(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 144 766***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 00286**

(51) Int Cl[8] : ***B 22 F 10/00*** *(2023.01), B 33 Y 10/00, 80/00, B 29 C 64/153*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 11.01.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 12.07.24 Bulletin 24/28.

(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 ADDITIVE MANUFACTURING CAMPUS Société par actions simplifiée* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** MINJOT Kevin Emilien André, BLANCHOD Maxime Fabien, Roger, Alphonse et DANDALEIX Pierre-Etienne.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN ADDITIVE MANUFACTURING CAMPUS Société par actions simplifiée.

(74) **Mandataire(s) :** Cabinet CAMUS LEBKIRI.

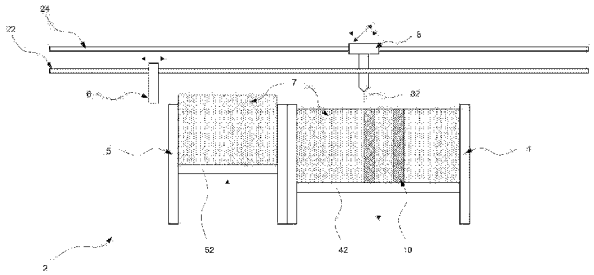
(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE MUNIE D'UN TROU CYLINDRIQUE PAR DÉPÔT ET SOLIDIFICATION DE COUCHES SUCCESSIVES D'UNE POUDRE ET PIECE OBTENUE PAR CE PROCEDE.

(57) TITRE : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE MUNIE D'UN TROU CYLINDRIQUE PAR DÉPÔT ET SOLIDIFICATION DE COUCHES SUCCESSIVES D'UNE POUDRE ET PIECE OBTENUE PAR CE PROCEDE

Un aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce (10) par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z, comprenant un trou final (30) cylindrique, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

dépôt et solidification de couches successives de poudre autour d'une zone prédéfinie, la zone prédéfinie formant, après dépôt et solidification d'une dernière couche de poudre, un trou de construction (200), le trou de construction (200) comprenant une portion constante (210) et une portion provisoire (220), etformation du trou final (30), d'axe X perpendiculaire à l'axe de dépôt Z, par déformation et effondrement de la portion provisoire (220) du trou de construction (200), le trou final (30) présentant une section en forme de cercle C1.

Figure à publier avec l'abrégé : Figure 1



FR 3 144 766 - A1

Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UNE PIÈCE MUNIE D'UN TROU CYLINDRIQUE PAR DÉPÔT ET SOLIDIFICATION DE COUCHES SUCCESSIVES D'UNE POUDRE ET PIECE OBTENUE PAR CE PROCEDE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de la fabrication additive et particulièrement du procédé de fusion laser sur lit de poudre.

[0002] La présente invention concerne plus particulièrement un procédé de fabrication d'une pièce munie d'un trou cylindrique par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre, et une pièce obtenue par ce procédé.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0003] Le procédé de fusion laser sur lit de poudre, ou Laser Beam Melting (LBM) ou encore Laser Metal Deposition (LMD) en terminologie anglosaxonne, est une technologie de fabrication additive, appelé aussi impression trois dimensions (3D) impliquant l'utilisation d'une imprimante 3D.

[0004] Le procédé de fusion laser sur lit de poudre peut être utilisé pour la mise en forme de pièces métalliques, ou bien de pièces en polymère, en fonction de la technologie sélectionnée. Par exemple, la technologie de frittage laser direct de métal ou Direct Metal Laser Sintering (DMLS) en terminologie anglosaxonne et la technologie de fusion par faisceau d'électrons, ou Electron Beam Melting (EBM) en terminologie anglosaxonne, utilisent des poudres métalliques tels que l'aluminium le chrome, le cobalt etc… En revanche, la technologie de frittage laser sélectif, ou Selective Laser Sintering (SLS) en terminologie anglosaxonne, et la technologie de fusion multi-jets, ou Multi Jet Fusion (MJF) en terminologie anglosaxonne, utilisent des poudres de polymères tels que le nylon et le nylon chargé en fibres de verres ou de carbones. Ces différentes technologies du procédé de fusion laser sur lit de poudre permettent de fabriquer des pièces en trois dimensions par ajout de matière, c'est-à-dire par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre. Ce type de procédé se distingue des procédés de fabrication dit « conventionnels », selon lesquels la fabrication des pièces s'effectue soit par enlèvement de matière appelé usinage, soit par déformation plastique du matériau ou encore par assemblage de plusieurs éléments.

[0005] Classiquement, telle que représentée à la [Fig.1], l'imprimante 3D utilisée pour la réalisation d'une pièce 10 par fusion laser sur lit de poudre 7 est une machine 2 comprenant :

– un bac de fabrication 4 comportant un plateau de fabrication 42 formant une

base pour la fabrication de la pièce 10, le plateau de fabrication 42 étant mobile en translation selon un axe de dépôt Z,

- un bac d'alimentation 5 en poudre 7 agencé à proximité du bac de fabrication 4 et comprenant un fond 52 mobile en translation selon l'axe Z,
- un racleur 6 mobile en translation selon un axe Y, perpendiculaire à l'axe Z, sur un premier rail 22 de la machine 2, et
- au moins un laser 8 comprenant un faisceau laser 82, le laser 8 étant mobile en translation selon un axe X, perpendiculaire à l'axe Z, et selon l'axe Y, sur un deuxième rail 24 de la machine 2.

[0006] La fabrication additive d'une pièce 10 requiert la réalisation préalable d'un fichier numérique de production via un logiciel adapté comprenant :

- un découpage de la modélisation 3D de la pièce en une pluralité de tranches présentant une épaisseur prédéterminée, et
- les paramètres du laser 8 tels que sa puissance, la vitesse et le motif de balayage du faisceau laser 82, l'épaisseur des tranches de la pièce 10 etc…

[0007] Le procédé de fabrication d'une pièce 10 par fusion laser sur lit de poudre comporte les étapes successives suivantes :

- translation du fond 52 du bac d'alimentation 5 selon l'axe Z, vers le haut, de manière à obtenir une quantité de poudre 7 surélevée,
- translation du fond 42 du bac de fabrication 4 selon l'axe Z, vers le bas, de manière à obtenir un espace libre au-dessus du lit de poudre 7 présent dans le bac de fabrication 4,
- transfert par le racleur 6 d'une quantité de poudre 7 du bac d'alimentation 5 vers le bac de fabrication 4 et répartition de la poudre 7 uniformément dans le bac de fabrication 4 de manière à créer une nouvelle couche de poudre 7 dont l'épaisseur est sensiblement égale à celle d'une tranche de la pièce 10,
- balayage sélectif par le faisceau laser 82 du laser 8 de certaines zones de la couche de poudre 7 nouvellement déposée de manière à fusionner et solidifier les particules de poudre pour créer une tranche en deux dimensions de la pièce 10, et
- répétition des trois étapes précédentes jusqu'à l'obtention de la pièce 10 finale en trois dimensions.

[0008] Cependant, la fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre ne permet pas la fabrication d'une surface non supportée, dite « en plafond », du fait de l'effondrement de la surface non supportée lorsque la pièce est soumise à la gravité, c'est-à-dire lorsqu'elle est retirée complètement du lit de poudre. Par conséquent, la formation de trous cylindriques, dont l'axe s'étend perpendiculairement à l'axe de dépôt Z, c'est-à-dire sensiblement horizontal, n'est pas réalisable. En effet, au point haut d'un

trou cylindrique, la surface n'est pas supportée et celle-ci s'effondre.

Résumé de l'invention

[0009] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en proposant un procédé de fabrication d'une pièce par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z, la pièce étant munie d'un trou cylindrique dont l'axe s'étend perpendiculairement à l'axe de dépôt Z.

[0010] Un premier aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z, comprenant un trou final cylindrique. Le procédé de fabrication comporte les étapes suivantes :

- dépôt et solidification de couches successives de poudre autour d'une zone prédéfinie, la zone prédéfinie formant, après dépôt et solidification d'une dernière couche de poudre, un trou de construction, le trou de construction comprenant une portion constante et une portion provisoire, et
- formation du trou final, d'axe X perpendiculaire à l'axe de dépôt Z, par déformation et effondrement de la portion provisoire du trou de construction, le trou final présentant une section en forme de cercle C1.

[0011] La « zone prédéfinie » est une zone en trois dimensions qui s'étend selon trois axes X, Y et Z. Cette zone prédéfinie correspond à un volume destiné à former le trou de construction de la pièce, après dépôt et solidification de la totalité des couches de poudre nécessaires à la construction de la pièce.

[0012] Le procédé de fabrication selon l'invention permet, grâce à la formation d'un trou de construction lors de la réalisation d'une pièce réalisée selon le procédé de fusion laser sur lit de poudre, de programmer la fabrication d'un trou final cylindrique en prenant en compte la déformation et l'effondrement de la portion provisoire du trou de construction.

[0013] Avantageusement, la portion constante du trou de construction est agencée en-dessous de la une portion provisoire du trou de construction, suivant l'orientation d'axe de dépôt Z.

[0014] Préférentiellement, la portion constante du trou de construction présente une section comprenant un arc inférieur du cercle C1 de centre O1 et de rayon r1, et la portion provisoire du trou de construction présente une section comprenant un arc supérieur d'un cercle C2 de centre O2 et de rayon r2, et deux tronçons de jonction reliant chacun l'arc inférieur de la portion constante à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction.

[0015] Avantageusement, le centre O1 du cercle C1 et le centre O2 du cercle C2 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L1.

[0016] Préférentiellement, le rayon r2 du cercle C2 est égal au rayon r1 du cercle C1.

[0017] Préférentiellement, chaque tronçon de jonction de la portion provisoire est tangent à l'arc inférieur de la portion constante du trou de construction et est tangent à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction.

[0018] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, chaque tronçon de jonction de la portion provisoire du trou de construction comprend :

- un segment de liaison s'étendant sensiblement suivant l'axe Z et relié à l'arc inférieur de la portion constante,
- un segment intermédiaire relié à l'arc supérieur de la portion provisoire, et
- un arc intermédiaires d'un cercle C3 de centre O3 et de rayon r3 reliant le segment de liaison à l'arc intermédiaire.

[0019] Avantageusement, chaque segment intermédiaire de chaque tronçon de jonction de la portion provisoire du trou de construction est tangent à l'arc intermédiaire et est tangent à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction.

[0020] Préférentiellement, le centre O1 du cercle C1 et le centre O3 du cercle C3 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L2, et la distance L2 est supérieure à la distance L1.

[0021] Avantageusement, le rayon r3 du cercle C3 est égal au rayon r1 du cercle C1.

[0022] Préférentiellement, chaque segment intermédiaire de chaque tronçon de jonction de la portion provisoire du trou de construction forme un angle α, compris entre 30° et 45°, avec un axe Y passant par le centre O2 du cercle C2 et perpendiculaire à l'axe X et à l'axe Z.

[0023] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, chaque tronçon de jonction de la portion provisoire du trou de construction comprend un segment de liaison s'étendant sensiblement suivant l'axe Z et reliant l'arc inférieur de la portion constante à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction.

[0024] Avantageusement, l'étape de dépôt et solidification de couches successives de poudre comprend une sous-étape de formation d'au moins un mur longitudinal s'étendant de l'arc inférieur de la portion constante à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction, chaque mur longitudinal s'étendant parallèlement à un plan XZ. La présence de murs longitudinaux permet de soutenir la portion provisoire du trou de construction.

[0025] Préférentiellement, l'étape de dépôt et solidification de couches successives de poudre comprend une sous-étape de formation d'un mur normal s'étendant de l'arc inférieur de la portion constante à l'arc supérieur de la portion provisoire du trou de construction, le mur normal s'étendant parallèlement à un plan YZ. La présence d'un mur normal permet d'augmenter la rigidité du trou de construction.

[0026] Avantageusement, la sous-étape de formation d'au moins un mur forme un seul et

unique mur normal pour permettre la circulation d'un fluide à l'intérieur du trou de construction.

[0027] Préférentiellement, l'étape de formation du trou final comprend une sous-étape de dissolution des murs longitudinaux et/ou du mur normal du trou de construction.

[0028] Un deuxième aspect de l'invention concerne une pièce réalisée par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z. La pièce étant obtenue par le procédé de fabrication selon l'invention. Le trou final de la pièce est délimité selon l'axe de dépôt Z par une surface inférieure et une surface supérieure, la surface supérieure étant non supportée et sensiblement agencée en vis-à-vis de la surface inférieure du trou final.

[0029] Avantageusement, la circularité de la surface inférieure du trou final est sensiblement identique à la circularité de la surface inférieure de l'arc inférieur du trou de construction, et la circularité de la surface supérieure du trou final est plus faible que la circularité de la surface inférieure du trou final.

[0030] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0031] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit, illustrée par les figures dans lesquelles :

- La [Fig.1], déjà décrite, est une représentation schématique d'une machine utilisée classiquement pour la mise-en-œuvre d'un procédé de fusion laser sur lit de poudre ;
- La [Fig.2] est un schéma en coupe selon un plan YZ d'une pièce en cours de fabrication réalisée par un procédé de fusion laser sur lit de poudre et comprenant un trou de construction selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- La [Fig.3] est un schéma en coupe selon un plan YZ d'une pièce en cours de fabrication réalisée par un procédé de fusion laser sur lit de poudre et comprenant un trou de construction selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- La [Fig.4] est une en perspective en coupe selon un plan XY d'une pièce en cours de fabrication comprenant un trou de construction selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- La [Fig.5] est un schéma en coupe transversale d'une pièce finale réalisée par un procédé de fusion laser sur lit de poudre et comprenant un trou final selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0032] Un exemple du procédé de fabrication selon l'invention et d'une pièce obtenue par ce procédé sont décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Cet exemple illustre les caractéristiques et avantages de l'invention.

[0033] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

[0034] Pour la compréhension de l'invention, on adoptera un repère orthogonal XYZ indiqué aux figures, selon lequel les axes X et Y s'étendent dans un plan horizontal et l'axe Z s'étend dans un plan vertical suivant l'orientation aux figures. Une portion inférieure vers une portion supérieure d'un trou final cylindrique est orientée selon l'axe Z du repère XYZ.

[0035] Dans la description, les termes « inférieur » et « supérieur » sont définis suivant l'axe Z, pour un même élément, la partie « inférieure » étant située en-dessous de la partie « supérieure ».

[0036] Les figures 2, 3 et 4 illustrent une pièce 10F en cours de fabrication réalisée par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre, selon un axe de dépôt Z, et comportant un trou de construction 200 s'étendant selon un axe X.

[0037] La pièce 10F en cours de fabrication est délimitée entre une surface inférieure 12A et une surface supérieure 12B et comprend le trou de construction 200 qui est délimité entre un point bas 202 et un point haut 204, selon l'axe Z.

[0038] Plus particulièrement, la pièce 10F en cours de fabrication comprend :

- une partie basse 14 correspondant à la partie de la pièce 10F située en-dessous du trou de construction 200, c'est-à-dire la partie s'étendant de la surface inférieure 12A de la pièce 10F jusqu'au point bas 202 du trou de construction 200,
- une partie trouée 16F correspondant à la partie de la pièce 10F comprenant le trou final 30, c'est-à-dire la partie s'étendant du point bas 202 du trou de construction 200 jusqu'au point haut 204 du trou de construction 200, et
- une partie haute 18C correspondant à la partie de la pièce 10F située au-dessus du trou de construction 200, c'est-à-dire la partie s'étendant du point haut 204 du trou de construction 200 jusqu'à la surface supérieure 12B de la pièce 10F.

[0039] Tel que représenté aux figures 2, 3 et 4, le trou de construction 200 comprend une portion constante 210 et une portion provisoire 220. Un premier mode de réalisation du trou de construction 200 est représenté à la [Fig.2] et un deuxième mode de réalisation du trou de construction 200 est représenté aux figures 3 et 4. Selon les premier et deuxième modes de réalisation, la portion constante 210 du trou de construction 200 est agencée en-dessous de la portion provisoire 220 du trou de construction 200, suivant l'orientation de l'axe Z. Le trou de construction 200 est configuré pour former

un trou final 30, illustré à la [Fig.5], par déformation et effondrement de la portion provisoire 220 du trou de construction 200. Le trou final 30 obtenu est sensiblement identique pour le premier et le deuxième modes de réalisation de l'invention.

[0040] Préférentiellement, le trou de construction 200 est symétrique par rapport à l'axe Z passant par le centre O1 du cercle C1 et présente une section constante suivant l'axe X. Plus particulièrement, le trou de construction 200 est délimité selon l'axe Z par une surface inférieure 206 et une surface supérieure 208, la surface supérieure 208 étant non supportée et sensiblement agencée en vis-à-vis de la surface inférieure 206 du trou de construction 200.

[0041] La portion constante 210 du trou de construction 200 est identique pour le premier et le deuxième modes de réalisation de l'invention. Plus particulièrement, la portion constante 210 du trou de construction 200 présente une section comprenant un arc inférieur 212 d'un cercle C1 de centre O1 et de rayon r1, délimité entre une première extrémité 212A et une deuxième extrémité 212B. Avantageusement, l'arc inférieur 212 forme un demi-cercle selon lequel les première et deuxième extrémités 212A, 212B sont alignées avec le centre O1 du cercle C1, suivant l'axe Y.

[0042] La portion provisoire 220 du trou de construction 200 présente une section comprenant :

- un arc supérieur 222 d'un cercle C2 de centre O2 et de rayon r2, délimité entre une première extrémité 222A et une deuxième extrémité 222B, et
- un premier tronçon de jonction 230 reliant la première extrémité 212A de l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 à la première extrémité 222A de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220, et
- un deuxième tronçon de jonction 240 reliant la deuxième extrémité 212B de l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 à la deuxième extrémité 222B de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220.

[0043] Plus particulièrement, le premier tronçon de jonction 230 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 est agencé avant le deuxième tronçon de jonction 240 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200, suivant l'orientation de l'axe Y.

[0044] Tels qu'illustrés aux figures 2 et 3, le centre O1 du cercle C1 et le centre O2 du cercle C2 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L1. Plus particulièrement, la distance L1 correspond au nombre de couches de poudre fusionnées avec la dernière couche étalée, c'est-à-dire la couche de poudre en cours de fusion, lors de la fabrication par fusion laser sur lit de poudre. Avantageusement, la distance L1 est comprise entre 2 et 5 épaisseurs de couches de poudre. Préférentiellement, le rayon r2 du cercle C2 est égal au rayon r1 du cercle C1. Par exemple, les rayons r1, r2 sont compris entre 0,6mm et 1,5mm.

[0045] Selon le premier mode de réalisation de l'invention tel que représenté à la [Fig.2] :

- le premier tronçon de jonction 230 du trou de construction 200 présente une section comprenant :
  - un premier segment de liaison 232 s'étendant sensiblement suivant l'axe Z, délimité entre une extrémité inférieure 232A et une extrémité supérieure 232B et relié à la première extrémité 212A de l'arc inférieur 212 en son extrémité inférieure 232A,
  - un premier arc intermédiaire 234 d'un cercle C3 de centre O3 et de rayon r3, délimité entre une extrémité inférieure 234A et une extrémité supérieure 234B, et relié au premier segment de liaison 232 en son extrémité inférieure 234A, et
  - un premier segment intermédiaire 236 délimité entre une extrémité inférieure 236A et une extrémité supérieure 236B, et relié à l'extrémité supérieure 234A du premier arc intermédiaire 234 en son extrémité inférieure 236A, et relié à la première extrémité 222A de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 en son extrémité supérieure 236B ;
- le deuxième tronçon de jonction 240 du trou de construction 200 présente une section comprenant :
  - un deuxième segment de liaison 242, s'étendant sensiblement suivant l'axe Z, délimité entre une extrémité inférieure 242A et une extrémité supérieure 242B et relié à la deuxième extrémité 212B de l'arc inférieur 212 en son extrémité inférieur 242A,
  - un deuxième arc intermédiaire 244 d'un cercle C3 de centre O3 et de rayon r3, délimité entre une extrémité inférieure 244A et une extrémité supérieure 244B, et relié au deuxième segment de liaison 224 en son extrémité inférieure 244A, et
  - un deuxième segment intermédiaire 246 délimité entre une extrémité inférieure 246A et une extrémité supérieure 246B, et relié à l'extrémité supérieure 244A du deuxième arc intermédiaire 244 en son extrémité inférieure 246A et relié à la deuxième extrémité 222B de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 en son extrémité supérieure 246B.

[0046] Le trou de construction 200 selon le premier mode de réalisation de l'invention présente approximativement une forme oblongue comprenant une pointe formée par l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220.

[0047] Tel qu'illustré à la [Fig.2], le centre O1 du cercle C1 et le centre O3 du cercle C3 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L2 supérieure à la distance L1. Plus particulièrement, la différence entre la distance L1 et la

distance L2 (L2-L1) correspond au nombre de couches temporaires de poudre, c'est-à-dire aux couches de poudre destinées à s'effondrer lors de la formation du trou final 30. Avantageusement, la distance L2-L1 est comprise entre 1 et 5 épaisseurs de couches de poudre. Préférentiellement, le rayon r3 du cercle C3 est égal au rayon r1 du cercle C1.

[0048] Selon certains modes de réalisation du trou de construction 200, le premier segment de liaison 232 du premier tronçon de jonction 230 de la portion provisoire 220 est tangent à l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 en son extrémité inférieure 232A et est tangent à l'arc intermédiaire 234 du premier tronçon de jonction 230 en son extrémité supérieure 232B. Le premier segment intermédiaire 236 du premier tronçon de jonction 230 de la portion provisoire 220 est tangent à l'arc intermédiaire 234 du premier tronçon de jonction 230 en son extrémité inférieure 236A, et est tangent à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 en son extrémité supérieure 236B. De plus, le deuxième segment de liaison 242 du deuxième tronçon de jonction 240 de la portion provisoire 220 est tangent à l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 en son extrémité inférieure 242A et est tangent à l'arc intermédiaire 244 du deuxième tronçon de jonction 240 en son extrémité supérieure 242B. Le deuxième segment intermédiaire 246 du deuxième tronçon de jonction 240 de la portion provisoire 220 est tangent à l'arc intermédiaire 244 du deuxième tronçon de jonction 240 en son extrémité inférieure 246A, et est tangent à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 en son extrémité supérieure 246B.

[0049] Préférentiellement, chacun des premier et deuxième segments intermédiaires 232, 242 de chaque tronçon de jonction 230, 240 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 forme un angle α, compris entre 30° et 45°, avec l'axe Y passant par le centre O2 du cercle C2.

[0050] Selon le deuxième mode de réalisation de l'invention tel que représenté à la [Fig.3] :

- le premier tronçon de jonction 230 du trou de construction 200 présente une section comprenant un premier segment de liaison 232, s'étendant sensiblement suivant l'axe Z, délimité entre une extrémité inférieure 232A et une extrémité supérieure 232B, et relié à la première extrémité 212A de l'arc inférieur 212 en son extrémité inférieur 232A et relié à la deuxième extrémité 222B de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 en son extrémité supérieure 232B, et
- le deuxième tronçon de jonction 240 du trou de construction 200 présente une section comprenant un deuxième segment de liaison 242, s'étendant sensiblement suivant l'axe Z, délimité entre une extrémité inférieure 242A et une extrémité supérieure 242B, et relié à la deuxième extrémité 212B de l'arc inférieur 212 en son extrémité inférieur 242A et relié à la deuxième extrémité

222B de l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 en son extrémité supérieure 242B.

[0051] Le trou de construction 200 selon le deuxième mode de réalisation de l'invention présente la forme d'un trou oblong.

[0052] Selon certains modes de réalisation tels que représenté à la [Fig.3], le trou de construction 200 comprend une pluralité de murs longitudinaux 260 fins provisoires. Plus particulièrement, le trou de construction 200 comprend au moins un mur longitudinal 260 s'étendant de l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200. Chaque mur longitudinal 260 s'étend parallèlement à un plan XZ.

[0053] Les murs longitudinaux 260 sont configurés pour soutenir la portion provisoire 220 du trou de construction 200 et plus particulièrement la surface supérieure 208 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200. Chaque mur longitudinal 260 comprend une première paroi 262 et une deuxième paroi 264 parallèles et espacées l'une par rapport à l'autre de manière à former l'épaisseur e1 du mur longitudinal 260. Préférentiellement, l'épaisseur e1 du mur longitudinal 260 est très faible par rapport aux dimensions du trou final 30. De préférence, l'épaisseur e1 est comprise entre 0,06mm et 0,12mm, cette valeur dépendant directement de la puissance du laser préalablement paramétrée. En effet, pour une valeur d'épaisseur e1 inférieure à 0,06mm, la fabricabilité du mur longitudinal 260 est très limitée, et pour une valeur d'épaisseur e1 supérieure à 0,12mm, l'écoulement d'un fluide à l'intérieur du trou de fabrication 200 est altéré. Selon un exemple de réalisation de l'invention tel que représenté aux figures 3 et 4, le trou de construction comprend trois murs longitudinaux 260. Préférentiellement, les murs longitudinaux 260 sont répartis selon l'axe Y et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance d1 très faible par rapport aux dimensions du trou final 30. De préférence, la distance d1 est comprise entre 0,05mm et 1mm. En effet, pour une valeur de la distance d1 inférieure à 0,05mm, l'écoulement d'un fluide à l'intérieur du trou de fabrication 200 est altéré, et pour une valeur de la distance d1 supérieure à 1mm, la capacité de supportage de la surface supérieure 208 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 par les murs longitudinaux 260 est insuffisante, ce qui peut provoquer des phénomènes d'effondrement de la surface supérieure 208.

[0054] Selon certains modes de réalisation de l'invention, le trou de construction 200 comprend un mur normal 270 fin provisoire s'étendant de l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200. Tel que représenté à la [Fig.4], le trou de construction 200 comprend un seul et unique mur normal 270 s'étendant dans un plan YZ médian du trou de construction 200 cylindrique. La présence d'un seul mur normal 270 permet d'éviter la formation de cavités mortes entre les murs l260,270 du trou de construction 200,

permettant ainsi la circulation d'un fluide à l'intérieur du trou de construction 200.

[0055] Le mur normal 270 est configuré pour renforcer les murs longitudinaux 260 et ainsi améliorer la rigidité du trou de construction 200. Le mur normal 270 comprend une première paroi 272 et une deuxième paroi 274 parallèles et espacées l'une par rapport à l'autre de manière à former l'épaisseur e2 du mur normal 270. Préférentiellement, l'épaisseur e2 du mur normal 270 est très faible par rapport aux dimensions du trou final 30. De préférence, l'épaisseur e2 est comprise entre 0,06mm et 0,12mm, cette valeur dépendant directement de la puissance du laser préalablement paramétrée. En effet, pour une valeur d'épaisseur e2 inférieure à 0,06mm, la fabricabilité du mur normal 270 est très limitée, et pour une valeur d'épaisseur e2 supérieure à 0,12mm, l'écoulement d'un fluide à l'intérieur du trou de construction 200 est altéré.

[0056] Selon certains modes de réalisation, le premier segment de liaison 232 du premier tronçon de jonction 230 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 est tangent à l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 en son extrémité inférieure 232A et est tangent à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 en son extrémité supérieure 232B. De plus, le deuxième segment de liaison 242 du deuxième tronçon de jonction 240 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 est tangent à l'arc inférieur 212 de la portion constante 210 en son extrémité inférieure 242A et est tangent à l'arc supérieur 222 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 en son extrémité supérieure 242B.

[0057] La forme oblongue du trou de construction 200 selon le deuxième mode de réalisation de l'invention permet de supprimer la distance L2, le nombre de couches temporaires de poudre correspond donc à la distance L1. Par conséquent, une telle géométrie nécessite la présence de murs longitudinaux 260 de soutiens pour limiter l'effondrement de la surface supérieure 208 non supportée de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 et ainsi obtenir un trou final 30 présentant une circularité satisfaisante.

[0058] Tel que représenté à la [Fig.5], la pièce 10 finale est délimitée entre une surface inférieure 12A et une surface supérieure 12B et comprend le trou final 30 délimité entre un point bas 32 et un point haut 34, selon l'axe Z.

[0059] Plus particulièrement, la pièce 10 finale comprend :

- une partie basse 14 correspondant à la partie de la pièce 10 située en-dessous du trou final 30, c'est-à-dire la partie s'étendant de la surface inférieure 12A de la pièce 10 jusqu'au point bas 32 du trou final 30,
- une partie trouée 16 comprenant le trou final 30, c'est-à-dire la partie s'étendant du point bas 32 du trou final 30 jusqu'au point haut 34 du trou final 30, et
- une partie haute 18 correspondant à la partie de la pièce 10 située au-dessus

du trou final 30, c'est-à-dire la partie s'étendant du point haut 34 du trou final 30 jusqu'à la surface supérieure 12B de la pièce 10.

[0060] La partie basse 14 de la pièce 10 finale est sensiblement identique à la partie basse 14 de la pièce 10F en cours de fabrication. Cependant, la partie trouée 16 et la partie haute 18 de la pièce 10 finale sont différentes de la partie trouée 16F et de la partie haute 18F de la pièce 10F en cours de fabrication car ces dernières vont s'effondrer lors de la formation du trou final 30.

[0061] Le trou final 30 est sous la forme d'un trou cylindrique d'axe X délimité selon l'axe Z par une surface inférieure 36 et une surface supérieure 38, la surface supérieure 38 étant non supportée et sensiblement agencée en vis-à-vis de la surface inférieure 36 du trou final 30. Le trou final 30 présente une section en forme de cercle C1 constante suivant l'axe X. Préférentiellement, Le trou final 30 est symétrique par rapport à l'axe Z passant par le centre O1 du cercle C1.

[0062] Avantageusement, la circularité de la surface inférieure 36 du trou final 30 est sensiblement identique à la circularité de la surface inférieure 206 de l'arc inférieur 210 du trou de construction 200. De plus, la circularité de la surface supérieure 38 du trou final 30 est plus faible que la circularité de la surface inférieure 36 du trou final 30. La circularité d'un cercle correspond à la valeur obtenue en divisant par 2 la différence entre la valeur maximale du diamètre et la valeur minimale du cercle, les valeurs maximale et minimale étant mesurées en effectuant 4 à 8 découpages du cercle selon son diamètre.

[0063] Le procédé de fabrication d'une pièce 10, selon les premier et deuxième modes de réalisation de l'invention, comporte les étapes suivantes :

- dépôt et solidification de couches successives de poudre selon l'axe de dépôt Z comprenant les sous-étapes suivantes :
  - formation de la partie basse 12 de la pièce 10,
  - formation de la partie trouée 16F de la pièce 10F en cours de fabrication par dépôt et solidification de couches successives de poudre autour d'une zone prédéfinie, la zone prédéfinie formant, après dépôt et solidification d'une dernière couche de poudre, la portion constante 210 et la portion provisoire 220 du trou de construction 200, et
  - formation de la partie haute 18F de la pièce 10F en cours de fabrication,
- formation du trou final 30 par déformation et effondrement de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 comprenant une sous-étape de retrait de la pièce 10F en cours de fabrication du lit de poudre.

[0064] L'étape de dépôt et de solidification de couches successives de poudre correspond au

procédé de fusion laser sur lit de poudre, la fabrication de la pièce 10F en cours de fabrication étant réalisée dans un bac de fabrication d'une machine de fusion laser sur lit de poudre.

[0065] Lors de l'étape de formation du trou final 30 du procédé de fabrication selon le premier mode de réalisation de l'invention, le retrait de la pièce 10F en cours de fabrication du lit de poudre implique le retrait de la poudre non fusionnée présente à l'intérieur du trou de construction 200. Le retrait de la poudre non fusionnée provoque alors l'effondrement des couches temporaires de poudre et le déplacement de la surface intérieure 208 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 vers le bas pour former la surface supérieure 38 du trou final 30. Plus particulièrement, l'arc supérieur 222 et le segment intermédiaire 236 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 s'effondrent d'une distance sensiblement égale à la distance L2 de sorte que le point haut 204 du trou de construction 200 atteigne le point haut 34 du trou final 30 pour former la partie haute 18 de la pièce finale 10. Le segment de liaison 232 et l'arc intermédiaire 234 s'effondrent d'une distance sensiblement égale à la distance L1 pour former la partie trouée 16 de la pièce finale 10.

[0066] La dernière couche de poudre correspond à la couche de poudre qui ferme le trou de construction 200, c'est-à-dire la couche de poudre déposée au niveau du point haut 204 du trou de construction 200 ou bien au-dessus du point haut 204 du trou de construction 200.

[0067] L'étape de dépôt et solidification de couches successives de poudre du procédé de fabrication selon le deuxième mode de réalisation de l'invention, comporte, avant la sous-étape de retrait de la pièce 10F du lit de poudre, les sous-étapes additionnelles suivantes :

- formation d'au moins un mur longitudinal 260, et
- formation d'un mur normal 270.

[0068] L'étape de formation du trou final 30 du procédé de fabrication selon le deuxième mode de réalisation de l'invention comporte, après la sous-étape de retrait de la pièce 10F du lit de poudre, une sous-étape additionnelle de dissolution des murs longitudinaux 260 et/ou du mur normal 270 du trou de construction 200. La sous-étape de dissolution des murs longitudinaux 260 et/ou du mur normal 270 est réalisée par attaque chimique en injectant un fluide, tel qu'un réactif chimique, à l'intérieur du trou de fabrication 200. La destruction des murs longitudinaux 260 et/ou du mur normal 270 du trou de construction va provoquer l'effondrement des couches temporaires de poudre et le déplacement de la surface intérieure 208 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 vers le bas pour former la surface supérieure 38 du trou final 30. Plus particulièrement, l'arc supérieur 222 et le segment de liaison 232 de la portion provisoire 220 du trou de construction 200 s'effondrent d'une distance sensiblement

égale à la distance L1 de sorte que le point haut 204 du trou de construction 200 devienne le point haut 34 du trou final 30 pour former la partie trouée 16 et la partie haute 18 de la pièce finale 10.

[0069] Le procédé de fabrication d'une pièce 10 selon l'invention, offre une solution pour la formation d'un trou final 30 cylindrique d'axe X perpendiculaire à l'axe de dépôt Z par la technologie de fusion laser sur lit de poudre. En effet, la formation d'un trou de construction 200 comprenant une portion provisoire 220 présentant une géométrie particulière puis la déformation et l'effondrement de la portion provisoire 220 permet de former un trou final 30 cylindrique présentant une circularité satisfaisante.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce (10) par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z, comprenant un trou final (30) cylindrique, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- dépôt et solidification de couches successives de poudre autour d'une zone prédéfinie, la zone prédéfinie formant, après dépôt et solidification d'une dernière couche de poudre, un trou de construction (200), le trou de construction (200) comprenant une portion constante (210) et une portion provisoire (220), et
- formation du trou final (30), d'axe X perpendiculaire à l'axe de dépôt Z, par déformation et effondrement de la portion provisoire (220) du trou de construction (200), le trou final (30) présentant une section en forme de cercle C1.

[Revendication 2] Procédé de fabrication selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

- la portion constante (210) du trou de construction (200) présente une section comprenant un arc inférieur (212) du cercle C1 de centre O1 et de rayon r1, et
- la portion provisoire (220) du trou de construction (200) présente une section comprenant :
  - un arc supérieur (222) d'un cercle C2 de centre O2 et de rayon r2, et
  - deux tronçons de jonction (230, 240) reliant chacun l'arc inférieur (212) de la portion constante (210) à l'arc supérieur (222) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200).

[Revendication 3] Procédé de fabrication selon la revendication 2, caractérisé en ce que le centre O1 du cercle C1 et le centre O2 du cercle C2 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L1.

[Revendication 4] Procédé de fabrication selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le rayon r2 du cercle C2 est égal au rayon r1 du cercle C1.

[Revendication 5] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que chaque tronçon de jonction (230, 240) de la

portion provisoire (220) du trou de construction (200) comprend :

- un segment de liaison (232, 242) s'étendant sensiblement suivant l'axe Z et relié à l'arc inférieur (212) de la portion constante (210),
- un segment intermédiaire (236, 246) relié à l'arc supérieur (222) de la portion provisoire (220), et
- un arc intermédiaire (234, 244) d'un cercle C3 de centre O3 et de rayon r3 reliant respectivement le segment de liaison (232, 242) à l'arc intermédiaire (236, 246).

[Revendication 6] Procédé de fabrication selon la revendication 5, caractérisé en ce que le centre O1 du cercle C1 et le centre O3 du cercle C3 sont alignés selon l'axe Z et espacés l'un par rapport à l'autre d'une distance L2, et en ce que la distance L2 est supérieure à la distance L1.

[Revendication 7] Procédé de fabrication selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que le rayon r3 du cercle C3 est égal au rayon r1 du cercle C1.

[Revendication 8] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes en combinaison avec la revendication 5, caractérisé en ce que chaque segment intermédiaire (232, 242) de chaque tronçon de jonction (230, 240) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200) forme un angle α, compris entre 30° et 45°, avec un axe Y passant par le centre O2 du cercle C2 et perpendiculaire à l'axe X et à l'axe Z.

[Revendication 9] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que chaque tronçon de jonction (230, 240) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200) comprend un segment de liaison (232, 242) s'étendant sensiblement suivant l'axe Z et reliant l'arc inférieur (212) de la portion constante (210) à l'arc supérieur (222) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200).

[Revendication 10] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de dépôt et solidification de couches successives de poudre comprend une sous-étape de formation d'au moins un mur longitudinal (260) s'étendant de l'arc inférieur (212) de la portion constante (210) à l'arc supérieur (222) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200), chaque mur longitudinal (260) s'étendant parallèlement à un plan XZ.

[Revendication 11] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications pré-

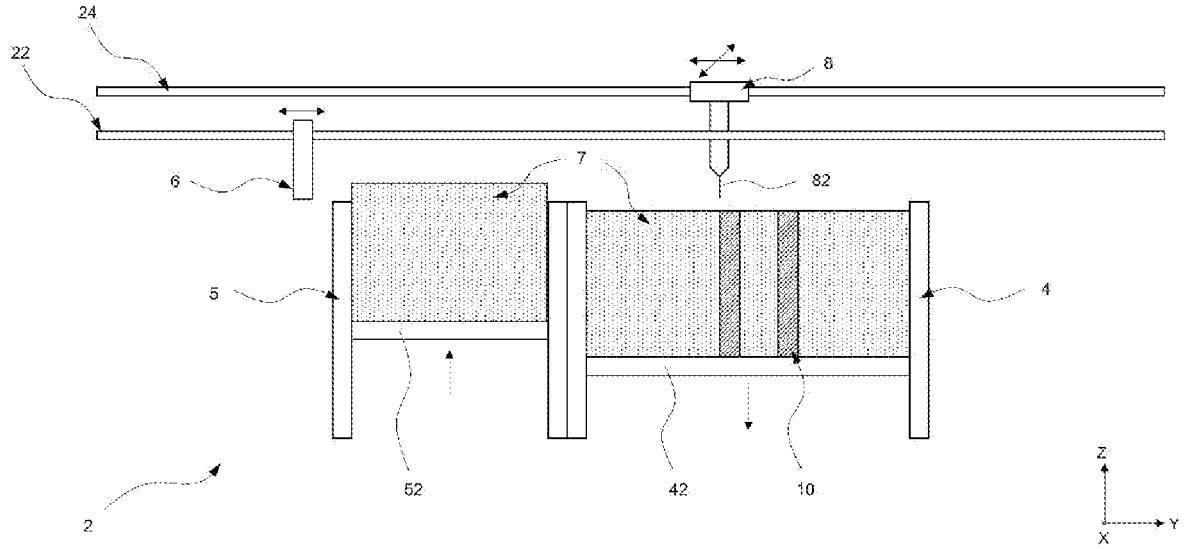
cédentes, caractérisé en ce que l'étape de dépôt et solidification de couches successives de poudre comprend une sous-étape de formation d'un mur normal (270) s'étendant de l'arc inférieur (212) de la portion constante (210) à l'arc supérieur (222) de la portion provisoire (220) du trou de construction (200), le mur normal (270) s'étendant parallèlement à un plan YZ

[Revendication 12] Procédé de fabrication selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce que l'étape de formation du trou final (30) comprend une sous-étape de dissolution des murs longitudinaux (260) et/ou du mur normal (270) du trou de construction (200).

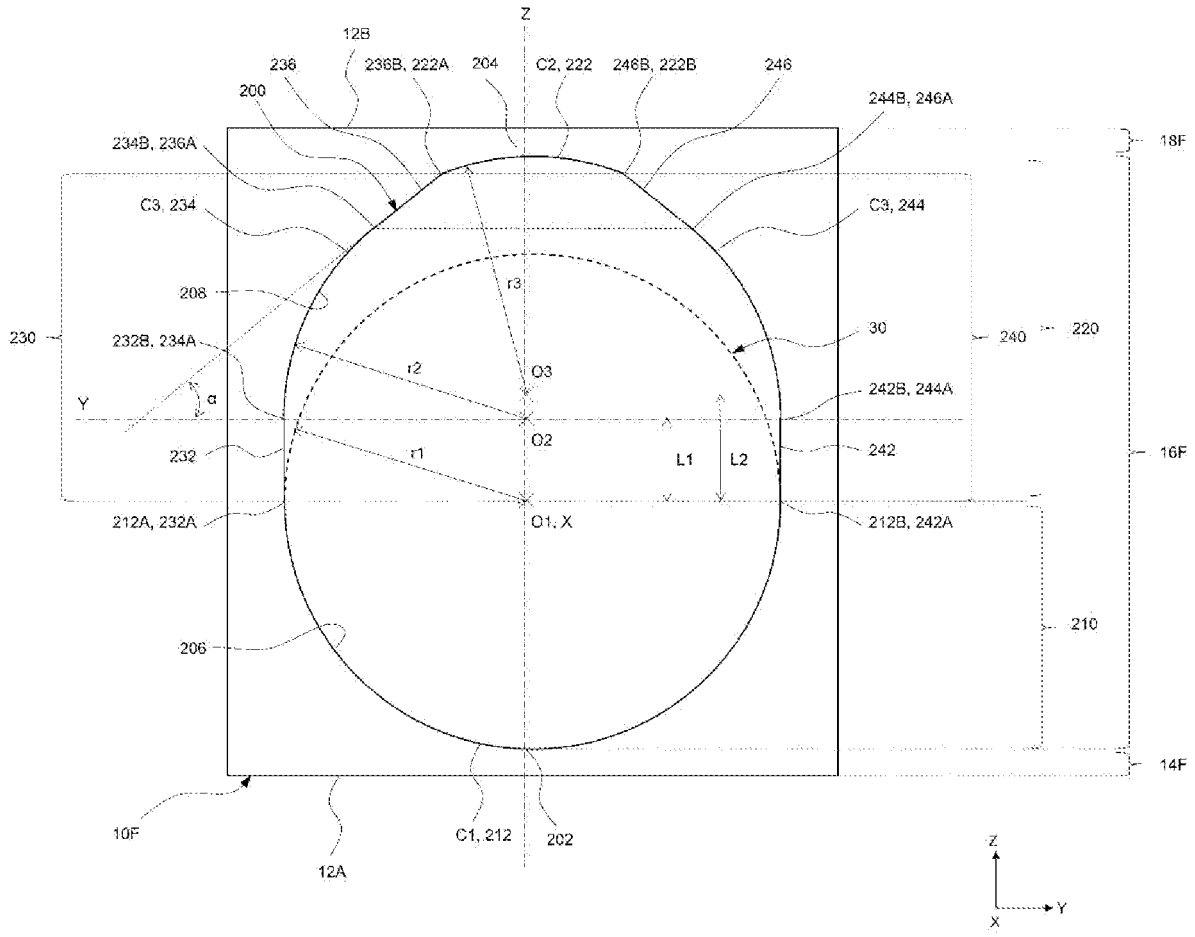
[Revendication 13] Pièce (10) réalisée par dépôt et solidification de couches successives d'une poudre selon un axe de dépôt Z, caractérisée :

- en ce qu'elle est obtenue par le procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes,
- et en ce le trou final (30) de la pièce (10) est délimité selon l'axe de dépôt Z par une surface inférieure (36) et une surface supérieure (38), la surface supérieure (38) étant non supportée et sensiblement agencée en vis-à-vis de la surface inférieure (36) du trou final (30).

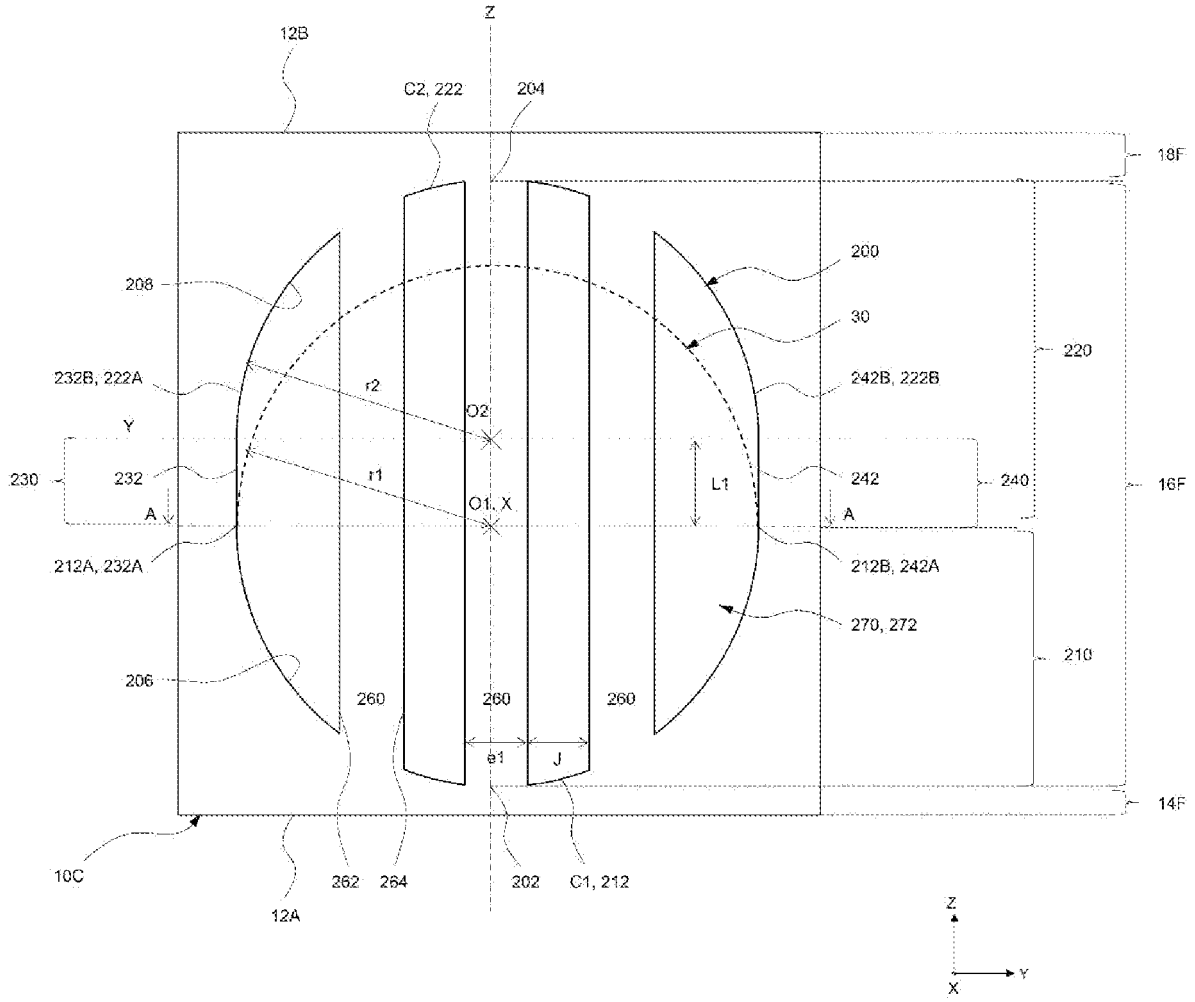
[Fig. 1]


24
22
8
6
7
82
5
4
52
42
10
2
Z
Y
X

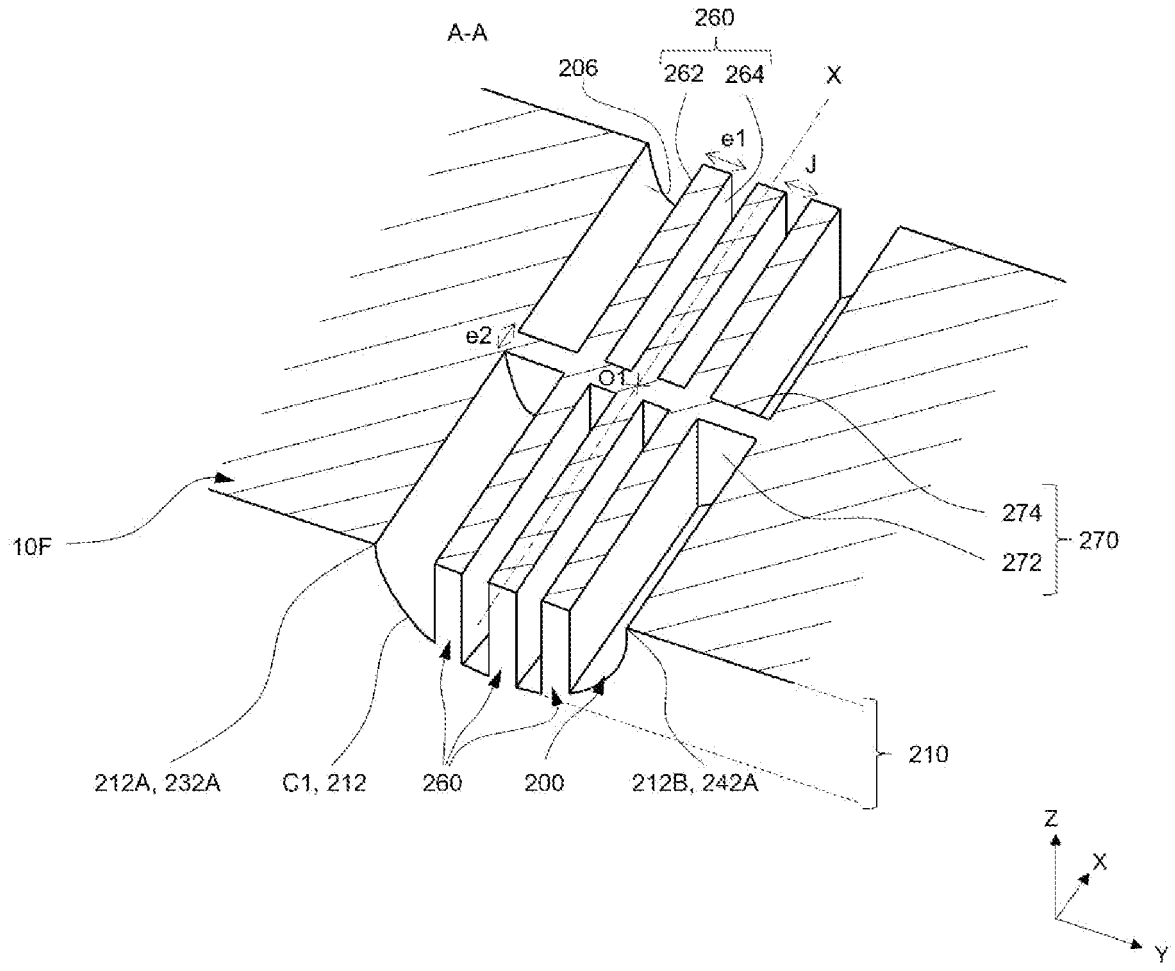
[Fig. 2]


Z
12B
236
236B, 222A
204
C2, 222
246B, 222B
246
200
244B, 246A
234B, 236A
18F
C3, 234
C3, 244
208
r3
230
30
240
220
232B, 234A
r2
O3
242B, 244A
Y
α
232
r1
O2
L1
L2
242
16F
212A, 232A
O1, X
212B, 242A
206
210
14F
10F
12A
C1, 212
202
Z
Y
X

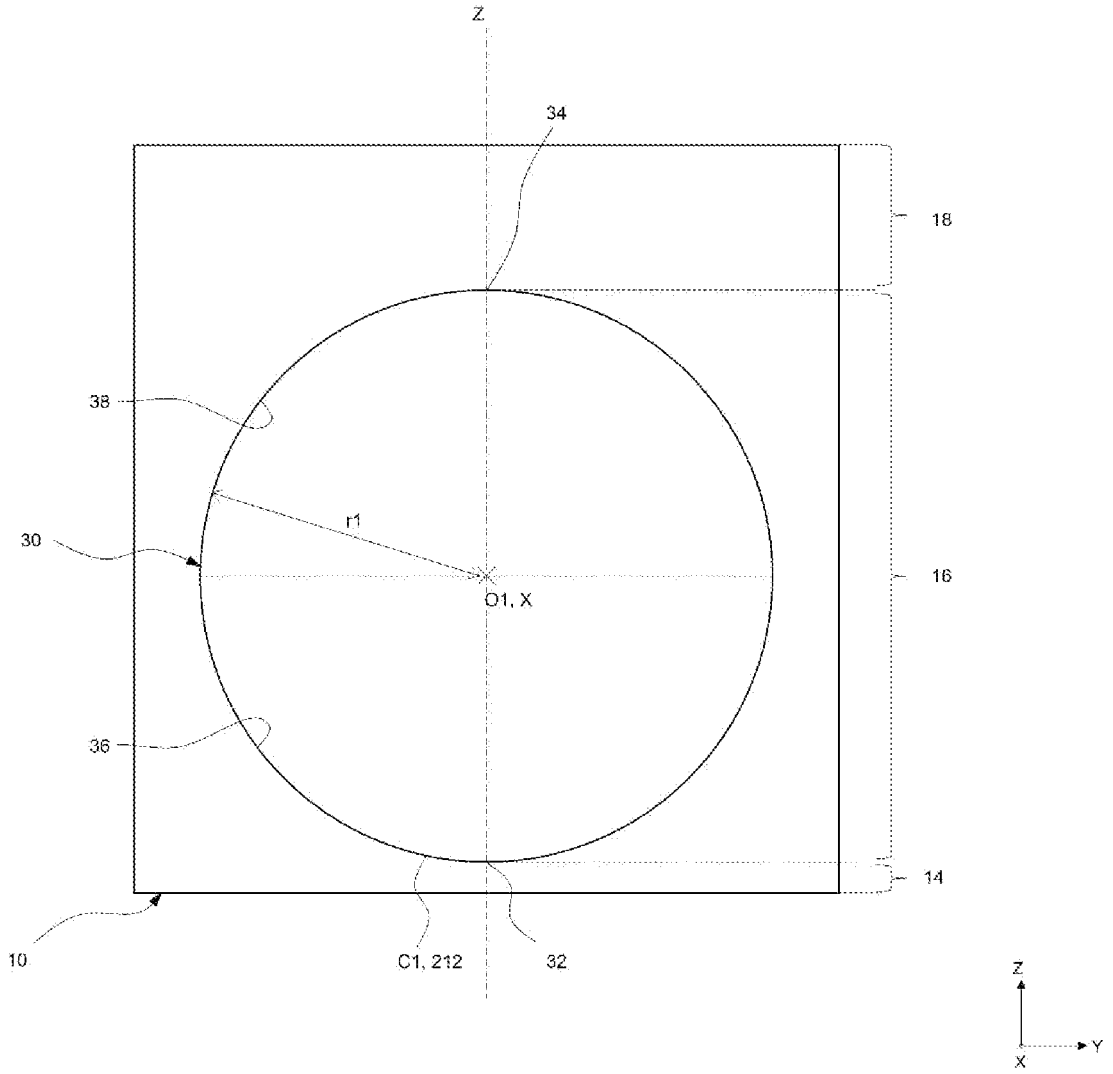
[Fig. 3]


Z
12B
C2, 222
204
18F
200
208
30
220
232B, 222A
r2
O2
242B, 222B
Y
230
232
r1
O1, X
L1
242
240
16F
A
A
212A, 232A
212B, 242A
270, 272
210
206
260
260
260
e1
J
14F
10C
12A
262
264
202
C1, 212
Z
Y
X

[Fig. 4]


A-A
260
206
262
264
X
e1
J
e2
O1
10F
274
272
270
210
212A, 232A
C1, 212
260
200
212B, 242A
Z
X
Y

[Fig. 5]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 915897
FR 2300286

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	ÇALISKAN CEMAL IRFAN ET AL: "Investigation of direct metal laser sintering downskin parameters' sagging effect on microchannels", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, vol. 114, no. 9-10, 11 avril 2021 (2021-04-11), pages 2567-2575, XP037469186, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/S00170-021-07057-8 [extrait le 2021-04-11]	13	B22F10/00 B33Y10/00 B33Y80/00 B29C64/153
A	* abrégé * * tableau 7 *	1-12	

A	WO 2019/183420 A1 (L LIVERMORE NAT SECURITY LLC [US]) 26 septembre 2019 (2019-09-26) * alinéas [0035] - [0037] * * figure 6 *	1-13	
	-----		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	Anonymous: "Promoting Powder Metallurgy Technology INTRODUCTION TO ADDITIve MANUfACTURINg TeCHNOLOgY", , 1 avril 2013 (2013-04-01), XP055295594, Extrait de l'Internet: URL:http://www.sf2m.asso.fr/CommissionsThematiques/DocComThematiques/EPMA_Additive_Manufacturing.pdf [extrait le 2016-08-16] * section 4.1.1 *	1-13	B22F B29C B33Y

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
23 juin 2023	Järvi, Tommi

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

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

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2300286 FA 915897

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 **23-06-2023**
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
WO 2019183420 A1	26-09-2019	US 2019291209 A1	26-09-2019
		WO 2019183420 A1	26-09-2019

EPO FORM P0465