

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2020/025880 A1**

(43) Date de la publication internationale  
06 février 2020 (06.02.2020)

(51) Classification internationale des brevets :  
C22C 19/05 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2019/051831

(22) Date de dépôt international :  
24 juillet 2019 (24.07.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1857130 31 juillet 2018 (31.07.2018) FR

(71) Déposant : SAFRAN [FR/FR] ; 2 boulevard du Général  
Martial Valin, 75015 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : RICHARD, Sébastien, Jean ; c/o SAFRAN  
AIRCRAFT ENGINES PI (AJI), Rond-point René Ra-  
vaud-Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). RAME,  
Jérémy ; c/o SAFRAN AIRCRAFT ENGINES PI (AJI),  
Rond-point René Ravaud-Réau, 77550 MOISSY-CRA-  
MAYEL (FR). MENU, Ederm ; c/o SAFRAN AIR-  
CRAFT ENGINES PI (AJI), Rond-point René Ravaud-Ré-  
au, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(74) Mandataire : DESORMIERE, Pierre-Louis et al. ;  
CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université,  
75340 PARIS CEDEX 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,  
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,  
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,  
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,  
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,  
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,  
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,  
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM,  
KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM),  
européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES,  
FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(54) Title: NICKEL-BASED SUPERALLOY FOR MANUFACTURING A PART BY POWDER FORMING

(54) Titre : SUPERALLIAGE A BASE DE NICKEL POUR FABRICATION D'UNE PIECE PAR MISE EN FORME DE POUDRE

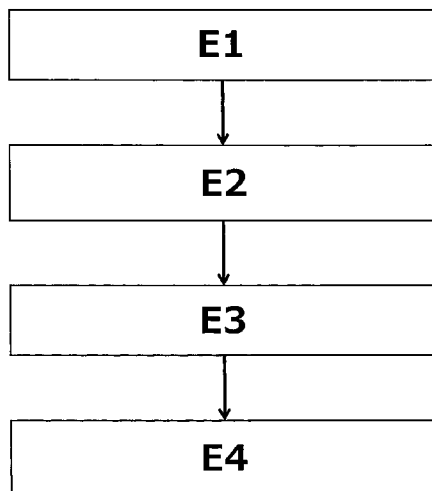


FIG.1

(57) Abstract: The invention relates to a nickel-based superalloy containing, in weight percentages: - 5 to 6.5% of aluminum, - 4.5 to 7% of cobalt, - 14.5 to 16.5% of chrome, - 0 to 0.2% of hafnium, - 0 to 1.5% of molybdenum, - 2 to 3.5% of tantalum, - 0 to 2% of titanium, - 1 to 2.5% of tungsten, - 0 to 0.08% of zirconium, - 0 to 0.03% of boron and - 0 to 0.07% of carbon, the remainder being nickel and inevitable impurities.

(57) Abrégé : L'invention concerne un superalliage à base nickel comprenant, en pourcentages massiques : - 5 à 6,5% d'aluminium, - 4,5 à 7% de cobalt, - 14,5 à 16,5% de chrome, - 0 à 0,2% de hafnium, - 0 à 1,5% de molybdène, - 2 à 3,5% de tantale, - 0 à 2% de titane, 1 à 2,5% de tungstène, - 0 à 0,08% de zirconium, - 0 à 0,03% de bore, - 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.



WO 2020/025880 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

- *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))*

Titre de l'invention

Superalliage à base de nickel pour fabrication d'une pièce par mise en forme de poudre

5

Arrière-plan de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine général des superalliages à base de nickel pour des turbomachines, notamment pour les aubes fixes, aussi appelées distributeurs ou redresseurs, les aubes mobiles, ou encore les segments d'anneau.

Les superalliages à base de nickel sont généralement utilisés pour les parties chaudes des turbomachines, c'est-à-dire les parties des turbomachines situées en aval de la chambre de combustion.

Les superalliages à base de nickel ont pour principaux avantages de combiner à la fois une résistance au fluage élevée aux hautes températures comprises entre 650°C et 1200°C, ainsi qu'une résistance à l'oxydation et à la corrosion.

La tenue aux hautes températures est principalement due à la microstructure de ces matériaux, qui est composée d'une matrice  $\gamma$ -Ni de structure cristalline cubique à face centrée (CFC) et de précipités durcissants ordonnés  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al de structure L12.

Une pièce en superalliage à base de nickel est généralement fabriquée par fonderie, la microstructure de la pièce étant obtenue par un contrôle rigoureux des paramètres du procédé de fonderie, ainsi que par des traitements thermiques appliqués successivement sur la pièce.

Récemment, des procédés de fabrication par mise en forme de poudre ont été utilisés pour la fabrication de pièces en superalliage à base de nickel. Par des procédés de mise en forme de poudre on comprend ici les procédés de fabrication par frittage (également appelé procédé de métallurgie des poudres), ou bien le moulage par injection de métal (ou procédé MIM pour « *Metal Injection Molding* » selon la terminologie anglo-saxonne), ou bien encore les procédés de fabrication additive, comme par exemple un procédé de projection de liant (« *Binder Jetting* » selon la terminologie anglo-saxonne), ou encore par exemple un procédé de dépôt de matière fondue (ou encore procédé FFF pour « *Fused Filament Fabrication* » selon la terminologie anglo-saxonne).

Cependant, les caractéristiques mécaniques des pièces en superalliage obtenues par mise en forme de poudre peuvent être inférieures aux caractéristiques mécaniques des pièces en superalliage obtenues par fonderie.

5 Une telle diminution des caractéristiques mécaniques des pièces réalisées par mise en forme de poudre est due au fait que les domaines de température utilisés dans les procédés de fabrication par mise en forme de poudre, ainsi que les vitesses de chauffage et de refroidissement, sont très différents de ceux des procédés de fabrication  
10 par fonderie, ce qui ne permet pas à une pièce réalisée par mise en forme de poudre de disposer de la même microstructure qu'une pièce fabriquée par fonderie, alors que ces deux pièces possèdent une même composition.

On connaît le superalliage Rene®77 qui est un superalliage à base de nickel qui est couramment utilisé pour la fabrication par fonderie  
15 de pièces de turbomachine, notamment des aubes de turbine.

Par exemple, une pièce en Rene®77 fabriquée par un procédé de moulage par injection de métal (procédé MIM) possède une microstructure avec des grains de plus faible taille qu'une pièce fabriquée par fonderie, limitant ainsi la résistance au fluage de la pièce fabriquée par  
20 le procédé MIM.

En effet, le frittage de ce superalliage réalisé durant le procédé MIM se fait dans un domaine de température où précipitent des carbures de titane (entre 1200°C et 1300°C), qui après refroidissement limitent fortement le mouvement des joints de grain par épinglage Zener (« *Zener pinning* » selon la terminologie anglo-saxonne), et ainsi limite la  
25 génération d'une microstructure à gros grains.

On connaît le document WO 02/22901 qui décrit un superalliage à base de nickel.

30

#### Objet et résumé de l'invention

La présente invention a donc pour but de proposer des compositions de superalliages à base de nickel qui sont adaptées pour la fabrication d'une pièce par mise en forme d'une poudre de superalliage à  
35 base de nickel, de manière à améliorer les caractéristiques mécaniques de la pièce, et notamment la résistance au fluage.

L'invention a notamment pour but de maintenir la stabilité microstructurale dans le volume du superalliage en assurant une faible sensibilité à la formation de phases topologiquement compactes PTC (les phases  $\mu$  ou  $\sigma$  riches en chrome, molybdène et tungstène).

5 L'invention vise également à donner au superalliage une teneur en phase  $\gamma'$  qui est similaire aux superalliages de l'état de la technique utilisés pour la fonderie.

L'invention a également pour but de fournir un alliage dont la masse volumique n'est pas trop importante.

10 Selon un premier aspect, l'invention propose un superalliage à base de nickel comprenant, en pourcentages massiques :

- 5 à 6,5% d'aluminium,
- 4,5 à 7% de cobalt,
- 14,5 à 16,5% de chrome,
- 15 - 0 à 0,2% de hafnium,
- 0 à 1,5% de molybdène,
- 2 à 3,5% de tantale,
- 0 à 2% de titane,
- 1 à 2,5% de tungstène,
- 20 - 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

25 On définit par alliage à base de nickel un alliage dont le pourcentage massique en nickel est majoritaire.

On définit les impuretés inévitables comme les éléments qui ne sont pas ajoutés de manière intentionnelle dans la composition et qui sont apportés avec d'autres éléments. Parmi les impuretés inévitables, on peut notamment citer le silicium (Si).

30 Le superalliage selon l'invention permet de fabriquer une pièce par mise en forme de poudre avec une microstructure qui est comparable à la microstructure d'une pièce fabriquée par fonderie avec les alliages conventionnels qui sont adaptés pour la fonderie.

35 Le superalliage selon l'invention permet notamment de limiter, voir d'éviter, lors du frittage, la formation de carbures, ou d'autres

composés, qui tendent à limiter le mouvement des joints de grains, et ainsi limitent la taille des grains.

Selon une variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5 - 5 à 6,5% d'aluminium,
- 4,5 à 7% de cobalt,
- 14,5 à 16,5% de chrome,
- 0 à 0,2% de hafnium,
- 0 à 1,5% de molybdène,
- 10 - 2 à 3,5% de tantale,
- 0,5 à 2% de titane,
- 1 à 2,5% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 15 - 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Par ailleurs, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 20 - 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 25 - 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

30 le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Le superalliage peut également comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 35 - 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,

- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0,5 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 5 - 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

10 Selon une variante possible, le superalliage peut également comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 15 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 1 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 20 - 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Le superalliage peut en outre comprendre, en pourcentages massiques :

- 25 - 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 30 - 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0,04 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 35 - 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Selon une variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 5 - 15,4 à 16% de chrome,
- 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 10 - 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

15 Selon une autre variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 20 - 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 25 - 0,04 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

30 Selon une autre variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 35 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,

- 0,5 à 1,5% de titane,
  - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
- 5 - 0 à 0,07% de carbone,  
le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Selon une autre variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
  - 10 - 5,2 à 6,2% de cobalt,
  - 15,4 à 16% de chrome,
  - 0 à 0,15% de hafnium,
  - 0,5 à 0,9% de molybdène,
  - 2,5 à 2,9% de tantale,
  - 15 - 0,5 à 1,5% de titane,
  - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0,04 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 0 à 0,07% de carbone,
- 20 le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Selon une variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
  - 5,2 à 6,2% de cobalt,
  - 25 - 15,4 à 16% de chrome,
  - 0,1 à 0,15% de hafnium,
  - 0,5 à 0,9% de molybdène,
  - 2,5 à 2,9% de tantale,
  - 0,5 à 1,5% de titane,
  - 30 - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0,04 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 0 à 0,07% de carbone,
- le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

- 35 Selon une variante possible, le superalliage peut comprendre, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 5 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 1 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0,04 à 0,08% de zirconium,
- 10 - 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

15 Selon un deuxième aspect, l'invention propose une pièce de turbomachine en superalliage à base de nickel selon l'une quelconque des caractéristiques précédentes.

La pièce peut être un élément d'une turbine de turbomachine d'aéronef, par exemple une turbine haute-pression ou une turbine basse-pression, ou bien un élément de compresseur, et notamment de  
20 compresseur haute pression.

Selon une caractéristique additionnelle, la pièce de turbine ou de compresseur peut être une aube, ladite aube pouvant être une aube mobile ou une aube fixe, ou bien un secteur d'anneau.

25 Selon un troisième aspect, l'invention propose un procédé de fabrication d'une pièce de turbomachine comprend les étapes suivantes :

- fabrication d'une poudre en superalliage à base de nickel selon l'une quelconques des caractéristiques précédentes ;
- réalisation de la pièce par mise en forme de la poudre.

30 Le procédé de mise en forme de la poudre de superalliage à base de nickel peut être mis en œuvre par frittage de ladite poudre, ou bien par fabrication additive à partir de ladite poudre, ou bien par moulage par injection de métal (procédé MIM) à partir de ladite poudre.

35 Selon une caractéristique additionnelle, le procédé comprend une étape de traitement thermique de remise en solution qui est suivie par une étape de traitement thermique de précipitation d'une phase  $\gamma'$ .

### Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence au dessin annexé qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif.

La figure 1 représente schématiquement les étapes d'un procédé de fabrication d'une pièce de turbomachine selon une variante possible de l'invention.

10

### Description détaillée de l'invention

Le superalliage selon l'invention comprend une base de nickel à laquelle sont associés des éléments d'addition majeurs.

Les éléments d'addition majeurs comprennent : le cobalt Co, le chrome Cr, le molybdène Mo, le tungstène W, l'aluminium Al, et le tantale Ta. Les éléments d'addition majeurs peuvent également comprendre le titane Ti.

Le superalliage peut également comprendre des éléments d'addition mineurs, qui sont des éléments d'addition dont le pourcentage maximum dans l'alliage ne dépasse pas 1% en pourcentage massique.

Les éléments d'addition mineurs comprennent : le hafnium Hf, le carbone C, le bore B, et le zirconium Zr.

Le superalliage à base de nickel comprend, en pourcentages massiques, 5 à 6,5% d'aluminium, 4,5 à 7% de cobalt, 14,5 à 16,5% de chrome, 0 à 0,2% de hafnium, 0 à 1,5% de molybdène, 2 à 3,5% de tantale, 0 à 2% de titane, 1 à 2,5% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Une telle composition de superalliage permet d'améliorer les propriétés de tenue mécaniques à haute température des pièces fabriquées par mise en forme d'une poudre constituée dudit superalliage.

Une telle amélioration des propriétés mécaniques est obtenue par réalisation d'une microstructure au sein de la pièce en superalliage fabriquée par mise en forme de poudre qui tend à ressembler à la

35

microstructure des pièces en superalliage de l'état de la technique qui sont réalisées par fonderie.

Le superalliage selon l'invention est adapté aux températures mises en œuvre durant la fabrication par mise en forme de poudre qui  
5 sont plus faibles que les températures mises en œuvre lors des procédés de fonderie.

Le tungstène, le chrome, le cobalt participent principalement au durcissement de la matrice austénitique de structure cristalline cubique à face centrée (CFC), également appelée matrice  $\gamma$  (gamma). Ce  
10 durcissement est obtenu par substitution du nickel par le tungstène, le chrome et le cobalt.

De plus, de manière préférentielle, le superalliage peut comprendre du molybdène, le molybdène participant également principalement au durcissement de la matrice  $\gamma$  en se substituant au  
15 nickel.

L'aluminium et le tantale favorisent la précipitation de la phase durcissante  $\text{Ni}_3$  (Al, Ta) de structure cubique ordonnée L12, également appelée phase  $\gamma'$  (gamma').

De plus, de manière préférentielle, le superalliage peut  
20 comprendre du titane, le titane favorisant également la précipitation de la phase durcissante  $\text{Ni}_3$  (Al, Ta, Ti), la phase  $\gamma'$ .

Par ailleurs, les éléments réfractaires que sont le molybdène, le tungstène et le tantale permettent également de ralentir les mécanismes contrôlés par la diffusion, améliorant ainsi la résistance au fluage et à  
25 l'oxydation du superalliage.

En outre, le chrome et l'aluminium permettent d'améliorer la résistance à l'oxydation et à la corrosion à haute température du super alliage, notamment aux environs des 900°C pour la corrosion, et aux environs des 1100°C pour l'oxydation.

30 L'addition de chrome et de cobalt permet également de diminuer la température de solvus  $\gamma'$  du superalliage.

De plus, le cobalt permet de renforcer la matrice  $\gamma$ , ainsi que de réduire la sensibilité à la précipitation de phases topologiquement compactes PTC et à la formation de zones de réactions secondaires ZRS.  
35 Toutefois, le cobalt tend à diminuer la température de solvus  $\gamma'$ .

De manière avantageuse, le superalliage peut également comprendre du hafnium afin d'améliorer la tenue à l'oxydation à chaud en augmentant l'adhérence de la couche d'alumine  $Al_2O_3$  qui se forme à la du superalliage à haute température en milieu oxydant.

5 De plus, l'ajout de carbone, de bore et de zirconium permet de renforcer la résistance des joints de grains, améliorant ainsi la résistance à corrosion de la pièce fabriquée avec le superalliage.

De manière préférentielle, le superalliage à base de nickel comprend, en pourcentages massiques, 5 à 6,5% d'aluminium, 4,5 à 7%  
10 de cobalt, 14,5 à 16,5% de chrome, 0 à 0,2% de hafnium, 0 à 1,5% de molybdène, 2 à 3,5% de tantale, 0,5 à 2% de titane, 1 à 2,5% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

15 Un taux de titane compris entre 0,5 et 2%, en pourcentages massiques, permet d'améliorer la résistance au fluage.

Le superalliage à base de nickel peut également comprendre, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène,  
20 2,5 à 2,9% de tantale, 0 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

De manière préférentielle, le superalliage comprend, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt,  
25 15,4 à 16% de chrome, 0 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0,5 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

30 Un taux de titane compris entre 0,5 et 1,5%, en pourcentages massiques, permet d'améliorer encore plus la résistance au fluage.

De manière encore plus préférentielle, le superalliage comprend, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène,  
35 2,5 à 2,9% de tantale, 1 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Un taux de titane compris entre 1 et 1,5%, en pourcentages massiques, permet d'améliorer encore plus la résistance au fluage.

Le super alliage peut également comprendre, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0,04 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Un taux de 0,04 à 0,08% de zirconium, et des taux maximums de 0,03% de bore et de 0,07% de carbone, en pourcentages massiques, permet d'améliorer la résistance à la corrosion.

Le superalliage peut également comprendre, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0,1 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Un taux de hafnium compris entre 0,1 à 0,15% de hafnium permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques du superalliage.

De manière préférentielle, le superalliage comprend, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0,1 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0,04 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Le superalliage peut également comprendre, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0,1 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0,5 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Le superalliage peut également comprendre, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0,5 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0,04 à 0,08% de

zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

De manière préférentielle, le superalliage comprend, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0,1 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 0,5 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0,04 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

De manière encore plus préférentielle, le superalliage comprend, en pourcentages massiques, 5,6 à 6% d'aluminium, 5,2 à 6,2% de cobalt, 15,4 à 16% de chrome, 0,1 à 0,15% de hafnium, 0,5 à 0,9% de molybdène, 2,5 à 2,9% de tantale, 1 à 1,5% de titane, 1,6 à 2% de tungstène, 0,04 à 0,08% de zirconium, 0 à 0,03% de bore, 0 à 0,07% de carbone, le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

Le superalliage permet de fabriquer des pièces de turbomachine qui possèdent une bonne tenue mécanique aux hautes températures.

Comme illustré sur la figure 1, le procédé de fabrication d'une pièce de turbomachine comprend les étapes suivantes :

- E1 : fabrication d'une poudre en superalliage à base de nickel tel que décrit précédemment ;
- E2 : réalisation de la pièce par mise en forme de la poudre.

L'étape E1 de fabrication de la poudre en superalliage de nickel est réalisée par atomisation d'une masse fondue préparée au préalable de manière à avoir la composition désirée. L'atomisation peut être réalisée avec un gaz inerte, tel que par exemple du diazote, de l'hélium ou de l'argon.

L'étape E2 de réalisation de la pièce par mise en forme de la poudre obtenue lors de l'étape E1 peut être réalisée par frittage (également appelé procédé de métallurgie des poudres) ou par fabrication additive, ou bien encore par moulage par injection de métal (procédé MIM).

La fabrication par frittage de la poudre est réalisée en remplissant un moule afin de donner à la poudre la forme de la pièce à réaliser, puis en comprimant la poudre et en la chauffant afin de lier les

grains de la poudre par diffusion. La cohésion de la pièce est obtenue par le phénomène de diffusion, sans fusion de la poudre. La température de frittage peut être comprise entre 1220°C et 1320°C

La fabrication additive à partir de la poudre de superalliage peut être réalisé par projection de liant (« Binder Jetting » selon la terminologie anglo-saxonne). Pour ce faire une fine couche de poudre est déposée sur un plateau. Un liant est ensuite projeté sur la couche de poudre suivant la forme de la pièce à fabriquer, afin de lier entre eux différents grains de la poudre et ainsi fabriquer une première portion élémentaire de la pièce. Une fois la première portion élémentaire de la pièce fabriquée, le plateau est descendu et une nouvelle couche de poudre est déposée par-dessus la première portion élémentaire de la pièce fabriquée. Là encore, une fois la couche de poudre déposée, le liant est projeté de manière à fabriquer une deuxième portion élémentaire de la pièce. Ces opérations sont ensuite répétées afin de réaliser l'intégralité de la pièce. Le liant peut ensuite être éliminé, et la pièce peut être frittée, par exemple à une température comprise entre 1220°C et 1320°C.

Selon une autre variante possible, la fabrication additive de la pièce peut être réalisée par un procédé de dépôt de matière fondue (ou encore procédé FFF pour « *Fused Filament Fabrication* » selon la terminologie anglo-saxonne). Pour ce faire, la poudre de superalliage est mélangée avec un liant plastique, puis est mis en forme afin de former un filament. Le filament formé par le mélange du métal et du liant plastique est ensuite fondu de manière contrôlée et la matière fondue est déposée de manière à donner sa forme à la pièce à fabriquer. Une fois la pièce formée par dépôt de matière à partir du filament, le liant plastique est éliminé, par exemple par chauffage, afin d'obtenir une pièce composée uniquement du superalliage. Une fois le liant plastique éliminé, la pièce est frittée, la température de frittage pouvant être comprise entre 1220°C et 1320°C.

Selon encore une autre variante possible, la fabrication additive de la pièce est réalisée par fusion sélective par laser (ou procédé SLM, pour « *Selective Laser Melting* » selon la terminologie anglo-saxonne). Pour ce faire, une fine couche de poudre de superalliage est déposée sur un plateau. Un faisceau laser vient ensuite faire fondre sélectivement la

poudre afin de former une première portion élémentaire de la pièce, l'atmosphère étant contrôlée afin de ne pas polluer le superalliage. Une fois la première portion élémentaire fabriquée, le plateau est abaissé et une nouvelle couche de poudre est déposée par-dessus la première  
5 portion élémentaire de la pièce, cette nouvelle couche de poudre étant ensuite fondue sélectivement par le laser afin de fabriquer une deuxième portion élémentaire de la pièce. Ces opérations sont ensuite répétées afin de réaliser l'intégralité de la pièce.

10 Selon encore une autre variante possible, la fabrication additive de la pièce est réalisée par fusion par faisceau d'électron (ou procédé EBM pour « Electron Beam Melting » selon la terminologie anglo-saxonne), qui est un procédé similaire à la fusion sélective par laser, la poudre étant fondue par un faisceau par électron à la place du laser, la poudre étant sous vide.

15 L'étape E2 de réalisation de la pièce par mise en forme de la poudre peut être effectué par moulage par injection de métal (appelé également procédé MIM pour « Metal Injection Molding » selon la terminologie anglo-saxonne). Pour ce faire, la poudre de superalliage est mélangée avec un liant plastique. Ensuite, le mélange est injecté afin de  
20 donner sa forme à la pièce. Une fois mise en forme, le liant est éliminé, par exemple par chauffage, de sorte à obtenir une pièce uniquement composée du superalliage à base de nickel. Une fois le liant plastique éliminé, la pièce est frittée, la température de frittage étant par exemple comprise entre 1220°C et 1320°C.

25 Par ailleurs, comme illustré sur la figure 1, le procédé de fabrication peut comprendre une étape E3 de traitement thermique de mise en solution qui est suivie par une étape E4 de traitement thermique de précipitation de la phase  $\gamma'$ .

30 L'étape E3 de traitement thermique de remise en solution est réalisée en chauffant la pièce à une température et pendant une durée qui sont adaptées pour provoquer la dissolution des précipités  $\gamma'$  qui ont été formés durant la fabrication de la pièce. La température du traitement thermique de remise en solution est inférieure à la température de solidus afin d'éviter toute fusion locale de la matrice  $\gamma$ .

35 L'étape E3 de traitement thermique de remise en solution peut être réalisée en chauffant la pièce à une température comprise entre

1100°C et 1300°C, typiquement 1200°C, pendant une durée comprise entre 1h et 5h, typiquement 3h.

Par ailleurs, cette étape E3 de traitement thermique de remise en solution permet de faire grossir les grains de la microstructure de la  
5 pièce.

L'étape E4 de traitement thermique de précipitation de la phase  $\gamma'$  est réalisée par un ou plusieurs revenus qui permettent la reprecipitation de la phase  $\gamma'$  sous la forme désirée.

L'étape E4 de traitement thermique de précipitation de la phase  
10  $\gamma'$  peut par exemple être réalisée par un premier revenu à une température comprise entre 800°C et 900°C, typiquement 850°C, qui est suivi par un deuxième revenu à une température comprise entre 700°C et 800°C, typiquement 750°C. Le premier revenu permet de provoquer la précipitation de gros précipités de phase  $\gamma'$ , et le deuxième revenu permet  
15 de provoquer la précipitation de précipités de phase  $\gamma'$  de tailles plus fines.

Les pièces fabriquées peuvent avoir une structure cristalline équiaxe, c'est-à-dire que la taille des grains de la structure cristalline est sensiblement équivalente dans toutes les directions. Cette structure équiaxe est obtenue par le frittage de la poudre, le frittage n'orientant pas  
20 les grains.

Toutefois, l'invention n'est pas limitée à la fabrication de pièces avec une structure cristalline équiaxe. Par exemple, l'utilisation de la variante de fabrication de la pièce par fusion sélective par laser (précédé SLM), ou de la fusion par faisceau d'électron (procédé EDM) peut  
25 permettre de fabriquer des pièces dont les grains sont orientés.

Le superalliage selon l'invention est adapté pour la fabrication d'aubes pour une turbomachine. Les aubes peuvent être des aubes de compresseur, et préférentiellement d'un compresseur haute pression qui possède une température de travail plus élevée qu'un compresseur basse  
30 pression, ou bien les aubes peuvent être des aubes de turbine.

## REVENDICATIONS

1. Superalliage à base nickel comprenant, en pourcentages massiques :
  - 5 à 6,5% d'aluminium,
- 5
  - 4,5 à 7% de cobalt,
  - 14,5 à 16,5% de chrome,
  - 0 à 0,2% de hafnium,
  - 0 à 1,5% de molybdène,
  - 2 à 3,5% de tantale,
- 10
  - 0 à 2% de titane,
  - 1 à 2,5% de tungstène,
  - 0 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 0 à 0,07% de carbone,
- 15 le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.
  
2. Superalliage selon la revendication 1, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :
  - 5 à 6,5% d'aluminium,
- 20
  - 4,5 à 7% de cobalt,
  - 14,5 à 16,5% de chrome,
  - 0 à 0,2% de hafnium,
  - 0 à 1,5% de molybdène,
  - 2 à 3,5% de tantale,
- 25
  - 0,5 à 2% de titane,
  - 1 à 2,5% de tungstène,
  - 0 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 0 à 0,07% de carbone,
- 30 le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.
  
3. Superalliage selon la revendication 1, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :
  - 5,6 à 6% d'aluminium,
- 35
  - 5,2 à 6,2% de cobalt,
  - 15,4 à 16% de chrome,

- 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 5 - 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

10

4. Superalliage selon la revendication 3, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15 - 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0,5 à 1,5% de titane,
- 20 - 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

25

5. Superalliage selon la revendication 4, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 30 - 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 1 à 1,5% de titane,
- 35 - 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,

- 0 à 0,03% de bore,
  - 0 à 0,07% de carbone,
- le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

5 6. Superalliage selon la revendication 3, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 10 - 0 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 15 - 0,04 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

20 7. Superalliage selon la revendication 3, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 25 - 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 30 - 0 à 0,08% de zirconium,
- 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

35 8. Superalliage selon les revendications 6 et 7, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 5 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0,04 à 0,08% de zirconium,
- 10 - 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

9. Superalliage selon les revendications 4 et 7, dans lequel ledit  
15 superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0,1 à 0,15% de hafnium,
- 20 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,
- 0,5 à 1,5% de titane,
- 1,6 à 2% de tungstène,
- 0 à 0,08% de zirconium,
- 25 - 0 à 0,03% de bore,
- 0 à 0,07% de carbone,

le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

10. Superalliage selon les revendications 4 et 6, dans lequel ledit  
30 superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 5,6 à 6% d'aluminium,
- 5,2 à 6,2% de cobalt,
- 15,4 à 16% de chrome,
- 0 à 0,15% de hafnium,
- 35 - 0,5 à 0,9% de molybdène,
- 2,5 à 2,9% de tantale,

- 0,5 à 1,5% de titane,
  - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0,04 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 5 - 0 à 0,07% de carbone,
- le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

11. Superalliage selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 10 - 5,6 à 6% d'aluminium,
  - 5,2 à 6,2% de cobalt,
  - 15,4 à 16% de chrome,
  - 0,1 à 0,15% de hafnium,
  - 0,5 à 0,9% de molybdène,
  - 15 - 2,5 à 2,9% de tantale,
  - 0,5 à 1,5% de titane,
  - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0,04 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 20 - 0 à 0,07% de carbone,
- le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

12. Superalliage selon la revendication 11, dans lequel ledit superalliage comprend, en pourcentages massiques :

- 25 - 5,6 à 6% d'aluminium,
  - 5,2 à 6,2% de cobalt,
  - 15,4 à 16% de chrome,
  - 0,1 à 0,15% de hafnium,
  - 0,5 à 0,9% de molybdène,
  - 30 - 2,5 à 2,9% de tantale,
  - 1 à 1,5% de titane,
  - 1,6 à 2% de tungstène,
  - 0,04 à 0,08% de zirconium,
  - 0 à 0,03% de bore,
  - 35 - 0 à 0,07% de carbone,
- le complément étant constitué de nickel et des impuretés inévitables.

13. Pièce de turbomachine en super alliage à base de nickel selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

5 14. Procédé de fabrication d'une pièce de turbomachine comprenant les étapes suivantes :

- (E1) : fabrication d'une poudre en superalliage à base de nickel selon l'une quelconques des revendications 1 à 12 ;

- (E2) : réalisation de la pièce par mise en forme de la poudre.

10

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel ledit procédé comprend une étape (E3) de traitement thermique de remise en solution qui est suivie par une étape (E4) de traitement thermique de précipitation d'une phase  $\gamma'$ .

15

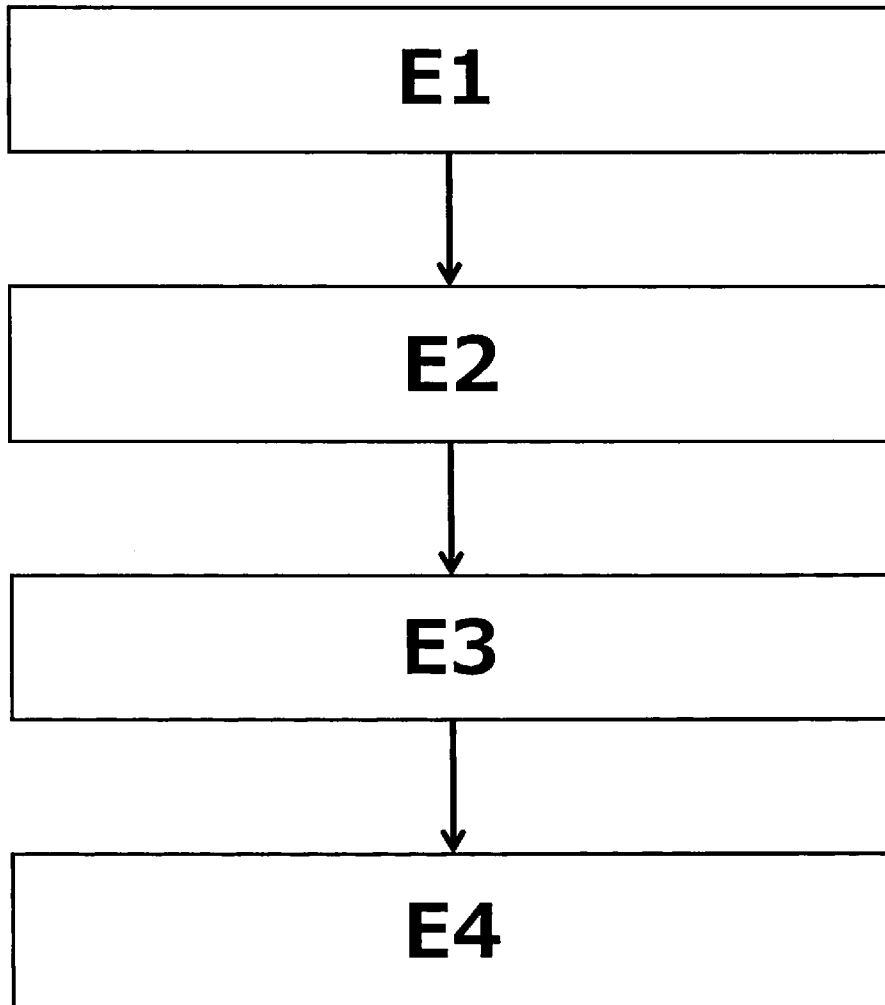


FIG.1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2019/051831**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>C22C 19/05</i> (2006.01)  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C22C  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, CHEM ABS Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 0222901 A1 (CANNON MUSKEGON CORP [US]) 21 March 2002 (2002-03-21) claims 1,19	1-15
A	EP 2071128 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17 June 2009 (2009-06-17) table 1	1-15
A	US 5523170 A (BUDINGER DAVID E [US] ET AL) 04 June 1996 (1996-06-04) claim 8	1-15
A	WO 2018078269 A1 (SAFRAN [FR]; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR] ET AL.) 03 May 2018 (2018-05-03) claims 1,7	1-15
A	WO 2017021685 A1 (UNIV OXFORD INNOVATION LTD [GB]) 09 February 2017 (2017-02-09) claims 1,20	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>10 December 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>03 January 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Rolle, Susett</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/FR2019/051831**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	0222901	A1	21 March 2002	AT	347623	T	15 December 2006
				AU	6542201	A	26 March 2002
				CA	2421039	A1	21 March 2002
				DE	60125059	T2	21 June 2007
				EP	1334215	A1	13 August 2003
				ES	2275686	T3	16 June 2007
				IL	154889	A	20 August 2006
				TW	1248975	B	11 February 2006
				US	6632299	B1	14 October 2003
				WO	0222901	A1	21 March 2002
EP	2071128	A2	17 June 2009	CA	2645380	A1	13 June 2009
				EP	2071128	A2	17 June 2009
				JP	5419433	B2	19 February 2014
				JP	2009144717	A	02 July 2009
				US	2010008778	A1	14 January 2010
US	5523170	A	04 June 1996	NONE			
WO	2018078269	A1	03 May 2018	BR	112019008164	A2	09 July 2019
				CA	3041411	A1	03 May 2018
				CN	109963955	A	02 July 2019
				EP	3532648	A1	04 September 2019
				FR	3057880	A1	27 April 2018
				US	2019330714	A1	31 October 2019
				WO	2018078269	A1	03 May 2018
				WO	2017021685	A1	09 February 2017
WO	2017021685	A1	09 February 2017	CN	108138264	A	08 June 2018
				EP	3329025	A1	06 June 2018
				GB	2540964	A	08 February 2017
				JP	2018529022	A	04 October 2018
				US	2018216212	A1	02 August 2018
				WO	2017021685	A1	09 February 2017

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE                  INV. C22C19/05                  ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)                  C22C</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)                  EPO-Internal, WPI Data, CHEM ABS Data</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 02/22901 A1 (CANNON MUSKEGON CORP [US]) 21 mars 2002 (2002-03-21) revendications 1,19 -----	1-15
A	EP 2 071 128 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17 juin 2009 (2009-06-17) tableau 1 -----	1-15
A	US 5 523 170 A (BUDINGER DAVID E [US] ET AL) 4 juin 1996 (1996-06-04) revendication 8 -----	1-15
A	WO 2018/078269 A1 (SAFRAN [FR]; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR] ET AL.) 3 mai 2018 (2018-05-03) revendications 1,7 -----	1-15
	-/--	
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p>		<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>
<p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>		
<p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p>		
<p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p>		
<p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>		
<p>"I" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>		
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p> <p style="text-align: center;">10 décembre 2019</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">03/01/2020</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2                  NL - 2280 HV Rijswijk                  Tel. (+31-70) 340-2040,                  Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p style="text-align: center;">Rolle, Susett</p>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2017/021685 A1 (UNIV OXFORD INNOVATION LTD [GB]) 9 février 2017 (2017-02-09) revendications 1,20 -----	1-15

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/051831

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0222901	A1	21-03-2002	AT 347623 T	15-12-2006
			AU 6542201 A	26-03-2002
			CA 2421039 A1	21-03-2002
			DE 60125059 T2	21-06-2007
			EP 1334215 A1	13-08-2003
			ES 2275686 T3	16-06-2007
			IL 154889 A	20-08-2006
			TW I248975 B	11-02-2006
			US 6632299 B1	14-10-2003
			WO 0222901 A1	21-03-2002
-----				
EP 2071128	A2	17-06-2009	CA 2645380 A1	13-06-2009
			EP 2071128 A2	17-06-2009
			JP 5419433 B2	19-02-2014
			JP 2009144717 A	02-07-2009
			US 2010008778 A1	14-01-2010
-----				
US 5523170	A	04-06-1996	AUCUN	
-----				
WO 2018078269	A1	03-05-2018	BR 112019008164 A2	09-07-2019
			CA 3041411 A1	03-05-2018
			CN 109963955 A	02-07-2019
			EP 3532648 A1	04-09-2019
			FR 3057880 A1	27-04-2018
			US 2019330714 A1	31-10-2019
			WO 2018078269 A1	03-05-2018
-----				
WO 2017021685	A1	09-02-2017	CN 108138264 A	08-06-2018
			EP 3329025 A1	06-06-2018
			GB 2540964 A	08-02-2017
			JP 2018529022 A	04-10-2018
			US 2018216212 A1	02-08-2018
			WO 2017021685 A1	09-02-2017
-----				