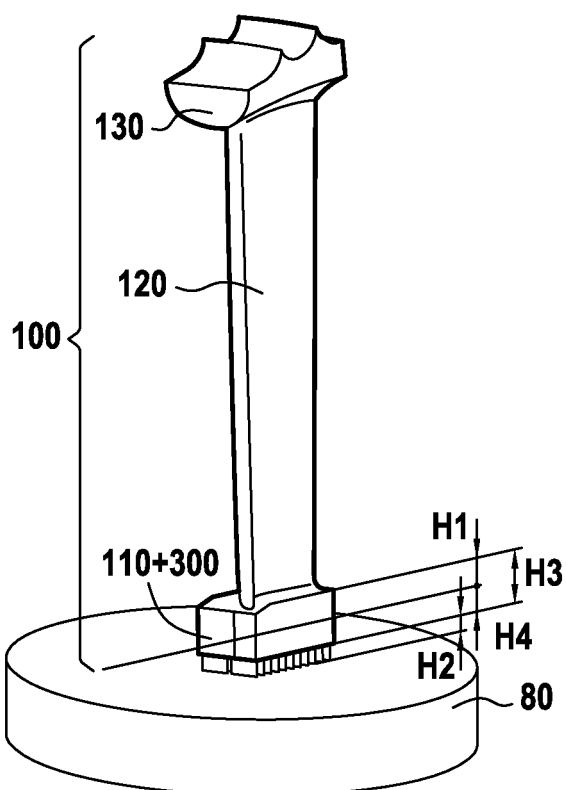
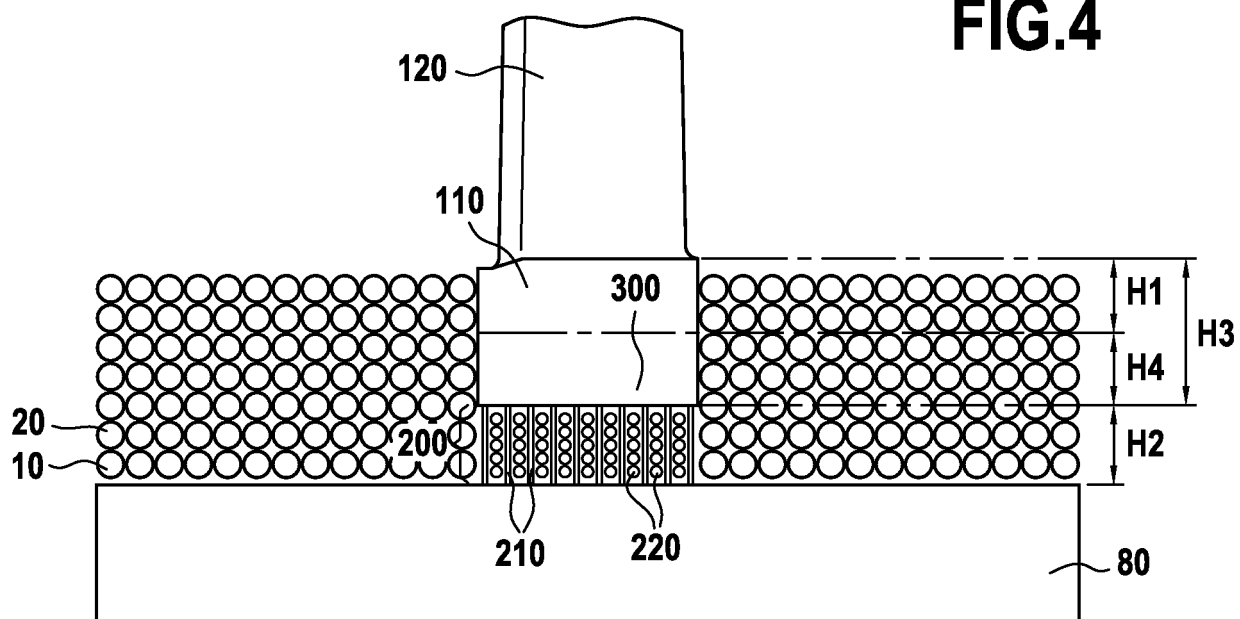


FIG.5



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 768671  
FR 1255245

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	GB 2 458 745 A (MATERIALS SOLUTIONS [GB]) 7 octobre 2009 (2009-10-07)	1-4,8,9	B22F3/105 B23K26/34
Y	* page 1, ligne 4-15 * * page 5, ligne 5-13 * * page 6, ligne 1-18 * * figure 1 *	5-7,10	
X	----- EP 1 358 855 A1 (BEGO MEDICAL AG [DE] BEGO MEDICAL GMBH [DE]) 5 novembre 2003 (2003-11-05) * alinéas [0001] - [0012] * * produkt 2; figure 1 *	1,3,4,8, 9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  B22F B29C
X	----- EP 2 156 941 A1 (AVIO SPA [IT]) 24 février 2010 (2010-02-24) * alinéas [0010] - [0027] *	1,3,4,8, 9	
Y	----- WO 2012/001324 A1 (SNECMA [FR]; MOTTIN JEAN-BAPTISTE [FR]; MEREUX BERYL CASSANDRE ANNE [FR]) 5 janvier 2012 (2012-01-05) * pages 5-10; figures 1-3 *	5-7,10	
E	----- US 2013/004680 A1 (GODFREY DONALD G [US] ET AL) 3 janvier 2013 (2013-01-03) * le document en entier *	1,3-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 mars 2013		Forestier, Gilles	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		.....	
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1255245 FA 768671**

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 **05-03-2013**

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
GB 2458745	A	07-10-2009	AUCUN	
-----				
EP 1358855	A1	05-11-2003	AT 433727 T	15-07-2009
			CA 2427087 A1	03-11-2003
			DE 10219983 A1	04-12-2003
			EP 1358855 A1	05-11-2003
			ES 2325656 T3	11-09-2009
			JP 4259912 B2	30-04-2009
			JP 2004003018 A	08-01-2004
			US 2004031780 A1	19-02-2004
			US 2006186101 A1	24-08-2006
-----				
EP 2156941	A1	24-02-2010	AUCUN	
-----				
WO 2012001324	A1	05-01-2012	CA 2803157 A1	05-01-2012
			FR 2962061 A1	06-01-2012
			WO 2012001324 A1	05-01-2012
-----				
US 2013004680	A1	03-01-2013	EP 2540419 A1	02-01-2013
			US 2013004680 A1	03-01-2013
-----				