

(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 2014/053761 A1

(43) Date de la publication internationale
10 avril 2014 (10.04.2014)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
B22F 3/18 (2006.01) *F01D 25/00* (2006.01)
B22F 7/08 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/052326
- (22) Date de dépôt international :
1 octobre 2013 (01.10.2013)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1259518 5 octobre 2012 (05.10.2012) FR
- (71) Déposant : SNECMA [FR/FR]; 2 Boulevard du Général
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeur : FERRER, Laurent; C/o Snecma PI (AJI),
Rond-point René Ravaud-Réau, F-77550 Moissy-cramayel
Cedex (FR).
- (74) Mandataires : BESNARD, Christophe et al.; Cabinet
Beau De Lomenie, 158 Rue de l'Université, F-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, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD OF MANUFACTURING A COMPONENT COVERED WITH AN ABRADABLE COATING

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE COUVERTE D'UN REVETEMENT ABRADABLE

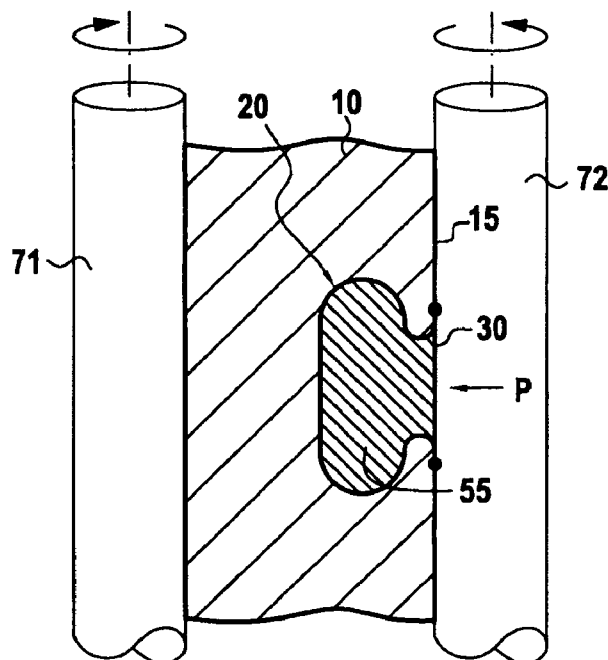


FIG. 4

(57) Abstract : Method of manufacturing a component covered with an abrasible coating (55), this method comprising the following steps: a rough form (10) of the component having a housing (20) is supplied, this housing opening to the surface (15) of the rough form (10); the housing (20) is filled with an abrasible material in pulverulent form; and the rough form (10) and the abrasible material are hot rolled together to sinter the abrasible material and cause it to adhere to the rough form, in order to obtain an abrasible coating (55).

(57) Abrégé : Procédé de fabrication d'une pièce couverte d'un revêtement abrasible (55), ce procédé comprenant les étapes suivantes: on fournit une ébauche (10) de la pièce avec un logement (20), ce logement débouchant à la surface (15) de l'ébauche (10); on remplit le logement (20) avec un matériau abrasible sous forme pulvérulente; et on co-lamine à chaud l'ébauche (10) et le matériau abrasible de manière à fritter le matériau abrasible et à le faire adhérer à l'ébauche, pour obtenir un revêtement abrasible (55).

WO 2014/053761 A1

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 (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))*

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE COUVERTE
D'UN REVETEMENT ABRADABLE

DOMAINE DE L'INVENTION

5 Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une pièce couverte d'un revêtement abradable.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

De nombreuses machines comprennent des parties qui, en mouvement, frottent ou risquent de frotter contre d'autres parties. Par exemple, certaines
10 machines comprennent une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation par rapport à un axe, une partie de cette pièce mobile frottant contre une autre pièce. C'est le cas des turbomachines (terrestres ou aéronautiques, comme les turboréacteurs ou les turbomoteurs) qui comprennent un rotor avec des aubes mobiles qui, dans leur mouvement de
15 rotation, frottent contre la face intérieure du carter du stator qui les entoure.

Dans le cas d'une turbomachine, il est habituel de prévoir un espace, ou jeu, entre les parties fixes et les parties mobiles, en particulier entre le carter et les aubes mobiles, pour tenir compte d'une part des tolérances géométriques des pièces et d'autre part des mécanismes de dilatation
20 thermique et de fluage des matériaux dans le temps. Or, il est important de minimiser les fuites de gaz ou d'air au niveau de cet espace. En effet, ces fuites diminuent le débit du flux d'air comprimé à travers la turbomachine, font perdre une partie du travail mécanique utile et, par conséquent, affectent l'efficacité de la turbomachine, augmentent sa consommation de
25 carburant et diminuent la poussée produite.

Pour minimiser ces fuites, la solution actuellement utilisée consiste à rapprocher au maximum les aubes mobiles du carter et à couvrir le carter d'un revêtement de matériau tendre en face des aubes. Ce matériau est abradable, ce qui signifie qu'il a pour propriété d'être facilement creusé par
30 l'extrémité des aubes mobiles en cas de contact. Ainsi, une aube n'est pratiquement pas endommagée lorsqu'elle frotte contre ce matériau

abradable et on optimise l'espace entre l'extrémité de l'aube et la surface interne du carter en ajustant cet espace à un minimum dans le temps.

Actuellement, on fabrique des portions de plaque de matériau abradable qui sont ensuite chacune collées sur le carter pour former une plaque complète. Un tel procédé est long et coûteux. De plus, le collage présente de nombreuses contraintes : nettoyage des surfaces à coller, problèmes de contamination des surfaces nettoyées, mauvaise adhésion, etc. Enfin, les contraintes mécaniques engendrées pendant la fabrication des portions de plaque de matériau abradable et pendant leur collage contribuent, en fonctionnement, au décollement de ces portions de plaque de la surface du carter et/ou à la fissuration et à la détérioration prématurée des plaques en service.

La présente invention vise à remédier, au moins en partie, à ces inconvénients.

PRESENTATION DE L'INVENTION

Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une pièce couverte d'un revêtement abradable, ce procédé comprenant les étapes suivantes:

A - on fournit une ébauche de la pièce avec un logement, ce logement débouchant à la surface de l'ébauche,

B - on remplit ledit logement avec un matériau abradable sous forme pulvérulente, et

C - on co-lamine à chaud l'ébauche et le matériau abradable de manière à fritter et à compacter le matériau abradable et ainsi à le faire adhérer à l'ébauche par soudage-diffusion, pour obtenir un revêtement abradable.

L'ébauche fournie est avantageusement brute de mise en forme à chaud (forgeage, laminage ...), c'est-à-dire que l'ébauche n'a pas encore été mise en forme à chaud. Le logement peut, quant à lui, être déjà mis en forme à chaud et/ou usiné.

Le co-laminage réalisé permet d'appliquer localement une compression à chaud sur le matériau abradable. Typiquement, il s'agit d'une compression unidirectionnelle à chaud, normale à la surface interne de l'ébauche. Cette compression à chaud permet de fritter et de compacter le matériau abradable et de le faire adhérer à l'ébauche par soudage-diffusion. 5
Avantageusement, la compression à chaud appliquée par le co-laminage est suffisante pour fritter et compacter le matériau abradable et le faire adhérer à l'ébauche, et le procédé de fabrication ne comprend aucune étape de compression à chaud avant ou après l'étape de co-laminage.

10 Un tel procédé permet d'obtenir un bon compactage et une bonne cohésion des particules du matériau abradable. De plus, avec les températures et les pressions engagées pour le co-laminage, l'adhérence des particules avec l'ébauche est bonne et l'interface de soudure entre le matériau et l'ébauche a une porosité faible ou nulle. Le risque de 15
décollement ultérieur du revêtement abradable s'en trouve diminué.

Durant le co-laminage, l'ébauche et le matériau abradable peuvent être mis en forme au plus près des cotes de la pièce finale, par exemple avec des mandrins droits ou des mandrins de forme.

20 En outre, comme l'opération de co-laminage se fait à chaud, des mécanismes de recristallisation peuvent avoir lieu, ce qui diminue les contraintes dans le revêtement abradable. Les risques de fissuration, de détérioration et de décollement du revêtement s'en trouvent également diminués.

25 Le logement débouche à la surface de l'ébauche via une (des) ouverture(s). Lors du co-laminage, une pression est exercée sur le matériau abradable à travers cette (ces) ouverture(s). Dans certains modes de mise en œuvre, on remplit ledit logement avec le matériau abradable par cette (ces) ouverture(s) lors de l'étape de remplissage (étape B) et on ferme hermétiquement cette (ces) ouverture(s) avec une gaine, avant l'étape de 30
co-laminage (étape C).

Dans certains modes de mise en œuvre, le procédé comprend les étapes suivantes:

5 D - on recouvre l'ouverture par laquelle le logement débouche à la surface de l'ébauche, avec une gaine qui présente au moins un orifice de vide et au moins un orifice de remplissage,

E - on fait le vide dans ledit logement en utilisant ledit orifice de vide et on remplit ledit logement avec le matériau abradable (sous forme pulvérulente) en utilisant ledit orifice de remplissage, et

10 F - on ferme de façon étanche ledit orifice de vide et ledit orifice de remplissage avant l'étape de co-laminage (étape C).

On notera que les étapes D à F sont effectuées après l'étape A et avant l'étape C précitées, l'étape E renvoyant à l'étape B.

15 Dans certains modes de mise en œuvre, l'étape C de co-laminage comprend une première étape C1 de préchauffage pendant laquelle l'ébauche est chauffée jusqu'à une température de laminage T, le frittage du matériau abradable ayant lieu, au moins en partie, lors de cette première étape, et une deuxième étape C2 pendant laquelle on co-lamine l'ébauche et le matériau abradable à la température de laminage T. Ces étapes conduisent à une compaction du matériau abradable.

20 Ainsi, dans un premier temps, l'agglomération par frittage des particules de matériau abradable entre elles, avec un taux de porosité donné, se fait pendant la durée de préchauffage de l'ébauche à la température de laminage. Dans un second temps, durant le co-laminage au sens strict, le matériau abradable se déforme du fait de la pression exercée à chaud (i.e. à
25 la température de laminage T). Ainsi, toutes les cavités vides du logement se remplissent de matériau abradable, les zones de dilution (liées au soudage-diffusion des particules de poudre les unes aux autres) augmentent et les porosités résiduelles après frittage et compactage diminuent, voire disparaissent. Des mécanismes de recristallisation dans le matériau
30 abradable peuvent même être déclenchés, améliorant encore l'homogénéité du revêtement abradable.

La température de laminage (et de manière plus générale, le cycle thermomécanique de la pièce) sera défini en fonction du domaine le plus restreint de forgeabilité en tenant compte de l'échauffement adiabatique et du domaine conduisant aux microstructures recherchées des matériaux considérés. En particulier, pour la forgeabilité, la température maximale sera la limite de surchauffe ou de brulure d'un des matériaux mis en forme et la température minimale sera la limite d'endommagement microstructural d'un des matériaux. A titre d'exemple, si le matériau de référence est un acier, la température de laminage T peut être comprise entre 600°C et 1350°C. Pour un acier d'appellation EN X12CrNiMoV12 ou un acier d'appellation EN X4NiCoNb38, la température de laminage T peut être comprise entre 750°C et 1300°C. Pour un acier d'appellation Maraging250 EN X2NiCoMo18-8, la température de laminage T peut être comprise entre 850°C et 1250°C. Si le matériau est un alliage de Titane, la température de laminage T peut être comprise entre 700°C et 1150°C. Pour des alliages de titane d'appellation TA6V à structure maîtrisée alpha + bêta, la température de laminage T peut être comprise entre 700°C et 1050°C, et avantageusement une température T d'environ 950°C est utilisée. Pour des alliages de titane d'appellation TA6V à structure maîtrisée bêta, la température de laminage T peut être comprise entre 1050°C et 1150°C, et avantageusement une température T d'environ 1100°C est utilisée.

Dans certains modes de mise en œuvre, lors de l'étape de remplissage du logement (i.e. étapes B ou E précitées), le matériau abrasable est déposé en plusieurs couches de natures différentes.

Ceci permet de faire varier les propriétés du revêtement abrasable selon les niveaux, les besoins au niveau du fond du logement n'étant pas les mêmes qu'au niveau de la surface extérieure où le revêtement abrasable interagit avec des pièces en mouvement.

Dans certains modes de réalisation, lors de l'étape de remplissage du logement (i.e. étapes B ou E précitées), le matériau abrasable, sous sa forme pulvérulente, comprend des particules de base qui, après co-laminage

(étape C), constitue la matrice du revêtement abrasable, et des particules secondaires facilitant la fragmentation du revêtement abrasable.

Les particules secondaires facilitent la fragmentation du revêtement abrasable lors du frottement avec la pièce mobile, et donc l'ajustement du jeu entre la pièce mobile et le revêtement.

Avantageusement, des particules secondaires organiques peuvent être introduites dans le mélange de particules. De telles particules se décomposeront durant l'opération de co-laminage en formant des porosités de gaz. Ces porosités facilitent la fragmentation du revêtement.

Dans certains modes de réalisation, le matériau abrasable comprend également des particules dures, usantes, permettant, en fonctionnement, un léger polissage des parties mobiles.

Dans certains modes de réalisation, le logement présente des faces latérales concaves (vers l'intérieur du logement). Cela permet d'emprisonner le revêtement abrasable sans générer de contraintes résiduelles dans celui-ci ou tout au moins de répartir les contraintes à l'interface entre le revêtement abrasable et le substrat, ce qui permet de limiter le décollement.

Dans certains modes de réalisation, le logement est une rainure définie par une paroi intérieure, deux parois latérales entourant la paroi intérieure, et deux lèvres extérieures situées dans le prolongement des parois latérales et repliées vers le centre de la rainure, de sorte que la rainure présente, en section transversale, un profil de forme générale en "C". Un tel logement permet de bien emprisonner le revêtement abrasable, notamment du fait des lèvres extérieures qui couvrent partiellement le revêtement et le retiennent.

Bien entendu, d'autres formes de logement peuvent être retenues, la compression au moment du co-laminage permettant de remplir l'ensemble du logement, même si celui-ci est de forme complexe. En outre, durant le co-laminage, le logement peut se déformer de manière à emprisonner encore mieux le revêtement abrasable.

Dans certains modes de mise en œuvre, l'ébauche est formée par co-laminage à chaud d'au moins deux sous-parties, cette étape de co-laminage

des sous-parties et l'étape de co-laminage de l'ébauche et du matériau abrasable (étape C précitée) étant réalisées en même temps, en une seule opération.

5 Ceci permet de mutualiser les outils de fabrication et de réaliser, en une seule et même opération de co-laminage, la fabrication de l'ébauche et le dépôt du revêtement abrasable. Il en résulte une économie de temps et d'argent par rapport aux procédés de fabrication conventionnels.

10 Dans certains modes de mise en œuvre, après l'étape C de co-laminage, on usine l'ébauche et/ou le revêtement de matériau abrasable, pour obtenir la pièce finale.

Dans certains modes de mise en œuvre, après l'étape C de co-laminage, on applique un traitement thermique de qualité à la pièce dans son ensemble, c'est-à-dire un traitement destiné à conférer à la pièce les caractéristiques recherchées pour son emploi.

15 Dans certains modes de mise en œuvre, la pièce fabriquée est un carter de turbomachine ayant une face radialement interne, au moins une partie de cette face étant couverte par le revêtement abrasable. En d'autres termes, ledit logement est ménagé dans la face radialement interne du carter.

20 L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux, à la lecture de la description détaillée qui suit, d'exemples de réalisation. Cette description détaillée fait référence aux dessins annexés.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Les dessins annexés sont schématiques et ne sont pas à l'échelle, ils visent avant tout à illustrer les principes de l'invention.

25 Sur ces dessins, d'une figure (FIG) à l'autre, des éléments (ou parties d'élément) identiques ou ayant une fonction analogue sont repérés par les mêmes signes de référence.

La FIG 1 représente, en coupe transversale, une ébauche de pièce avec un logement, ce logement débouchant à la surface de l'ébauche;

30 La FIG 2 représente l'ébauche de la FIG 1, sur laquelle une gaine a été mise en place.

La FIG 3 illustre une étape de remplissage du logement avec un matériau abradable sous forme pulvérulente.

La FIG 4 illustre une étape de co-laminage de l'ébauche et du matériau abradable.

5 La FIG 5 illustre une étape d'usinage.

La FIG 6 est une figure analogue à la FIG 3, illustrant une étape de remplissage du logement avec un autre matériau abradable.

10 La FIG 7 est une figure analogue à la FIG 3, illustrant une étape de remplissage du logement avec un matériau abradable déposé en plusieurs couches.

La FIG 8 est une figure analogue à la FIG 4, illustrant une étape de co-laminage.

DESCRIPTION DETAILLÉE D'EXEMPLES DE RÉALISATION

15 Des exemples de réalisation sont décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Ces exemples illustrent les caractéristiques et les avantages de l'invention. Il est toutefois rappelé que l'invention ne se limite pas à ces exemples.

20 Les FIGS 1-5 illustrent différentes étapes d'un exemple de procédé de fabrication d'une pièce 1 avec un revêtement abradable 50. Cette pièce 1 est représentée sur la FIG 5. Une partie du revêtement abradable 50 forme une couche 55 à la surface de la pièce 1. Dans l'exemple, cette couche 55 fait légèrement saillie vers l'extérieur par rapport au reste de la pièce 1.

25 Dans cet exemple, la pièce 1 est un carter de turbomachine, e.g. un carter de compresseur de turboréacteur. Ce carter porte un revêtement abradable 55 contre lequel des pièces mobiles 60 (voir FIG 5) viennent frotter. Ces pièces mobiles 60 sont des aubes. La surface libre 35 sur laquelle se trouve le revêtement abradable 55 est la face radialement interne du carter. Il s'agit d'une surface de forme générale cylindrique, centrée sur l'axe de rotation du rotor de la turbomachine.

30 Bien entendu, l'invention pourrait s'appliquer à d'autres pièces qu'à un carter de turbomachine.

Pour fabriquer la pièce 1, on fournit d'abord une ébauche 10 de cette pièce. Cette ébauche 10, représentée sur la FIG. 1, présente un logement 20. Le logement 20 débouche à la surface 15 de l'ébauche 10, via une ouverture 25. Cette ouverture 25 est continue. Elle peut également être
5 discontinue, c'est-à-dire constituée de plusieurs sous-ouvertures.

Dans l'exemple, le logement 20 est une rainure qui s'étend dans une direction perpendiculaire au plan de coupe des figures. De préférence, la forme du logement 20 est choisie de manière à emprisonner le revêtement
abradable 50 décrit ci-après.

10 Avantageusement, la section maximale du logement 20 dans un plan parallèle à la surface 15 se situe à une distance non-nulle de cette surface. Ainsi, le logement 20 présente au moins une portion convergente en se rapprochant de l'ouverture 25. De la sorte, le matériau abradable 25 qui remplit le logement 20 (voir ci-dessous), une fois qu'il forme un bloc d'un
15 seul tenant, est maintenu mécaniquement dans le logement 20.

Dans l'exemple, le logement 20 est une rainure définie par une paroi de fond 21, deux parois latérales 22 entourant la paroi intérieure, et deux lèvres extérieures 23 situées dans le prolongement des parois latérales et repliées vers le centre de la rainure. Cette rainure présente ainsi, en section
20 transversale, un profil de forme générale en "C". L'ouverture 25 est définie entre les lèvres extérieures 23. En section transversale, les surfaces latérales de la rainure, définies par les parois latérales 22, sont concaves vers l'intérieur de la rainure. Bien entendu, d'autres formes de logement 20 peuvent être retenues.

25 Le logement 20 est, par exemple, réalisé par usinage dans l'ébauche 10. L'ébauche 10 peut déjà, avant usinage, présenter une dépression à l'endroit où va être usiné le logement 20. Cette dépression peut être réalisée au moment de la mise en forme de l'ébauche 10.

Après sa réalisation, le logement 20 est nettoyé.

30 On recouvre ensuite l'ouverture 25 du logement 20 avec une gaine 30 qui présente des orifices de vide 31 et de remplissage 32. On fixe la gaine 30

sur toute la périphérie de l'ouverture 25, sur le bord des lèvres 23 du logement. Cette fixation est, par exemple, effectuée par soudage. La dimension de la gaine 30 et la position des soudures peuvent être optimisées pour éviter une fuite.

5 La gaine 30 est en un matériau suffisamment souple et ductile et d'épaisseur suffisamment faible pour se déformer sous l'effet de la pression P qui sera appliquée lors du co-laminage (voir ci-après). La gaine 30 ferme l'ouverture 25 de façon étanche à l'exception des orifices 31, 32.

10 On fait ensuite le vide dans le logement 20 (i.e. dans l'espace fermé délimité par le logement 20 et la gaine 30) tout en remplissant le logement 20 avec un matériau abrasable 50 sous forme pulvérulente. Le fait que le matériau abrasable 50 soit sous la forme d'un ensemble de particules disjointes permet ce remplissage.

15 Le matériau abrasable 50 est constitué d'un ensemble de particules. Par particule on entend un élément de petite taille qui peut, notamment, avoir une forme de grain, sensiblement sphérique, ou une forme plus allongée à une dimension (de type fibre) ou deux dimensions (de type plaquette). Ces particules sont en totalité ou en majorité en un matériau fritté, c'est-à-dire qui est apte à diffuser d'une particule à une particule
20 adjacente lorsque les particules sont compactées à température élevée, de telle sorte que des liens se créent entre les particules: le matériau est alors fritté. Lors du frittage, il ne se produit pas nécessairement de fusion du matériau constituant les particules. Dans un matériau fritté, il peut donc subsister des porosités. Si le matériau est compacté à des températures
25 encore plus élevées, il se produit une déformation des particules suivie de leur soudage par diffusion et, ainsi, une disparition progressive des porosités vides.

30 Le matériau abrasable 50, sous sa forme pulvérulente, peut être constitué d'une poudre de base 51. Il peut s'agir d'une poudre unique ou d'un mélange de poudres. Après co-laminage, cette poudre de base 51 constitue la matrice du revêtement abrasable 55.

Dans cet exemple, le matériau abrasable 50 est, par exemple, un mélange à base de poudres métalliques comme des poudres en alliage spécial à base de Ni ou à base de Fe. Le matériau abrasable est choisi en fonction des propriétés demandées, thermiques en particulier.

5 Selon un autre exemple de réalisation représenté sur la FIG. 6, en plus de la poudre de base 51, le matériau abrasable 50 est constitué de particules secondaires 52 mélangées à la poudre de base, qui facilitent la fragmentation du revêtement abrasable 55 en fonctionnement. Ces particules secondaires 52 peuvent être des particules organiques, minérales,
10 métalliques, intermétalliques, etc., dont l'interaction chimique avec la base du matériau abrasable est faible. Par exemple, comme particules secondaires 52, on peut utiliser des oxydes, des particules à base de carbone comme par exemple des poudres de carbone pur, des fibres de carbone ou des carbures (SiC, TiC, WC, etc.), des particules à base de bore comme par exemple des
15 borures ou des borates (TiB₂, SiB₂, phases de laves, etc.), des nitrures, des micro-billes de résine organique à point de vaporisation légèrement inférieure à la température de laminage. Ces particules secondaires 52 facilitent le décrochage de morceaux de revêtement abrasable 55 au passage de la pièce mobile 60 avec qui la pièce 1 interagit. Les particules
20 secondaires 52 peuvent avoir deux modes d'action. Soit ces particules 52 résistent au co-laminage et subsistent sous forme solide dans la matrice du revêtement abrasable 55, créant ainsi des irrégularités qui fragilisent la structure de la matrice. A cette fin, il est possible d'utiliser des particules minérales, métalliques ou intermétalliques et, par exemple, des oxydes, des
25 particules à base de carbone, des particules à base de bore, des nitrures. Soit ces particules secondaires 52 sont creuses et/ou se décomposent en libérant un gaz lors du co-laminage, créant ainsi des porosités qui fragilisent la structure de la matrice. A cette fin, il est possible d'utiliser des micro-billes métalliques et/ou en résine organique, ayant un point de vaporisation
30 légèrement inférieur à la température de laminage. Ces micro-billes peuvent, par exemple, être des billes en résine creuses ou des billes métalliques

creuses, avec du vide ou du gaz à l'intérieur, ou des billes métalliques creuses avec de la résine à l'intérieur.

Les particules secondaires 52 peuvent également être "usantes", c'est-à-dire être choisies pour leurs propriétés de résistance à l'usure. Ces
5 particules permettent alors, en fonctionnement, de polir légèrement les pièces mobiles. A cette fin, il est possible d'utiliser des particules minérales, métalliques ou intermétalliques et, par exemple, des oxydes, des particules à base de carbone (e.g. poudre de carbone, fibres de carbone, carbures), des particules à base de bore (e.g. borures ou borates), des nitrures.

10 Selon un autre exemple de réalisation représenté sur la FIG. 7, le matériau abrasable (sous forme pulvérulente) est déposé en plusieurs couches 56, 57, ces couches étant de natures différentes. Par deux couches de natures différentes, on entend deux couches constituées de matériaux différents, ou une couche constituée d'un mélange de matériaux et une autre
15 couche constituée d'un mélange des mêmes matériaux mais dans des proportions différentes.

En d'autres termes, le logement 20 est rempli par un empilement de couches 56, 57, chaque couche ayant une composition spécifique. La composition de chaque couche va dépendre des fonctions souhaitées pour
20 cette couche. Dans l'exemple de la FIG. 7, la première couche 56, qui est la plus proche de la paroi de fond 21 du logement 20, est, par exemple, constituée d'un alliage à capacité élevée de soudure par diffusion et à forte ténacité au contact du substrat, de manière à accommoder au maximum les contraintes à l'interface avec le substrat. Par ailleurs, la seconde couche 57,
25 qui est destinée à entrer au contact de la pièce mobile 60, est, par exemple, constituée d'un alliage à forte teneur en réfractaire, et éventuellement de particules secondaires, de manière à favoriser l'adaptabilité et la stabilité thermique de la surface au cours du temps. Par exemple, si le matériau du carter est un acier d'appellation EN X12CrNiMoV12, le fait de déposer une
30 première couche 56 de poudre à base de Fe permet d'obtenir un meilleur soudage par diffusion des particules de poudre sur le substrat. Ce soudage

améliore la tenue de l'abradable. De plus, le fait d'ajouter une couche finale 57 à base de poudres de Ni apporte à la surface du revêtement abradable une meilleure tenue à chaud.

Bien entendu, plus de deux couches pourraient être déposées. Pour
5 déposer successivement des couches de compositions différentes, plusieurs méthodes sont possibles. Par exemple, une première méthode consiste à modifier le mélange de particules déposées au fur et à mesure du remplissage du logement (le remplissage peut être optimisé avec le nombre d'orifices de remplissage) avant de faire le vide. Une deuxième méthode
10 consiste à remplir les sous couches une à une en déposant une feuille intercalaire (e.g. une feuille métallique) entre deux sous-couches, et à terminer par le dépôt de la gaine 30 avant de faire le vide. Une troisième méthode consiste à projeter à froid ou à chaud le matériau abradable 50, dans le logement 20 via l'ouverture 25, pour avoir une cohésion mécanique
15 par couche successive avant de souder la gaine 30 et de faire le vide.

Une fois le logement 20 entièrement rempli de matériau abradable 50, on obture l'orifice de vide 31 et l'orifice de remplissage 32, de telle sorte que le logement 20 est fermé de façon étanche. La FIG 3 illustre cette étape.

Le volume défini par la paroi du logement 20 et la gaine 30, appelé
20 volume initial, est strictement supérieur au volume du logement 20, le volume du logement 20 étant défini par la paroi du logement 20 et un plan qui se situe dans le prolongement de la surface 15 sur laquelle débouche l'ouverture 25.

Ensuite, on co-lamine à chaud l'ébauche 10 et le matériau abradable 50
25 de manière à fritter et à compacter le matériau abradable et à le faire adhérer à l'ébauche, pour obtenir un revêtement abradable 55. Le co-laminage permet d'appliquer une pression P supérieure à la pression atmosphérique sur la face extérieure de la gaine 30. Ainsi la gaine 30 se déforme sous l'effet d'une contrainte (unidirectionnelle et normale à sa
30 surface 15 dans l'exemple). Cette contrainte soumet le matériau abradable 50 à une compression dans le logement 20 (le matériau abradable 50 étant

également contraint par les parois du logement 20), le matériau abrasable 50 étant également soumis à une température T, généralement supérieure à 150°C, de sorte qu'il se produit un frittage entre les particules du matériau abrasable 50 et une compaction de ce matériau dans le logement 20. La figure 4 illustre cette étape.

Pour réaliser le co-laminage à chaud, on peut utiliser une technique de laminage circulaire à chaud ou analogue. Un exemple de technique de laminage circulaire à chaud est décrit dans la publication intitulée "A summary of ring rolling technology. I - Recent trends in machines, processes and production lines" bit. Mach. Tools 14 Manufact. vol. 32, n[deg.] 3, 1992, pages 379-398, faite par les auteurs Eruç E. et Shivpuri R. En particulier, on peut utiliser deux mandrins rotatifs qui compriment l'ébauche 10 et le matériau abrasable 50, un de ces mandrins suivant la surface de l'ébauche au niveau de laquelle se trouve l'ouverture 25 du logement 20 de manière à exercer une pression sur le matériau abrasable 50 via l'ouverture 25. Dans l'exemple de la FIG 4, deux mandrins rotatifs (à axes verticaux sur la figure 4) 71, 72 compriment l'ébauche 10 et le revêtement 50 et réduisent l'épaisseur de l'ébauche 10 en faisant augmenter son diamètre. Un des mandrins 72 est au contact de la surface 15 et de la gaine 30 et exerce une pression P sur celle-ci. Deux cônes (non représentés et à axes horizontaux sur la figure) peuvent être utilisés pour limiter l'augmentation de la hauteur de l'ébauche 10 susceptible de résulter de l'action des mandrins 71, 72. On peut procéder ensuite à un traitement thermique de revenu. Ainsi, on obtient une pièce de révolution circulaire avec un revêtement abrasable 55.

Le co-laminage est réalisé à chaud à une température T supérieure à la température à laquelle toutes les porosités du matériau abrasable 50 sont résorbées. Typiquement, cette température T est comprise entre 700°C et 1300°C. Le frittage et le compactage du matériau abrasable 50, et donc sa densification, commencent lors du chauffage pendant laquelle l'ébauche est maintenue à la température T durant un temps de maintien, et ce sans pression. Le compactage se termine pendant l'étape de co-laminage

proprement dite. Lors du co-laminage, la pression P exercée par le rouleau 72 sur le matériau abradable 50, via l'ouverture 25, est fonction de la propre contrainte d'écoulement du matériau abradable à la température de laminage. La contrainte d'écoulement du matériau abradable est nettement inférieure à celle du substrat, ce qui permet donc une meilleure déformation de la couche de matériau abradable.

Dans cet exemple, il ne subsiste pas ou peu de porosités au sein du revêtement abradable 55 après co-laminage. En conséquence, la résilience du revêtement abradable 55 est améliorée.

En outre, dans le logement 20, l'adhérence des particules de matériau abradable 50 avec la surface de la paroi du logement 20 est améliorée. Le risque de décollement ultérieur du revêtement abradable 55, en fonctionnement, s'en trouve diminué.

Après le co-laminage, le matériau abradable 50 est fritté et compacté et occupe un volume (appelé volume final) qui est inférieur au volume initial, du fait de la compaction et du frittage qui s'est opéré entre les particules du matériau.

On abaisse ensuite la température et la pression jusqu'à la température ambiante et la pression ambiante respectivement. On usine ensuite l'ensemble pour retirer la gaine 30 et donner à la pièce 1 sa forme finale, comme représenté sur la FIG 5.

Dans l'exemple, on usine la surface 15 de l'ébauche (notamment au niveau des lèvres 23) et les bords latéraux du revêtement abradable 55 de manière à obtenir une bande de revêtement abradable 55, légèrement en saillie par rapport au reste de la surface libre 25 de la pièce 10. La pièce mobile 60 vient frotter contre cette bande de revêtement abradable 55 en fonctionnement, jusqu'à ce que le jeu entre le revêtement 55 et la pièce 60 (représentée en pointillés) soit optimisé, comme représenté sur la FIG 5.

Selon un autre exemple de réalisation représenté sur la FIG 8, l'ébauche 10 est formée par co-laminage à chaud d'au moins deux sous-parties 11, 12.

Par exemple, dans le cas d'un carter de turbomachine, la première partie 11 peut être en alliage de titane et la deuxième partie 12 en acier ou en alliage de base nickel. Ces deux parties 11, 12 peuvent être séparées par un film intermédiaire anti-diffusion 13. La première partie 11, qui constitue la structure porteuse en alliage de titane, est protégée des risques de feu de titane par la deuxième partie 12. Le logement 20 recevant le revêtement abrasable 55 est ménagé dans cette deuxième partie 12.

Pour fabriquer l'ébauche 10, les parties 11, 12, 13 sont co-laminées et, avantageusement, elles sont co-laminées en même temps que la partie 12 et le revêtement abrasable 55, en une seule et même opération.

On réduit ainsi le temps de fabrication et on mutualise les équipements.

En final, un traitement thermique de qualité peut être appliqué à la pièce 1.

Les modes ou exemples de réalisation décrits dans le présent exposé sont donnés à titre illustratif et non limitatif, une personne du métier pouvant facilement, au vu de cet exposé, modifier ces modes ou exemples de réalisation, ou en envisager d'autres, tout en restant dans la portée de l'invention.

De plus, les différentes caractéristiques de ces modes ou exemples de réalisation peuvent être utilisées seules ou être combinées entre elles. Lorsqu'elles sont combinées, ces caractéristiques peuvent l'être comme décrit ci-dessus ou différemment, l'invention ne se limitant pas aux combinaisons spécifiques décrites dans le présent exposé. En particulier, sauf précision contraire, une caractéristique décrite en relation avec un mode ou exemple de réalisation peut être appliquée de manière analogue à un autre mode ou exemple de réalisation.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pièce (1) couverte d'un revêtement abrasable (55), ce procédé comprenant les étapes suivantes:
 - 5 (A) on fournit une ébauche (10) de la pièce avec un logement (20), ce logement (20) débouchant à la surface (15) de l'ébauche (10),
 - (B) on remplit le logement (20) avec un matériau abrasable (50) sous forme pulvérulente, et
 - (C) on co-lamine à chaud l'ébauche (10) et le matériau abrasable (50)
 - 10 de manière à fritter le matériau abrasable et à le faire adhérer à l'ébauche, pour obtenir un revêtement abrasable (55).

2. Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication 1, dans lequel le logement (20) débouche à la surface (15) de l'ébauche (10) via au moins
15 une ouverture (25), dans lequel on remplit ledit logement (20) avec le matériau abrasable (50) par cette ouverture (25), et dans lequel on ferme hermétiquement cette ouverture (25) avec une gaine (30) avant l'étape de co-laminage (C).

- 20 3. Procédé de fabrication d'une pièce selon la revendication 1 ou 2, dans lequel:
 - (D) on recouvre l'ouverture (25) avec une gaine (30) qui présente au moins un orifice de vide (31) et au moins un orifice de remplissage (32),
 - (E) on fait le vide dans ledit logement (20) en utilisant ledit orifice de
25 vide (31) et on remplit ledit logement (20) avec le matériau abrasable (50) en utilisant ledit orifice de remplissage (32), et
 - (F) on ferme de façon étanche ledit orifice de vide (31) et ledit orifice de remplissage (32) avant l'étape de co-laminage (C).

- 30 4. Procédé de fabrication d'une pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape de co-laminage (C) comprend une

première étape (C1) de préchauffage pendant laquelle l'ébauche (10) est chauffée jusqu'à une température de co-laminage (T), le frittage du matériau abradable (50) ayant lieu, au moins en partie, lors de cette première étape, et une deuxième étape (C2) pendant laquelle on co-lamine l'ébauche (10) et
5 le matériau abradable (50) à la température de laminage (T).

5. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel, lors de l'étape de remplissage (B, E) du logement (20), le matériau abradable (50) est déposé en plusieurs couches (56, 57) de natures
10 différentes.

6. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel, le matériau abradable (50), sous sa forme pulvérulente, comprend une poudre de base (51) qui, après frittage, constitue la matrice
15 du revêtement abradable (55), et des particules secondaires (52) mélangées à la poudre de base et facilitant la fragmentation du revêtement abradable (55).

7. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel ledit logement (20) est une rainure définie par une paroi de fond (21), deux parois latérales (22) entourant la paroi intérieure, et deux lèvres extérieures (23) situées dans le prolongement des parois latérales (22) et repliées vers le centre de la rainure, de sorte que la rainure présente, en section transversale, un profil de forme générale en "C".
25

8. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'ébauche (10) est formée par co-laminage à chaud d'au moins deux sous-parties (11, 12), et dans lequel on réalise en même temps et en une seule opération, l'étape de co-laminage des sous-parties et l'étape
30 de co-laminage (C) de l'ébauche (10) et du matériau abradable (50).

9. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel, après l'étape (C) de co-laminage, on usine l'ébauche (10) et/ou le revêtement (55) de matériau abradable.

5 10. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel le logement (20) débouche à la surface (15) de l'ébauche (10) via au moins une ouverture (25), et dans lequel, lors de l'étape (C) de co-laminage, une pression est exercée sur le matériau abradable (50) à travers l'ouverture (25).

10

11. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel la pièce fabriquée est un carter de turbomachine ayant une face radialement interne, au moins une partie de cette face radialement interne étant couverte par le revêtement abradable.

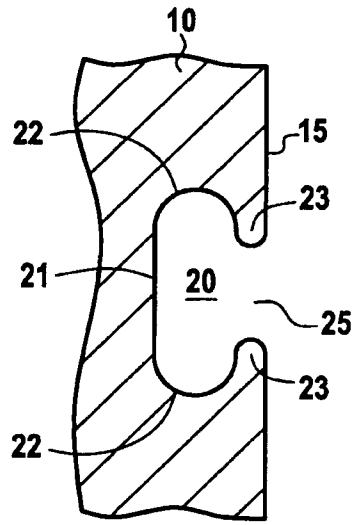


FIG. 1

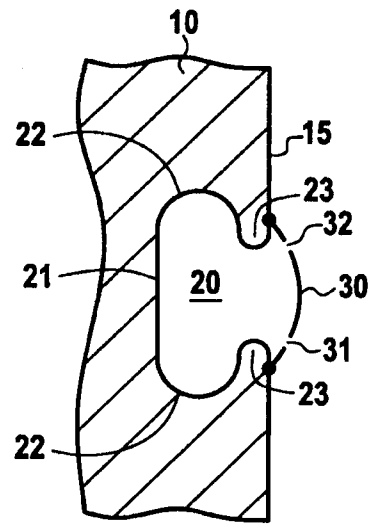


FIG. 2

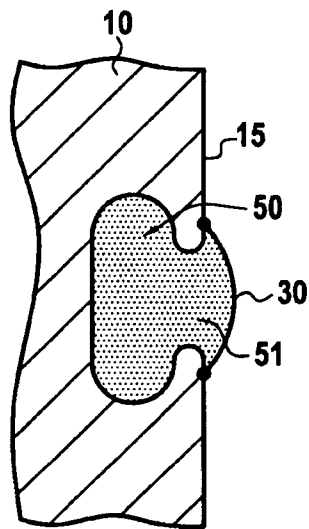


FIG. 3

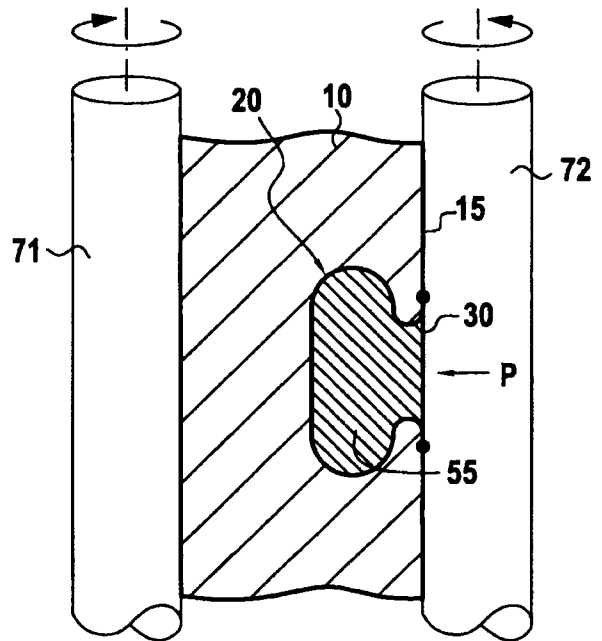


FIG. 4

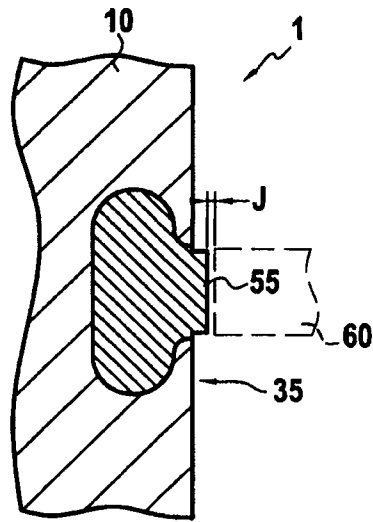


FIG.5

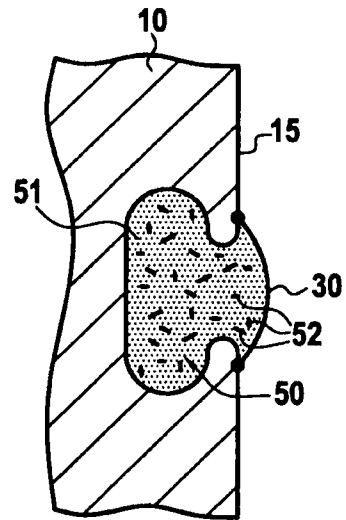


FIG.6

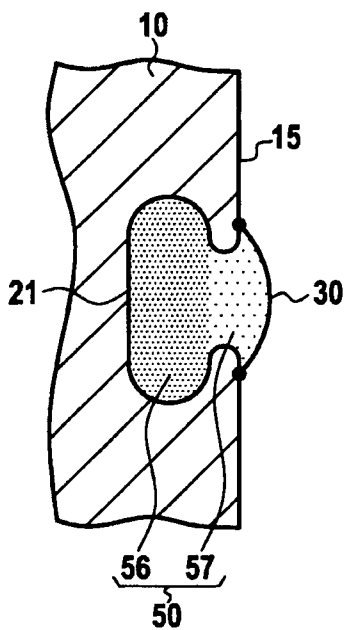


FIG.7

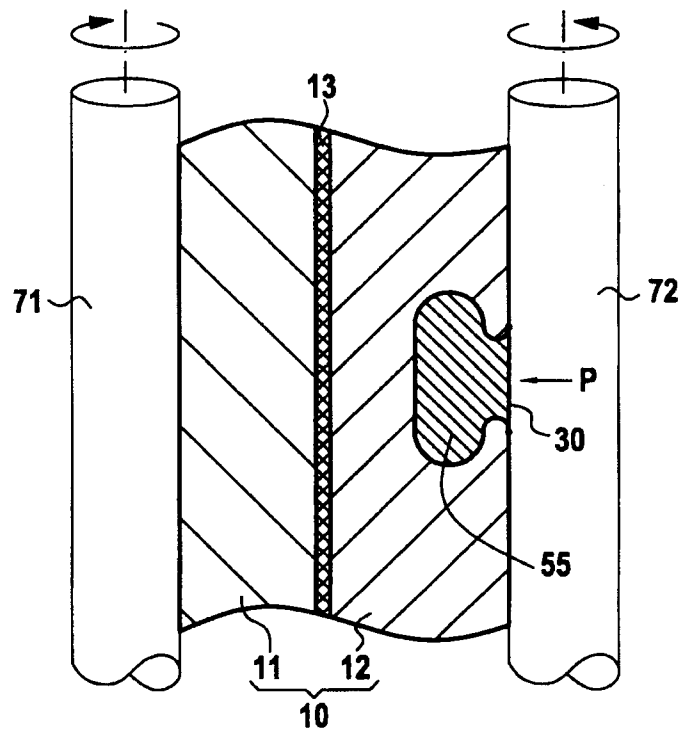


FIG.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2013/052326

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B22F3/18 B22F7/08 F01D25/00
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B22F F01D

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 779 946 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 2 May 2007 (2007-05-02) paragraphs [0018], [0022] figure 4	1-11
A	US 2006/068214 A1 (GIGLIOTTI M F X; HARDWICKE C U; JIANG L; LIPKIN D M; THAMBOO S V) 30 March 2006 (2006-03-30) the whole document	1-11
A	FR 2 935 623 A1 (SNECMA [FR]) 12 March 2010 (2010-03-12) the whole document	1-11
A	EP 2 112 326 A1 (SNECMA [FR]) 28 October 2009 (2009-10-28) the whole document	1-11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "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)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "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
- "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
- "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
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 10 January 2014	Date of mailing of the international search report 17/01/2014
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Forestier, Gilles
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2013/052326

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1779946	A1	02-05-2007	EP 1779946 A1
			US 2007092394 A1

US 2006068214	A1	30-03-2006	CN 1757792 A
			EP 1643011 A1
			JP 2006124830 A
			US 2006068214 A1

FR 2935623	A1	12-03-2010	FR 2935623 A1
			US 2011268566 A1
			WO 2010026181 A1

EP 2112326	A1	28-10-2009	EP 2112326 A1
			FR 2930590 A1
			JP 2009264382 A
			US 2009297331 A1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2013/052326

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B22F3/18 B22F7/08 F01D25/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B22F F01D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 779 946 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 2 mai 2007 (2007-05-02) alinéas [0018], [0022] figure 4	1-11
A	----- US 2006/068214 A1 (GIGLIOTTI M F X; HARDWICKE C U; JIANG L; LIPKIN D M; THAMBOO S V) 30 mars 2006 (2006-03-30) le document en entier	1-11
A	----- FR 2 935 623 A1 (SNECMA [FR]) 12 mars 2010 (2010-03-12) le document en entier	1-11
A	----- EP 2 112 326 A1 (SNECMA [FR]) 28 octobre 2009 (2009-10-28) le document en entier -----	1-11
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "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) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"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 "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 "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 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 10 janvier 2014	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 17/01/2014	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Forestier, Gilles	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2013/052326

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1779946	A1	02-05-2007	EP 1779946 A1	02-05-2007
			US 2007092394 A1	26-04-2007

US 2006068214	A1	30-03-2006	CN 1757792 A	12-04-2006
			EP 1643011 A1	05-04-2006
			JP 2006124830 A	18-05-2006
			US 2006068214 A1	30-03-2006

FR 2935623	A1	12-03-2010	FR 2935623 A1	12-03-2010
			US 2011268566 A1	03-11-2011
			WO 2010026181 A1	11-03-2010

EP 2112326	A1	28-10-2009	EP 2112326 A1	28-10-2009
			FR 2930590 A1	30-10-2009
			JP 2009264382 A	12-11-2009
			US 2009297331 A1	03-12-2009
