

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication :

3 122 592

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

②① N° d'enregistrement national :

21 04869

⑤① Int Cl⁸ : B 22 F 5/04 (2020.12), F 01 D 5/14

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 07.05.21.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 11.11.22 Bulletin 22/45.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : Safran Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS) — FR et ALLIANCE Société
anonyme — FR.

⑦② Inventeur(s) : DESNOYER Victor, MABRUT Mickaël,
GILLOT Clément et MARTIN Guillaume, Paul.

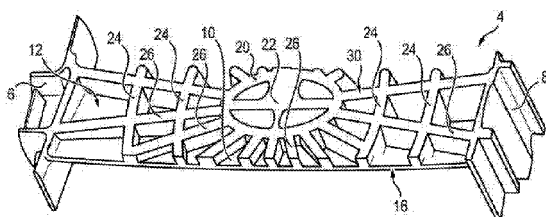
⑦③ Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS), ALLIANCE Société anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤④ Procédé de fabrication d'une aube de turbomachine.

⑤⑦ Dans le procédé de fabrication d'une aube de
turbomachine:- on fabrique une pièce (4) comprenant un
pied (4), un talon (6) et une zone de veine d'air (10) s'éten-
dant entre le pied et le talon, la zone de veine d'air compre-
nant au moins une protubérance (20, 24, 26) s'étendant en
saillie d'une face principale (12) de la zone, la fabrication
ayant lieu par injection d'un mélange comprenant un liant et
une poudre, la poudre comprenant au moins un métal ou
une céramique;- on effectue un déliantage de la pièce de fa-
çon à éliminer de la pièce une plus grande partie du liant;-
on effectue un traitement thermique de la pièce; et- on éli-
mine la ou chaque protubérance de la zone de veine d'air.

Figure de l'abrégié : Fig. 1



FR 3 122 592 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une aube de turbomachine

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne la fabrication des aubes de turbomachine.

ETAT DE LA TECHNIQUE

- [0002] On connaît la technologie d'injection de poudres métalliques (en anglais *metal injection moulding* ou MIM) pour fabriquer des produits métalliques. Cette technologie permet de répondre à des besoins de forte cadence de production tout en ayant une bonne répétabilité et une bonne reproductibilité.
- [0003] Il s'agit d'un moulage par injection à partir d'un mélange de poudre métallique et de liant polymère. Ce mélange formant un granulat, appelé « feedstock », est extrudé puis découpé en paillettes ou pellets pour être utilisé dans une presse à injection.
- [0004] Après l'injection, on obtient une pièce appelée un « vert », tenue en place par le liant. On retire ensuite ce liant lors de l'étape dite de déliantage, qui peut être effectuée de différentes manières (par voie aqueuse, thermique ou chimique), ce qui donne une pièce dite « marron ».
- [0005] Cette pièce dont la quasi-totalité du liant a été enlevée est très fragile car elle est composée d'environ 40 % d'air, et n'est liée que par les restes du liant. La pièce marron est finalement frittée, étape pendant laquelle elle est soumise à une température proche du point de fusion de la poudre. Cette température permet aux grains de se souder entre eux pour créer un solide.
- [0006] On obtient après cette étape une pièce « grise », composée du matériau de la poudre seulement et ayant rétréci par rapport au volume du moulage en raison des espaces laissés par le liant. Selon les procédés on peut obtenir des pièces ayant une densité de 95 % à 99,5 % pour des applications différentes. La pièce est alors finie.
- [0007] Cette technique permet de créer des formes complexes avec un excellent état de surface et des tolérances fines. Plus rentable pour des formes complexes, le moulage par injection de poudre métallique permet la réalisation en moyennes et grandes séries de petites pièces pour un vaste marché. Faisant partie de la famille des techniques par réplication, il est très économe en matière première (pour la partie poudre). Il ne crée pas de déchet et l'on n'utilise pas d'huile.
- [0008] Toutefois, le rétrécissement de la pièce mentionné plus haut rend difficile l'application de cette technique pour la fabrication d'aubes de turbomachine. On observe en effet un retrait pouvant aller jusqu'à 15% d'une dimension de l'aube. Or il importe de maîtriser précisément les dimensions de ce type de pièce. De plus, les va-

riations thermiques auxquelles l'aube est soumise lors de la fabrication peuvent engendrer des déformations ou des fissures. Cela est d'autant plus sensible que les aubes sont en général asymétriques et présentent des épaisseurs à certains endroits qui sont jusqu'à 3,5 fois supérieures à l'épaisseur à un autre endroit de l'aube.

[0009] Un but de l'invention est donc de rendre facile et plus fiable la fabrication des aubes de turbomachine, notamment par injection de poudre métallique.

Exposé de l'invention

[0010] A cet effet, on prévoit selon l'invention un procédé de fabrication d'une aube de turbomachine, dans lequel :

- on fabrique une pièce comprenant un pied, un talon et une zone de veine d'air s'étendant entre le pied et le talon,

- la zone de veine d'air comprenant au moins une protubérance s'étendant en saillie d'une face principale de la zone,

- la fabrication ayant lieu par injection d'un mélange comprenant un liant et une poudre, la poudre comprenant au moins un métal ou une céramique;

- on effectue un déliantage de la pièce de façon à éliminer de la pièce une plus grande partie du liant ;

- on effectue un traitement thermique de la pièce ; et

- on élimine la ou chaque protubérance de la zone de veine d'air.

[0011] Comme on le verra dans la suite, selon leur configuration, la ou les protubérances peuvent avoir différentes fonctions, à savoir servir de support pour la pièce lors de la fabrication et/ou de raidisseur. Elles permettent ainsi d'éviter l'apparition de phénomènes de déformation tels que l'affaissement, la torsion, la flexion et le flambement et de contraintes mécaniques liées au processus de fabrication. L'invention permet ainsi la fabrication de pièces allongées de géométrie complexe, notamment asymétriques, et de maîtriser les dimensions de la pièce, tout en rendant possible un retrait de la matière compris entre 10 et 27 % lors de la fabrication. L'invention permet une production en forte cadence. Elle réduit les pertes de matière lors de la fabrication. L'ensemble de la fabrication peut être fait avec un budget optimisé.

[0012] Dans un mode de mise en œuvre, au cours de la fabrication, notamment au cours de l'étape de traitement thermique, la pièce est en contact avec un support par l'intermédiaire de la protubérance ou des protubérances.

[0013] Les protubérances servent donc ici de supportage intégré à la pièce pour éviter sa déformation, notamment son affaissement, lors de la fabrication. Il peut s'agir par exemple de l'étape de frittage lors de la mise en œuvre de la technique d'injection de poudre métallique.

[0014] Dans un mode de mise en œuvre, la protubérance ou au moins l'une des protu-

bérances est une nervure.

[0015] Ces nervures forment alors des raidisseurs qui limitent les déformations de la pièce lors des variations de température qu'elle subit.

[0016] Le procédé selon l'invention pourra présenter en outre au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- la ou l'une des nervures forme une boucle fermée ;
- la ou l'une des nervures a une forme circulaire, ovale ou elliptique ;
- les nervures sont au moins au nombre de deux et comprennent au moins deux nervures transversales s'étendant chacune d'un premier bord longitudinal de la zone de veine d'air à un deuxième bord longitudinal de la zone de veine d'air ;
- au moins l'une des nervures transversales est incurvée ;
- les nervures transversales sont espacées l'une de l'autre d'une distance comprise entre 5 et 25 mm ;
- les nervures sont au moins au nombre de deux et comprennent au moins deux nervures radiales situées chacune dans l'alignement d'un même point médian de la zone de veine d'air ;
- au moins l'une des nervures radiales s'étend jusqu'au pied ou jusqu'au talon.
- au moins l'une des nervures radiales s'étend jusqu'à un bord longitudinal de la zone de veine d'air ;
- au moins l'une des nervures transversales intercepte au moins l'une des nervures radiales ;
- la protubérance ou les protubérances forment un agencement présentant un plan de symétrie ou un centre de symétrie ;
- la protubérance ou les protubérances ont une épaisseur comprise entre 1 et 8 mm;
- la protubérance ou les protubérances présentent une zone de raccordement avec la face principale ayant un rayon compris entre 0,2 et 2 mm ; et
- la pièce est fabriquée dans un alliage de titane et d'aluminium.

[0017] On peut prévoir que la ou les protubérances présentent un bord opposé à la face principale, le bord s'étendant dans un plan ou les bords des protubérances s'étendant dans un même plan.

[0018] Ce ou ces bords servent ainsi de face de supportage pour la pièce lors de la fabrication.

[0019] On prévoit également selon l'invention une aube de turbomachine, notamment de turbomoteur d'aéronef, l'aube comprenant un pied, un talon et une zone de veine d'air s'étendant entre le pied et le talon, l'aube résultant de la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention.

[0020] Une telle aube peut avoir au plan macroscopique une forme et des dimensions identiques à celles d'une aube fabriquée au moyen d'un procédé de l'art antérieur.

Toutefois, elle s'en différencie dans sa structure microscopique. Ainsi, elle présente une taille de grains en moyenne plus grande que celle de l'aube obtenue par un procédé de l'art antérieur et elle offre une meilleure résistance au fluage.

[0021] On prévoit de plus selon l'invention une turbomachine comprenant au moins une aube selon l'invention.

[0022] On prévoit aussi selon l'invention une pièce comprenant :

- une aube de turbomachine, l'aube comprenant un pied, un talon et une zone de veine d'air s'étendant entre le pied et le talon, et
- au moins une protubérance s'étendant en saillie d'une face principale de la zone de veine d'air.

[0023] Cette pièce constitue le produit intermédiaire obtenu lors de la mise en œuvre de la première étape du procédé de l'invention, avant l'élimination de la ou des nervures.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0024] Nous allons maintenant présenter un mode de réalisation de l'invention à titre d'exemple non-limitatif à l'appui des dessins sur lesquels :

[0025] [fig.1] la [fig.1] est une vue en perspective de la forme de principe d'une pièce intermédiaire obtenue dans un mode de mise en œuvre du procédé de l'invention ;

[0026] [fig.2] la [fig.2] est une vue montrant une telle pièce intermédiaire côté intrados ;

[0027] [fig.3]

[0028] [fig.4] les figures 3 et 4 sont des vues de la même pièce côté extrados ;

[0029] [fig.5] la [fig.5] est une vue analogue à la [fig.4] montrant l'aube obtenue à partir de cette pièce intermédiaire ; et

[0030] [fig.6] la [fig.6] est une vue en coupe d'un turboréacteur d'avion incorporant une telle aube.

[0031] Nous allons présenter un mode de mise en œuvre du procédé de fabrication selon l'invention pour la réalisation d'une aube de turbomachine.

[0032] Dans une première étape, on fabrique une pièce intermédiaire 4 comprenant une aube. Cette pièce est illustrée dans son principe à la [fig.1] et en détail aux figures 2 à 4.

[0033] La pièce et l'aube comprennent ainsi un pied 6, un talon 8 et une pale ou zone de veine d'air 10 s'étendant entre le pied et le talon.

[0034] La zone de veine d'air 10 présente deux faces principales, à savoir une face d'intrados 12 visible aux figures 1 et 2 et une face d'extrados 14, visible aux figures 3 et 4. Les deux faces sont délimitées par un bord d'attaque 16 et un bord de fuite 18 formant les deux bords longitudinaux de l'aube. Chaque face principale 12, 14 s'étend du pied au talon.

[0035] La zone de veine d'air 10 comprend des protubérances, formant ici des nervures,

s'étendant en saillie de la face d'intrados 12, comme illustré aux figures 1 et 2.

[0036] L'une 20 des nervures forme une boucle centrale fermée et a en l'espèce une forme elliptique. Le grand axe de l'ellipse est parallèle globalement aux bords 16 et 18. La nervure présente un centre de symétrie 22 situé au droit d'un barycentre 22 de la pièce et/ou de l'aube et confondu avec ce dernier sur les figures. Ce barycentre 22 forme un point médian et central de l'aube.

[0037] La zone de veine d'air 10 comprend aussi en l'espèce des nervures transversales 24 s'étendant chacune du bord d'attaque 16 au bord de fuite 18. Les nervures transversales 24 sont incurvées, ce qui réduit encore le risque de voir apparaître des phénomènes nuisibles tels que des fissures. Chaque nervure transversale 24 a un centre de courbure situé du même côté de la nervure que le centre de l'ellipse 22. Les nervures transversales 24 sont ici au nombre de quatre, à savoir deux entre la nervure elliptique 20 et le pied 6 et deux autres entre la nervure elliptique 20 et le talon 8. Les nervures transversales 24 adjacentes sont espacées l'une de l'autre d'une distance comprise entre 5 et 25 mm.

[0038] La zone de veine d'air 10 comprend aussi en l'espèce des nervures rectilignes radiales 26 situées chacune dans l'alignement du centre 22 de la zone de veine d'air. Autrement dit, bien que chaque nervure radiale 26 s'interrompe avant d'atteindre ce point médian et ne l'atteigne donc pas, ce point 22 serait sur la nervure si on la prolongeait de façon rectiligne.

[0039] Toutes les nervures radiales 26 présentent ici une première extrémité située sur la nervure elliptique 20 à partir de laquelle les nervures radiales rayonnent.

[0040] Deux des nervures radiales 26 s'étendent jusqu'au pied 6. Deux autres s'étendent jusqu'au talon 8. Ces nervures peuvent être qualifiées de longitudinales car elles s'étendent sur une grande partie de la longueur (plus du tiers) de la zone de veine d'air 10 et dans une direction faiblement inclinée par rapport à la direction longitudinale. Elles interceptent en l'espèce chacune deux des nervures transversales 24, ce qui revient à dire qu'elles sont interceptées par ces dernières.

[0041] Plusieurs autres nervures radiales 26, en l'espèce quatre, s'étendent jusqu'au bord de fuite 18. Par ailleurs, plusieurs autres nervures radiales 26, en l'espèce six, s'étendent jusqu'au bord d'attaque 16

[0042] Nous avons donc dans le présent exemple un total de 14 nervures radiales 26, ce nombre n'étant aucunement limitatif.

[0043] Toutes les nervures 20, 24 et 26 forment dans cet exemple un agencement présentant globalement un plan de symétrie. Il présente même deux plans de symétrie perpendiculaires l'un à l'autre et correspondant aux axes de l'ellipse, de sorte que l'agencement présente un centre de symétrie confondu avec le centre 22. L'agencement des nervures ressemble ici à celui d'une toile d'araignée.

- [0044] Ces symétries concernent la disposition générale des nervures, chaque nervure ayant ainsi une nervure qui occupe une position symétrique de la sienne. Mais elles ne portent pas sur les dimensions précises des nervures, comme on le voit notamment sur la [fig.1] où les nervures situées à droite ont une hauteur, mesurée dans une direction perpendiculaire localement à la face d'intrados, plus grande que celles situées à gauche. Cela résulte de ce que les nervures s'étendent en saillie de la face d'intrados qui a une forme gauche et ne présente aucune de ces symétries dans ses dimensions. Toutefois le bord libre 30 de chaque nervure opposée à la face d'intrados s'étend dans un plan commun aux bords 30 de toutes les nervures. Les bords 30 des nervures, dans ce plan, forment un agencement qui présente une symétrie centrale globale plus proche d'une symétrie centrale exacte.
- [0045] Des nervures sont également présentes à l'intérieur de la nervure en boucle 20. Il s'agit notamment d'une nervure rectiligne 34 occupant tout le grand axe de l'ellipse et d'une nervure 36 occupant la moitié du petit axe, comme illustré à la [fig.2].
- [0046] Les nervures ne s'étendent que sur la face d'intrados 12, la face d'extrados 14 restant totalement exempte de nervures.
- [0047] En l'espèce, la fabrication met en œuvre une injection de poudre métallique. La fabrication a lieu au moyen d'un moulage par injection à partir d'un mélange de poudre métallique et de liant polymère. La poudre métallique est ici un alliage de titane et d'aluminium comme par exemple le Ti-48Al-2Cr-2Nb (en % atomique) communément dénommé TiAl 48-2-2)
- [0048] Une fois la pièce injectée, on obtient une pièce tenue en place par le liant.
- [0049] On retire ensuite ce liant lors de l'opération de déliantage, ce qui donne la pièce « marron ». Dans cette pièce, la quasi-totalité du liant a été enlevée et elle est composée d'environ 40 % d'air, et n'est liée que par les restes du liant. Elle doit ensuite être frittée, étape pendant laquelle elle est soumise à une température proche du point de fusion de la poudre, par exemple supérieure à 1200° C.
- [0050] On obtient après cette opération une pièce « grise », composée du matériau de la poudre seulement et ayant rétrécie par rapport au volume du moulage en raison des espaces laissés par le liant.
- [0051] Cette pièce 4 est fabriquée d'un bloc. Lors des opérations de déliantage et de frittage, la pièce repose sur un support plan, les nervures 20, 24, 26 étant situées en partie inférieure et la face d'extrados 14 tournée vers le haut. Le bord 30 des nervures est donc en appui sur le support plan et en contact avec ce dernier. Il assure un soutien local de la zone de veine d'air. La pièce repose par ailleurs sur le support de fabrication par le pied 6 et le talon 8.
- [0052] Les nervures 20, 24, 26 forment non seulement un soutien mais aussi des raidisseurs qui permettent de préserver la forme de la pièce et son intégrité durant ces opérations,

en particulier lors du frittage puis du refroidissement.

- [0053] A l'issue de cette première étape de fabrication, on obtient donc une pièce formant un produit intermédiaire et constituée de l'aube et des nervures comme illustré aux figures 2 à 4.
- [0054] Ensuite, on élimine les nervures 20, 24, 26 de la zone de veine d'air, par exemple par usinage.
- [0055] On obtient alors une pièce constituée de la seule aube 32 illustrée à la [fig.5]. L'aube comprend le pied 6, le talon 8 et la zone de veine d'air 10. Les deux faces d'intrados 12 et d'extrados 14 sont lisses et libres de toute protubérance.
- [0056] Sur l'aube 32, la zone de veine d'air 10 présente une épaisseur qui est environ 3,5 fois moins grande que celle du pied 6 et du talon 8. Cette différence peut avoir un impact important lors du refroidissement et du rétrécissement de la pièce en l'absence des protubérances. Les nervures justement sont disposées et dimensionnées comme expliqué plus haut afin de faire passer ce rapport de 3,5 à environ 2 en l'espèce. Notamment, la portion centrale de la zone de veine d'air est rendue plus massive avec les protubérances. Globalement, la prise en compte de la localisation des zones de massivité de la pièce 4 permet de répartir la matière lors de la conception afin d'éviter de trop grosses différences d'épaisseurs sur toute la pièce.
- [0057] De plus, en l'absence du support par les nervures, la zone de veine d'air 10 s'affaîsserait lors de la fabrication. C'est la raison pour laquelle les nervures sont disposées sur la zone de veine d'air, afin de la supporter. Les nervures qui s'étendent dans des directions différentes et à des endroits différents de la pièce permettent d'éviter les différents types de déformation auxquelles l'aube serait sinon exposée lors de la fabrication.
- [0058] Comme on le voit, les nervures sont réparties uniformément, notamment pour que les points d'appuis de la pièce sur le support de fabrication soient eux aussi répartis uniformément. La disposition des nervures prend en compte un point de référence qui reste fixe tout au long de la fabrication de la pièce qui est le barycentre 22 de celle-ci. Les nervures sont disposées en fonction de ce point, voire à partir de celui-ci. En effet, la prise en compte de la position du centre de gravité 22 de l'ensemble permet de mieux maîtriser le retrait inhérent au procédé.
- [0059] Chaque nervure a ici une épaisseur comprise entre 1 et 8 mm. Il est préférable en effet de donner une largeur importante aux raidisseurs. S'ils sont trop fins, ils sont difficilement injectables et se déforment lors du retrait de la pièce. Dans notre cas, le choix de la gamme est en lien avec les épaisseurs minimales de la pièce.
- [0060] De plus, chaque nervure présente en l'espèce une zone de raccordement avec la face d'intrados 12 ayant un rayon compris entre 0,2 et 2 mm, ce qui permet de favoriser l'injection et de supprimer des concentrations de contraintes internes. Cette condition

sur la dimension des rayons permet de limiter les phénomènes de fissuration, de rendre plus favorable l'injection et d'éviter les arrachements lors de l'éjection de la pièce hors du moule.

- [0061] En outre, on veillera de préférence à prendre en compte dans la conception de la pièce à fabriquer et formant l'ensemble aube-nervures les contraintes d'injection et les phénomènes de ségrégation, de porosité à cœurs et de contrainte interne générées et détectées lors du frittage.
- [0062] Dans le présent exemple, l'aube 32 est destinée à faire partie d'un turboréacteur 100 d'avion formant ici une turbomachine à double flux et double corps comme celui illustré à la [fig.6]. La turbomachine présente un axe principal X-X qui sert d'axe de rotation du rotor par rapport au stator.
- [0063] Elle comprend d'amont en aval, donc de gauche à droite sur la [fig.6], une soufflante 2, un compresseur basse pression 5, un compresseur à pression intermédiaire, un compresseur haute pression 7, une chambre de combustion 9, une turbine haute pression 11 et une turbine basse pression 13. Ces éléments, à l'exception de la soufflante, forment une partie centrale du turboréacteur. Leurs parties mobiles à rotation autour de l'axe X-X forment le rotor.
- [0064] Le compresseur haute pression 7, la chambre de combustion 9 et la turbine haute pression 11 forment un corps à haute pression, qui conjointement avec le compresseur basse pression 5 et la turbine basse pression 13 définissent une veine principale d'écoulement d'air. Une nacelle entoure la soufflante 2 et la partie centrale de façon à former un compartiment de soufflante et à définir une veine secondaire d'écoulement d'air.
- [0065] Les turbines 11, 13 comprennent des aubes 32 fabriquées au moyen de l'invention.
- [0066] L'invention est applicable à d'autres technologies de fabrication, par exemple l'impression de feedstock et le compactage de feedstock.
- [0067] La fabrication pourrait aussi avoir lieu selon la technique d'impression par projection de liant (ou *binder jetting* en anglais). Cette dernière est une méthode de fabrication additive qui fonctionne par projection de liant sur une poudre. Un rouleau automatisé répartit une fine couche de poudre sur un plateau de fabrication. Une tête d'impression applique un liant liquide sur la poudre, créant ainsi une couche de l'objet. Puis, la plateforme d'impression portant le plateau descend légèrement pour permettre l'ajout d'une nouvelle couche de poudre. Le procédé est ainsi répété jusqu'à la création de l'objet. On aspire ensuite l'excès de poudre et on dépoussière l'objet grâce à de l'air comprimé. Puis la pièce imprimée est placée dans un four pour la cuisson ou frittée. Enfin un traitement de finition peut améliorer l'état de la pièce imprimée. Comme précédemment, on supprime ensuite les nervures du produit intermédiaire ainsi réalisé pour obtenir l'aube en elle-même.

- [0068] L'invention portant sur la fabrication de pièces métalliques, notamment par le procédé d'injection de poudre métallique, elle peut être utilisée dans tous domaines techniques.
- [0069] On pourra apporter à l'invention de nombreuses modifications sans sortir du cadre de celle-ci.
- [0070] Les protubérances peuvent être autres que des nervures et avoir d'autres formes que celles présentées plus haut et être rondes, carrées, en étoile, en forme de plot, de demi-boule, etc. Elles pourront assurer une fonction de raidisseur sans assurer une fonction de supportage et vice-versa.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une aube (32) de turbomachine (100), dans lequel :
- on fabrique une pièce (4) comprenant un pied (4), un talon (6) et une zone de veine d'air (10) s'étendant entre le pied et le talon, la zone de veine d'air comprenant au moins une protubérance (20, 24, 26, 34, 36) s'étendant en saillie d'une face principale (12) de la zone, la fabrication ayant lieu par injection d'un mélange comprenant un liant et une poudre, la poudre comprenant au moins un métal ou une céramique;
 - on effectue un déliantage de la pièce de façon à éliminer de la pièce une plus grande partie du liant ;
 - on effectue un traitement thermique de la pièce ; et
 - on élimine la ou chaque protubérance de la zone de veine d'air.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente dans lequel, au cours de la fabrication, notamment au cours de l'étape de traitement thermique, la pièce (4) est en contact avec un support par l'intermédiaire de la protubérance ou des protubérances (20, 24, 26, 34, 36).
- [Revendication 3] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la protubérance ou au moins l'une des protubérances est une nervure (20, 24, 26, 34, 36).
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication précédente dans lequel la ou l'une (20) des nervures forme une boucle fermée.
- [Revendication 5] Procédé selon au moins l'une des revendications 3 ou 4 dans lequel la ou l'une (20) des nervures a une forme circulaire, ovale ou elliptique.
- [Revendication 6] Procédé selon au moins l'une des revendications 3 à 5 dans lequel les nervures sont au moins au nombre de deux et comprennent au moins deux nervures transversales (24) s'étendant chacune d'un premier bord longitudinal (16) de la zone de veine d'air à un deuxième bord longitudinal (18) de la zone de veine d'air.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication précédente dans lequel au moins l'une des nervures transversales (24) est incurvée.
- [Revendication 8] Procédé selon au moins l'une des revendications 6 à 7 dans lequel les nervures transversales (24) sont espacées l'une de l'autre d'une distance comprise entre 5 et 25 mm.
- [Revendication 9] Procédé selon au moins l'une des revendications 3 à 8 dans lequel les nervures sont au moins au nombre de deux et comprennent au moins

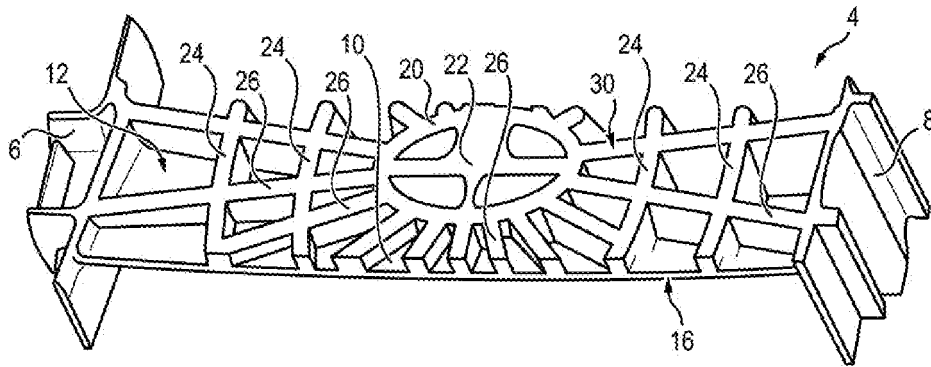
- deux nervures radiales (26) situées chacune dans l'alignement d'un même point médian (22) de la zone de veine d'air.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication précédente dans lequel au moins l'une des nervures radiales (26) s'étend jusqu'au pied (6) ou jusqu'au talon (8).
- [Revendication 11] Procédé selon au moins l'une des revendications 9 à 10 dans lequel au moins l'une des nervures radiales (26) s'étend jusqu'à un bord longitudinal (16, 18) de la zone de veine d'air.
- [Revendication 12] Procédé selon au moins l'une des revendications 6 à 8 et selon au moins l'une des revendications 9 à 11 dans lequel au moins l'une des nervures transversales (24) intercepte au moins l'une des nervures radiales (26).
- [Revendication 13] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la protubérance ou les protubérances (20, 24, 26, 34, 36) forment un agencement présentant un plan de symétrie.
- [Revendication 14] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la protubérance ou les protubérances (20, 24, 26, 34, 36) forment un agencement présentant un centre de symétrie.
- [Revendication 15] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la protubérance ou les protubérances (20, 24, 26, 34, 36) ont une épaisseur comprise entre 1 et 8 mm.
- [Revendication 16] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la protubérance ou les protubérances (20, 24, 26, 34, 36) présentent une zone de raccordement avec la face principale (12) ayant un rayon compris entre 0,2 et 2 mm.
- [Revendication 17] Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes dans lequel la pièce (4) est fabriquée dans un alliage de titane et d'aluminium.
- [Revendication 18] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la ou les protubérances (20, 24, 26, 34, 36) présentent un bord (30) opposé à la face principale (12), le bord s'étendant dans un plan ou les bords (30) des protubérances s'étendant dans un même plan.
- [Revendication 19] Aube (32) de turbomachine, notamment de turbomoteur (100) d'aéronef, l'aube comprenant un pied (6), un talon (8) et une zone de veine d'air (10) s'étendant entre le pied et le talon, l'aube résultant de la mise en œuvre d'un procédé selon au moins l'une des revendications précédentes.
- [Revendication 20] Turbomachine (100) comprenant au moins une aube (32) selon la revendication précédente.
- [Revendication 21] Pièce (4) comprenant :
- une aube (32) de turbomachine, l'aube comprenant un pied (6), un

talon (8) et une zone de veine d'air (10) s'étendant entre le pied et le talon, et

- au moins une protubérance (20, 24, 26, 34, 36) s'étendant en saillie d'une face principale (12) de la zone de veine d'air.

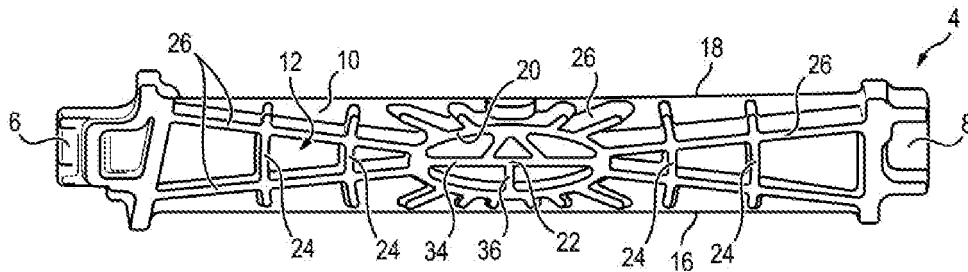
[Fig. 1]

FIG. 1



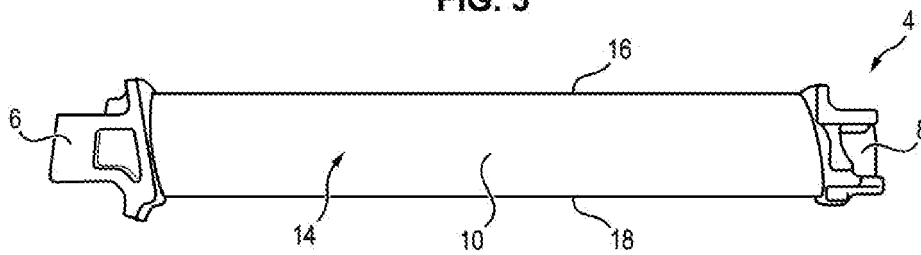
[Fig. 2]

FIG. 2



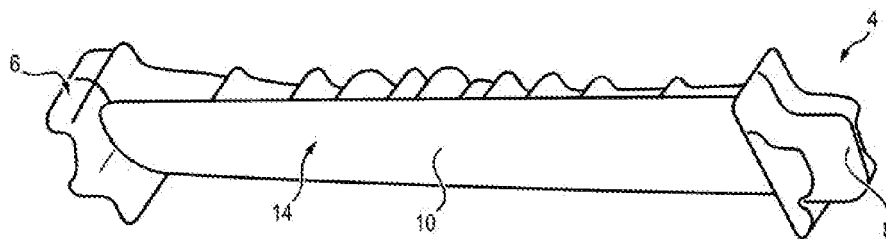
[Fig. 3]

FIG. 3



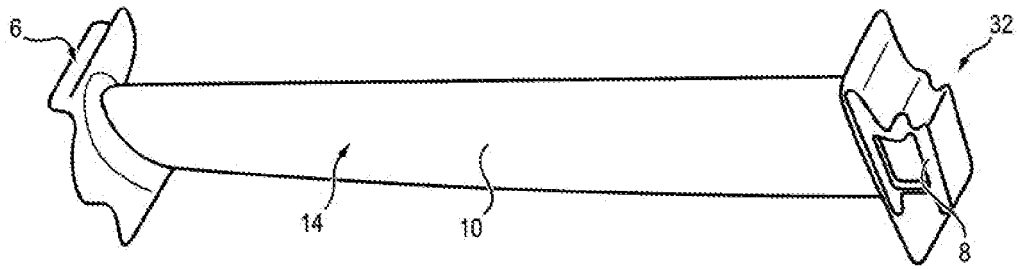
[Fig. 4]

FIG. 4



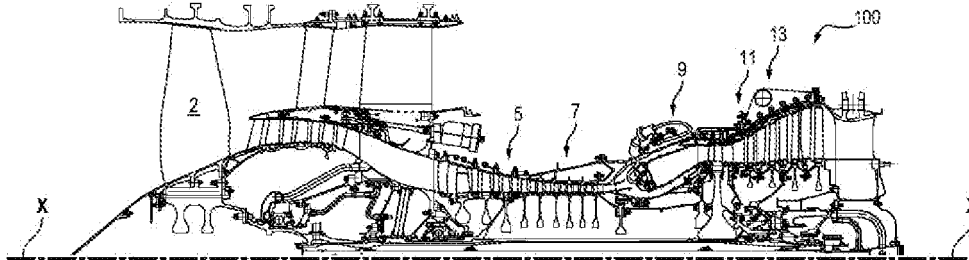
[Fig. 5]

FIG. 5



[Fig. 6]

FIG. 6



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 895527
FR 2104869

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	US 2016/363005 A1 (HEINRICH ROLAND [DE]) 15 décembre 2016 (2016-12-15)	19,20	B22F5/04 F01D5/14
Y	* revendications 1-4, 6, 13-14 *	1-3,9, 13-18,21	
A	* figures 1, 2 *	4-8, 10-12	

Y	FR 3 037 831 A1 (SNECMA [FR]; ALLIANCE [FR]) 30 décembre 2016 (2016-12-30)	1-3,9, 13-18,21	
A	* revendications 1, 3 *	4-8, 10-12, 19,20	
	* page 7, ligne 22 - page 8, ligne 8 *		
	* figure 7 *		
	* page 2, lignes 10-16 *		

X	FR 2 944 721 A1 (SNECMA [FR]) 29 octobre 2010 (2010-10-29)	19,20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B22F C04B B28B F01D
Y	* revendications 1, 4 *	1-3,9, 13-18,21	
A	* page 5, ligne 24 - page 6, ligne 1 *	4-8, 10-12	
	* figure 2 *		
	* page 2, ligne 38 - page 3, ligne 12 *		

Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 novembre 2021		Traon, Nicolas	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2104869 FA 895527**

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 **18-11-2021**
 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 2016363005 A1	15-12-2016	DE 102015210770 A1	15-12-2016
		EP 3103571 A1	14-12-2016
		US 2016363005 A1	15-12-2016

FR 3037831 A1	30-12-2016	AUCUN	

FR 2944721 A1	29-10-2010	AUCUN	
