

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 146 823**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **23 02742**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 22 F 1/00 (2023.01), B 22 F 3/00**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.03.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.09.24 Bulletin 24/39.

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 Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS) — FR et Safran Helicopter
Engines Société par actions simplifiée à associé unique
— FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *SISTACH Hugo Jean-Louis, LAVI-
GNOTTE Stéphane et PIETTE Romaric Jean-Marie.*

⑦3 Titulaire(s) : *Safran Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS), Safran Helicopter Engines
Société par actions simplifiée à associé unique.*

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 Poudre métallique pour procédé de fabrication additive.

⑤7 L'invention concerne une poudre métallique pour un
procédé de fabrication additive, la poudre métallique com-
prenant un alliage base cobalt comprenant en poids entre
23% et 24,5% de chrome, entre 9% et 11% de nickel, entre
6,5% et 7,5% tungstène, entre 3% et 4% de tantale, entre
0,55% et 0,65% de carbone, entre 0,3% et 0,5% de zirco-
nium, entre 0,15% et 0,25% de titane, au maximum 2% de
fer, au maximum 0,3% de silicium, au maximum 0,1% de
manganèse, au maximum 0,1% de cuivre, au maximum
0,015% de soufre, au maximum 0,015% de phosphore, au
maximum 0,01% de bore, au maximum 0,025% d'oxygène,
au maximum 0,020% d'azote et au maximum 0,010% d'hy-
drogène.

Figure pour l'abrégé : Fig 3

FR 3 146 823 - A1



Description

Titre de l'invention : Poudre métallique pour procédé de fabrication additive

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne de façon générale le domaine des poudres métalliques pour la fabrication additive. Elle propose plus particulièrement un alliage à base de cobalt pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication additive et un procédé pour la fabrication d'une pièce métallique destinée à une application à haute température.

Etat de la technique

[0002] De nombreux alliages sont connus pour la mise en œuvre de procédés de fabrication additive sur lit de poudre, notamment pour la fusion par faisceau laser (LBM, acronyme du terme anglo-saxon Laser Beam Melting). Par alliage pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication additive sur lit de poudre, il est entendu une poudre comprenant un alliage métallique. La poudre est destinée à être fondue par un laser puis solidifiée lors de la mise en œuvre d'un procédé de fabrication additive sur lit de poudre, pour former une pièce.

[0003] Actuellement, de nombreuses poudres comprenant des alliages métalliques existent. Néanmoins, la plupart des poudres existantes ne permettent pas d'obtenir – après fusion par un faisceau laser dans un procédé de fabrication additive – un matériau adapté à un usage dans des applications aéronautiques telles que l'utilisation dans une turbomachine. En particulier, de nombreuses poudres ne permettent pas d'obtenir un matériau résistant à une température de plus de 650°C. Or, une température de résistance maximale de 650°C est beaucoup trop faible pour un usage dans une turbomachine. D'autres matériaux, par exemple les alliages IN738 et IN939, sont résistants à une température plus élevée, mais présentent des propriétés mécaniques insuffisantes pour la fabrication de pièces aéronautiques. De plus, ces alliages sont également limités à une utilisation à des températures inférieures à 1000°C voire 950°C.

[0004] Cependant, les procédés de fabrication additive permettent de concevoir des pièces d'une géométrie complexe adaptée pour former des pièces optimisées, par exemple pour des systèmes d'injections de carburant, chambres de combustion, chemises de distributeurs de turbine, ou secteurs des aubes de turbine. Il est donc souhaitable de mettre à disposition une poudre permettant de fabriquer une telle pièce présentant une tenue à haute température et des propriétés mécaniques adaptées à une telle application.

Exposé de l'invention

- [0005] Un but de l'invention est de mettre à disposition une poudre comprenant un alliage métallique pour un procédé de fabrication additive, en particulier un procédé par fusion laser sur lit de poudre, qui permette d'obtenir un matériau conservant ses caractéristiques de résistance en traction, de fluage et de présenter une haute résistance à l'oxydation et la corrosion, au moins jusqu'à une température de 1050°C, et qui soit soudable.
- [0006] A cet objectif, l'invention propose une poudre métallique pour un procédé de fabrication additive, la poudre métallique comprenant un alliage base cobalt comprenant en poids entre 23% et 24,5% de chrome, entre 9% et 11% de nickel, entre 6,5% et 7,5% tungstène, entre 3% et 4% de tantale, entre 0,55% et 0,65% de carbone, entre 0,3% et 0,5% de zirconium, entre 0,15% et 0,25% de titane, au maximum 2% de fer, au maximum 0,3% de silicium, au maximum 0,1% de manganèse, au maximum 0,1% de cuivre, au maximum 0,015% de soufre, au maximum 0,015% de phosphore, au maximum 0,01% de bore, au maximum 0,025% d'oxygène, au maximum 0,020% d'azote et au maximum 0,010% d'hydrogène.
- [0007] Avantageusement, la poudre comprend une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 10% des grains présentent un diamètre compris entre 10µm et 25µm.
- [0008] De préférence, la poudre comprend une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 50% des grains présentent un diamètre compris entre 25µm et 40µm.
- [0009] De manière avantageuse, la poudre comprend une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 90% des grains présentent un diamètre compris entre 40µm et 70µm.
- [0010] L'invention se rapporte également à un procédé de fabrication d'une poudre métallique telle que décrite ci-dessus, le procédé comprenant successivement les étapes suivantes :
- mélange de matières premières élémentaires ou pré-alliées,
 - fusion du mélange obtenu,
 - atomisation du mélange en fusion par un gaz, de préférence par de l'argon ou de l'azote,
 - tamisage de la poudre obtenue de sorte à obtenir une granulométrie prédéfinie,
 - récupération de la poudre obtenue.
- [0011] Avantageusement, le procédé comprend en alternance au moins une étape de formation d'une couche d'une poudre métallique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et au moins une étape de fusion sélective d'une portion de ladite couche

par balayage d'un faisceau laser.

- [0012] De préférence, la fabrication additive est réalisée par fusion laser sur lit de poudre. Le faisceau laser peut présenter une puissance comprise entre 150 W et 300W, un diamètre compris entre 50 μ m et 200 μ m, et une vitesse de déplacement comprise entre 900 mm/s et 1300 mm/s. L'étape de balayage peut être réalisée selon des bandes de balayage présentant une largeur comprise entre 2 et 15mm, le recouvrement des bandes étant compris entre 0.05 et 0.15mm.
- [0013] De manière avantageuse, les axes d'orientation des bandes respectives de deux couches adjacentes forment un angle de $67^{\circ}\pm 5^{\circ}$.
- [0014] Avantageusement, l'épaisseur de chaque couche respective est comprise entre 20 μ m et 60 μ m.
- [0015] De préférence, le procédé est réalisé sous atmosphère d'argon et/ou d'azote.
- [0016] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une pièce métallique, comprenant un procédé de fabrication additive tel que décrit ci-dessus et une première étape de traitement thermique à une température comprise entre 1200 et 1240°C pendant une durée comprise entre 5h et 30 minutes et 6 heures et 30 minutes et une première étape de refroidissement jusqu'à une température ambiante.
- [0017] De manière avantageuse, le procédé de fabrication d'une pièce métallique comprend en outre une seconde étape de traitement thermique à une température comprise entre 920°C et 960°C pendant une durée comprise entre 23 et 25 heures et une seconde étape de refroidissement jusqu'à une température ambiante.
- [0018] L'invention se rapporte aussi à un matériau obtenu selon un procédé de fabrication d'une pièce métallique tel que décrit ci-dessus à partir d'une poudre telle que décrite ci-dessus.
- [0019] Avantageusement, le matériau comprend un alliage base cobalt comprenant en poids entre 23% et 24,5% de chrome, entre 9% et 11% de nickel, entre 6,5% et 7,5% tungstène, entre 3% et 4% de tantale, entre 0,55% et 0,65% de carbone, entre 0,3% et 0,5% de zirconium, entre 0,15% et 0,25% de titane, au maximum 2% de fer, au maximum 0,3% de silicium, au maximum 0,1% de manganèse, au maximum 0,1% de cuivre, au maximum 0,015% de soufre, au maximum 0,015% de phosphore, au maximum 0,01% de bore, au maximum 0,03% d'oxygène, au maximum 0,03% d'azote et au maximum 0,0125% d'hydrogène.
- [0020] L'invention concerne également une pièce métallique de turbomachine en un matériau tel que décrit ci-dessus.
- [0021] L'invention se rapporte aussi à une turbomachine comprenant au moins une pièce telle que décrite ci-dessus.

Brève description des figures

- [0022] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :
- [0023] La [Fig.1] est un ordinogramme représentant les étapes d'un procédé de fabrication d'une pièce métallique à partir d'une poudre selon l'invention.
- [0024] La [Fig.2] est une image selon un premier plan du matériau obtenu par le procédé selon l'invention.
- [0025] La [Fig.3] est une image selon un deuxième plan du matériau obtenu par le procédé selon l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation

Poudre métallique

- [0026] L'invention propose une poudre métallique pour un procédé de fabrication additive, notamment un procédé sur lit de poudre tel que la fusion par faisceau laser LBM. De manière alternative, le procédé de fabrication additive peut être un autre procédé, par exemple un procédé sur lit de poudre par fusion d'électrons ou un procédé par projection de poudre. La poudre métallique comprend un alliage base cobalt comprenant au moins les éléments chrome, nickel, tungstène, tantale, carbone, zirconium, et titane. L'alliage peut en outre comprendre du fer, du silicium, du manganèse, du cuivre, du soufre, du phosphore, du bore, d'oxygène, d'azote et d'hydrogène.
- [0027] Dans la suite de la présente description, les « taux » ou « teneurs » seront exprimés de manière massique (i.e. masse dudit élément sur la masse totale de l'alliage).
- [0028] Le tableau 1 ci-dessous indique les quantités des différents éléments chimiques présents dans la poudre. La poudre peut contenir des impuretés sous forme d'autres éléments à un taux inférieur à 0,005 pour chaque élément respectif, et un taux inférieur à 0,050 d'autres éléments en total. Par ces taux, on obtient une pureté suffisante pour réaliser un procédé de fabrication additive et pour assurer les propriétés mécaniques et la tenue en température nécessaires pour une application en aéronautique.
- [0029] [Tableaux1]

Elément [% en poids]	Co	Cr	Ni	W	Ta	C	Zr	Ti	Fe
Minimum	Base	23.00	9.00	6.50	3.00	0.55	0.30	0.15	-
Maximum		24.25	11.00	7.50	4.00	0.65	0.50	0.25	2.00
Elément [% en poids]	Si	Mn	Cu	S	P	B	O	N	H
Minimum	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maximum	0.30	0.10	0.10	0.015	0.015	0.010	0.025	0.020	0.010

- [0030] En particulier, les taux d'oxygène et d'azote sont adaptés pour une poudre à mettre en œuvre dans un procédé de fabrication additive. Par un taux adapté, on entend un taux permettant d'obtenir un matériau ayant les caractéristiques thermiques et mécaniques requises après une fusion par un faisceau laser de la poudre. En effet, on connaît l'alliage métallique Mar-M-509 de forge qui contient sensiblement la même liste d'éléments, mais ses taux d'oxygène, d'azote et d'hydrogène sont différents et non adaptés à un procédé de fabrication additive.
- [0031] De manière avantageuse, la poudre présente une granulométrie adaptée pour une mise en œuvre dans un procédé de fabrication additive sur lit de poudre. Par granulométrie adaptée, il est entendu une granulométrie permettant le dépôt facile d'une couche de poudre en lit, par exemple par approvisionnement d'une quantité prédéfini sur le lit de poudre et l'étalement de la poudre par un racleur pour former une couche présentant une épaisseur et une densité homogènes. Des grains de trop grande dimension peuvent provoquer des défauts de fusion résultant en un matériau présentant des pores trop importants et des faiblesses mécaniques. Des grains trop fins nécessitent une énergie de fusion plus importante et peuvent provoquer des fissures également néfastes pour la tenue mécanique du matériau.
- [0032] Ainsi, avantageusement la géométrie des grains est essentiellement sphérique, c'est-à-dire sans angle vif. Cette géométrie permet d'assurer un écoulement fluide lors du dépôt d'une couche sur un lit de poudre et d'assurer une fusion homogène de la poudre formant la pièce. Par ailleurs, une géométrie sphérique des grains permet de choisir la granulométrie de la poudre avec une bonne précision par une ou plusieurs étapes de tamisage.
- [0033] Selon une disposition particulière, 10% des grains (valeur D10) présentent un diamètre compris entre 10 μ m et 25 μ m, 50% des grains (valeur D50) présentent un diamètre compris entre 25 μ m et 40 μ m et 90% des grains (valeur D90) présentent un diamètre compris entre 40 μ m et 70 μ m.
- [0034] Cette granulométrie spécifique permet de combiner une compacité optimale de la poudre lorsqu'elle est utilisée dans un procédé de fabrication additive sur lit de poudre, tout en ayant une coulabilité optimale et en minimisant les contraintes de fusion. On réduit ainsi le risque de fissuration du matériau obtenu par un procédé de fabrication additive pendant la fabrication, le refroidissement et des étapes ultérieures, par exemple la soudure des pièces obtenues.
- [0035] En particulier, la valeur D10 spécifie les dimensions des grains de poudre les plus fines destinées à remplir les espaces vides entre les grains de dimension supérieure. Ces dimensions sont optimisées pour être suffisamment petites pour bien remplir les espaces vides, et suffisamment grands pour éviter l'évacuation de ces grains par les flux de gaz présents dans la machine de fabrication additive, et leur évacuation ou

piégeage dans les filtres présents dans les différentes machines et l'obstruction de ces filtres en conséquence.

[0036] La valeur de D50 représente la valeur de la moyenne des grains.

[0037] La valeur D90 indique la dimension maximale des grains, la limite supérieure de D90 assure donc une limitation de défauts de fusion en raison des grains présentant une taille trop importante.

[0038] La combinaison des trois paramètres de dimension D10, D50 et D90 correspond à une répartition gaussienne des tailles de grains présentant une homogénéité suffisante pour le dépôt des couches et la fusion, permettant ainsi une fusion homogène de la poudre.

Fabrication de la poudre

[0039] De manière préférentielle, la poudre est obtenue via un procédé d'atomisation sous gaz dans une tour d'atomisation. On commence par la préparation d'un mélange des matières premières sous forme de poudre ou de granules. Les matières premières peuvent se présenter sous forme d'éléments purs et/ou de pré-alliages comprenant une partie des éléments à incorporer dans la poudre. Le mélange de métal est chauffé au-dessus de sa température de fusion, et soumis à un jet de gaz. Typiquement, le gaz est de l'argon ou de l'azote. De préférence, le gaz est de l'argon afin d'éviter la modification du taux d'azote dans l'alliage à fabriquer. Sous la sollicitation mécanique du jet de gaz, le métal fondu forme des gouttelettes sphériques qui forment des grains de poudres lors de leur refroidissement. On peut ensuite procéder à un tamisage afin d'éliminer des grains d'une géométrie insatisfaisante et de trier les grains de poudre selon leur granulométrie.

[0040] Ce procédé permet d'assurer la morphologie essentiellement sphérique et sans angle vif de chaque grain. En même temps, cette technique d'obtention limite le risque de pollution de la poudre par des corps étrangers et des résidus dans l'équipement de fabrication. Il permet également de réaliser une fusion dense et obtenir des grains présentant peu de porosité, ce qui est avantageux pour obtenir une pièce homogène présentant un taux de porosité bas dans le procédé de fabrication additive. Typiquement, les grains de poudre présentent une densité supérieure ou égale à 99,9%.

Procédé de fabrication additive

[0041] Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un procédé de fabrication additive sur lit de poudre, en particulier un procédé de fusion par faisceau laser.

[0042] De manière connue, dans un procédé de fabrication additive du type LBM on dépose une première couche de particules de la poudre de départ. Par la suite, on fait fondre une partie de la première couche en l'irradiant avec un faisceau laser pour former une portion du produit métallurgique. On forme ensuite, de manière répétitive, d'autres

couches de poudre en surface de la poudre et de la portion du produit métallurgique formée à l'étape précédente, et consolide une partie de la deuxième couche de poudre l'irradiant avec le faisceau laser de manière à la souder sur la portion du produit métallurgique. On forme ainsi un objet successivement couche par couche. En fin de procédé, on laisse la pièce refroidir et peut ensuite procéder à l'extraction de la pièce en enlevant la poudre non consolidée.

- [0043] La puissance du faisceau laser et la vitesse de balayage sont choisies selon l'épaisseur de chaque couche, les dimensions et la géométrie de la pièce métallique à fabriquer et les spécificités de la machine de fabrication additive. De préférence, le faisceau laser présente une puissance comprise entre 150 et 300W ce qui permet de fondre la poudre localement sans provoquer un échauffement trop important de la poudre au voisinage de la pièce. Le diamètre du faisceau est typiquement compris entre 50 μ m et 200 μ m pour atteindre une précision de la pièce à fabriquer et une vitesse de production satisfaisante. La vitesse de déplacement du faisceau est typiquement comprise entre 900 mm/s et 1300 mm/s. Une telle vitesse permet d'obtenir un bon compromis entre la vitesse de production de la pièce et la précision de la géométrie de la pièce à fabriquer.
- [0044] Le procédé de balayage par le faisceau laser est souvent réalisé selon des bandes de balayage. Ces bandes comprennent une pluralité de passages du faisceau laser parallèles le long d'un axe d'orientation X. Les bandes présentent typiquement une largeur entre 2 et 15mm. Les bandes sont réalisées avec un recouvrement de deux passages adjacents dans une zone périphérique, avantageusement compris entre 0.05 et 0.15mm. Cela permet d'assurer une bonne tenue mécanique le long des bords de chaque bande.
- [0045] Afin d'éviter des effets de structuration en raison du balayage, on décale angulairement les bandes de couches adjacentes. De manière avantageuse, les axes d'orientation X des bandes de deux couches de poudre adjacentes forment un angle permettant de modifier l'orientation des bandes dans chaque couche successive. Pour obtenir une bonne homogénéité du matériau obtenu, il est nécessaire d'orienter les bandes de sorte que les axes d'orientation de deux couches successives forment un important angle. En même temps on cherche à éviter qu'une orientation ne se répète dans des couches proches les unes des autres et que les orientations varient sur un maximum de couches superposées. A ce but, on choisit un angle de décalage n'étant pas un diviseur de 360°. De préférence, on choisit un angle de 67° avec une tolérance d'environ $\pm 5^\circ$ entre les axes d'orientation entre deux couches successives. Un tel angle permet d'éviter une orientation dominante de la microstructure. En particulier, le décalage angulaire permet d'éviter l'apparition de zones de recouvrement alignées. Des zones de fusion alignées peuvent provoquer des zones mécaniquement affaiblies

en cas de défauts de fusion, car ces défauts seront alignés sur une épaisseur macroscopique du matériau à fabriquer.

- [0046] Après le dépôt et la consolidation de la dernière couche de poudre et, le cas échéant, le refroidissement de la pièce, on peut extraire la pièce fabriquée de la poudre restante qui peut être réutilisée pour la fabrication d'autres pièces.
- [0047] Post-traitement de la pièce obtenue par fabrication additive
- [0048] Une pièce brute obtenue par fusion laser comporte des micro-fissures réparties dans toute la structure de l'alliage. Ces microfissures sont générées par des contraintes mécaniques et thermiques locales lors du procédé de fabrication additive et sont souvent inévitables.
- [0049] Pour l'utilisation d'une telle pièce pour des applications en aéronautique, il est nécessaire de supprimer les microfissures afin d'améliorer les propriétés mécaniques de la pièce. De manière générale, on utilise des traitements thermiques pour supprimer les microfissures et améliorer la qualité métallurgique de la pièce.
- [0050] On utilise typiquement un traitement thermique de trempe à une température comprise entre 1200°C et 1240°C, de préférence proche de 1220°C, pendant 6 heures \pm 30 minutes pour améliorer la qualité métallurgique d'une pièce issue du procédé de fabrication additive décrit ci-dessus. De manière illustrative et non limitative, la vitesse de montée en température est d'environ 10°C/min.
- [0051] Ce traitement provoque la mise en solution de l'alliage et la précipitation de certains éléments, en particulier des carbures au niveau des joints des grains. Des telles carbures augmentent la tenue mécanique et la dureté du matériau. La durée est adaptée afin d'obtenir une précipitation légère et un état de post-traitement stable. Pendant le traitement, en outre de la précipitation des carbures, on provoque une rediffusion des éléments sein de la matrice, sans pour autant fusionner d'autres éléments ou des grains.
- [0052] Ce traitement est suivi d'un refroidissement à température ambiante, par exemple à l'air. Par température ambiante, on comprend une température comprise dans les températures normales des locaux d'habitation, c'est-à-dire d'approximativement entre 15°C et 30°C. Un refroidissement rapide permet de fixer les éléments chimiques qui ont pu se diffuser à haute température dans leur position et d'améliorer la résistance élastique de l'alliage.
- [0053] On peut par la suite appliquer un deuxième traitement thermique pour éliminer les tensions mécaniques restantes. Un tel traitement de détensionnement est typiquement réalisé à une température comprise entre 920°C et 960°C pendant 24 heures \pm 1 heure, avec un refroidissement à l'air subséquent. Le traitement de détensionnement est optionnel et est surtout appliqué aux pièces présentant une épaisseur importante, ou à des pièces ayant subi une soudure pouvant provoquer d'autres tensions mécaniques et thermiques. Un tel traitement apporte un détensionnement pour des telles contraintes,

ainsi que les contraintes se produisant lors de la fusion en raison du réarrangement atomique. En même temps, on évite l'apparition de précipitations ou un grossissement des grains. La structure métallurgique reste donc dans un état métastable.

[0054] La [Fig.1] illustre les étapes principales du procédé de fabrication sous forme d'un ordiogramme. Pendant l'étape FA de fabrication additive, on répète de manière cyclique une étape FA1 de dépôt d'une couche de poudre et une étape FA2 de consolidation. Après finalisation de la fabrication additive FA, on procède au traitement thermique T1 de trempe. Par la suite de manière optionnelle, on peut réaliser un traitement thermique T2 de détensionnement.

Pièce obtenue

[0055] Au cours de la fabrication additive, le taux des éléments oxygène, azote et hydrogène est modifié en raison du contact des grains de la poudre avec l'atmosphère dans la machine de fabrication additive.

[0056] Le tableau 2 ci-dessous indique les quantités des différents éléments chimiques présents dans la pièce métallique fabriquée par LBM.

[0057] [Tableaux2]

Elément [% en poids]	Co	Cr	Ni	W	Ta	C	Zr	Ti	Fe
Minimum	Base	23.00	9.00	6.50	3.00	0.55	0.30	0.15	-
Maximum		24.25	11.00	7.50	4.00	0.65	0.50	0.25	2.00
Elément [% en poids]	Si	Mn	Cu	S	P	B	O	N	H
Minimum	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maximum	0.30	0.10	0.10	0.015	0.015	0.010	0.030	0.030	0.0125

[0058] La [Fig.2] illustre la structure métallurgique d'une pièce après un traitement thermique de trempe dans un plan parallèle aux couches déposées lors de la fabrication additive. La [Fig.3] est une photographie de la structure métallurgique d'une telle pièce dans un plan perpendiculaire à une couche déposée lors de la fabrication additive. Les images sont des photographies en microscopie optique d'une pièce obtenues après un polissage mécanique et une attaque chimique dans le plan respectif. Le matériau présente aucune fissuration. La taille des grains dans la pièce est comprise entre 4 et 10 ASTM avec une moyenne de 6 ASTM, ce qui correspond à une qualité métallurgique adaptée aux pièces exposées aux conditions thermiques et mécaniques d'une turbomachine pour avion. A titre indicatif, 3 ASTM correspond à 127 µm, 5 ASTM à 63,5 µm et 11 ASTM à 7,9µm.

[0059] Le matériau présente une tenue en température jusqu'à 1050°C pour être utilisé à

proximité d'une chambre de combustion dans une turbomachine. Le matériau présente une très bonne stabilité mécanique répondant aux exigences pour pièces de turbomachine exposées à une forte sollicitation mécanique. Une telle sollicitation pendant l'utilisation correspond à une résistance à la rupture R_m de 300MPa à 950°C et à une résistance à la rupture R_m de 1300MPa à 20°C avec une tolérance d'environ +/-50MPa. La valeur exigée de la limite élastique R_{p02} est de 290MPa à 950°C et de 750MPa à 20°C avec une tolérance de +/-50MPa.

[0060] Concernant la tenue au fluage, le temps de rupture à 900°C à 140MPa doit être supérieur à 20h.

[0061] En outre, les pièces peuvent être soudées avec une bonne qualité de soudure.

Revendications

- [Revendication 1] Poudre métallique pour un procédé de fabrication additive, la poudre métallique comprenant un alliage base cobalt comprenant en poids entre 23% et 24,5% de chrome, entre 9% et 11% de nickel, entre 6,5% et 7,5% tungstène, entre 3% et 4% de tantale, entre 0,55% et 0,65% de carbone, entre 0,3% et 0,5% de zirconium, entre 0,15% et 0,25% de titane, au maximum 2% de fer, au maximum 0,3% de silicium, au maximum 0,1% de manganèse, au maximum 0,1% de cuivre, au maximum 0,015% de soufre, au maximum 0,015% de phosphore, au maximum 0,01% de bore, au maximum 0,025% d'oxygène, au maximum 0,020% d'azote et au maximum 0,010% d'hydrogène.
- [Revendication 2] Poudre métallique selon la revendication 1, comprenant une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 10% des grains présentent un diamètre compris entre 10µm et 25µm.
- [Revendication 3] Poudre métallique selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 50% des grains présentent un diamètre compris entre 25µm et 40µm.
- [Revendication 4] Poudre métallique selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant une pluralité de grains présentant une granulométrie selon laquelle au moins 90% des grains présentent un diamètre compris entre 40µm et 70µm.
- [Revendication 5] Procédé de fabrication d'une poudre métallique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant successivement les étapes suivantes :
- mélange de matières premières élémentaires ou pré-alliées,
 - fusion du mélange obtenu,
 - atomisation du mélange en fusion par un gaz, de préférence par de l'argon ou de l'azote,
 - tamisage de la poudre obtenue de sorte à obtenir une granulométrie prédéfinie,
 - récupération de la poudre obtenue.
- [Revendication 6] Procédé de fabrication additive d'une pièce métallique, le procédé comprenant en alternance au moins une étape de formation d'une

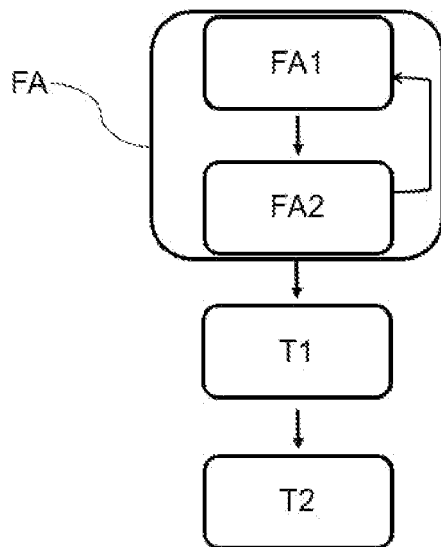
- couche d'une poudre métallique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et au moins une étape de fusion sélective d'une portion de ladite couche par balayage d'un faisceau laser.
- [Revendication 7] Procédé de fabrication additive selon la revendication 6, dans lequel la fabrication additive est réalisée par fusion laser sur lit de poudre.
- [Revendication 8] Procédé de fabrication additive selon la revendication 7, dans lequel le faisceau laser présente une puissance comprise entre 150 W et 300W, un diamètre compris entre 50 μ m et 200 μ m, et une vitesse de déplacement comprise entre 900 mm/s et 1300 mm/s.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication additive selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, dans lequel l'étape de balayage est réalisée selon des bandes de balayage présentant une largeur comprise entre 2 et 15mm, le recouvrement des bandes étant compris entre 0.05 et 0.15mm.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication additive selon la revendication 9, dans lequel les axes d'orientation des bandes respectives de deux couches adjacentes forment un angle de $67^{\circ} \pm 5^{\circ}$.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication additive selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, dans lequel l'épaisseur de chaque couche respective est comprise entre 20 μ m et 60 μ m.
- [Revendication 12] Procédé de fabrication additive selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, ledit procédé étant réalisé sous atmosphère d'argon et/ou d'azote.
- [Revendication 13] Procédé de fabrication d'une pièce métallique, comprenant un procédé de fabrication additive selon l'une quelconque des revendications 6 à 12 et une première étape de traitement thermique à une température comprise entre 1200 et 1240°C pendant une durée comprise entre 5h et 30 minutes et 6 heures et 30 minutes et une première étape de refroidissement jusqu'à une température ambiante.
- [Revendication 14] Procédé de fabrication selon la revendication 13, comprenant en outre une seconde étape de traitement thermique à une température comprise entre 920°C et 960°C pendant une durée comprise entre 23 et 25 heures et une seconde étape de refroidissement jusqu'à une température ambiante.
- [Revendication 15] Matériau obtenu selon un procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 14 à partir d'une poudre comprenant un alliage base cobalt comprenant en poids entre 23% et 24,5% de chrome, entre 9% et 11% de nickel, entre 6,5% et 7,5% tungstène, entre 3% et 4% de tantale, entre 0,55% et 0,65% de carbone, entre 0,3% et 0,5% de zirconium, entre

0,15% et 0,25% de titane,
au maximum 2% de fer, au maximum 0,3% de silicium, au maximum
0,1% de manganèse, au maximum 0,1% de cuivre, au maximum 0,015%
de soufre, au maximum 0,015% de phosphore, au maximum 0,01% de
bore, au maximum 0,03% d'oxygène, au maximum 0,03% d'azote et au
maximum 0,0125% d'hydrogène.

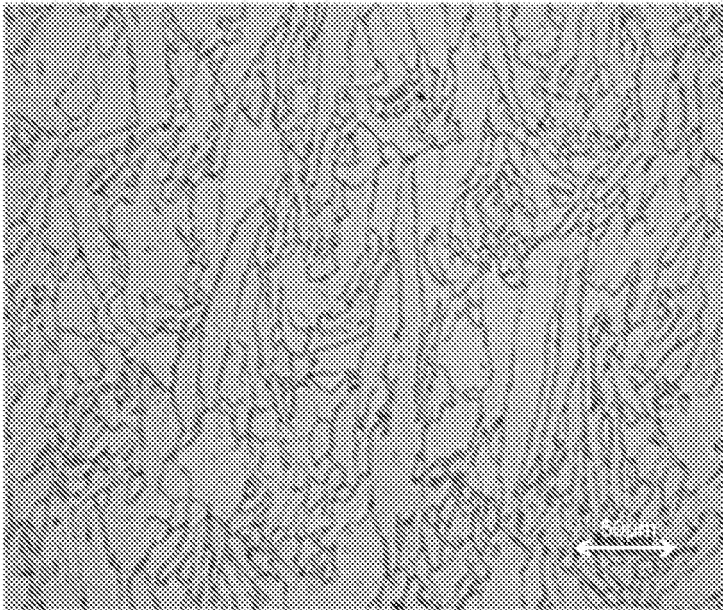
[Revendication 16] Pièce métallique de turbomachine en un matériau selon la revendication
15.

[Revendication 17] Turbomachine comprenant au moins une pièce selon la revendication
16.

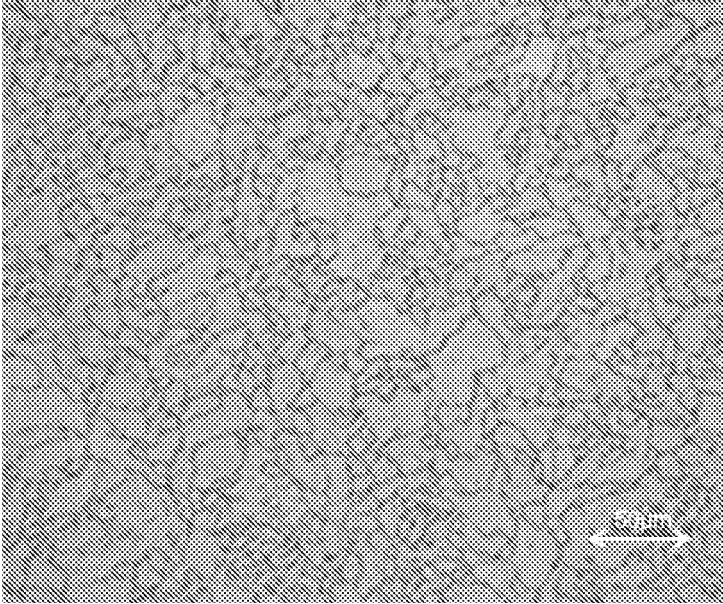
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 925025
FR 2302742

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	CLOOTS MICHAEL ET AL: "Microstructural characteristics of the nickel-based alloy IN738LC and the cobalt-based alloy Mar-M509 produced by selective laser melting", MATERIALS SCIENCE, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 658, 22 janvier 2016 (2016-01-22), pages 68-76, XP029436472, ISSN: 0921-5093, DOI: 10.1016/J.MSEA.2016.01.058	1-7, 9, 10, 13, 15-17	B22F 1/00 B22F 3/00
A	* sections 1.2 et 2.1 * * tableau 1 *	14	
T	----- GALIULLIN T. ET AL: "Differences in Oxidation Behavior of Conventionally Cast and Additively Manufactured Co-Base Alloy MAR-M-509", HIGH TEMPERATURE CORROSION OF MATERIALS, vol. 100, no. 5-6, 6 octobre 2023 (2023-10-06), pages 791-816, XP093126174, ISSN: 2731-8397, DOI: 10.1007/s11085-023-10194-y Extrait de l'Internet: URL:https://link.springer.com/article/10.1007/s11085-023-10194-y/fulltext.html> * section "Experimental procedures" * * tableau 1 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B22F C22C B33Y
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 février 2024		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	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 925025
FR 2302742

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	FERRERI NICHOLAS C ET AL: "Effects of build orientation and heat treatment on the evolution of microstructure and mechanical properties of alloy Mar-M-509 fabricated via laser powder bed fusion", INTERNATIONAL JOURNAL OF PLASTICITY, PERGAMON, AMSTERDAM, NL, vol. 121, 10 juin 2019 (2019-06-10), pages 116-133, XP085809278, ISSN: 0749-6419, DOI: 10.1016/J.IJPLAS.2019.06.002 [extrait le 2019-06-10]	1, 3, 5-13, 15-17	
A	* sections 1, 2.1 et 2.2 * * tableau 1 *	14	
X	SAHU SHREEHARD ET AL: "Thermal Stability of Additively Manufactured Mar M 509", INTERNATIONAL MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING CONFERENCE, OCTOBER 19-20, 2022, LISBON, PORTUGAL, 19 octobre 2022 (2022-10-19), pages 1-7, XP093126205, DOI: 10.1115/IAM2022-91410 ISBN: 978-0-7918-8660-1 Extrait de l'Internet: URL:https://asmedigitalcollection.asme.org/MSEC/proceedings-pdf/doi/10.1115/IAM2022-91410/6975604/v001t02a001-iam2022-91410.pdf	1, 5-7, 9, 10, 13, 15-17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	* abrégé * * sections 1 et 2 * * tableau 1 *	14	
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 février 2024		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	



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 925025
FR 2302742

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		
T	<p>RENLIANG XU ET AL: "Comparison of sizing small particles using different technologies", POWDER TECHNOLOGY, ELSEVIER, BASEL (CH), vol. 132, no. 2-3, 24 juin 2003 (2003-06-24), pages 145-153, XP002711749, ISSN: 0032-5910, DOI: 10.1016/S0032-5910(03)00048-2 * tableaux 1, 3 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	2-4	
T	<p>KING W E ET AL: "Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges", APPLIED PHYSICS REVIEWS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, 2 HUNTINGTON QUADRANGLE, MELVILLE, NY 11747, vol. 2, no. 4, 29 décembre 2015 (2015-12-29), XP012204143, DOI: 10.1063/1.4937809 [extrait le 1901-01-01] * page 13 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 février 2024		Järvi, Tommi	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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</p>			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)