

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 134 824

21 N° d'enregistrement national : 22 03827

51 Int Cl⁸ : C 23 C 4/02 (2022.01), C 23 C 4/06, 4/129, 4/18,
B 32 B 15/00, G 01 B 21/30

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.04.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.10.23 Bulletin 23/43.

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 LANDING SYSTEMS
Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

72 Inventeur(s) : MONERIE-MOULIN Francis et
ARNOUX Mathilde.

73 Titulaire(s) : SAFRAN LANDING SYSTEMS Société
par actions simplifiée à associé unique.

74 Mandataire(s) : Cabinet CAMUS LEBKIRI.

54 Procédé de fabrication d'une pièce comportant un substrat métallique recouvert d'une couche de protection et une pièce fabriquée selon ce procédé.

57 Procédé de fabrication d'une pièce comportant un substrat métallique recouvert d'une couche de protection et une pièce fabriquée selon ce procédé

Un aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce (1) comportant un substrat métallique (Sub) au moins partiellement recouvert d'une couche de protection fini (Rf), comprenant des étapes de:

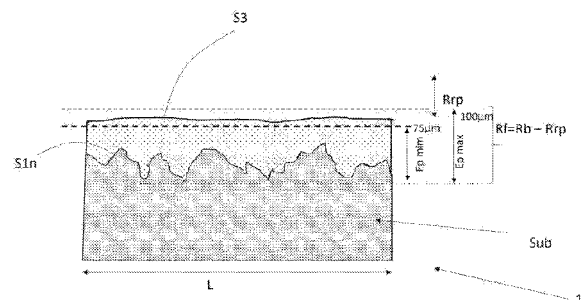
une première étape de préparation (A) d'une surface initiale en une surface brute, sans sablage, comprenant une sous étape de grenailage d'une surface initiale du substrat pour obtenir une rugosité de la surface brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface Rt comprise entre 10 µm et 15 µm et une sous étape de nettoyage de la surface brute (Sub),

une deuxième étape de formation (B), par projection d'un mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique submicroniques selon un procédé de projection thermique de type HVOF, sur la surface brute nettoyée (S2), d'une couche de revêtement brute (Rb), jusqu'à une épaisseur comprise entre 95µm et 120µm,

une troisième étape de finition par polissage (D) sur la surface de ladite couche de revêtement brute (S2) constituée à partir du mélange pulvérulent de manière à former la

couche de protection fini (Rf) ayant une épaisseur comprise entre 75 µm et 100 µm, formant une surface polie (S3) ayant une rugosité inférieure à 0.2µm.

Figure à publier avec l'abrégié : Figure 1c



FR 3 134 824 - A1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une pièce comportant un substrat métallique recouvert d'une couche de protection et une pièce fabriquée selon ce procédé

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- [0001] Le domaine technique de l'invention est celui de procédé de fabrication de pièces, telles que des pièces d'aéronautique, comportant un substrat au moins partiellement revêtu d'une couche de protection protégeant ce substrat.
- [0002] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce comportant un substrat métallique au moins partiellement recouvert d'une couche de protection et une pièce fabriquée selon ce procédé.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

- [0003] On connaît par exemple des procédés de fabrication de pièces comportant l'application sur un substrat métallique, via un bain métallique, d'une couche de revêtement chrome dur, servant à la fois à protéger ce substrat et à lui conférer une rugosité fonctionnelle.
- [0004] Il est connu de réaliser la couche de revêtement chrome dur dans une cellule électrolytique en présence d'acide chromique à base de chrome hexavalent (Cr(VI)). Le chrome hexavalent est nuisible pour l'homme et l'environnement, et est classé CMR (Cancérogène, Mutagène et nuisible pour la Reproduction).
- [0005] On cherche donc à supprimer l'usage du chrome hexavalent qui est nocif pour la santé et l'environnement.
- [0006] Il est connu notamment du document EP2956564 B1 ou du document FR3002239 de la même famille de brevets, un procédé de fabrication d'une pièce ayant une couche de revêtement par projection thermique de type HVOF (de l'anglais : High Velocity Oxygen Fuel) sur un substrat comprenant une épaisseur entre 30µm et 50µm. Ce procédé comprend une première étape de préparation de la surface à recouvrir du substrat par sablage, de manière à augmenter sa rugosité de surface Ra de l'ordre de 0.6 à 1.6µm. Le procédé comprend ensuite une étape de formation de la couche de revêtement par projection de type HVOF, d'un mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique de type WC et d'un liant de ce carbure en Co et Cr sur le substrat préparé. Ces grains de carbures ont des dimensions strictement inférieures à 1µm et préférentiellement de l'ordre de 450nm +/- 50nm et l'épaisseur de la couche de revêtement fini ainsi formée est inférieure à 50µm. Ensuite, le procédé comprend une étape de finition de la surface par polissage de ladite couche de revêtement de manière à assurer que sa rugosité Ra soit inférieure à 1.6µm .de manière à obtenir le di-

mensionnel et état de surface requis au plan. Ces dépôts permettent d'avoir une résistance à la corrosion d'environ 500h en brouillard salin et une réduction du risque de rupture / décrochage de la couche formée sur le substrat. Cependant cette solution est insuffisante car il nécessite dans le domaine de l'aviation un besoin d'une amélioration d'une résistance à la corrosion tout en ayant une résistance à l'écaillage par rapport à cet art antérieur. En effet, le test de corrosion dans le domaine de l'aviation actuellement est de 1000 heures en brouillard salin, et il a été démontré que la résistance à la corrosion n'était pas systématique, notamment sur un substrat cylindrique.

[0007] En outre l'étape de sablage dans cette solution est coûteuse et a un impact sur l'environnement. L'étape de sablage permet d'augmenter la rugosité du substrat et par conséquent augmente le profil de rugosité de la surface R_t ($R_t > 20\mu\text{m}$). La hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t correspond à la somme d'une hauteur Z_p de la plus grande pointe de profil et d'une profondeur Z_v de la plus grande vallée du profil, à l'intérieur d'une section d'une longueur L de mesure par rapport à une ligne moyenne du profil. Autrement dit le plus grand écart entre la pointe la plus haute et le creux le plus profond.

[0008] En outre dans ce document, il est décrit que préalablement il était connu de déposer une couche de revêtement, obtenue avec des grains de plusieurs micromètres, ayant une épaisseur supérieure à $75\mu\text{m}$ et de la rectifier ensuite (enlevant au moins $50\mu\text{m}$ pour la rectification).

[0009] Il existe un besoin de diminuer le coût de fabrication de ce procédé tout en gardant une tenue à la corrosion notamment pour des épaisseurs de revêtement de faibles épaisseurs ($<100\mu\text{m}$) à l'état fini de ce procédé de fabrication.

[0010] L'invention présentée ici porte donc sur l'amélioration de ce procédé de réalisation des dépôts par HVOF.

Résumé de l'invention

[0011] Il a été constaté en interne, sans publication, qu'en imprégnant une couche de revêtement avant d'être polie via un imprégnant organique, la couche de revêtement pouvait avoir une épaisseur finie inférieure à $80\mu\text{m}$ tout en respectant les critères de tenue à la corrosion et d'écaillage en s'abstenant de l'étape de sablage.

[0012] Il a aussi été constaté en interne, sans publication, qu'en appliquant une couche de revêtement comme dans le document EP2956564 mais avec une épaisseur finie de $55\mu\text{m}$, il y avait toujours un problème de corrosion au test de corrosion sur 1000 heures.

[0013] Cependant cette étape d'imprégnation est une étape additionnelle et donc une contrainte en terme de coût et temps, ainsi que d'un point de vue santé, sécurité et environnement.

[0014] L'invention offre une solution améliorant le procédé décrit dans le document

EP2956564 B1, puisqu'elle s'affranchi d'une étape de sablage de la surface avant le revêtement par projection thermique et sans ajouter d'étape d'imprégnation tout en ayant une résistance à la corrosion supérieure en réussissant le test de corrosion de 1000 heures.

[0015] Un aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce comportant un substrat métallique au moins partiellement recouvert d'une couche de protection finie, le procédé comprenant successivement :

- une première étape de préparation dépourvue de modification de la surface par sablage, comprenant une sous étape de grenailage d'une surface initiale pour obtenir une rugosité de la surface brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t comprise entre $10\ \mu\text{m}$ et $15\ \mu\text{m}$ et une sous étape de nettoyage de la surface brute du substrat brut,
- une deuxième étape de formation par projection d'un mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique submicroniques selon un procédé de projection thermique de type HVOF à haute pression liquide, sur la surface brute nettoyée ayant sa rugosité préparée, d'une couche de revêtement brute d'une épaisseur comprise entre $95\ \mu\text{m}$ et $125\ \mu\text{m}$
- une troisième étape de finition par polissage sur la surface de ladite couche de revêtement brute constituée à partir du mélange pulvérulent de manière à former la couche de protection fini formant une surface polie ayant une rugosité R_a inférieure à $0.2\ \mu\text{m}$, la couche de protection finie ayant une épaisseur comprise entre $75\ \mu\text{m}$ et $100\ \mu\text{m}$.

[0016] De façon étonnante, en déposant une couche de protection finie supérieure à $75\ \mu\text{m}$, sans ajouter d'imprégnation, sur une surface brute nettoyée (préparée) du substrat une rugosité de la surface brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t comprise entre $10\ \mu\text{m}$ et $15\ \mu\text{m}$ par grenailage seulement lors de la préparation, la couche de revêtement finie supérieure à $75\ \mu\text{m}$ s'accroche et ne se décolle pas (contrairement à l'art antérieur du document FR3002239 impliquant une étape de sablage sur le substrat et une couche de plus petite épaisseur). Autrement dit, l'invention est dépourvue d'étape de sablage mais comporte une étape de grenailage. Le grenailage est une technique consistant à projeter de la grenaille métallique sur la surface d'un objet pour réaliser un traitement des surfaces, qui a pour but d'améliorer l'aspect de la pièce. Le grenailage permet en outre de refermer de microscopiques fissures (invisibles à l'œil nu) qui provoquent, à l'usage, des défauts d'étanchéité dus à la pression interne. C'est une garantie supplémentaire contre la corrosion. Le grenailage, connu pour modifier la structure superficielle et donc l'aspect de l'objet ou de la pièce, permet d'obtenir une rugosité de surface plus importante (R_a ayant une valeur plus faible) et permet d'obtenir une hauteur globale de profil de rugosité de la surface

Rt plus petite (ici entre 10 μm et 15 μm) que par une étape de sablage (Rt > 20 μm) connue pour éliminer les impuretés afin d'être compatible avec l'accroche d'un revêtement ou d'une peinture poudre ou liquide. Ainsi, il est surprenant que l'utilisation seulement du grenailage à la place ou sans sablage pour y ajouter une couche de revêtement permet d'avoir une couche de revêtement plus épaisse (couche finie supérieure à 75 μm) qui s'accroche et ne se décolle pas. En outre comme la couche est plus épaisse, cela permet d'améliorer contre la corrosion et ainsi permet de résister au test de corrosion de 1000 heures.

- [0017] Par surface initiale du substrat, on entend une surface sans modification de rugosité à la sortie de fabrication du substrat, que ce soit par moulage ou usinage (c'est-à-dire que la surface initiale n'a pas subi de traitement par exemple de sablage).
- [0018] Par surface brute nettoyée, on entend la surface initiale qui a subi l'étape de préparation c'est-à-dire le grenailage de la surface initiale et le nettoyage.
- [0019] Par surface préparée, on entend ainsi dans la suite de description la surface brute nettoyée (préparation par grenailage de précontrainte selon PCS-2300 sur la surface initiale pour aboutir à Ra compris entre 0.6 et 1.6 μm et nettoyage).
- [0020] Par couche de revêtement brute constituée à partir du mélange pulvérulent, on entend que la couche est uniquement constituée à 100% de matière provenant du mélange pulvérulent et donc ne comporte pas d'ajout de matière tel qu'un imprégnant organique.
- [0021] Par carbure métallique submicroniques on entend que les grains de carbure métallique ont chacun une dimension strictement inférieure à 1 μm (carbures submicroniques).
- [0022] Par procédé thermique HVOF on entend, le procédé thermique connu sous l'appellation anglaise (High Velocity Oxygen-Fuel) qui est un procédé thermique à carburant liquide (kérosène) à haute vitesse.
- [0023] L'invention permet d'avoir un substrat ayant une optimisation de l'épaisseur de la couche de revêtement brute sans augmenter la rugosité de la surface du substrat par sablage tout en améliorant la résistance à la corrosion. Cela permet ainsi d'optimiser la quantité de mélange pulvérulent sans besoin d'avoir une étape de modification de rugosité ni d'étape d'imprégnation avec un imprégnant organique tout en améliorant le niveau de résistance à la corrosion par rapport aux solutions de l'art antérieur. Autrement dit la solution permet de se dispenser d'étapes supplémentaires couteuse que ce soit la préparation du substrat par sablage directement sur une surface initiale ou après une étape de grenailage sur la surface initiale ou encore d'imprégnation.
- [0024] L'épaisseur brute comprise entre 95 μm et 120 μm est due notamment à une tolérance de fabrication par le procédé de projection thermique à carburant liquide (kérosène) à haute vitesse de type HVOF mais aussi liée à la quantité de retrait nécessaire lors du polissage pour obtenir une surface finie ayant une rugosité Ra < 0.2 μm ainsi qu'une

tolérance de fabrication pour le montage de pièces. Sachant que l'intérêt est d'utiliser le moins possible des grains de carbure métallique submicroniques pour l'environnement et pour des raisons de coûts, tout en ayant une bonne résistance à la corrosion, la demanderesse a remarqué de façon surprenante et inattendue, qu'en ajoutant 25 μm d'épaisseur fini de la surface polie selon le procédé de l'invention (sans sablage) (correspondant à l'épaisseur de couche de revêtement comprise entre 75 μm et 100 μm avec une surface polie ayant une rugosité Ra inférieure de 0.2 μm) par rapport à la solution du brevet FR3002239 ainsi que celle mentionnée dans son art antérieur, permet de passer des tests salin de 1000 heures, soit de doubler la résistance à la corrosion par rapport à la solution du brevet FR3002239 ainsi que celle mentionnée dans son art antérieur.

[0025] L'étape de projection selon l'invention dépose une épaisseur de couche égale au dimensionnement selon une cote souhaitée plus une surcote retirée par polissage. En effet, l'étape de finition de la couche de revêtement par polissage permet d'enlever une épaisseur strictement inférieure à 30 μm (notamment entre 20 et 25 μm) alors qu'une rectification enlève au minimum 50 μm pour tenir compte de la rugosité mais également des défauts géométriques de la pièce. Ainsi l'épaisseur de couche de revêtement brute permet après une étape de polissage, en enlevant au maximum 30 μm d'épaisseur de couche de revêtement d'obtenir cette épaisseur comprise entre 75 μm et 100 μm et une rugosité inférieure à 0.2 μm . Bien entendu, on adaptera le dimensionnement et la tolérance de fabrication du substrat brute selon la tolérance de fabrication de la pièce fini (tolérance substrat + tolérance couche de protection finie).

[0026] En conclusion, de façon surprenante, et contrairement à ce qui est indiqué dans le document FR3002239, il est possible d'avoir une épaisseur de couche de revêtement au-delà de 75 μm , tout en s'affranchissant de l'étape de sablage (le sablage ayant une rugosité dont la hauteur globale de profil de rugosité Rt de la surface brute est supérieure à 20 μm). Le fait d'avoir une rugosité finale inférieure à 0.2 μm , et une couche formée avec des grains de carbure métallique submicroniques, ayant une épaisseur finie comprise entre 75 μm et 100 μm , permet également de s'affranchir des problèmes de décollement du revêtement déposé. En outre en ajoutant soit uniquement 25 à 50 μm de plus de couche de revêtement que dans le document FR3002239 on double la résistance à la corrosion

[0027] En outre, dans l'art antérieur, il était nécessaire de préparer la surface initiale ou brute (après grenailage) du substrat par sablage pour augmenter la rugosité de la surface et ainsi augmenter la surface d'accroche de la couche de revêtement. Ici, grâce à l'invention, la couche de protection étant compacte, il a été constaté que le niveau d'accroche mécanique de la couche de protection sur la surface brute nettoyée du substrat à revêtir est suffisant sans augmenter le risque de décollement. Ainsi

l'invention permet à un tel substrat de nettoyer seulement sa surface brute comprenant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface Rt comprise entre 10 μm et 15 μm et non de modifier sa surface comme dans l'art antérieur, par sablage.

- [0028] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, le procédé selon un aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0029] Selon un mode de réalisation, le carburant liquide est du kérosène.
- [0030] Selon un mode de réalisation, le procédé de projection thermique de type HVOF est à haute pression. Ce type d'HVOF permet d'avoir des vitesses de particules plus importantes, ce qui permet d'assurer un bon accrochage des particules de petites tailles sur le substrat.
- [0031] Selon un mode de réalisation le procédé de fabrication d'une pièce comprend une pré étape de fabrication du substrat, avant l'étape de préparation consistant à l'usinage d'un substrat formant une surface initiale.
- [0032] Selon un autre mode de réalisation le procédé de fabrication d'une pièce comprend une pré étape de fabrication du substrat, avant l'étape de préparation, comprenant le démoulage d'un substrat formant une surface initiale.
- [0033] Selon un mode de réalisation, le procédé est constitué d'une pré-étape de fabrication du substrat et successivement la première étape, la deuxième étape et la troisième étape.
- [0034] Par constitué de la pré étape et des trois étapes successives mentionnées préalablement on entend sans autres étapes, c'est-à-dire sans étape de rectification, ou de sablage, ou d'ajout de matière dans la couche, par exemple sans imprégnation d'imprégnant organique.
- [0035] Selon un mode de réalisation, la sous étape de nettoyage du substrat permet d'obtenir une surface brute exempte de souillures ou de graisse. La sous étape de nettoyage, peut être un dégraissage simplifiant et diminuant le coût, le temps, d'un tel procédé. L'étape de préparation permet d'améliorer l'accrochage des grains submicroniques pour former la couche de dépôt de revêtement brute.
- [0036] Selon un exemple du mode de réalisation précédent, la sous étape de nettoyage est uniquement une étape de dégraissage pour obtenir une surface brute dégraissée et en ce que l'étape de préparation est constituée uniquement de la sous étape de grenailage et de la sous étape de nettoyage. permet d'améliorer l'accrochage des grains submicroniques pour former la couche de dépôt de revêtement.
- [0037] Selon un mode de réalisation, les grains de carbure métallique ont chacun une dimension strictement inférieure à 1 μm (carbures submicroniques) et sont majoritairement de l'ordre de 400 à 800nm en granulométrie moyenne. Les grains de cette

dimension permettent de réaliser par le procédé de projection de type HVOF, une couche de revêtement compacte tout en s'accrochant à une surface d'un substrat ayant une rugosité préparée comprise entre 0.6 et 1.6 μ m. En outre le fait de polir la surface de la couche de revêtement formée par des grains de cette dimension dont le dépôt brut de projection a une rugosité Ra~ 3-5 μ m jusqu'à une rugosité de 0.2 μ m permet de résister à la corrosion. En outre, cela permet une réduction du temps de projection nécessaire à la réalisation de la couche de protection finie et ainsi une réduction de la masse de la couche de revêtement brute ainsi formée.

- [0038] En outre l'épaisseur de la couche de revêtement à une tenue aux décollements sous sollicitations (appelés aussi « spalling ») nettement supérieure aux besoins dans le domaine de l'invention et le fait de ne pas avoir une épaisseur au-delà de 100 μ m diminue les efforts transmis par l'interface revêtement-substrat.
- [0039] Un autre aspect de l'invention concerne une pièce comprenant un substrat métallique et une couche de protection finie, obtenue selon le procédé de fabrication du premier aspect de l'invention avec ou sans les différentes caractéristiques décrites dans les paragraphes précédents.
- [0040] Un autre aspect de l'invention concerne une pièce comprenant un substrat métallique et une couche de protection finie constituée de mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique submicroniques déposés selon un procédé de projection de type HVOF, la couche de protection finie étant déposée sur une surface brute du substrat ayant une rugosité préparée par un grenailage pour obtenir une surface brute ayant une rugosité préparée Ra comprise entre 0.6 et 1.6 μ m, et comprenant une surface polie ayant une rugosité inférieure à 0.2 μ m.
- [0041] Une telle pièce a un coût de production inférieur à une pièce selon le procédé décrit dans le document EP2956564 B1 tout en ayant une meilleure résistance à la corrosion.
- [0042] Selon un mode de réalisation, la surface polie est destinée à être soumise à du fretting et/ou du tourillonnement. (par tourillonnement on entend les forces soumises à une partie cylindrique d'un axe, généralement son extrémité, pivotant dans ou sur une pièce qui la maintient (chape, coussinet, flasque, palier)).
- [0043] Selon un exemple de ce mode de réalisation, la pièce est un axe d'articulation ou un essieu dans le domaine aéronautique.
- [0044] Selon un mode de réalisation, la surface polie est destinée à être soumise à des fonctions de tourillonnement (par exemple un essieu) ainsi que d'étanchéité dynamique (par exemple une tige coulissante).
- [0045] Selon un mode de réalisation, la surface polie est destinée à être soumise aux zones d'étanchéité statique et/ou dynamique. Par exemple la pièce est une tige coulissante.
- [0046] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0047] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0048] [Fig.1a] représente une représentation schématique d'une coupe d'une pièce comprenant un substrat ayant une surface brute.
- [0049] [Fig.1b] représente une représentation schématique d'une coupe d'une pièce comprenant une couche de revêtement brute sur une surface brute nettoyée et préparée du substrat.
- [0050] [Fig.1c] représente une représentation schématique d'une coupe d'une pièce comprenant une couche de protection finie sur le substrat.
- [0051] [Fig.2] montre une représentation schématique du procédé de fabrication.
- [0052] [Fig.3] montre schématiquement un échantillon ayant subi un test de corrosion en atmosphère saline comprenant une surface polie selon l'invention et une surface de protection polie selon l'art antérieur.

DESCRIPTION DETAILLEE

- [0053] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0054] Comme indiqué précédemment le procédé de fabrication selon l'invention est préférentiellement utilisé pour produire une pièce 1 dont un agrandissement d'une coupe est représenté schématiquement sur la [Fig.1c].
- [0055] En particulier la pièce 1 est d'usage dans le domaine aéronautique.
- [0056] La pièce 1 en coupe représentée sur la [Fig.1c] comprend un substrat métallique Sub représenté partiellement et une couche de protection finie Rf comprenant une surface polie S3.
- [0057] La [Fig.2] représente un logigramme d'un procédé de fabrication de la pièce 1.
- [0058] La pièce 1 est généralement réalisée par usinage pour présenter au moins une portion d'une surface cylindrique dans le cas d'une tige, qui peut être un axe d'articulation, un essieu ou encore une tige coulissante d'un atterrisseur. Cette portion cylindrique est dans la suite appelée le substrat Sub. La couche de protection finie Rf est donc annulaire et en l'occurrence destinée à fonctionner dans des zones d'étanchéité statique et/ou dynamique. Par exemple, la couche de protection finie Rf est destinée à subir des frottements de joints pour permettre le coulissement de la tige par rapport à un fût de l'atterrisseur ou encore est destinée à être soumise à du fretting et/ou du tou-rillonnement par exemple pour un axe d'articulation ou un essieu.
- [0059] La couche de protection finie Rf doit permettre à la fois une protection contre la corrosion de la pièce, une étanchéité entre la surface polie S3 de la couche de protection finie Rf et une autre pièce par exemple le fût pour limiter le risque de fuites de fluide hydraulique, une tenue à l'usure sous une pression, et une tenue au « spalling » appelée aussi essais d'écaillage avec une alternance de mouvement de

traction et compression avec un rapport de charge de $R=-1$.

- [0060] On note que le substrat Sub est un alliage métallique de type acier ou titane.
- [0061] Dans l'exemple qui suit, on recherche une fabrication d'une pièce 1 finie ayant un cylindre de diamètre 13mm dont la tolérance de fabrication total (substrat + finition par polissage) est de + ou - 0.4 μm .
- [0062] La fabrication du substrat Sub est ici par exemple un usinage par tour pour obtenir un diamètre de 12,82mm ayant une tolérance de fabrication
- [0063] Comme on le voit à la [Fig.2], le procédé de fabrication de la pièce 1 comprend une étape préparation A d'une surface initiale brute S1 du substrat Sub, pour obtenir une surface initiale brute préparée S1n à recouvrir par la couche de protection fini rf. La [Fig.1a] représente une coupe du substrat Sub comprenant sa surface initiale brute S1 et la surface brute préparée S1n est référencée sur la [Fig.1c] ainsi que sur une [Fig.1b] représentant la pièce 1 comprenant la surface brute préparée S1n recouverte d'une couche de revêtement brute Rb. L'étape de préparation A comprend en l'occurrence, dans cet exemple, une sous étape de dégraissage et une sous étape de grenailage. L'étape de préparation A modifie donc la rugosité de la surface initiale en une surface brute S1 du substrat par le grenailage qui ensuite est nettoyée. La surface brute nettoyée S1n n'a donc pas subie un sablage ou un ponçage.
- [0064] La sous étape de grenailage de la surface initiale permet d'obtenir une surface brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t représentée sur la [Fig.1a], compris entre 10 μm et 15 μm contrairement à un sablage qui engendre une rugosité dont la hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t est supérieure à 20 μm . Un tel grenailage permet aussi d'obtenir une rugosité préparée R_a comprise entre 0.6 et 1.6 μm .
- [0065] En l'occurrence, dans cet exemple, la sous étape de nettoyage est uniquement un dégraissage de la surface initiale brute S1 du substrat formant une surface brute S1n nettoyée ayant une rugosité R_a identique à celle de la surface brute S1 par exemple 1.6 μm . La rugosité d'une surface peut par exemple être mesurée selon les normes ISA3274-1997, ISO 4287-1997, ISO 4288-1996, ISO 11562.
- [0066] Le procédé de fabrication de la pièce 1 comprend après l'étape de préparation A, une étape de formation B d'une couche de revêtement brute Rb, sur la surface brute nettoyée (préparée) S1n, en l'occurrence dégraissée, du substrat Sub, par projection de type HVOF, d'un mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique sub-microniques. La [Fig.1b] représente une coupe de la pièce 1 comprenant le substrat sub et la couche de revêtement brute Rb déposée sur la surface nettoyée S1n. La couche de revêtement brute Rb comprend une surface de revêtement brute S2 visible sur cette [Fig.1b].
- [0067] En particulier, dans cet exemple les grains ont des dimensions strictement inférieures

à 1 μ m et l'épaisseur E_{pmax} de la couche de revêtement brute Rb ainsi formée est compris entre 95 et 120 μ m, par exemple dans cette exemple l'épaisseur est comprise entre 100 et 110 μ m. L'épaisseur de la couche de revêtement brute Rb est variable selon les tolérances de fabrication de la couche de revêtement et permet ainsi à une étape de finition par polissage C, d'écrite ensuite, de ne pas retirer plus de 30 μ m d'épaisseur de couche de revêtement retirée, en l'occurrence maximum 22 μ m. Ce mélange pulvérulent contient des grains de carbure métallique enrobés dans un liant, en l'occurrence du carbure de tungstène WC enrobés dans du cobalt Co et du Chrome Cr. Le cobalt Co sert de liant et le chrome Cr sert de protection contre l'oxydation.

[0068] Dans cet exemple, ce mélange pulvérulent se présente sous la forme d'agglomérats / agrégats dont les particules de poudre sont de l'ordre de 20-30 μ m et dont le dépôt par le procédé HVOF forme un empilement de particules de poudres céramiques à matrice métallique à l'état fondu. Ces particules de poudres céramiques ont une taille strictement inférieure à 1 μ m pour former une couche de revêtement maximale inférieure à 120 μ m, et supérieure à 95 μ m. Les agglomérats sont généralement réalisés par frittage pour créer des pontages entre le carbure et le matériau liant. Ce frittage est généralement réalisé avec un four pour fondre le liant sans décarburer les grains de carbure métallique.

[0069] Idéalement, les grains de carbure métallique WC présents dans ce mélange pulvérulent sont calibrés pour avoir une taille strictement inférieure à 1 μ m, et préférentiellement de l'ordre de 400 à 800nm en granulométrie moyenne.

[0070] On note que la présente invention peut être mise en œuvre avec d'autres types de compositions chimiques contenant au moins un carbure métallique et au moins un liant. Parmi des exemples de compositions possibles, on peut avoir du WCCo pouvant se présenter sous forme d'un mélange de 83% de WC et de 17% de Co ou sous forme d'un mélange de 88% de WC et de 12% de Co ou du WCCoCr.

[0071] Comme la couche de revêtement brute Rb, et que les agglomérats / agrégats de poudre ont une faible granulométrie, la rugosité résultante à la surface de revêtement brute S2 de la couche de revêtement brute Rb dans cet exemple est de l'ordre de 3 μ m immédiatement après projection.

[0072] Le procédé de fabrication de la pièce 1 comprend directement après l'étape de formation B, une troisième étape de finition par polissage de la surface de revêtement brute S2 pour former la surface polie S3 ayant une rugosité Ra inférieure à 0.2 μ m jusqu'à obtenir une pièce 1 ayant le diamètre voulu par exemple de 13mm, soit un rayon de 6.5mm. La couche de protection finie Rf a une épaisseur comprise entre 75 μ m et 100 μ m. Ici dans cet exemple, l'épaisseur de la couche de protection finie Rf est comprise entre 88 et 92 μ m due à la tolérance de la fabrication du substrat Sub et à la tolérance de l'étape de finition par polissage.

- [0073] La troisième étape de finition par polissage est donc formée sur la surface de revêtement brute S2, retirant une partie Rrp de la couche de revêtement brute Rb formant ainsi la couche de protection finie Rf ayant une épaisseur comprise entre 88 et 92 μm .
- [0074] La surface de revêtement brute Rb est poreuse en comprenant dans cet exemple (suivant le type de poudre) des pores ayant des diamètres compris entre 0.3 μm et 0.04 μm et à 80% majoritairement compris entre 0.25 et 0.1 μm . Le diamètre médian de pores est de 0.2 μm par pore, dont la porosité est de 0.04 mL/g.
- [0075] Comme précisé précédemment, la couche de revêtement brute Rb possède une rugosité Ra de la surface S2, ici Ra de S2 = 3 μm du même ordre de grandeur que la rugosité Ra de la surface S1, ici dans cet exemple de 2 μm . La troisième étape de finition par polissage C de la surface brute S2 permet d'assurer que la rugosité Ra de la surface polie S3 polie de la couche de protection finie Rf soit inférieure à 0.2 μm . Le polissage peut par exemple être réalisé à la bande diamantée.
- [0076] L'étape de polissage de la couche de revêtement brute Rb réduit l'épaisseur de cette couche jusqu'à obtenir une dimension de la pièce, ici un cylindre de diamètre 13mm dont la tolérance de fabrication est de + ou - 0.4 μm . En l'occurrence, l'étape de polissage réduit l'épaisseur de la couche de revêtement brute Rb en supprimant une partie Rrp de la couche de revêtement brute ayant une épaisseur entre 12 et 18 μm . La couche de protection finie Rf a ainsi dans cet exemple une épaisseur inférieure comprise entre 88 et 92 μm en ayant une rugosité Ra de 0.2 μm permettant ainsi d'obtenir un diamètre de la pièce de 13mm (substrat : 12,82mm ayant une tolérance de + ou - 4 μm + (2 fois (rayons) l'épaisseur de la couche de revêtement 88 et 92 μm) + ou - 0.4 μm .
- [0077] Le polissage de la surface brute S2 en retirant une épaisseur d'une partie Rrp de la couche de revêtement brute Rb jusqu'à former la couche protection finie Rf jusqu'à l'obtention d'une rugosité Ra inférieure à 0.2 μm ayant ainsi à la surface polie S3 d'être soumise aux zones d'étanchéité statique et/ou dynamique tout en ayant une résistance à la corrosion.
- [0078] Il est à noter que traditionnellement, une étape de rectification de la couche de revêtement est requise pour obtenir une géométrie de couche et un état de surface de couche donné. Or, la rectification d'une couche annulaire formée sur une portion cylindrique droite, impose de prévoir une épaisseur de couche importante pour garantir qu'après rectification, une épaisseur minimale de couche est maintenue sur le substrat.
- [0079] En supprimant l'étape de rectification de la couche annulaire, le procédé selon l'invention permet d'obtenir directement l'épaisseur de couche souhaitée sans avoir à rectifier la couche de revêtement de la pièce, éliminant ainsi le risque d'apparition de défauts de rectification (La rectification d'une couche annulaire cylindrique conduit fréquemment, du fait des incertitudes de positionnement de la pièce sur la rectifieuse, à

l'apparition de zones de couche trop minces, difficilement détectables et susceptibles de favoriser une corrosion prématurée du substrat). L'invention permet de supprimer ce risque d'avoir une couche localement trop mince non détectable.

- [0080] La [Fig.3] représente schématiquement une éprouvette 2 comprenant à gauche une surface polie S3 de la couche de protection finie rf formée comme la pièce 1 selon le procédé de l'invention, et à droite une surface de la couche de revêtement S4 comprenant une épaisseur maximum de 50 μm avec une rugosité Ra de 1.6 μm .
- [0081] L'éprouvette 2 a été testée à la résistance à la corrosion, le test réalisé est sous atmosphère saline (brouillard salin) selon ASTM B117.
- [0082] L'éprouvette 2' et 2'' correspond à l'éprouvette 2 après 1000h sous atmosphère saline.
- [0083] On peut voir ainsi, que la surface S3 de la partie selon l'invention avec une épaisseur de dépôt minimum de 75 μm de l'éprouvette 2 ne présente aucune trace de piqûre (partie gauche) même après 1 000h d'exposition au brouillard salin. Alors que la surface S4 ayant une faible épaisseur de couche de revêtement (partie droite) est attaquée: d'abord avec des traces de piqûres 9 puis avec un développement généralisé de la corrosion 90.
- [0084] En outre un test de tenue à l'usure a été réalisée sur une pièce 1 obtenue avec le procédé de l'invention présentant une zone cylindrique de diamètre de 10mm comprenant la surface S3 et sur laquelle est montée une bague en bronze (AMS4590), avec présence d'une graisse. Le test à l'usure comprend une première phase de 500 cycles d'une pression de la bague sur la surface S3 sous 50MPa puis une deuxième phase de 500 cycles sous 100MPa et une dernière phase avec 4 000 cycles sous 200MPa, et une fréquence de 0.1Hz. Le coefficient de frottement et le taux d'usure (mesure du diamètre externe de l'axe et du diamètre interne de la bague) sont relevés tous les 500 cycles, et à chaque fois la graisse est renouvelée. Le test a montré que la pièce 1 obtenue avec le procédé de l'invention comprend un niveau de performance de tenue à l'usure semblable par rapport à celui réalisé selon le procédé du document EP2956564 B1.
- [0085] Le procédé de fabrication de l'invention permet donc d'obtenir une pièce moins chère que selon le procédé du document EP2956564 B1 tout en comportant un substrat métallique Sub au moins partiellement recouvert d'une couche de protection finie rf ayant une tenue à l'usure semblable et une meilleure tenue à la corrosion.
- [0086] En outre, de manière surprenante, en partant d'un substrat ayant été uniquement nettoyé sans modifier sa rugosité par sablage à l'étape de préparation contrairement au substrat ayant subi à l'étape de préparation par une étape de sablage ou de ponçage dans le document EP2956564 B1, on constate que dans l'invention la couche de protection permet de rester accrocher à la surface brute ayant une rugosité de la surface

brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface R_t comprise entre 10 μm et 15 μm . En outre du fait de l'épaisseur augmentée de la couche de revêtement, le substrat fini de l'invention résiste mieux à la corrosion que ne le ferait la couche de revêtement de ce document EP2956564 B1, c'est-à-dire d'une épaisseur inférieure à 50 μm avec une rugosité R_a de 1.6 μm .

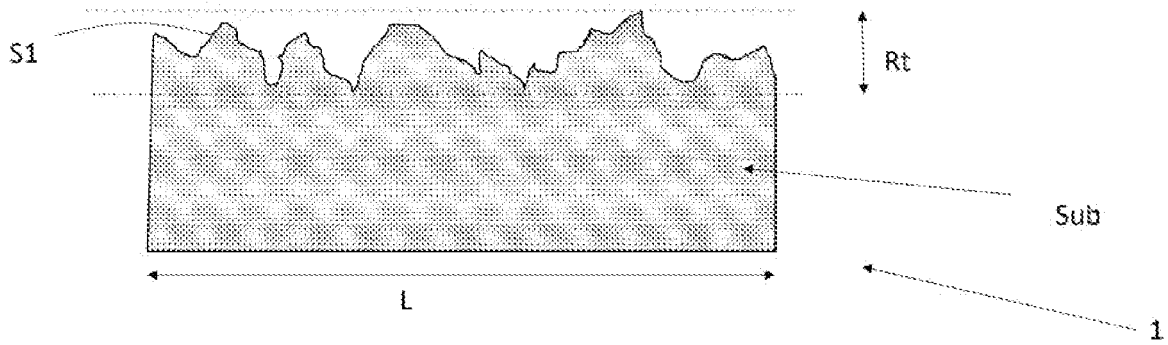
- [0087] En outre, un test d'écaillage, appelé aussi de tenue au « spalling », c'est-à-dire pas de perte d'adhérence entre le dépôt de la couche de protection finie R_f et le substrat Sub d'une éprouvette, ont été réalisés, avec une alternance de mouvement de traction et compression avec un rapport de charge de $R=-1$, sur des échantillons avec une couche de protection finie r_f d'épaisseur de 100 μm à l'état fini. Le test a montré qu'une pièce comportant un substrat métallique Sub au moins partiellement recouvert d'une couche de protection finie R_f obtenue selon le procédé de fabrication de l'invention comporte une tenue au « spalling » sous 1140MPa, 1250MPa et 1300MPa pour 100 μm d'épaisseur.
- [0088] Enfin, sur le même principe que le test d'écaillage, des essais de fatigue ont été réalisés sur une pièce 1 obtenue avec le procédé de l'invention. Ces essais consistent en une alternance de mouvements de traction et compression sous un rapport de charge $R=0.1$. Les résultats obtenus ont montré que l'abattement défini dans le passé pour ce type de dépôt/essais est toujours respecté dans le domaine de l'aéronautique.
- [0089] Grâce à toutes ces caractéristiques le procédé de l'invention permet d'obtenir une pièce finie plus légère, moins couteuse et d'au moins un même niveau de performance tout en conservant intacte les caractéristiques nécessaires à une bonne étanchéité entre la pièce 1 et une autre pièce.
- [0090] Il est à noter que les grains de carbure utilisés peuvent être dans un autre type de carbure métallique que le carbure de tungstène et les matériaux liants peuvent être en d'autres matières que le Chrome et le Cobalt.
- [0091] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

Revendications

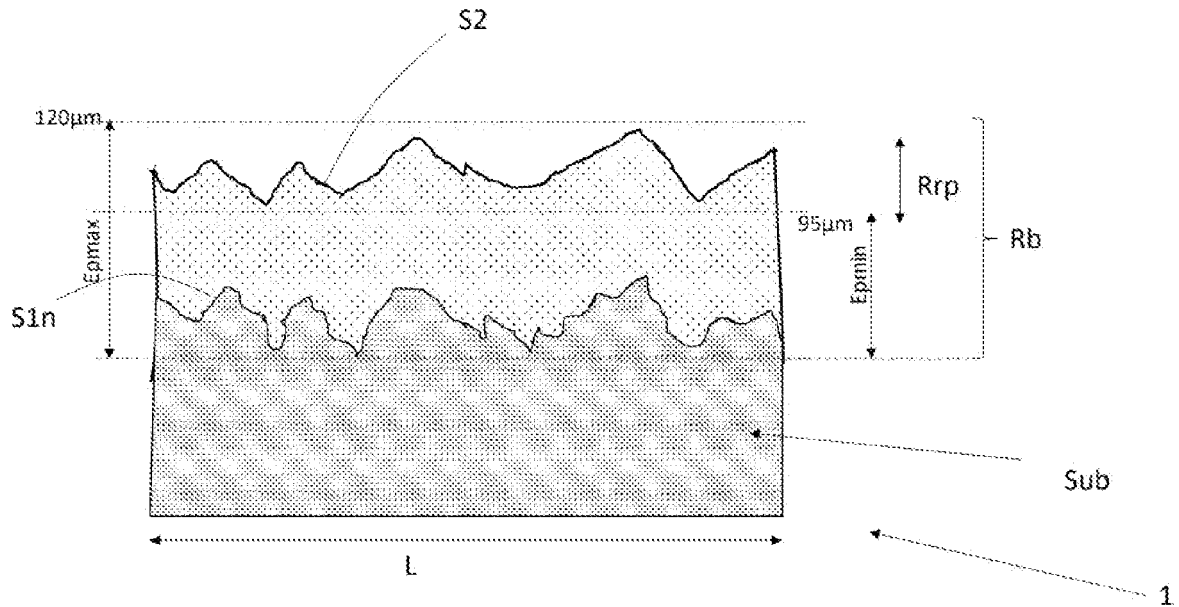
- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce (1) comportant un substrat métallique (Sub) au moins partiellement recouvert d'une couche de protection finie (Rf), le procédé comprenant successivement :
- une première étape de préparation (A) dépourvue de modification de la surface par sablage, comprenant une sous étape de grenaillage d'une surface initiale du substrat pour obtenir une rugosité de la surface brute ayant une hauteur globale de profil de rugosité de la surface Rt comprise entre 10 μm et 15 μm et une sous étape de nettoyage de la surface brute (Sub),
 - une deuxième étape de formation (B), par projection d'un mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique submicroniques selon un procédé de projection thermique de type HVOF à haute pression liquide, sur la surface brute nettoyée (S2) ayant sa rugosité préparée, d'une couche de revêtement brute (Rb), d'une épaisseur comprise entre 95 μm et 125 μm ,
 - une troisième étape de finition par polissage (D) sur la surface de ladite couche de revêtement brute (S2) constituée à partir du mélange pulvérulent de manière à former la couche de protection fini (Rf) formant une surface polie (S3) ayant une rugosité Ra inférieure à 0.2 μm , la couche de protection finie (Rf) ayant une épaisseur comprise entre 75 μm et 100 μm .
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, comprenant une pré étape de fabrication du substrat (Sub), avant l'étape de préparation (A), consistant à l'usinage d'un substrat formant une surface initiale (S1).
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la sous étape de nettoyage de l'étape de préparation (A) est uniquement une étape de dégraissage pour obtenir une surface brute (S2) dégraissée.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les grains de carbure métallique sont majoritairement de l'ordre de 400 à 800nm en granulométrie moyenne.
- [Revendication 5] Pièce (1) comprenant un substrat métallique et une couche de protection finie (Rf) obtenue selon le procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 4.

- [Revendication 6] Pièce (1) comprenant un substrat métallique (Sub) et une couche de protection finie (Rf) constituée de mélange pulvérulent contenant des grains de carbure métallique submicroniques déposés selon un procédé de projection de type HVOF, la couche de protection finie (Rf) étant déposée sur une surface brute (S2) du substrat (Sub) ayant une rugosité initiale, et comprenant une surface polie (S3) ayant une rugosité inférieure à $0.2\mu\text{m}$.
- [Revendication 7] Pièce (1) selon la revendication 5 ou 6, dans laquelle la surface polie (S3) est frettée et/ou du tourillonnée.
- [Revendication 8] Pièce (1) selon l'une des revendications 5 à 7, dans laquelle la pièce (1) est un axe d'articulation ou un essieu dans le domaine aéronautique.
- [Revendication 9] Pièce (1) selon l'une des revendications 5 à 8, dans laquelle la surface polie (S3) est soumise aux zones d'étanchéité statique et/ou dynamique.

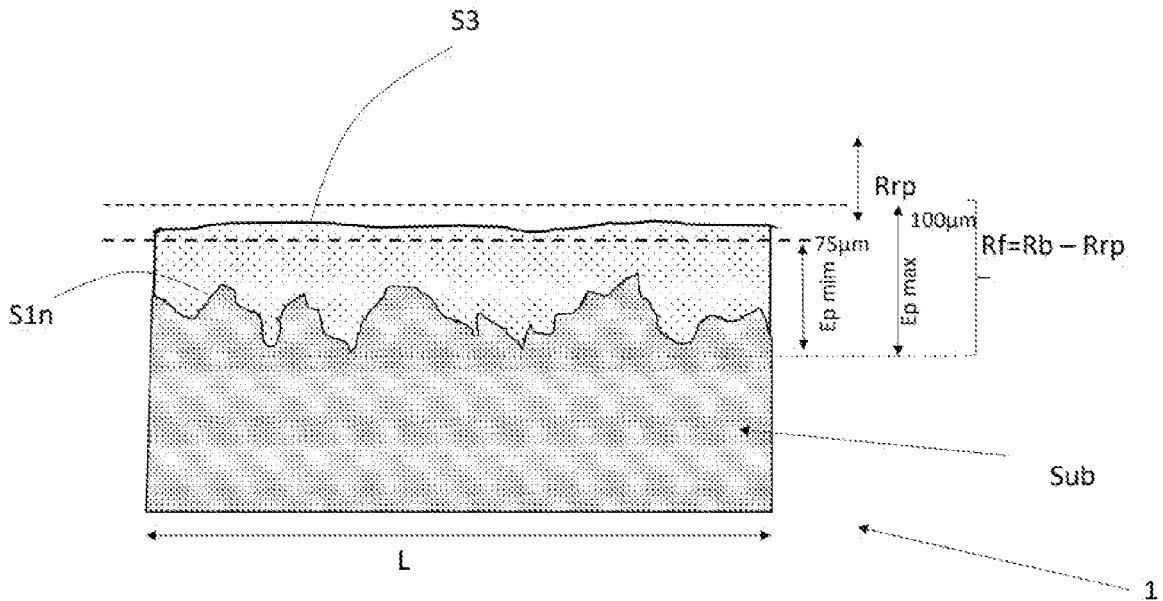
[Fig. 1a]



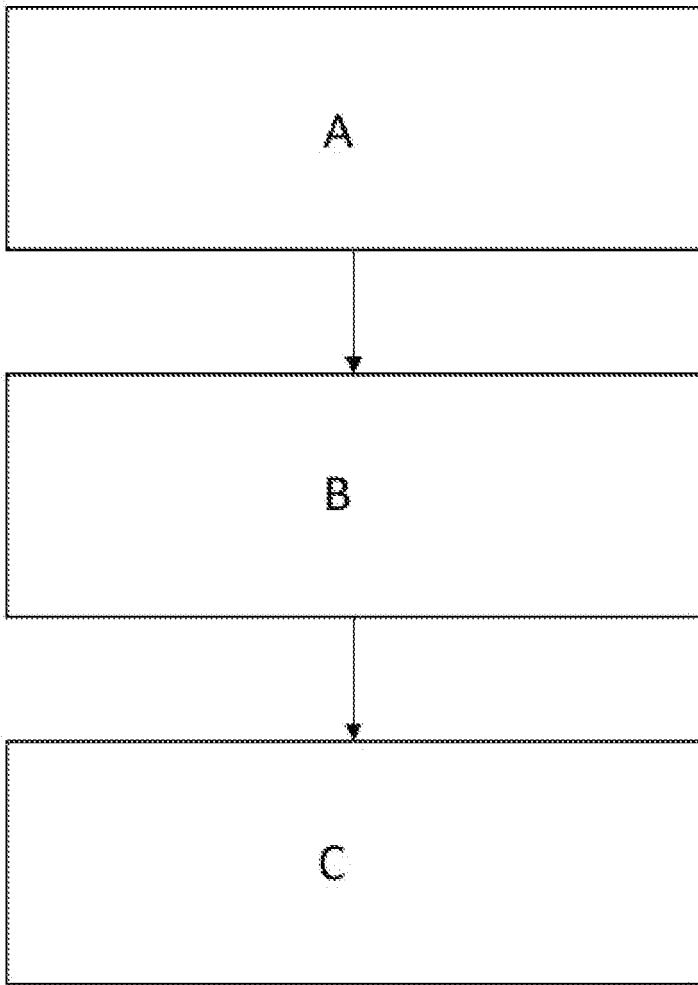
[Fig. 1b]



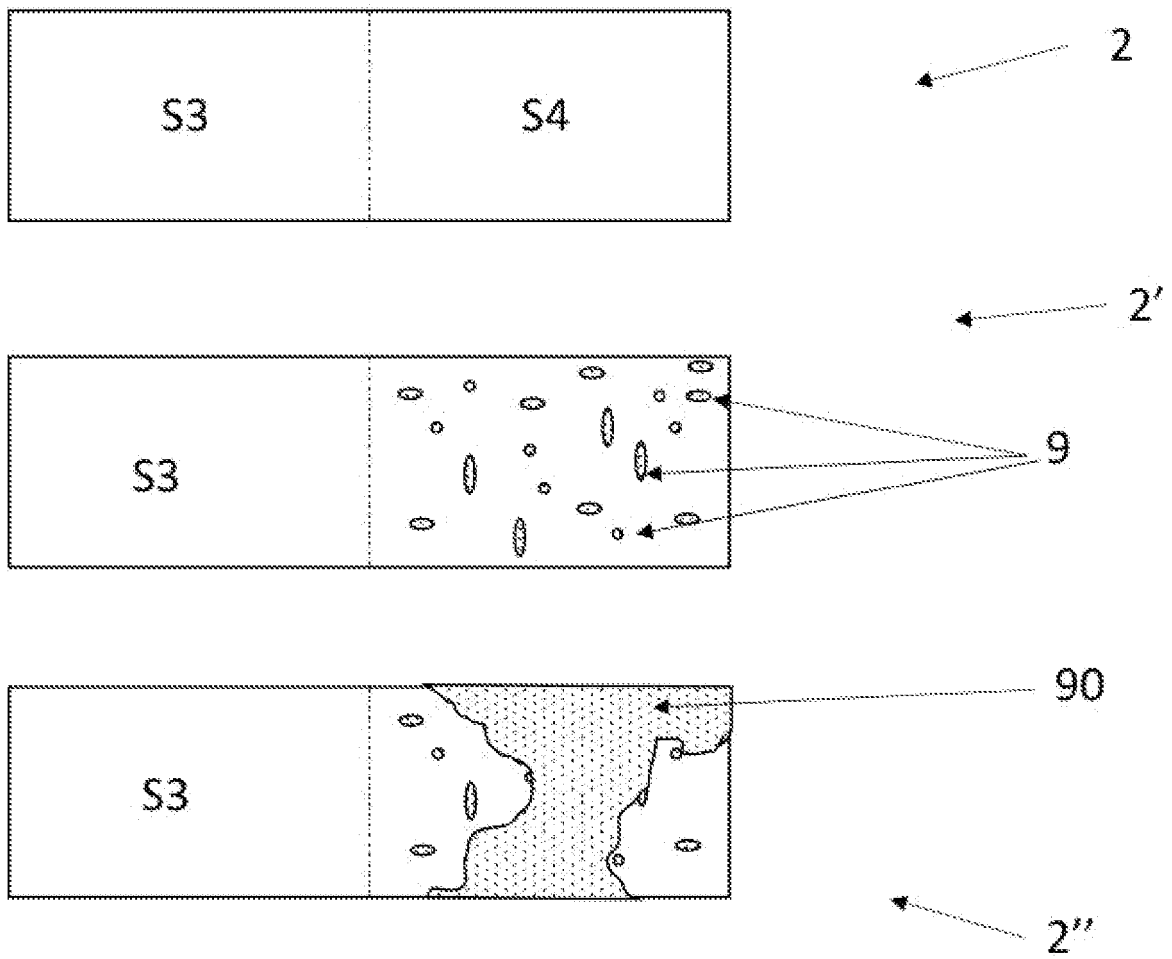
[Fig. 1c]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 907586
FR 2203827

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, D	WO 2014/125045 A1 (MESSIER BUGATTI DOWTY [FR]) 21 août 2014 (2014-08-21)	5-9	C23C4/02 C23C4/06
A	* page 6, lignes 1-4, 31-34; revendications 1-11 *	1-4	C23C4/129 C23C4/18 B32B15/00 G01B21/30
X	US 2007/261767 A1 (JAROSINSKI WILLIAM JOHN CRIM [US]) 15 novembre 2007 (2007-11-15)	5, 6	
A	* revendications 1, 12, 13, 19; tableau 1 *	1-4	
A	US 2019/119802 A1 (SUIDZU TATSUO [JP] ET AL) 25 avril 2019 (2019-04-25)	1-9	
A	* alinéa [0040]; revendications 1-8 *	1-9	
A	US 2007/071921 A1 (COULAS JAMES [CA]) 29 mars 2007 (2007-03-29)	1-9	
A	* revendications 1-19 *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C23C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
27 septembre 2022		Chalaftris, Georgios	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2203827 FA 907586**

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 **27-09-2022**
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
WO 2014125045 A1	21-08-2014	BR 112015019665 A2	18-07-2017
		CA 2900816 A1	21-08-2014
		CN 104995326 A	21-10-2015
		EP 2956564 A1	23-12-2015
		ES 2746158 T3	04-03-2020
		FR 3002239 A1	22-08-2014
		US 2016032440 A1	04-02-2016
		WO 2014125045 A1	21-08-2014

US 2007261767 A1	15-11-2007	BR PI0710663 A2	16-08-2011
		CA 2653070 A1	22-11-2007
		CN 104762582 A	08-07-2015
		EP 2021524 A2	11-02-2009
		JP 5525813 B2	18-06-2014
		JP 6093324 B2	08-03-2017
		JP 2009536985 A	22-10-2009
		JP 2014193487 A	09-10-2014
		RU 2008148951 A	20-06-2010
		US 2007261767 A1	15-11-2007
WO 2007133536 A2	22-11-2007		

US 2019119802 A1	25-04-2019	CN 109219671 A	15-01-2019
		JP 6556349 B2	07-08-2019
		JP WO2017208998 A1	24-01-2019
		US 2019119802 A1	25-04-2019
		WO 2017208998 A1	07-12-2017

US 2007071921 A1	29-03-2007	CA 2627605 A1	29-03-2007
		EP 1937862 A2	02-07-2008
		US 2007071921 A1	29-03-2007
		WO 2007033473 A2	29-03-2007
