

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 14.11.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 17.05.24 Bulletin 24/20.

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 SA — FR, SAFRAN AIR-
CRAFT ENGINES SAS — FR, CENTRE NATIONAL DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Etablissement public
national à caractère administratif — FR et UNIVERSITE
DE LIMOGES Etablissement public national à caractère
sceintifique culturel et professionnel — FR.

72 Inventeur(s) : JOULIA, Aurélien, SENANI, Sophie,
SELEZNEFF, Serge Georges Vladimir,
GRUNENWALD, Anthony, BOSSAN, Pierre-Antoine et
BONEBEAU, Simon.

73 Titulaire(s) : SAFRAN SA, SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
SAS, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTI-
FIQUE Etablissement public national à caractère administratif,
UNIVERSITE DE LIMOGES Etablissement public national à
caractère sceintifique culturel et professionnel.

74 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

54 AUBE POUR TURBOMACHINE D'AERONEF ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE.

57 L'invention concerne une aube (11) pour une turbo-
machine (1) d'aéronef, l'aube (11) comprenant:

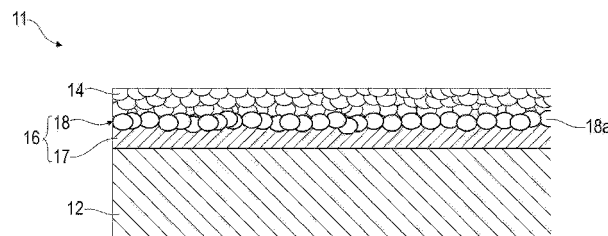
- une pale (12) comprenant une face extrados (12e) et
une face intrados (12i) reliées par un bord d'attaque (12a) et
un bord de fuite (12b), la pale (12) comprenant un matériau
composite,

- un bouclier de protection (14) agencé sur la pale (12),
et

- une couche de liaison (16) agencée entre la pale (12)
et le bouclier de protection (14) et comprenant une sous-
couche d'adhésion (17) en matériau polymérique,

caractérisée en ce que la couche de liaison (16) com-
prend en outre une sous-couche d'accroche (18) compren-
nant des particules (18a) incrustées dans la sous-couche
d'adhésion (17), la sous-couche d'accroche (18) étant
agencée entre la sous-couche d'adhésion (17) et le bouclier
de protection (14).

Figure d'abrégié : Figure 4



Description

Titre de l'invention : AUBE POUR TURBOMACHINE D'AERONEF ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE

Domaine technique de l'invention

- [0001] L'invention concerne le domaine des aubes pour les turbomachines d'aéronef. L'invention concerne plus particulièrement le domaine des aubes comprenant une pale en matériau composite et un bouclier de protection de la pale ainsi que le procédé de fabrication de ces aubes.

Arrière-plan technique

- [0002] Une turbomachine d'aéronef comprend typiquement un moteur comprenant d'amont en aval dans le sens d'écoulement des gaz, une soufflante mobile en rotation autour d'un axe longitudinal, un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion, une turbine haute pression et une turbine basse pression et une tuyère d'échappement des gaz.
- [0003] La soufflante permet l'aspiration d'un flux d'air se divisant en un flux primaire et un flux secondaire. Le flux primaire traverse une veine primaire de la turbomachine tandis que le flux secondaire est dirigé vers une veine secondaire entourant la veine primaire.
- [0004] Le flux primaire est comprimé au sein des compresseurs. L'air comprimé est ensuite mélangé à un carburant et brûlé au sein de la chambre de combustion. Les gaz issus de la combustion traversent les turbines puis s'échappent au travers de la tuyère dont la section permet l'accélération de ces gaz pour générer de la propulsion.
- [0005] Les composants de la turbomachine tels que la soufflante, les compresseurs ou les turbines comprennent des aubes qui permettent d'exercer une action sur le flux d'air. Par exemple, les aubes de compresseurs permettent de comprimer le flux d'air primaire et les aubes de la soufflante permettent de comprimer le flux d'air secondaire.
- [0006] Une aube comprend une pale qui présente une forme aérodynamique et comprend ainsi une face intrados et une face extrados reliée à la face intrados par un bord d'attaque et un bord de fuite. Pour réduire le poids de l'aube, la pale est en un matériau composite. Le matériau composite de la pale comprend des fibres de renfort noyées dans une matrice polymérique. Afin de protéger la pale, notamment de soufflante, d'une dégradation provoquée par l'impact de corps étrangers et de l'érosion, il est connu d'agencer un bouclier de protection sur la pale. Le bouclier de protection est généralement métallique. Il présente une forme de dièdre comprenant une première ailette latérale et une seconde ailette latérale reliées par une âme. L'âme recouvre par exemple le bord d'attaque de la pale et la première ailette latérale s'étend sur la face intrados et la seconde ailette latérale s'étend sur la face extrados. Le bouclier de

protection est typiquement collé à la pale. A cet effet, l'aube comprend en outre une couche de liaison agencée entre la pale et le bouclier de protection. La couche de liaison comprend typiquement un matériau polymérique tel qu'une résine époxy.

[0007] Un procédé de fabrication de l'aube précitée comprend typiquement des étapes de fabrication de la pale et de fabrication du bouclier de protection. Le bouclier de protection est par exemple fabriqué par forgeage ou pliage d'une tôle.

[0008] Le procédé comprend ensuite une étape d'appairage et de collage du bouclier de protection sur la pale.

[0009] Un tel procédé de fabrication ne procure par entière satisfaction. En effet, l'étape de fabrication du bouclier de protection présente des défis car la configuration du bouclier de protection est complexe. Cette étape est par conséquent fastidieuse. Par ailleurs, les tolérances de fabrication sont faibles et il est difficile d'assurer la répétabilité de cette étape.

[0010] Par ailleurs, l'étape d'appairage du bouclier de protection qui consiste à rapporter le bouclier de protection sur la pale est réalisée de manière manuelle si bien que, garantir la précision de l'assemblage de l'aube et la répétabilité de cette étape, requièrent une maîtrise parfaite du procédé de fabrication pour limiter les défauts sur le bouclier de protection ou l'aube et donc le rebus de ces pièces.

[0011] Par conséquent, il existe un besoin de fournir une aube comprenant une pale en matériau composite qui soit résistante aux chocs et à l'érosion tout en étant simple à fabriquer.

Résumé de l'invention

[0012] A cet effet, l'invention propose une aube pour une turbomachine d'aéronef, l'aube comprenant :

[0013] - une pale comprenant une face extradors et une face intradors reliées par un bord d'attaque et un bord de fuite, la pale comprenant un matériau composite,

[0014] - un bouclier de protection agencé sur la pale, et

[0015] - une couche de liaison agencée entre la pale et le bouclier de protection et comprenant une sous-couche d'adhésion en matériau polymérique.

[0016] L'aube est remarquable en ce que la couche de liaison comprend en outre une sous-couche d'accroche comprenant des particules incrustées dans la sous-couche d'adhésion, la sous-couche d'accroche étant agencée entre la sous-couche d'adhésion et le bouclier de protection.

[0017] L'aube selon l'invention comprend donc une couche de liaison hybride composée d'une première couche dite sous-couche d'adhésion en matériau polymérique et d'une seconde couche dite sous-couche d'accroche comprenant des particules incrustées dans la sous-couche d'adhésion. La couche de liaison hybride permet de protéger la pale

lors de la formation du bouclier de protection sur la pale.

- [0018] La sous-couche d'adhésion permet d'assurer une adhérence élevée entre le substrat, c'est-à-dire la pale, et la sous-couche d'accroche.
- [0019] La sous-couche d'accroche permet de créer une surface favorable à l'ancrage mécanique du bouclier de protection sur la pale.
- [0020] Par conséquent, le bouclier de protection peut être déposé sur la pale par exemple par un procédé de projection thermique. Sans une telle couche de liaison hybride, un tel procédé ne pourrait être mis en œuvre de manière satisfaisante puisque l'adhésion du bouclier de protection serait trop faible et la pale serait fortement dégradée.
- [0021] Le procédé de projection thermique est particulièrement avantageux en ce qu'il permet de former des revêtements de géométrie complexe de manière précise et répétable réduisant ainsi les risques de défauts du bouclier de protection et sa mise au rebut. En outre, grâce au procédé de projection thermique il est possible de s'affranchir d'une étape de fabrication du bouclier de protection au profit d'une étape de formation du bouclier de protection directement sur la pale. Ceci permet en outre de s'affranchir d'une étape d'appairage du bouclier sur la pale permettant ainsi de simplifier l'étape d'assemblage du bouclier de protection et de la pale, et de réduire les défauts d'assemblage de l'aube.
- [0022] Le procédé de projection thermique permet en plus la mise en œuvre d'une variabilité de matériaux pour le bouclier de protection qui n'est pas offerte par les autres procédés de fabrication du bouclier.
- [0023] Grâce à la combinaison de la sous-couche d'accroche et de la sous-couche d'adhésion, il a par ailleurs été constaté que les propriétés mécaniques de l'aube sont améliorées ou au moins équivalentes à celles d'une aube dont le bouclier de protection est rapporté puis collé par une couche de colle sur la pale, que l'adhésion du bouclier de protection est améliorée ou au moins équivalente à celle d'un bouclier de protection rapporté puis collé par une couche de colle sur la pale.
- [0024] Grâce à la combinaison de la sous-couche d'accroche et de la sous-couche d'adhésion, il a par ailleurs été constaté que les propriétés mécaniques de l'aube et l'adhésion du bouclier sont améliorées ou au moins équivalentes à celles d'une aube sans sous-couche d'accroche et dont le bouclier serait formé par projection thermique.
- [0025] L'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0026] - les particules sont des particules de métal, de céramique, d'oxyde ou un mélange de celles-ci ;
- [0027] - les particules présentent une taille inférieure ou égale à 500 μm , avantageusement inférieure ou égale à 400 μm , préférentiellement inférieure ou égale à 300 μm ;
- [0028] - la sous-couche d'adhésion présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 500 μm ,

avantageusement comprise entre 50 μm et 500 μm ou comprise entre 80 μm et 400 μm ;

- [0029] - le matériau polymérique de la sous-couche d'adhésion est choisi parmi les polymères thermodurcissables tels qu'un époxyde ou les polymères thermoplastiques ou un mélange de ceux-ci ;
- [0030] - le taux massique de particules dans la couche de liaison est compris entre 20% et 90%, avantageusement entre 50% et 90% ;
- [0031] - la sous-couche d'adhésion comprend une première couche polymérique et une seconde couche polymérique, les particules étant incrustées dans la seconde couche qui est agencée entre la première couche et la sous-couche d'accroche ;
- [0032] - la première couche comprend un premier matériau polymérique et la seconde couche comprend un second matériau polymérique différent du premier matériau polymérique ;
- [0033] - la première couche présente une première épaisseur et la seconde couche présente une seconde épaisseur inférieure à la première épaisseur.
- [0034] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une aube pour une turbomachine d'aéronef, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- [0035] (a) fournir une pale comprenant une face extradors et une face intradors reliées par un bord d'attaque et un bord de fuite, la pale comprenant un matériau composite,
- [0036] (b) agencer une couche de liaison sur la pale, la couche de liaison comprenant une sous-couche d'adhésion en matériau polymérique,
- [0037] (c) former un bouclier de protection sur la pale.
- [0038] Le procédé est remarquable en ce qu'à l'étape (b) la couche de liaison comprend en outre une sous-couche d'accroche comprenant des particules incrustées dans la sous-couche d'adhésion, la sous-couche d'accroche étant agencée entre la sous-couche d'adhésion et le bouclier de protection.
- [0039] L'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0040] - l'étape (b) comprend les sous-étapes suivantes :
- [0041] (b0) déposer la sous-couche d'adhésion sur la pale,
- [0042] (b2) déposer la sous-couche d'accroche sur la sous-couche d'adhésion,
- [0043] (b3) traiter thermiquement la couche de liaison ;
- [0044] - l'étape (b) comprend en outre entre les étapes (b0) et (b2) la sous-étape suivante :
- [0045] (b1) prétraiter thermiquement la sous-couche d'adhésion ;
- [0046] - l'étape (b) comprend les sous étapes suivantes :
- [0047] (bi) déposer une première couche polymérique sur la pale,
- [0048] (bii) déposer une seconde couche polymérique et les particules sur la première sous-couche ;

- [0049] - l'étape (b) comprend après la sous-étape (bii), la sous-étape suivante :
- [0050] (biii) traiter thermiquement la première couche ;
- [0051] - la sous-étape (bi) est réalisée par projection thermique ;
- [0052] - la sous-étape (bii) est réalisée par projection thermique des particules préalablement imprégnée d'une matrice polymérique formant la seconde couche ;
- [0053] - l'étape (c) est réalisée par projection thermique ;
- [0054] - la projection thermique est réalisée avec une poudre comprenant des grains dont au moins 90% de ces grains présentent une taille (d90) comprise entre 5 μm et 200 μm , avantageusement comprise entre 10 μm et 150 μm ;
- [0055] - au plus 10% des grains présentent une taille (d10) comprise entre 0,05 μm et 50 μm , avantageusement comprise entre 0,1 μm et 20 μm ;
- [0056] - le matériau de la poudre est identique à celui des particules de la sous-couche d'accroche ;
- [0057] - le procédé comprend, après l'étape (c), une étape (d) d'usinage du bouclier de protection.

Brève description des figures

- [0058] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui suit d'un mode de réalisation non limitatif de l'invention en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0059] la [Fig.1] est une vue schématique en coupe longitudinale d'une demi-turbomachine d'aéronef,
- [0060] la [Fig.2] est une vue schématique en perspective d'une aube équipant la turbomachine de la [Fig.1],
- [0061] la [Fig.3] est une vue en coupe transversale de l'aube de la [Fig.2],
- [0062] la [Fig.4] est une vue schématique en coupe de la couche de liaison agencée sur la pale et revêtue du bouclier de protection, selon l'invention,
- [0063] la [Fig.4a] est une vue schématique en coupe de la couche de liaison agencée sur la pale et revêtue du bouclier de protection, selon un mode de réalisation de l'invention,
- [0064] la [Fig.5] est une vue schématique d'un procédé de fabrication selon l'invention,
- [0065] la [Fig.6] est une vue schématique du procédé de fabrication selon un premier mode de réalisation,
- [0066] la [Fig.7] est une vue schématique du procédé de fabrication selon un second mode de réalisation.

Description détaillée de l'invention

- [0067] Un exemple de turbomachine 1 d'aéronef selon l'invention est représenté sur la [Fig.1]. La turbomachine 1 s'étend autour et le long d'un axe longitudinal A.

- [0068] Dans la présente demande, les termes « axial », « axialement », « radial » et « radialement » sont définis par rapport à l'axe longitudinal A.
- [0069] Les termes « amont », « aval » sont définis par rapport au sens de circulation des gaz dans la turbomachine 1 suivant l'axe longitudinal A.
- [0070] Les termes « interne », « intérieur », « externe », « extérieur », « extérieurement » sont définis par rapport à l'éloignement de l'axe longitudinal X le long d'un axe radial perpendiculaire à l'axe longitudinal A.
- [0071] La turbomachine 1 s'étend autour d'un axe longitudinal A. Elle comprend d'amont en aval dans le sens d'écoulement des gaz F le long de l'axe longitudinal A, une soufflante 2, au moins un compresseur tel qu'un compresseur basse pression 3 et un compresseur haute pression 4, une chambre de combustion 5, au moins une turbine 6 telle qu'une turbine haute pression et une turbine basse pression, et une tuyère (non représentée).
- [0072] Le rotor de la turbine basse pression est relié à la soufflante 2 et au rotor du compresseur basse pression 3 par un arbre basse pression (non représenté). Le rotor de la turbine haute pression est quant à lui relié au rotor du compresseur haute pression 4 par un arbre haute pression (non représenté).
- [0073] La turbomachine 1 comprend par ailleurs un redresseur 10. Le redresseur 10 permet de redresser le flux à la sortie d'un rotor situé en amont afin de fournir une poussée maximale à la sortie de la turbomachine 1. Sur l'exemple particulier de la [Fig.1], le redresseur 10 est situé en aval de la soufflante 2 et permet de redresser le flux secondaire F2.
- [0074] La soufflante 2 permet l'aspiration d'un flux d'air se divisant en un flux primaire F1 et un flux secondaire F2. Le flux primaire F1 traverse une veine primaire de la turbomachine 1 tandis que le flux secondaire F2 est dirigé vers une veine secondaire entourant la veine primaire.
- [0075] Le flux primaire F1 est comprimé au sein du compresseur basse pression 3 puis du compresseur haute pression 4. L'air comprimé est ensuite mélangé à un carburant et brûlé au sein de la chambre de combustion 5. Les gaz formés par la combustion traversent la turbine haute pression et la turbine basse pression. Les gaz s'échappent enfin au travers de la tuyère dont la section permet l'accélération de ces gaz pour générer de la propulsion. Le flux secondaire F2 traverse le redresseur 10 qui accélère la vitesse de circulation du flux secondaire F2 pour générer de la propulsion.
- [0076] La soufflante 2 ou le redresseur 10 comprennent des aubes 11. Les aubes 11 équipant le redresseur 10 sont connues sous le terme anglais « Outlet Guide Vane » (OGV). Les aubes 11 sont mobiles ou fixes en rotation autour de l'axe longitudinal A. Typiquement, les aubes 11 de la soufflante 11 sont mobiles en rotation. Les aubes 11 du redresseur 10 sont fixes.

- [0077] Les aubes 11 s'étendent radialement par rapport à l'axe longitudinal A.
- [0078] En référence à la [Fig.2], chaque aube 11 comprend une pale 12 et un bouclier de protection 14 agencé sur la pale 12.
- [0079] La pale 12 s'étend selon un axe d'allongement X. L'axe d'allongement X de la pale 12 s'étend radialement par rapport à l'axe longitudinal A de la turbomachine 1 après montage de l'aube 11 sur la turbomachine 1. La pale 12 présente un profil aérodynamique. La pale 12 comprend ainsi une face extrados 12e et une face intrados 12i reliées par un bord d'attaque 12a et un bord de fuite 12b. La pale 12 s'étend ainsi selon un axe transversal Y entre le bord d'attaque 12a et le bord de fuite 12b.
- [0080] La pale 12 s'étend par ailleurs longitudinalement selon l'axe d'allongement X entre une première extrémité et une seconde extrémité opposée à la première extrémité.
- [0081] La pale 12 comprend un matériau composite. Le matériau composite comprend une matrice polymérique et un renfort fibreux noyé dans la matrice. Le matériau composite est par exemple un composite à matrice organique (CMO). La matrice est par exemple une matrice polymérique thermoplastique ou thermodurcissable. Le matériau thermodurcissable est par exemple un polymère époxyde. Le renfort fibreux comprend des fibres qui sont par exemple des fibres de carbone ou des fibres de verre. Les fibres sont organisées par exemple sous la forme d'une préforme fibreuse.
- [0082] Le bouclier de protection 14 est avantageusement agencé sur le bord d'attaque 12a. Il s'étend avantageusement tout le long du bord d'attaque 12a. Le bouclier de protection 14 est avantageusement en matériau métallique. Le matériau métallique est par exemple du titane ou un alliage tel qu'un acier, par exemple un acier inoxydable ou un alliage de nickel et de cobalt (NiCo), un aluminium, de l'argent, du zinc, du nickel, du cuivre ou un mélange de ceux-ci.
- [0083] Le bouclier de protection 14 est selon un autre exemple en matériau céramique.
- [0084] Il est destiné à protéger le bord d'attaque 12a des chocs extérieurs. Le bouclier de protection 14 présente une forme allongée en forme de dièdre. Comme mieux visible sur la [Fig.3], le bouclier de protection 14 présente une section transversale en forme de V ou de U. Le bouclier de protection 14 comprend une première ailette latérale 14a et une seconde ailette latérale 14b reliée à la première ailette latérale 14a par une âme 14j. Les première et seconde ailettes latérales 14a, 14b définissent entre elles une cavité dans laquelle le bord d'attaque 12a est agencé.
- [0085] La première ailette latérale 14a présente une première extrémité longitudinale libre et la seconde ailette latérale 14b présente une seconde extrémité longitudinale libre qui sont opposées à l'âme 14j. Les extrémités longitudinales libres s'étendent le long de la pale 12. Les extrémités longitudinales libres s'étendent respectivement sur la face intrados 12i et la face extrados 12b de la pale 12.
- [0086] Avantageusement, l'épaisseur du bouclier de protection 14 est variable. L'épaisseur

de l'âme 14j est supérieure aux épaisseurs des première et seconde ailettes latérales 14a, 14b. Avantageusement, l'épaisseur des première et seconde ailettes latérales 14a, 14b est décroissante en direction du bord de fuite 12b de la pale 12. Les première et seconde ailettes latérales 14a, 14b sont effilées en direction du bord de fuite 12b de la pale 12.

- [0087] Alternativement, et de manière non représentée, le bouclier de protection 14 est agencé sur le bord de fuite 12b. Selon encore une autre alternative non représentée, l'aube 11 comprend deux boucliers de protection 14 agencés respectivement sur le bord d'attaque 12a et le bord de fuite 12b.
- [0088] Le bouclier de protection 14 est de manière très avantageuse formé sur la pale 12 par projection thermique.
- [0089] L'aube 11 comprend en outre une couche de liaison 16 agencée entre la pale 12 et le bouclier de protection 14. La couche de liaison 16 permet d'assurer l'adhérence et l'ancrage mécanique du bouclier de protection 14 sur la pale 12 sans endommager la pale 12.
- [0090] Comme mieux visible sur la [Fig.4], la couche de liaison 16 est une couche hybride. Elle comprend une sous-couche d'adhésion 17 et une sous-couche d'accroche 18.
- [0091] La sous-couche d'adhésion 17 est agencée entre la pale 12 et la sous-couche d'accroche 18. La sous-couche d'adhésion 17 est en matériau polymérique. Le matériau polymérique est avantageusement choisi parmi les polymères thermodurcissables tels qu'un polymère époxyde, silicone ou polyuréthane ou les polymères thermoplastiques choisis par exemple parmi la famille des polyaryléthercétone tels qu'un polyétheréthercétone (PEEK) ou encore un mélange de ceux-ci. Le polymère époxyde est par exemple le matériau commercial Redux® 322 de la société HEXCEL.
- [0092] La sous-couche d'adhésion 17 est sous la forme d'un film à base de l'un des matériaux cités. Le film est par exemple le film commercial AF191 ou AF3109 de la société 3M. Selon un autre exemple particulièrement préféré, la sous-couche d'adhésion 17 est sous la forme d'un revêtement réalisé par projection thermique. Selon cet exemple, la sous-couche d'adhésion 17 est en matériau polymère à base de PEEK par exemple ou de tout polymère compatible avec le procédé de projection thermique.
- [0093] Avantageusement, la sous-couche d'adhésion 17 présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 500 μm , encore plus avantageusement comprise entre 50 μm et 500 μm et encore plus avantageusement entre 80 μm et 400 μm .
- [0094] Selon un mode de réalisation de l'invention représenté sur la [Fig.4], la sous-couche d'adhésion 17 est monocouche.
- [0095] Selon un autre mode de réalisation de l'invention représenté sur la [Fig.4a], la sous-couche d'adhésion 17 est multi couches. Elle comprend une première couche 17a

présentant une première épaisseur et une seconde couche 17b présentant une seconde épaisseur. La première couche 17a est agencée entre la pale 12 et la seconde couche 17b. Les première et seconde couches 17a, 17b sont polymériques. Préférentiellement, la première couche 17a comprend un premier matériau polymérique et la seconde couche 17b comprend un second matériau polymérique différent ou identique du premier matériau. Avantageusement, les premier et second matériaux polymériques sont différents ce qui permet d'adapter les propriétés de la couche de liaison 16. Avantageusement, les premier et second matériaux sont choisis parmi les polymères thermodurcissables tels qu'un polymère époxyde, silicone ou polyuréthane ou les polymères thermoplastiques choisis par exemple parmi la famille des polyaryléthercétone tels qu'un polyétheréthercétone (PEEK) ou encore un mélange de ceux-ci.

[0096] La seconde épaisseur de la seconde couche 17b est supérieure à 50 μm , supérieure à 80 μm . Préférentiellement, la seconde épaisseur de la seconde couche 17b est inférieure à la première épaisseur de la première couche 17a.

[0097] Les première et seconde couches 17, 17b sont préférentiellement réalisées par projection thermique.

[0098] La sous-couche d'accroche 18 est agencée entre la sous-couche d'adhésion 17 et le bouclier de protection 14. La sous-couche d'accroche 18 comprend des particules 18a incrustées dans la sous-couche d'adhésion 17. Par incrustée dans la sous-couche d'adhésion 17, il est entendu que les particules 18a sont partiellement noyées dans la sous-couche d'adhésion 17 et qu'une partie de la surface des particules n'est pas noyée dans la sous-couche d'adhésion 17 afin de créer un état de surface favorable à l'accroche mécanique du bouclier de protection 14. Ainsi, selon l'invention, les particules 18a sont noyées dans une profondeur de la sous-couche d'adhésion 17 qui est inférieure à l'épaisseur de la sous-couche d'adhésion 17.

[0099] Selon le mode de réalisation de la [Fig.4a], les particules 18a sont incrustées dans la seconde couche 17b de la couche d'adhésion 17.

[0100] Préférentiellement, le taux de recouvrement surfacique des particules 18a est supérieur ou égal à 70%, supérieur ou égal à 80%, supérieur ou égal à 90% et encore plus préférentiellement de 100%. Le taux de recouvrement surfacique correspond à la surface de la sous-couche d'adhésion 17 revêtue par les particules 18a divisé par la surface totale de la sous-couche d'adhésion 17, la surface étant celle opposée à la pale 12.

[0101] Avantageusement, le taux massique de particules 18a dans la couche de liaison 16 est compris entre 20% et 90%, avantageusement entre 50% et 90%.

[0102] Avantageusement, les particules 18a sont des particules de métal tel que de l'aluminium, de l'argent, du zinc, du nickel, du titane, du cuivre, un alliage de fer ou des particules de céramique tel qu'un carbure de silicium, ou des particules d'oxyde tel

qu'un oxyde d'aluminium, un oxyde de zirconium, un oxyde de silicium, ou encore un mélange des particules. Avantageusement, le matériau des particules 18a est identique au matériau du bouclier de protection 14. Ceci permet d'augmenter la force d'adhésion du bouclier de protection 14 sur la pale 12.

- [0103] Avantageusement, les particules 18a présentent une taille inférieure ou égale à 500 μm , encore plus avantageusement inférieure ou égale à 400 μm et préférentiellement inférieure ou égale à 300 μm . De manière encore plus avantageuse, au moins 90% des particules présentent une taille (d90) comprise entre 10 μm et 200 μm , avantageusement comprise entre 40 μm et 120 μm et au plus 10% des particules présentent une taille (d10) comprise entre 0,5 μm et 50 μm , avantageusement comprise entre 5 μm et 40 μm .
- [0104] Avantageusement, les particules 18a présentent une morphologie générale sphérique ou aciculaire.
- [0105] Les distributions granulométriques des particules sont par exemple les grades F220, F80.
- [0106] La sous-couche d'adhésion 17 permet d'assurer une adhérence élevée entre le substrat, c'est-à-dire la pale 12 et la sous-couche d'accroche 18 tout en participant à l'adhésion du bouclier de protection 14 sur la pale 12. La sous-couche d'accroche 18 permet de créer une surface favorable à l'ancrage mécanique du bouclier de protection 14 sur la pale 12. Le bouclier de protection 14 peut alors être formé par projection thermique, procédé qui permet de former des revêtements de formes complexes avec de faibles tolérances et de manière répétable.
- [0107] Grâce à une telle couche de liaison 16 hybride, il a également été constaté que les propriétés mécaniques de l'aube 11 sont améliorées.
- [0108] Un procédé de fabrication de l'aube 11 selon l'invention va maintenant être décrit en référence à la [Fig.5].
- [0109] Le procédé comprend les étapes chronologiques suivantes :
- [0110] (a) fournir la pale 12,
- [0111] (b) agencer la couche de liaison 16 sur la pale 12,
- [0112] (c) former le bouclier de protection 14 sur la pale 12,
- [0113] (d) optionnellement, usiner le bouclier de protection 14.
- [0114] L'étape (a) peut être réalisée par moulage tel qu'un moulage par transfert de résine connu sous l'acronyme RTM pour « Resin Transfer Molding » en langue anglaise ou un drapage.
- [0115] Optionnellement, avant l'étape (b), la pale 12 peut subir une préparation de surface mécanique ou chimique pour améliorer l'adhérence de la couche de liaison 16.
- [0116] Préférentiellement, l'étape (c) est réalisée par projection thermique. Le procédé de projection thermique est par exemple une projection par flamme par exemple par

flamme d'oxygène à haute vitesse (HVOF pour « High Velocity Oxy-Fuel » en langue anglaise), par arc-fil, par suspension, par plasma, cold spray, procédé flamme ou tout autre procédé de projection thermique applicable.

- [0117] La projection thermique est réalisée avec une poudre comprenant des grains dont au moins 90% de ces grains présentent une taille (d_{90}) comprise entre 5 μm et 200 μm , avantageusement comprise entre 10 μm et 150 μm et préférentiellement dont au plus 10% des particules présentent une taille (d_{10}) comprise entre 0,05 μm et 50 μm , avantageusement comprise entre 0,1 μm et 20 μm .
- [0118] En particulier, dans le cas d'une projection d'une projection plasma à pression atmosphérique (APS), la poudre comprend des particules dont au moins 90% de ces particules présentent une taille (d_{90}) de 110 μm et dont au plus 10% des particules présentent une taille (d_{10}) de 10 μm .
- [0119] Dans le cas d'une projection plasma de suspensions (SPS), la poudre est sous la forme d'une suspension comprenant des particules dont au moins 90% de ces particules présentent une taille (d_{90}) de 10 μm et dont au plus 10% des particules présentent une taille (d_{10}) de 0,1 μm .
- [0120] Avantageusement, le matériau de la poudre est identique à celui des particules 18a de la sous-couche d'accroche 18.
- [0121] L'étape (d) d'usinage peut être un usinage chimique ou un usinage mécanique tel qu'un découpage.
- [0122] Selon un premier mode de réalisation représenté sur la [Fig.6], l'étape (b) comprend les sous-étapes chronologiques suivantes :
- [0123] (b0) déposer la sous-couche d'adhésion 17 sur la pale 12,
- [0124] (b1) optionnellement, prétraiter thermiquement la sous-couche d'adhésion 17,
- [0125] (b2) déposer la sous-couche d'accroche 18 sur la sous-couche d'adhésion 17,
- [0126] (b3) traiter thermiquement la couche de liaison 16 ainsi obtenue,
- [0127] (b4) optionnellement, traiter mécaniquement la couche de liaison 16.
- [0128] La sous-étape (b0) peut être réalisée par drapage du film, ou par application manuelle du matériau de la sous-couche d'adhésion 17 ou encore par aspersion.
- [0129] La sous-étape (b1) peut être réalisée par chauffage de la sous-couche d'adhésion 17. Ce prétraitement thermique a pour but d'augmenter la pégosité, afin que les particules 18a adhèrent mieux dans la sous-couche d'adhésion 17. Cette étape peut être réalisée par chauffage de la sous-couche de d'adhésion 17 à une température inférieure à 100 °C. L'étape (b1) est préférentiellement réalisée pendant une durée inférieure ou égale à 1h par exemple dans une étuve ou un four.
- [0130] La sous-étape (b2) est avantageusement réalisée par dépôt par gravité des particules 18a, par exemple à l'aide d'un tamis de façon manuelle, ou automatisée.
- [0131] La sous-étape (b3) permet la polymérisation de la couche d'adhésion 17 et la conso-

lisation de la couche de liaison 16. Elle peut être réalisée par chauffage à une température comprise entre 100°C et 200°C, avantageusement comprise entre 120°C et 190°C, encore plus avantageusement comprise entre 140°C et 190°C.

- [0132] La sous-étape (b3) est préférentiellement réalisée pendant une durée supérieure à 10min, supérieure à 15 min, supérieure à 20 min, supérieure à 30 min encore plus préférentiellement entre 45 min et 200 min. L'aube 11 est par exemple placée dans une étuve ou un four.
- [0133] La sous-étape (b4) peut être réalisée par vibrations afin de retirer le surplus de particules sur la couche de liaison (16) et atteindre un taux surfacique avantageusement de 100%. L'aube 11 peut par exemple être placée sur un pot vibrant.
- [0134] La sous-étape (b4) peut être réalisée par sablage, ponçage plasma ou laser. Cette étape permet de libérer au moins en partie les particules de la couche d'adhésion 17 afin de créer un état de surface favorable à l'adhérence du bouclier de protection 14.
- [0135] Ces traitements mécaniques peuvent être réalisés en combinaison.
- [0136] Selon un second mode de réalisation représenté sur la [Fig.7], l'étape (b) du procédé comprend les sous-étapes suivantes :
- [0137] (bi) déposer la première couche 17a sur la pale 12,
- [0138] (bii) déposer la seconde couche 17b et les particules 18a sur la première couche 17a,
- [0139] (biii) optionnellement traiter thermiquement la première couche 17a.
- [0140] L'étape (bi) peut être réalisée après ou simultanément avec l'étape (a) dans le cas de drapage du film, ou par application manuelle du matériau de la première couche 17a ou encore par aspersion, trempage retraits ou tout procédé pouvant convenir.
- [0141] Selon un mode de réalisation particulièrement préféré, l'étape (bi) est préférentiellement réalisée après l'étape (a) par projection thermique. Le procédé de projection thermique est par exemple par flamme d'oxygène à haute vitesse (HVOF pour « High Velocity Oxy-Fuel » en langue anglaise), par arc-fil, par plasma d'arc, par cold spray, par procédé flamme ou tout autre procédé de projection thermique applicable.
- [0142] La sous-étape (bii) est réalisée par projection thermique des particules 18a incluses dans une matrice polymère formant la seconde couche 17b. Le procédé de projection thermique est par exemple un procédé par flamme d'oxygène à haute vitesse (HVOF pour « High Velocity Oxy-Fuel » en langue anglaise), par arc-fil, par plasma d'arc, par cold spray, par procédé flamme ou tout autre procédé de projection thermique applicable sur la première couche 17a.
- [0143] La sous-étape (biii) est réalisée par chauffage de la couche de liaison 16. Elle est optionnelle en ce que les procédés de projection thermique permettent la polymérisation de la couche d'adhésion 17 dès le dépôt sur la pale 12.
- [0144] Cette seconde variante est particulièrement avantageuse puisqu'elle permet de former la couche de liaison 16 par la méthode bien maîtrisée de la projection thermique. Elle

permet également de sélectionner des matrices polymériques différentes pour les première et seconde couches 17a, 17b afin d'adapter les propriétés de la couche de liaison 16 et faciliter le procédé de fabrication de l'aube 11.

Revendications

- [Revendication 1] Aube (11) pour une turbomachine (1) d'aéronef, l'aube (11) comprenant :
- une pale (12) comprenant une face extrados (12e) et une face intrados (12i) reliées par un bord d'attaque (12a) et un bord de fuite (12b), la pale (12) comprenant un matériau composite,
 - un bouclier de protection (14) agencé sur la pale (12), et
 - une couche de liaison (16) agencée entre la pale (12) et le bouclier de protection (14) et comprenant une sous-couche d'adhésion (17) en matériau polymérique,
- caractérisée en ce que la couche de liaison (16) comprend en outre une sous-couche d'accroche (18) comprenant des particules (18a) incrustées dans la sous-couche d'adhésion (17), la sous-couche d'accroche (18) étant agencée entre la sous-couche d'adhésion (17) et le bouclier de protection (14).
- [Revendication 2] Aube selon la revendication précédente, caractérisée en ce que les particules (18a) sont des particules de métal, de céramique, d'oxyde ou un mélange de celles-ci.
- [Revendication 3] Aube selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les particules (18a) présentent une taille inférieure ou égale à 500 μm , avantageusement inférieure ou égale à 400 μm , préférentiellement inférieure ou égale à 300 μm .
- [Revendication 4] Aube selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la sous-couche d'adhésion (17) présente une épaisseur comprise entre 10 μm et 500 μm , avantageusement comprise entre 50 μm et 500 μm ou comprise entre 80 μm et 400 μm .
- [Revendication 5] Aube selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le matériau polymérique de la sous-couche d'adhésion (17) est choisi parmi les polymères thermodurcissables tels qu'un époxyde ou les polymères thermoplastiques ou un mélange de ceux-ci.
- [Revendication 6] Aube selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le taux massique de particules (18a) dans la couche de liaison (16) est compris entre 20% et 90%, avantageusement entre 50% et 90%.
- [Revendication 7] Aube selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la sous-couche d'adhésion (17) comprend une

première couche (17a) polymérique et une seconde couche (17b) polymérique, les particules (18a) étant incrustées dans la seconde couche (17b) qui est agencée entre la première couche (17a) et la sous-couche d'accroche (18).

[Revendication 8] Aube selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la première couche (17a) comprend un premier matériau polymérique et la seconde couche (17b) comprend un second matériau polymérique différent du premier matériau polymérique.

[Revendication 9] Aube selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce que la première couche (17a) présente une première épaisseur et la seconde couche (17b) présente une seconde épaisseur inférieure à la première épaisseur.

[Revendication 10] Procédé de fabrication d'une aube (11) pour une turbomachine (1) d'aéronef, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- (a) fournir une pale (12) comprenant une face extradors (12e) et une face intrados (12i) reliées par un bord d'attaque (12a) et un bord de fuite (12b), la pale (12) comprenant un matériau composite,
- (b) agencer une couche de liaison (16) sur la pale (12), la couche de liaison (16) comprenant une sous-couche d'adhésion (17) en matériau polymérique,
- (c) former un bouclier de protection (14) sur la pale (12),

caractérisé en ce qu'à l'étape (b) la couche de liaison (16) comprend en outre une sous-couche d'accroche (18) comprenant des particules (18a) incrustées dans la sous-couche d'adhésion (17), la sous-couche d'accroche (18) étant agencée entre la sous-couche d'adhésion (17) et le bouclier de protection (14).

[Revendication 11] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (b) comprend les sous-étapes suivantes :

- (b0) déposer la sous-couche d'adhésion (17) sur la pale (12),
- (b2) déposer la sous-couche d'accroche (18) sur la sous-couche d'adhésion (17),
- (b3) traiter thermiquement la couche de liaison (16).

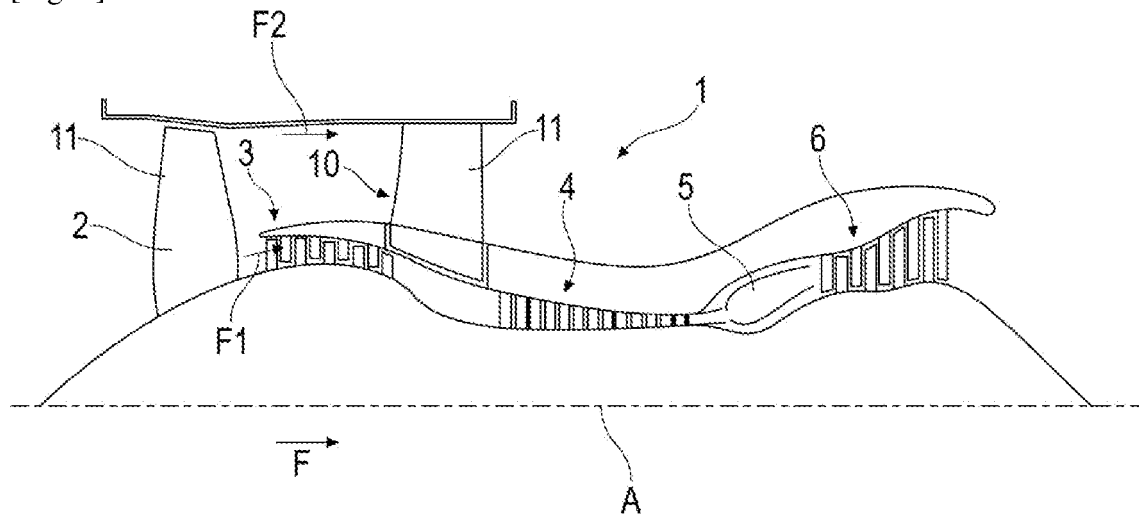
[Revendication 12] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (b) comprend en outre entre les étapes (b0) et (b2) la sous-étape suivante :

(b1) prétraiter thermiquement la sous-couche d'adhésion (17).

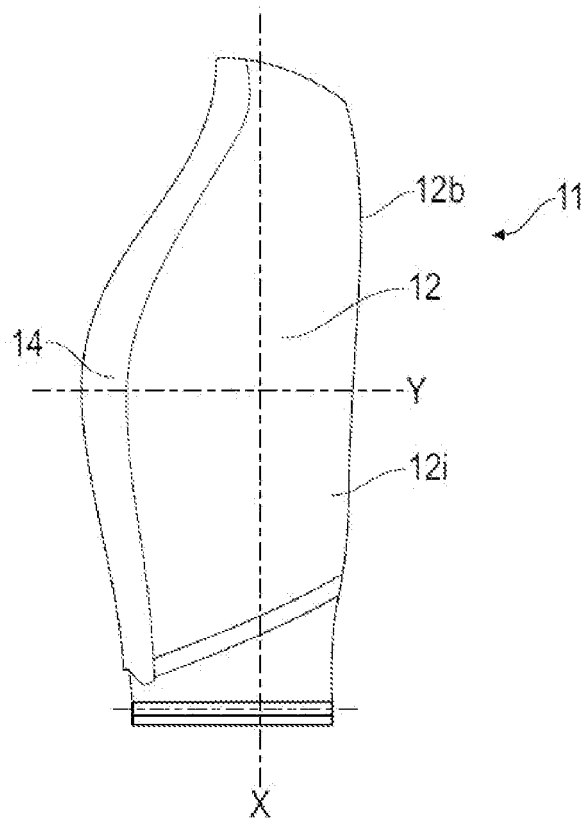
[Revendication 13] Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'étape (b) comprend les sous étapes suivantes :

- (bi) déposer une première couche (17a) polymérique sur la pale (12),
 (bii) déposer une seconde couche (17b) polymérique et les particules (18a) sur la première sous-couche (17a).
- [Revendication 14] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (b) comprend après la sous-étape (bii), la sous-étape suivante :
 (biii) traiter thermiquement la première couche (17a).
- [Revendication 15] Procédé selon l'une des revendications 13 à 14, caractérisé en ce que la sous-étape (bi) est réalisée par projection thermique.
- [Revendication 16] Procédé selon l'une des revendications 13 à 15, caractérisé en ce que la sous étape (bii) est réalisée par projection thermique des particules (18a) préalablement imprégnée d'une matrice polymérique formant la seconde couche (17b).
- [Revendication 17] Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 16, caractérisé en ce que l'étape (c) est réalisée par projection thermique.
- [Revendication 18] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la projection thermique est réalisée avec une poudre comprenant des grains dont au moins 90% de ces grains présentent une taille (d90) comprise entre 5 μm et 200 μm , avantageusement comprise entre 10 μm et 150 μm .
- [Revendication 19] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'au plus 10% des grains présentent une taille (d10) comprise entre 0,05 μm et 50 μm , avantageusement comprise entre 0,1 μm et 20 μm .
- [Revendication 20] Procédé selon l'une des revendications 18 à 19, caractérisé en ce que le matériau de la poudre est identique à celui des particules (18a) de la sous-couche d'accroche (18).
- [Revendication 21] Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 20, caractérisé en ce qu'il comprend, après l'étape (c), une étape (d) d'usinage du bouclier de protection (14).

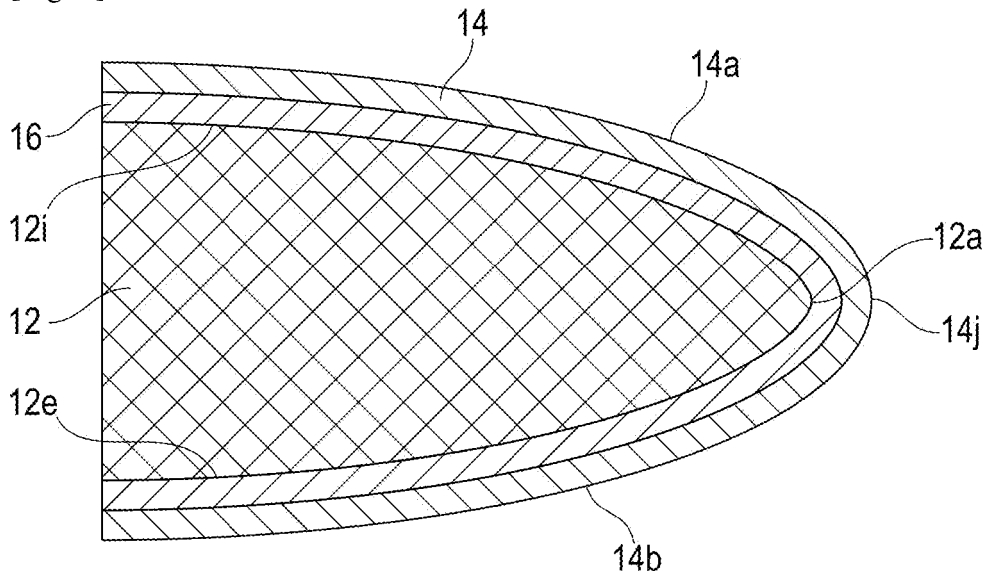
[Fig. 1]



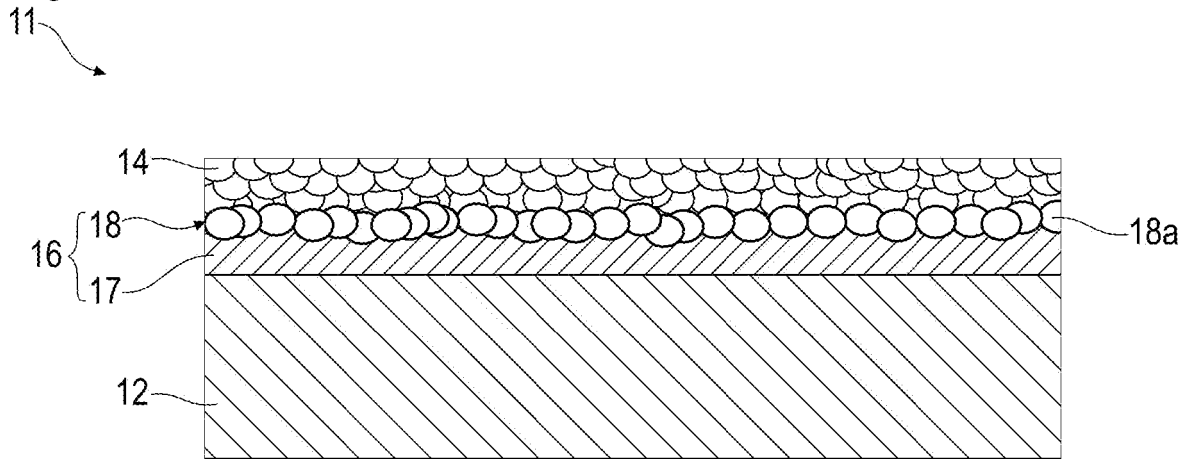
[Fig. 2]



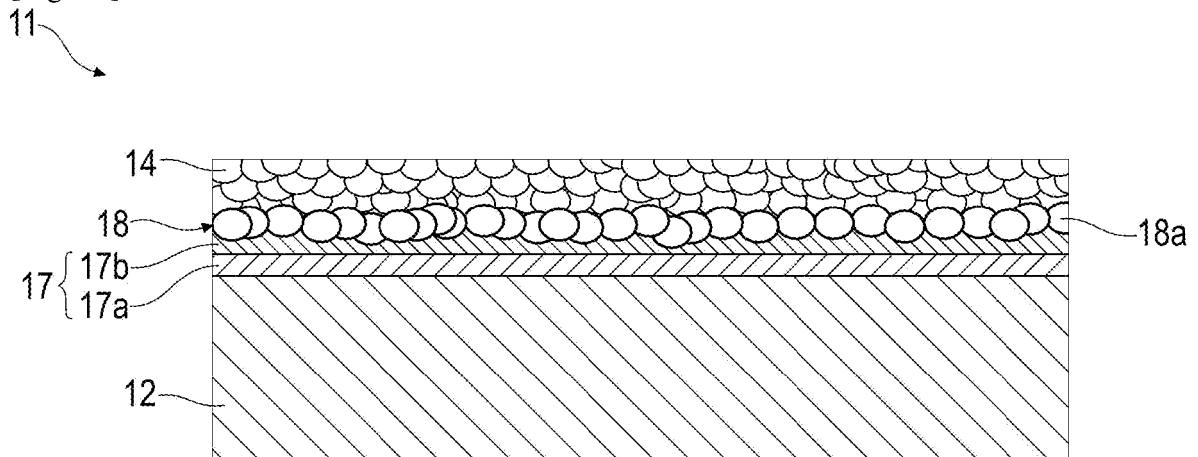
[Fig. 3]



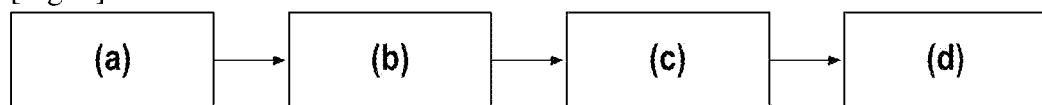
[Fig. 4]



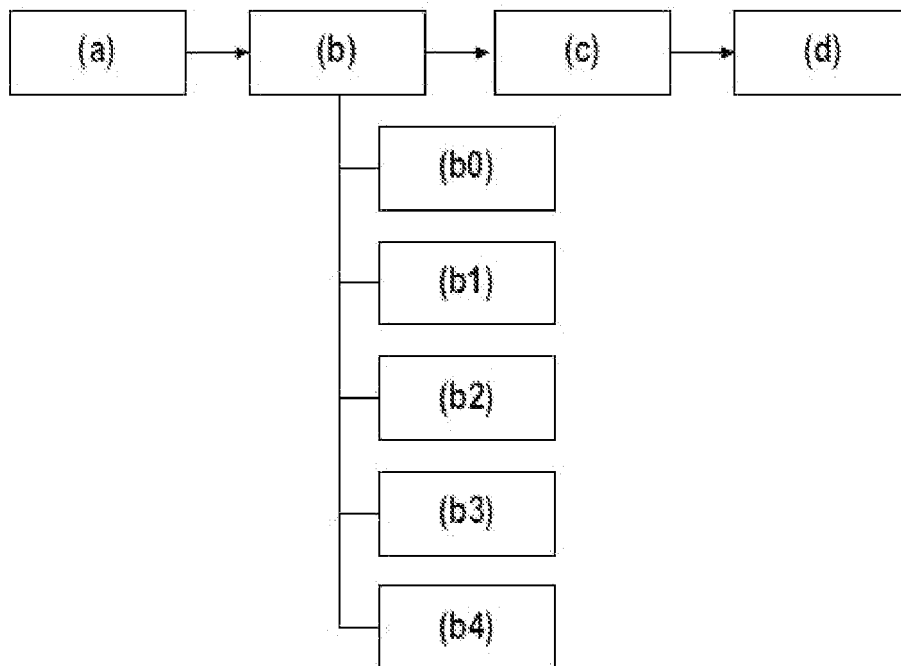
[Fig. 4a]



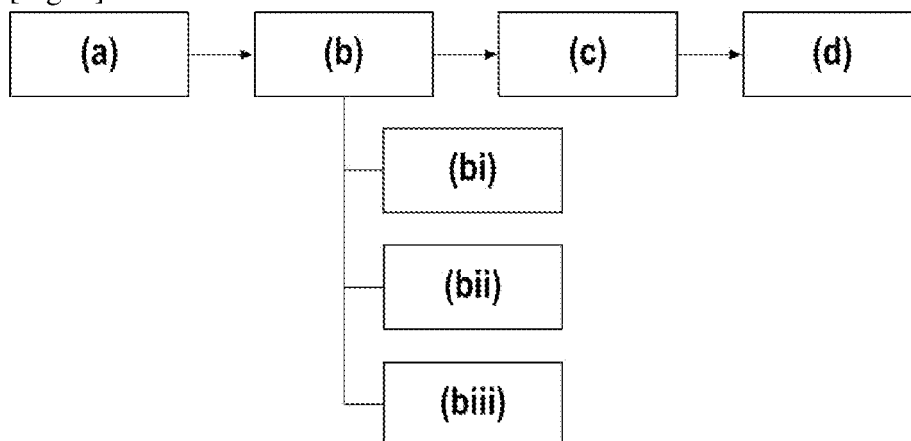
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 912402
FR 2211789

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	FR 3 084 400 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 31 janvier 2020 (2020-01-31) * page 2, ligne 30 – ligne 35 * * figures 4A-C, 5 * -----	1-21	F01D5/14 F01D5/28 B23P15/04
X	FR 3 094 253 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 2 octobre 2020 (2020-10-02) * alinéa [0051] * * figures 6A-B * -----	1-21	
X	FR 3 121 864 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 21 octobre 2022 (2022-10-21) * alinéa [0003] * * figure 3 * -----	1-21	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 mai 2023		Rapenne, Lionel	
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 2211789 FA 912402**

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 **22-05-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3084400	A1	31-01-2020	CN 112469886 A	09-03-2021
			EP 3827159 A1	02-06-2021
			FR 3084400 A1	31-01-2020
			US 2021293152 A1	23-09-2021
			WO 2020021199 A1	30-01-2020

FR 3094253	A1	02-10-2020	AUCUN	

FR 3121864	A1	21-10-2022	AUCUN	
