

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 095 974

②1 N° d'enregistrement national : **19 05217**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 22 F 3/105 (2019.01), B 33 Y 30/00, 10/00**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17.05.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.11.20 Bulletin 20/47.

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 HELICOPTER ENGINES SASU — FR.

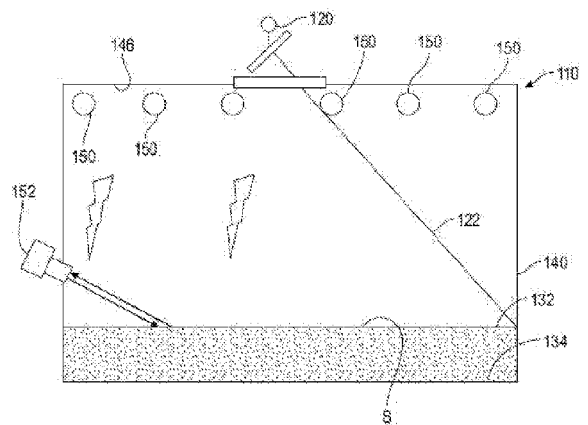
⑦2 Inventeur(s) : DANIS Yann et CARBALLO Nicolas.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES SASU.

⑦4 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤4 DISPOSITIF ET PROCEDE DE FABRICATION ADDITIVE PAR FUSION LASER SUR LIT DE POUDRE.

⑤7 Dispositif (110) de fabrication additive d'au moins une pièce par fusion laser sur lit de poudre, comportant :
un plateau support (134) mobile en translation verticale et configuré pour être recouvert par des couches de poudre (132) et pour supporter la pièce lors de sa fabrication,
une enceinte (140) fermée s'étendant au-dessus du plateau support, et un générateur (120) de faisceau laser configuré pour générer un faisceau laser (122) destiné à balayer les couches de poudre en vue de la fusion localisée de la poudre et la fabrication de la pièce couche par couche,
caractérisé en ce qu'il comprend au moins un système de chauffage (150) situé au-dessus des couches de poudre, ce système de chauffage étant configuré pour chauffer simultanément plus de 10% de la surface supérieure S.
Figure pour l'abrégié : Figure 3



FR 3 095 974 - A1



Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF ET PROCEDE DE FABRICATION ADDITIVE PAR FUSION LASER SUR LIT DE POUDRE

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un dispositif et un procédé de fabrication additive d'au moins une pièce par fusion laser sur lit de poudre. La pièce est par exemple une pièce pour l'industrie aéronautique telle qu'une pièce de turbomachine d'aéronef.

Arrière-plan technique

[0002] L'état de l'art comprend notamment les documents FR-A1-2 991 613 et FR-A1-3 030 323.

[0003] Il est connu de réaliser une pièce, en particulier de turbomachine d'aéronef par fabrication additive. Il existe plusieurs technologies de fabrication additive et la présente demande concerne la fabrication additive par fusion sur lit de poudre. La poudre est fondue au moyen d'un faisceau de haute énergie tel qu'un faisceau laser (technologie SLM, acronyme de *Selective Laser Melting*). En pratique, un lit de poudre est déposé sur un plateau support et est balayé par le faisceau laser pour fabriquer la pièce couche par couche, une troisième couche de poudre fusionnée étant disposée au-dessus d'une deuxième couche qui est elle-même disposée au-dessus d'une première couche.

[0004] Lors de la fusion laser, la température de la pièce en cours de fabrication augmente localement de façon très importante. Cette température est dépendante des paramètres utilisés et du matériau à fusionner.

[0005] A chaque passe du faisceau laser, la matière fusionnée subit une dilatation entraînant sa compression contre la partie non fondue, ce qui, combiné avec la chute du module d'Young, produit une déformation plastique. Enfin, au cours du refroidissement de la pièce, la diminution du volume de la zone fondue produit une traction en surface et une compression dans les couches inférieures.

[0006] Un apport de chaleur plus global lors de l'opération de fusion laser est jugée bénéfique afin de limiter les contraintes dans les matériaux car il permet de diminuer les contraintes lors du refroidissement, avant un nouveau passage du faisceau laser, et une nouvelle étape de fusion.

[0007] Afin de maximiser ses bénéfices, l'apport de chaleur doit être homogène sur toute la surface du plateau et autant que possible tout au long de la fabrication.

[0008] A ce jour, les fabricants des dispositifs de fabrication additive proposent des dispositifs dont le plateau support de construction de la pièce est chauffé par des résistances.

- [0009] La température maximale du plateau support est communément de 200°C. Certains dispositifs peuvent avoir des plateaux chauffés à une température supérieure mais ces plateaux ont en général une taille modeste (inférieure ou égale 70 000 mm² environ).
- [0010] En effet, afin d'éviter des déformations du dispositif de fabrication, il est assez difficile d'atteindre des températures élevées y compris sur des plateaux de petite taille.
- [0011] Il est donc très difficile voire impossible de chauffer la poudre à une température supérieure ou égale à 500°C, en particulier des plateaux supports de grande taille ou surface de construction.
- [0012] Des études sont également en cours pour chauffer la poudre par l'intermédiaire d'un autre générateur laser, indépendant du générateur laser de fusion de la poudre, et destiné à générer un faisceau laser défocalisé qui viendrait préchauffer très localement la zone de fabrication de la pièce, avant que le faisceau laser de construction vienne fondre la matière.
- [0013] Ces solutions proposées et étudiées présentent l'inconvénient qu'il s'installe un gradient de température dans la pièce. Pour ce qui concerne la solution du plateau chauffant, la poudre contient une quantité importante d'air entre les grains de poudre, ce qui en fait un matériau plutôt isolant. La température de la surface supérieure du lit de poudre est dépendante du matériau de cette poudre et de l'épaisseur des couches sur le plateau support. L'efficacité du chauffage par le dessous diminue donc au fur et à mesure de la construction de la pièce.
- [0014] Pour le système de préchauffage avec laser défocalisé, cette solution permet seulement de réduire les gradients thermiques au voisinage immédiat de la zone fusionnée. Des gradients importants s'installent tout de même à l'échelle de la pièce.
- [0015] L'invention propose une solution simple, efficace et économique à au moins une partie de ces problèmes.

Résumé de l'invention

- [0016] L'invention propose à cet effet un dispositif de fabrication additive d'au moins une pièce par fusion laser sur lit de poudre, comportant :
- [0017] - un plateau support mobile en translation verticale et configuré pour être recouvert par des couches de poudre et pour supporter la pièce lors de sa fabrication,
- [0018] - un racleur mobile au-dessus du plateau support et configuré pour étaler de la poudre et former les couches de poudre, les unes après les autres, les couches de poudre présentant une surface supérieure S,
- [0019] - une enceinte fermée s'étendant au-dessus du plateau support, et
- [0020] - un générateur de faisceau laser configuré pour générer un faisceau laser destiné à balayer les couches de poudre en vue de la fusion localisée de la poudre et la fabrication de la pièce couche par couche,

- [0021] caractérisé en ce qu'il comprend au moins un système de chauffage situé au-dessus des couches de poudre, ce système de chauffage étant configuré pour chauffer simultanément plus de 10% de la surface supérieure S.
- [0022] L'invention propose ainsi de chauffer la poudre, non pas par le dessous, mais par le dessus. La ou les couche(s) supérieure(s) est/sont donc chauffée(s) directement par le système de chauffage, ce qui est plus efficace et permet d'avoir une température homogène de la poudre dans la zone chauffée. Cette zone peut être plus ou moins grande et peut représenter la totalité de la surface supérieure de la poudre si nécessaire.
- [0023] On comprend donc qu'au moins la couche supérieure de poudre peut être chauffée de manière homogène avant toute étape de balayage de la poudre avec le faisceau laser. La température de chauffage est avantageusement inférieure à la température de fusion de la poudre pour ne pas perturber la fabrication de la pièce, et peut être supérieure ou égale à 500°C.
- [0024] Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises indépendamment les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0025] - le système de chauffage est configuré pour chauffer simultanément plus de 30% de la surface supérieure S ;
- [0026] - le système de chauffage est configuré pour chauffer simultanément l'intégralité de la surface supérieure S ;
- [0027] - le système de chauffage est solidaire du racleur et mobile avec le racleur ;
- [0028] - le racleur porte un système de chauffage et un système de préchauffage, le système de préchauffage étant situé sur un côté amont du racleur par rapport à une direction de déplacement du racleur en vue de l'étalement de poudre, et le système de chauffage étant situé sur un côté aval du racleur par rapport à cette direction ;
- [0029] - le système de chauffage est porté par une paroi de l'enceinte, et en particulier par un plafond de l'enceinte. ;
- [0030] - le système de chauffage est choisi parmi des systèmes de chauffage par induction, par résistance électrique, et par lampe chauffante ;
- [0031] - le système de chauffage est configuré pour chauffer la poudre à une température supérieure ou égale à 500°C ;
- [0032] - le système comprend en outre au moins une sonde de mesure de la température de la surface supérieure S des couches de poudre.
- [0033] La présente invention concerne encore un procédé de fabrication d'une pièce par fusion laser sur lit de poudre, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend :
- [0034] a. une étape de génération d'un faisceau laser et de fusion localisée de la poudre pour la réalisation d'une couche de la pièce, cette étape étant répétée plusieurs

fois, et

- b. une étape de chauffage de la surface supérieure S des couches de poudre par le système de chauffage,

[0035] l'étape b) étant réalisée en continue pendant les étapes a) successives, ou

[0036] l'étape b) étant réalisée après chaque étape a).

Brève description des figures

[0037] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

[0038] [fig.1] la figure 1 est une vue très schématique d'un dispositif de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre, selon la technique antérieure,

[0039] [fig.2] la figure 2 est une vue très schématique en coupe d'un plateau support et d'un lit de poudre d'un dispositif de fabrication du type de celui de la figure 1,

[0040] [fig.3] la figure 3 est une vue très schématique d'un dispositif de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre, selon un premier mode de réalisation de l'invention, et

[0041] [fig.4] la figure 4 est une vue très schématique d'un dispositif de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre, selon un second mode de réalisation de l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0042] Il existe au moins deux types de fabrication additive d'une pièce : soit la pièce est réalisée par dépôts successifs de matière fondue, soit la pièce est réalisée par fusion sélective sur lit de poudre comme illustré à la figure 1.

[0043] Le dispositif 6 de la figure 1 permet de fabriquer une pièce 8 par exemple aéronautique par fusion sélective de couches de poudre par faisceau de haute énergie.

[0044] Le dispositif 6 comprend un bac d'alimentation 10 contenant de la poudre d'un matériau électroconducteur, et un racleur 12 pour transvaser cette poudre depuis ce bac 10 et étaler une première couche 14 de cette poudre sur un plateau 34 de support de construction (il peut s'agir d'un support massif, d'une partie d'une autre pièce ou d'une grille support utilisée pour faciliter la construction de certaines pièces).

[0045] Le dispositif 6 comprend également un bac de recyclage 18 pour récupérer une infime partie de la poudre usagée (en particulier non fondue ou non frittée) et la majeure partie de la poudre en excès, après étalement de la couche de poudre sur le plateau support 34. Ainsi, la majeure partie de la poudre du bac de recyclage 18 est composée de poudre neuve ou recyclée. Aussi, ce bac de recyclage 18 est communément appelé par la profession bac de trop plein ou cendrier.

[0046] Le dispositif 6 comprend également un générateur 20 de faisceau laser 22, et un système de pilotage 24 apte à diriger ce faisceau 22 sur n'importe quelle région du

plateau support 34 de façon à balayer n'importe quelle région d'une couche de poudre. La mise en forme du faisceau laser et la variation de son diamètre sur le plan focal se font respectivement au moyen d'un dilateur de faisceau 26 et d'un système de focalisation 28, l'ensemble constituant un système optique.

- [0047] Le dispositif 6 peut utiliser n'importe quel faisceau de haute énergie à la place du faisceau laser 22, tant que ce faisceau est suffisamment énergétique pour, dans le premier cas, fondre ou dans l'autre cas former des cols ou ponts entre les particules de poudre et une partie du matériau sur lequel les particules reposent.
- [0048] Le racleur 12 peut se présenter sous la forme d'un rouleau, comme dans l'exemple représenté, ou de tout autre moyen analogue tel qu'un dévidoir (ou trémie) associé à une lame de raclage, à un couteau ou à une brosse, apte à transvaser et étaler la poudre en couche.
- [0049] Le système de pilotage 24 comprend par exemple au moins un miroir 30 orientable sur lequel le faisceau laser 22 se réfléchit avant d'atteindre une couche de poudre dont chaque point de la surface se trouve située toujours à la même hauteur par rapport à la lentille de focalisation, contenue dans le système de focalisation 28, la position angulaire de ce miroir 30 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.
- [0050] Le dispositif 6 fonctionne de la façon suivante. On dépose à l'aide du racleur 12 une première couche 14 de poudre d'un matériau sur le plateau support 34, cette poudre étant transvasée depuis un bac d'alimentation 10 lors d'un mouvement aller du racleur 12 puis elle est raclée, et éventuellement légèrement compactée, lors d'un (ou de plusieurs) mouvement(s) de retour du racleur 12. L'excédent de poudre est récupéré dans le bac de recyclage 18. On porte une région de cette première couche 14 de poudre, par balayage avec le faisceau laser 22, à une température supérieure à la température de fusion de cette poudre (température de liquidus). La tête 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 32 de cette région de la première couche 14 sont fondues et forment un premier cordon 16 d'un seul tenant, solidaire avec le plateau support 34. 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 cordons 16 disjoints les uns des autres. On abaisse le plateau support 34 d'une hauteur correspondant à l'épaisseur déjà définie de la première couche (entre 20 et 100 μm et en général de 30 à 50 μm). L'épaisseur de la couche de poudre à fusionner ou à consolider reste une valeur variable d'une couche à l'autre car elle est fort dépendante de la porosité du lit de poudre et de sa planéité

alors que le déplacement pré-programmé du plateau support 34 est une valeur invariable au jeu près. On dépose ensuite une deuxième couche 36 de poudre sur la première couche 14 et sur ce premier cordon 16, puis on chauffe par exposition au faisceau laser 22 une région de la deuxième couche 36 qui est située partiellement ou complètement au-dessus de ce premier cordon 16, de telle sorte que les particules de poudre de cette région de la deuxième couche 38 sont fondues, avec au moins une partie du premier cordon 16, et forment un deuxième cordon 38 d'un seul tenant ou consolidé, l'ensemble de ces deux cordons 16, 38 formant ainsi un bloc. A cet effet, le deuxième cordon 38 est avantageusement déjà entièrement lié dès qu'une partie de ce deuxième cordon 38 se lie au premier cordon 16. 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 14 ne se trouve pas, même partiellement, en dessous de la région précitée de la deuxième couche 36, de sorte que dans ce cas le premier cordon 14 et le deuxième cordon 38 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. Le balayage avec le faisceau 22 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 moins vite au fur et à mesure que les couches supérieures de la pièce se construisent.

- [0051] Afin de diminuer la contamination de la pièce, par exemple en oxygène dissous, en oxyde(s) ou en un autre polluant lors de sa fabrication couche par couche telle que décrite ci-dessus, cette fabrication doit être effectuée dans une enceinte 40 à degré d'hygrométrie contrôlée et adaptée au couple procédé/matériau, remplie d'un gaz neutre (non réactif) vis-à-vis du matériau considéré tel que l'azote (N₂), l'argon (Ar) ou l'hélium (He) avec ou non addition d'une faible quantité d'hydrogène (H₂) connu pour son pouvoir réducteur. Un mélange d'au moins deux de ces gaz peut être aussi considéré. Pour empêcher la contamination, notamment par l'oxygène du milieu environnant, il est d'usage de mettre cette enceinte 40 en surpression. Dans la figure 2, les flèches 42 représentent le balayage de la surface supérieure 44 du lit de poudre 32 par de l'argon.
- [0052] Ainsi, selon l'état de l'art actuel, la fusion sélective ou le frittage sélectif par laser permet de construire avec une bonne précision dimensionnelle des pièces faiblement polluées dont la géométrie en trois dimensions peut être complexe.
- [0053] La fusion sélective ou le frittage sélectif par laser utilise en outre de préférence des poudres de morphologie sphérique, propres (c'est-à-dire non contaminées par des éléments résiduels provenant de la synthèse), très fines (la dimension de chaque particule est comprise entre 1 et 100 µm et de préférence entre 45 et 90 µm), ce qui

permet d'obtenir un excellent état de surface de la pièce finie.

- [0054] La fusion sélective ou le frittage sélectif par laser permet par ailleurs une diminution des délais de fabrication, des coûts et des frais fixes, par rapport à une pièce moulée, injectée ou usinée dans la masse.
- [0055] Il est connu de chauffer la poudre par l'intermédiaire du plateau support 34 lors de la fabrication de la pièce. Cependant, il est assez difficile d'atteindre des températures élevées (500°C et au-delà) de la poudre y compris avec un plateau support de petite taille ou surface.
- [0056] Au cours de la fabrication de la pièce, l'épaisseur h de poudre 32 située sur le plateau support 34 augmente et un gradient de température apparaît entre la première couche de poudre 14 (chauffée directement par le plateau 34) et la couche supérieure de poudre 14 qui n'est chauffée que par conduction de la poudre. Par ailleurs, du fait de la présence de gaz (par exemple argon ou azote) entre les grains de poudre, celle-ci est relativement peu conductrice thermiquement, ce qui accentue le gradient thermique.
- [0057] La solution de préchauffage local par un second générateur laser permet quant à elle de ne préchauffer qu'une petite surface. La diminution des gradients ne sera donc que très localisée avec cette solution.
- [0058] Le préchauffage de la surface supérieure de poudre au moyen d'un faisceau d'électrons serait possible. Le préchauffage serait effectué en balayant très rapidement la surface avec le faisceau d'électrons. La température atteinte par le balayage du faisceau permettrait d'atteindre sur toute la surface du lit de poudre une température de 800 à 1000°C selon le matériau. Cependant, bien qu'un préchauffage à ces températures très élevées permette de supprimer les contraintes résiduelles, il pose aussi des problèmes, tels que le frittage de la poudre tout autour de la pièce en cours de fabrication.
- [0059] Le préchauffage de la surface avec le générateur laser qui assure également la fusion de la poudre serait possible. Toutefois, en pratique, il ne serait pas possible de déplacer le faisceau suffisamment vite pour préchauffer l'intégralité du lit de poudre car la vitesse de balayage par le faisceau laser est limitée par l'utilisation des têtes galvanométriques.
- [0060] Les figures 3 et 4 illustrent deux modes de réalisation d'un dispositif de fabrication additive selon l'invention.
- [0061] Dans le mode de réalisation de la figure 3, le dispositif 110 comporte
- [0062] – un plateau support 134 mobile en translation verticale et configuré pour être recouvert par des couches de poudre 132 et pour supporter la pièce lors de sa fabrication,
- une enceinte 140 fermée s'étendant au-dessus du plateau support 134, et
- un générateur 120 de faisceau laser configuré pour générer un faisceau laser

122 destiné à balayer les couches de poudre 132 en vue de la fusion localisée de la poudre et la fabrication de la pièce couche par couche.

- [0063] Selon l'invention, le dispositif 110 comprend en outre au moins un système 150 de chauffage de la ou des couche(s) supérieure(s) de poudre.
- [0064] Dans l'exemple représenté, le système de chauffage 150 est configuré pour chauffer la totalité ou la quasi-totalité de la surface supérieure S.
- [0065] Le système de chauffage 150 est ici porté par une paroi de l'enceinte 140, et en particulier par un plafond 146 de l'enceinte.
- [0066] Le système de chauffage 150 est choisi parmi des systèmes de chauffage par induction, par résistance électrique, et par lampe chauffante.
- [0067] Le système de chauffage 150 est de préférence configuré pour chauffer la poudre à une température supérieure ou égale à 500°C.
- [0068] Le dispositif de la figure 3 est de plus équipé d'une sonde 152 de mesure de la température de la surface supérieure de la poudre. Cette sonde 152 est par exemple un pyromètre bichromatique pointé sur le lit de poudre, comme dans l'exemple représenté.
- [0069] Dans le mode de réalisation de la figure 4, le dispositif 210 comporte
- [0070] – un plateau support 234 mobile en translation verticale et configuré pour être recouvert par des couches de poudre 232 et pour supporter la pièce 260 lors de sa fabrication,
- un racleur 212 mobile au-dessus du plateau support 234 et configuré pour étaler de la poudre et former les couches de poudre, les unes après les autres, les couches de poudre présentant une surface supérieure S,
- une enceinte 240 fermée s'étendant au-dessus du plateau support 234, et
- un générateur 220 de faisceau laser configuré pour générer un faisceau laser 222 destiné à balayer les couches de poudre 232 en vue de la fusion localisée de la poudre et la fabrication de la pièce couche par couche.
- [0071] Le dispositif 210 comprend en outre au moins un système 150 de chauffage de la ou des couche(s) supérieure(s) de poudre.
- [0072] Dans l'exemple représenté, le dispositif 210 comprend un système de chauffage 250 et un système de préchauffage 252, qui sont tous les deux portés par le racleur 212.
- [0073] Les systèmes 250, 252 sont portés par le racleur 212 et donc mobiles en translation avec le racleur. Le racleur est ici une lame qui est déplacée en translation dans un plan parallèle à la surface S.
- [0074] Le système de préchauffage 252 est situé sur un côté amont du racleur par rapport à une direction F1 de déplacement du racleur en vue de l'étalement de poudre, et le système de chauffage 250 est situé sur un côté aval du racleur par rapport à cette direction.

- [0075] Les systèmes 250, 252 peuvent être configurés pour chauffer simultanément plus de 10%, voire plus de 30%, de la surface supérieure S.
- [0076] Les systèmes 250, 252 sont de préférence configurés pour chauffer la poudre à une température supérieure ou égale à 500°C.
- [0077] Les systèmes 250, 252 sont choisis parmi des systèmes de chauffage par induction, par résistance électrique, et par lampe chauffante.
- [0078] Le type de lampe chauffante utilisé dans ce mode de réalisation ainsi que dans le précédent peut être par exemple halogène ou infrarouge.
- [0079] Ces lampes peuvent être activées avant et/ou après dépôt de la couche de poudre pour gérer au mieux les gradients thermiques. L'utilisation de lampes combinant une puissance totale comprise entre 1000 et 5000W permet d'assurer un préchauffage du lit de poudre depuis une température de 200°C jusqu'à 800°C sans difficulté en jouant sur le temps d'exposition.
- [0080] La température de préchauffage peut être pilotée par la commande du dispositif 110, 210 à l'aide du paramètre associé au temps d'exposition. En fonction de la nuance matière, de la forme ou du volume des pièces, la puissance et/ou les temps et stratégies d'exposition pourraient être ajustées.
- [0081] La présente invention propose en outre un procédé de fabrication d'une pièce par fusion laser sur lit de poudre, au moyen d'un dispositif 110, 210 tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend :
- [0082] a. une étape de génération d'un faisceau laser et de fusion localisée de la poudre pour la réalisation d'une couche de la pièce, cette étape étant répétée plusieurs fois, et
- b. une étape de chauffage de la ou des couche(s) supérieure(s) de poudre par le système de chauffage,
- [0083] l'étape b) étant réalisée en continue pendant les étapes a) successives, ou
- [0084] l'étape b) étant réalisée après chaque étape a).
- [0085] Dans le cas du premier mode de réalisation de la figure 3, la couche supérieure de poudre peut être chauffée en continu par exemple.
- [0086] En variante, les stratégies d'exposition pourraient être multiples et par exemple :
- [0087] – si plusieurs objets sont fabriqués simultanément sur le plateau : chauffage de la couche supérieure, puis fusion d'une couche de la pièce, chauffage de la couche supérieure, puis d'une autre couche de la pièce, etc.
- si un seul objet est fabriqué à la fois : chauffage de la couche supérieure, fusion d'une couche de la pièce, chauffage de la couche supérieure, dépôt d'une nouvelle couche de poudre, chauffage de cette nouvelle couche supérieure, et fusion de cette nouvelle couche, etc.
- [0088] Les lampes peuvent par ailleurs continuer à chauffer pendant que la fusion est faite

par le faisceau laser.

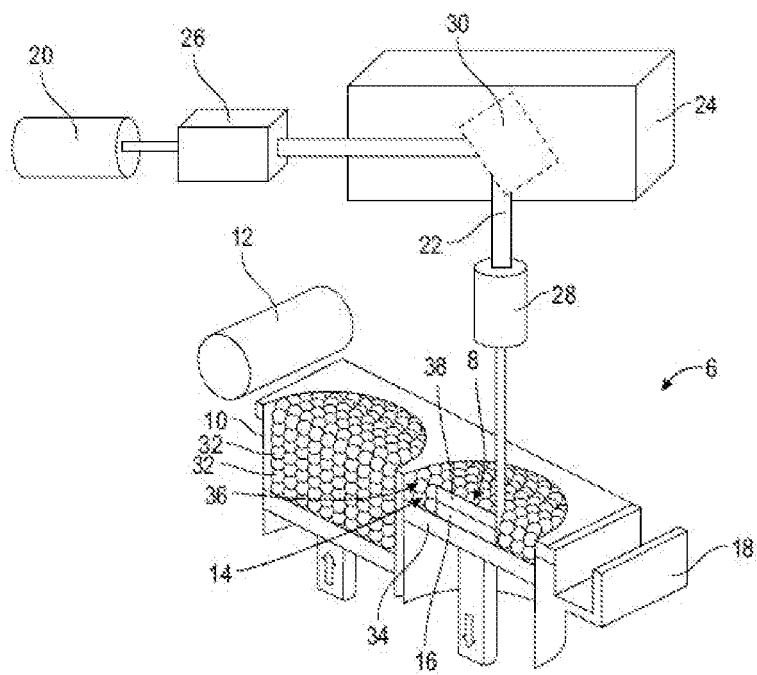
- [0089] Dans le cas du second mode de réalisation de la figure 4, la couche supérieure peut subir une étape de balayage par le faisceau laser en vue de la construction d'une couche de la pièce. Le plateau support 234 est alors descendu et une nouvelle couche de poudre est étalée par le racleur 212. Lors de ce passage, le système 250 commence par préchauffer la poudre puis le système 250 poursuit la montée en température jusqu'à une valeur souhaitée. La couche étalée et chauffée peut alors subir un nouveau balayage par le faisceau laser en vue de la construction d'une couche de la pièce.
- [0090] Comme le chauffage s'effectue par le dessus, cette invention permet de chauffer directement la poudre déposée et les parties fusionnées. Cela permet ainsi de s'affranchir d'un gradient thermique induit par l'épaisseur du plateau ainsi que de la hauteur de fabrication des pièces. Cela permet aussi de limiter les transferts thermiques au bâti du dispositif et donc d'améliorer la précision de la fabrication.
- [0091] La température de la poudre ainsi chauffée peut être pilotée par la commande du dispositif. Elle peut être modifiée en fonction du parcours du faisceau laser et de l'épaisseur de couche, voire des contraintes que l'on souhaite éliminer:
- [0092] - afin que la fusion du métal ait toujours lieu dans les mêmes conditions de température,
- [0093] - afin de ne chauffer que les zones où aura lieu la fusion du métal et ainsi préserver l'oxydation de la poudre non fondue, et
- [0094] - de chauffer précisément toute ou partie des pièces et des couches supérieures.
- [0095] Dans un cas particulier de mise en œuvre de l'invention, des calculs ont montré que, sans chauffage, la contrainte pouvait atteindre localement 350MPa alors qu'avec un chauffage à 500°C, cette contrainte passait à 200MPa, et à 750°C, on atteignait environ 120MPa.

Revendications

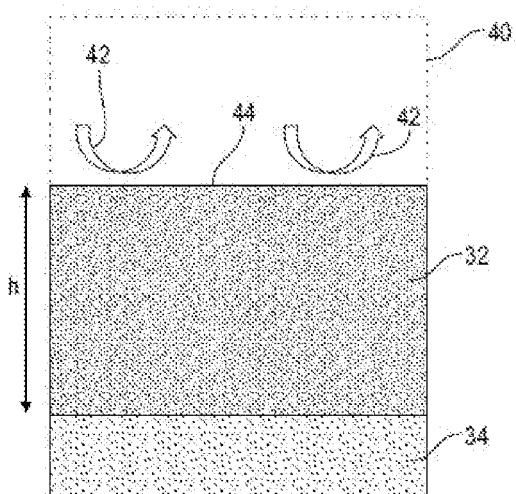
- [Revendication 1] Dispositif (110, 210) de fabrication additive d'au moins une pièce par fusion laser sur lit de poudre, comportant :
- un plateau support (134, 234) mobile en translation verticale et configuré pour être recouvert par des couches de poudre (132, 232) et pour supporter la pièce lors de sa fabrication,
 - un racleur (112) mobile au-dessus du plateau support et configuré pour étaler de la poudre et former les couches de poudre, les unes après les autres, les couches de poudre présentant une surface supérieure S,
 - une enceinte (140, 240) fermée s'étendant au-dessus du plateau support, et
 - un générateur (120, 220) de faisceau laser configuré pour générer un faisceau laser (122, 222) destiné à balayer les couches de poudre en vue de la fusion localisée de la poudre et la fabrication de la pièce couche par couche,
- caractérisé en ce qu'il comprend au moins un système de chauffage (150, 250) situé au-dessus des couches de poudre, ce système de chauffage étant configuré pour chauffer simultanément plus de 10% de la surface supérieure S.
- [Revendication 2] Dispositif (110, 210) selon la revendication 1, dans lequel le système de chauffage (150, 250) est configuré pour chauffer simultanément plus de 30% de la surface supérieure S.
- [Revendication 3] Dispositif (110) selon la revendication 1, dans lequel le système de chauffage (150) est configuré pour chauffer simultanément l'intégralité de la surface supérieure S.
- [Revendication 4] Dispositif (210) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le système de chauffage (250) est solidaire du racleur (212) et mobile avec le racleur.
- [Revendication 5] Dispositif (210) selon la revendication 4, dans lequel le racleur (212) porte un système de chauffage (250) et un système de préchauffage (252), le système de préchauffage étant situé sur un côté amont du racleur par rapport à une direction (F1) de déplacement du racleur en vue de l'étalement de poudre, et le système de chauffage étant situé sur un côté aval du racleur par rapport à cette direction.

- [Revendication 6] Dispositif (110) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le système de chauffage (150) est porté par une paroi (146) de l'enceinte (140), et en particulier par un plafond de l'enceinte.
- [Revendication 7] Dispositif (110, 210) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le système de chauffage (150, 250) est choisi parmi des systèmes de chauffage par induction, par résistance électrique, et par lampe chauffante.
- [Revendication 8] Dispositif (110, 210) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le système de chauffage (150, 250) est configuré pour chauffer la poudre à une température supérieure ou égale à 500°C.
- [Revendication 9] Dispositif (110, 210) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il comprend en outre au moins une sonde (152) de mesure de la température de la surface supérieure des couches de poudre.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'une pièce par fusion laser sur lit de poudre, au moyen d'un dispositif (110, 210) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend :
- a. une étape de génération d'un faisceau laser et de fusion localisée de la poudre pour la réalisation d'une couche de la pièce, cette étape étant répétée plusieurs fois, et
 - b. une étape de chauffage de la surface supérieure des couches de poudre par le système de chauffage,
- l'étape b) étant réalisée en continue pendant les étapes a) successives, ou l'étape b) étant réalisée après chaque étape a).

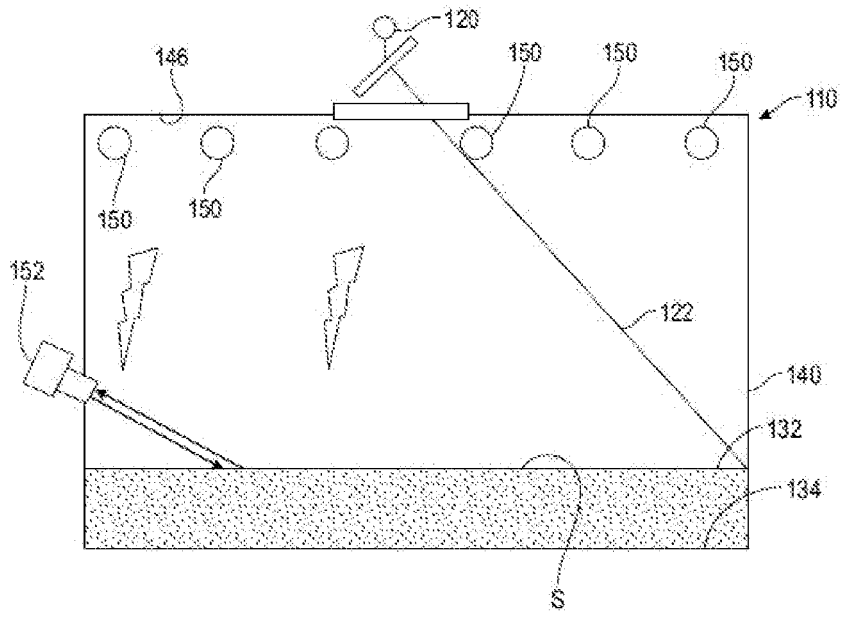
[Fig. 1]



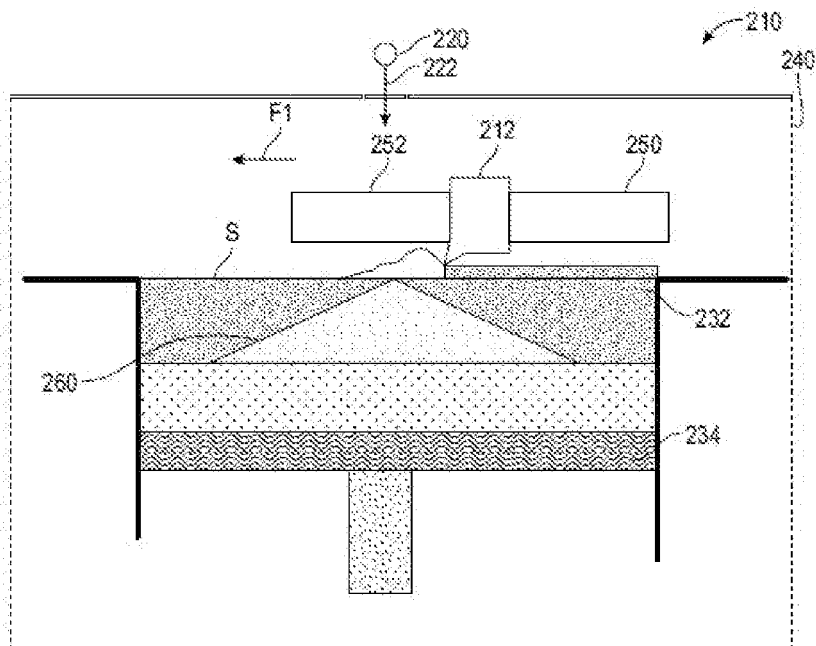
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 869316
FR 1905217

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 A	US 2008/257879 A1 (HUSKAMP CHRISTOPHER S [US]) 23 octobre 2008 (2008-10-23) * figures 1, 3, 5 * * alinéa [0017] * * alinéa [0020] - alinéa [0025] * * alinéa [0030] - alinéa [0031] * -----	1-3,6,7,9,10 4,5,8	B22F3/105 B33Y30/00 B33Y10/00
X A	EP 3 345 697 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 11 juillet 2018 (2018-07-11) * figure 1 * * alinéa [0004] - alinéa [0014] * * alinéa [0018] - alinéa [0021] * * alinéa [0023] - alinéa [0029] * -----	1-4,6-8,10 5,9	
X A	US 2018/079033 A1 (KRUEGER URSUS [DE] ET AL) 22 mars 2018 (2018-03-22) * figure 1 * * alinéa [0006] * * alinéas [0023], [0027] - alinéa [0028] * * alinéa [0034] * -----	1,2,7,8,10 3-6,9	
X	DE 10 2017 216411 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]; SIEMENS AG [DE]) 21 mars 2019 (2019-03-21) * figures 1,2 * * alinéa [0018] - alinéa [0021] * -----	1,2,7,9,10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B22F C22C B33Y B29C
X A	CN 107 379 527 A (UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH) 24 novembre 2017 (2017-11-24) * figures 1-7 * * revendications 1,2,4 * -----	1-3,7-10 4-6	
X	US 2019/118472 A1 (TORREALBA EDUARDO [US] ET AL) 25 avril 2019 (2019-04-25) * figures 1-5A * * alinéa [0028] - alinéa [0037] * * alinéa [0042] - alinéa [0051] * -----	1-5,7,9,10	
		-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
31 octobre 2019		Fodor, Anna	
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 à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 869316
FR 1905217

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	CN 206 242 497 U (SHUOWEI THREE-DIMENSIONAL PRINTING TECH CO LTD) 13 juin 2017 (2017-06-13)	1,4,7,10	
A	* description de la figure 1; figures 1-3 *	2,3,5,6, 8,9	
X	----- US 2018/186077 A1 (GRÜNBERGER STEFAN [DE] ET AL) 5 juillet 2018 (2018-07-05) * figures 1, 3A-3E * * alinéa [0027] - alinéa [0038] * * alinéa [0042] - alinéa [0043] * * alinéa [0048] *	1,4,5,7, 9,10	
X	----- WO 2018/189701 A1 (3D NEW TECH S R L [IT]) 18 octobre 2018 (2018-10-18) * figure 1 * * page 4, ligne 4 - ligne 33 *	1,2,4,7, 10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		31 octobre 2019	Fodor, Anna
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1905217 FA 869316**

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 **31-10-2019**
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
US 2008257879	A1	23-10-2008	AUCUN
EP 3345697	A1	11-07-2018	DE 102016225616 A1 EP 3345697 A1
US 2018079033	A1	22-03-2018	CN 107405689 A DE 102015205314 A1 EP 3253515 A1 US 2018079033 A1 WO 2016150721 A1
DE 102017216411	A1	21-03-2019	DE 102017216411 A1 WO 2019052802 A1
CN 107379527	A	24-11-2017	AUCUN
US 2019118472	A1	25-04-2019	US 2019118472 A1 WO 2019079443 A1
CN 206242497	U	13-06-2017	AUCUN
US 2018186077	A1	05-07-2018	CN 108248024 A DE 102016226322 A1 EP 3342583 A1 US 2018186077 A1
WO 2018189701	A1	18-10-2018	AUCUN