

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

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

3 139 567

②① N° d'enregistrement national : **22 09105**

⑤① Int Cl⁸ : **C 04 B 41/89** (2023.01), C 23 C 28/04, B 05 D 1/32,
C 23 C 14/04, C 23 C 16/04, C 23 C 18/06, G 01 N 1/28

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de fabrication d'une éprouvette de caractérisation.

②② Date de dépôt : 12.09.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.03.24 Bulletin 24/11.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.09.24 Bulletin 24/36.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN CERAMICS Société
Anonyme — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *VANDELLOS Thomas, DISS Pascal,
ARNAL Simon et BERTRAND Pierre.*

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN CERAMICS Société
Anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET BEAU DE LOMENIE.*

FR 3 139 567 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une éprouvette de caractérisation

Domaine technique

[0001] L'invention concerne la caractérisation des pièces en matériau composite à matrice céramique munies de revêtement de protection.

Technique antérieure

[0002] Les matériaux à matrice céramique (CMC) présentent de bonnes propriétés mécaniques les rendant aptes à constituer des éléments de structures et conservent avantageusement ces propriétés à températures élevées. Les matériaux CMC supportent des températures allant de 600°C à 1400°C. De par leur meilleure résistance aux hautes températures, les CMC nécessitent moins de refroidissement. Dans le domaine des moteurs aéronautique, le refroidissement est traditionnellement issu d'un prélèvement dans le compresseur qui impacte le rendement de la turbomachine. Les matériaux CMC permettent donc d'améliorer le rendement moteur, ce qui réduit la consommation de carburant. Par ailleurs, leur utilisation contribue à optimiser les performances des turbomachines notamment par la baisse de la masse globale de la turbomachine qui contribue encore à une diminution de la consommation carburant et donc à la réduction significative des émissions polluantes

[0003] Ces matériaux CMC peuvent toutefois se dégrader lorsqu'ils sont utilisés à des températures élevées et dans un environnement corrosif, comme c'est le cas lorsqu'ils sont présents dans des turbines aéronautiques. Lorsque la pièce en CMC comprend une matrice au moins en partie en carbure de silicium (SiC), la corrosion du CMC résulte en l'oxydation du SiC en silice, qui en présence de vapeur d'eau se volatilise sous forme d'hydroxydes $\text{Si}(\text{OH})_4$. Les phénomènes de corrosion entraînent une dégradation prématurée du CMC. Des revêtements de protection de type barrière environnementale (aussi appelée « EBC » de l'anglais « Environmental Barrier Coating ») ont par conséquent été développés afin de protéger les matériaux CMC de la corrosion à haute température. Comme exemple de barrière environnementale utilisable, on peut par exemple citer des ensembles multicouches comprenant une couche de liaison en silicium et une couche d'un silicate de terre rare (de type $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ou RE_2SiO_5 , par exemple $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$).

[0004] Une sous-couche d'accroche, par exemple en silicium, est généralement déposée sur le matériau CMC avant l'élaboration du revêtement de protection afin de faciliter son adhésion au matériau CMC.

[0005] Le document FR 3 053 329 divulgue un procédé de revêtement d'une pièce en CMC

par une barrière environnementale.

[0006] Un des mécanismes de ruine critique pour la durée de vie des pièces en CMC munies d'un revêtement de protection est l'écaillage du revêtement. Une décohésion du revêtement sur une distance significative peut conduire à son écaillage, ce qui entraîne l'exposition du matériau CMC à l'environnement. Ce mécanisme de ruine peut apparaître à l'interface entre le matériau CMC et la sous-couche d'accroche, au sein de la sous-couche d'accroche ou à l'interface entre la sous-couche d'accroche et le revêtement de protection.

[0007] La compréhension des mécanismes de ruine des revêtements de protection utilisés avec les matériaux CMC est, par conséquent, importante pour le développement des pièces en matériau CMC. Afin de caractériser les propriétés intrinsèques des interfaces, en particulier la ténacité (également appelée taux de restitution d'énergie critique), différents essais connus peuvent être réalisés sur éprouvettes comme des essais selon les modes de rupture en mode I, mode II et mode mixte. Parmi les essais en mode I, la configuration la plus répandue est l'essai DCB (en anglais « Double Cantilever Beam ») tandis que pour les essais en mode II, une des configurations les plus connues est l'essai ENF (en anglais « End Notched Flexure »).

[0008] Toutefois, ces essais simples à mettre en œuvre ne sont réalisables qu'en présence d'une pré-fissure dans l'éprouvette. Par conséquent, il existe un besoin pour des éprouvettes comportant une pré-fissure.

Exposé de l'invention

[0009] A cet effet, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une éprouvette de caractérisation, le procédé comprenant au moins les étapes suivantes :

a) dépôt d'une sous-couche d'accroche sur la surface d'un substrat en matériau composite à matrice céramique (CMC),

b) élaboration d'un revêtement de protection de type barrière environnementale comprenant au moins un silicate de terre rare sur le substrat,

caractérisé en ce que le procédé comprend en outre, avant l'étape a), le dépôt d'un masque sur une portion de la surface du substrat et, après l'étape a) et avant l'étape b), le retrait du masque de manière à exposer la portion de surface du substrat et en ce que le masque présente une épaisseur supérieure à l'épaisseur de la sous-couche d'accroche.

[0010] L'insertion d'un masque avant le dépôt de la sous-couche d'accroche et son retrait avant l'élaboration du revêtement de protection permet de former une zone dépourvue de sous-couche d'accroche au niveau de laquelle le revêtement de protection est déposé directement sur le substrat en CMC. Le manque d'adhérence dans cette zone entre le revêtement de protection et le substrat en CMC permet de créer une pré-fissure

à l'interface entre le revêtement de protection et le substrat en CMC. On obtient ainsi une éprouvette de caractérisation qui peut être directement utilisée pour des essais permettant de caractériser les propriétés intrinsèques des interfaces.

- [0011] Selon une caractéristique particulière de l'invention, le masque présente une épaisseur supérieure d'au moins 10 μm par rapport à l'épaisseur de la sous-couche d'accroche.
- [0012] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la sous-couche d'accroche comprend du silicium et est déposée par une des méthodes suivantes : projection thermique, voie liquide, dépôt chimique en phase vapeur (CDV) et dépôt physique en phase vapeur (PVD).
- [0013] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, le masque est en un des matériaux suivants : graphite, oxyde, matériau métallique, élastomère et matière plastique.
- [0014] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, le retrait du masque est réalisé manuellement ou par retrait mécanique.
- [0015] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, une partie du masque dépasse à l'extérieur du substrat, le retrait du masque étant réalisée par arrachage dudit masque à partir de la partie dépassant du substrat.
- [0016] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, l'élaboration du revêtement de protection de type barrière environnementale comprend l'application, sur la sous-couche d'accroche et sur la portion exposée de la surface du substrat après retrait du masque, de particules de silicate de terre rare en suspension dans un milieu liquide, et le frittage desdites particules.

Brève description des dessins

- [0017] [Fig.1] La [Fig.1] représente un ordinogramme d'un exemple de procédé selon l'invention,
- [0018] [Fig. 2A-2E] Les figures 2A-2E illustrent, de manière schématique, les différentes étapes mises en œuvre afin de former une éprouvette de caractérisation dans le cadre d'un exemple de procédé selon l'invention,
- [0019] [Fig.3] La [Fig.3] est une microphotographie montrant la création d'une pré-fissure et sa propagation à l'interface entre la sous-couche d'accroche et le revêtement de protection,
- [0020] [Fig.4] La [Fig.4] est une microphotographie montrant la création d'une pré-fissure et sa propagation à l'interface entre le substrat et la sous-couche d'accroche.

Description des modes de réalisation

- [0021] L'invention s'applique d'une manière générale à la fabrication d'éprouvettes de caractérisation utilisées pour étudier le mécanisme de ruine (écaillage) aux interfaces entre

une sous-couche d'accroche et un substrat en matériau composite à matrice céramique (CMC) à base carbure tel que le matériau SiC/SiC ou SiC/SiC-MI et entre un revêtement de protection de type barrière thermique et la sous-couche d'accroche.

[0022] La formation d'une éprouvette de caractérisation va à présent être décrite en lien avec les figures 1 et 2A à 2E qui illustrent les différentes étapes d'un exemple de procédé selon l'invention.

[0023] Dans une première étape S10, un masque de pré-fissure 20 est formé sur une portion de la surface 11 d'un substrat en CMC 10 ([Fig.2A]). Le substrat 10 comprend un renfort fibreux ainsi qu'une matrice céramique présente dans la porosité du renfort fibreux. Le renfort fibreux peut comprendre des fibres céramiques telles que des fibres de carbure de silicium ou des fibres oxyde ou des fibres de carbone. Le renfort fibreux peut être réalisé en une seule pièce par tissage tridimensionnel ou multicouches ou à partir d'une pluralité de strates fibreuses bidimensionnelles ou encore à partir de plusieurs couches de tissu unidimensionnel.

[0024] La matrice densifie le renfort fibreux en étant présente dans la porosité de ce dernier. La matrice comprend une ou plusieurs phases en matériau céramique. La matrice peut par exemple comporter du carbure de silicium, voire être entièrement en carbure de silicium. La matrice peut être réalisée de différentes manières connues en soi. On peut par exemple utiliser une méthode de densification par voie liquide (imprégnation par une résine précurseur de la matrice et transformation par réticulation et pyrolyse, le processus pouvant être répété) ou par voie gazeuse (infiltration chimique en phase vapeur de la matrice). On peut encore réaliser la phase de matrice par infiltration de silicium à l'état fondu (procédé de « Melt-Infiltration »).

[0025] Le masque 20 peut être en différents matériaux. D'une manière générale, le masque est en un matériau apte à conserver son intégrité lors du dépôt de la sous-couche d'accroche tout en pouvant être facilement éliminé après le dépôt de la sous-couche d'accrochage.

[0026] La sous-couche d'accroche peut être déposée par un procédé de projection thermique telle que la projection de plasma sous vide ou VPS (pour « Vacuum plasma spray », la pulvérisation au plasma d'air ou APS (pour « Air plasma spray ») et la projection thermique HVOF (pour « High Velocity Oxy Fuel »). La température dépend du procédé d'élaboration. Elle peut varier par exemple entre 100°C et 300°C avec un procédé APS et entre 500°C et 700°C avec un procédé VPS.

[0027] Une autre méthode de dépôt de la sous-couche d'accroche est le dépôt par voie liquide, le dépôt chimique en phase vapeur ou CVD (pour « chemical vapor deposition ») et le dépôt physique en phase vapeur ou PVD (pour « Physical vapor deposition »).

[0028] Un frittage de la sous-couche d'accroche peut être dans certains cas nécessaire. Ce

frittage s'effectue à une température de 1000°C en atmosphère neutre.

- [0029] Le matériau du masque est choisi en fonction de la température à laquelle il est exposé pendant le dépôt de la sous-couche d'accroche. Le masque doit pouvoir résister aux températures de dépôt de la sous-couche d'accroche pendant plusieurs minutes.
- [0030] Dans le cas où la sous-couche d'accroche est déposée avec un procédé générant des températures supérieures à 250°C, le masque peut être constitué d'une feuille de graphite (Papyex®), d'oxyde ou d'un matériau métallique.
- [0031] Le retrait du masque peut être réalisé manuellement ou par retrait mécanique. Selon une caractéristique particulière de l'invention, le dépôt du masque peut être réalisée de manière à ce qu'une partie du masque dépasse à l'extérieur du substrat, le retrait du masque étant réalisée par arrachage dudit masque à partir de la partie dépassant du substrat.
- [0032] Le retrait du masque est facilité par sa non-adhérence ou faible adhérence avec le CMC du substrat. La non-adhérence du masque sur le substrat peut être obtenue en utilisant un outillage métallique pour maintenir en position le masque sur le CMC du substrat.
- [0033] Dans le cas où la sous-couche d'accroche est déposée à basse température, c'est-à-dire à une température inférieure à 250°C, le masque peut être constitué d'un élastomère (caoutchouc) ou d'un polymère de matière plastique.
- [0034] Dans une deuxième étape S20, une sous-couche d'accroche 30 est déposée sur la surface 11 du substrat 10 et sur le masque 20 présent sur une portion de la surface 11 du substrat 10 ([Fig.2B]). Dans l'exemple décrit ici, la sous-couche d'accroche 30 comprend du silicium déposé par projection thermique, le masque 20 étant une feuille de graphite. Le masque 20 présente une épaisseur e_{20} supérieure à l'épaisseur e_{30} de la sous-couche d'accroche 30. A titre d'exemple non limitatif, la sous-couche d'accroche 30 présente une épaisseur e_{30} de 50 micromètres (μm) tandis que le masque 20 présente une épaisseur e_{20} de 60 μm . Le masque présente de préférence une surépaisseur d'au moins 10 μm par rapport à l'épaisseur de la sous-couche d'accroche.
- [0035] En raison de la présence du masque 20, la sous-couche d'accroche comprend une première partie 31 couvrant la majorité de la surface 11 du substrat et une deuxième partie 32 présente sur le masque 20.
- [0036] Dans une troisième étape S30, le masque 20 est retiré ([Fig.2C]). Dans l'exemple décrit ici, le masque 20 est en graphite. Il peut donc être éliminé par une opération manuelle ou mécanique. Le retrait du masque 20 entraîne le retrait de la deuxième partie 32 de la sous-couche d'accroche 30 présente sur le masque 20. Cette étape de retrait permet d'exposer une portion 110 de la surface 11 du substrat en CMC 10 ([Fig.2C]).
- [0037] Dans une quatrième étape S40, un revêtement de protection de type barrière environ-

nementale comprenant au moins un silicate de terre rare est élaboré sur le substrat 10. Plus précisément, une composition de revêtement 40 est appliquée sur la première partie 31 de la sous-couche d'accroche 30 encore présente et sur la portion de surface exposée 110 du substrat en CMC 10 ([Fig.2D]). La composition de revêtement 40 peut être appliquée par différentes méthodes de dépôt par voie liquide connues en soi, comme la technique de trempage-retrait (« dip-coating »), de centrifugation (« spin-coating »), de pulvérisation (« spray-coating ») ou d'électrodéposition.

- [0038] La composition de revêtement 40 peut être également élaborée par un procédé de projection thermique telle que la projection de plasma sous vide ou VPS ou la pulvérisation au plasma d'air ou APS. Dans ce cas, la poudre de silicates de terres rares est envoyée dans la torche pour être déposée sur le substrat en CMC à l'état fondu. Les particules constituant le revêtement subissent alors une trempe et se déposent sous forme de lamelles. Pour ces procédés, la température de dépôt est comprise entre 100°C et 700°C.
- [0039] Dans tous les cas, un cycle thermique est réalisé pour fritter le revêtement. Dans l'exemple décrit ici, la composition de revêtement liquide 40 comprend un milieu liquide 42 dans lequel sont présents au moins une poudre 41 d'un premier silicate de terre rare et au moins un précurseur sol-gel d'un deuxième silicate de terre rare. Le deuxième silicate de terre rare est identique au premier silicate de terre rare ou différent de ce dernier. Le premier et le deuxième silicate de terre rare peuvent, indépendamment l'un de l'autre, être choisis parmi : les disilicates ou monosilicates de terre rare, où la terre rare est l'yttrium, l'ytterbium, le lutétium ou l'erbium, par exemple.
- [0040] Le substrat en CMC 10 revêtu de la composition de revêtement 40 est soumis à un traitement thermique pour fritter le revêtement.
- [0041] Dans les revêtements de silicates de terres rares élaborés par projection thermique, on retrouve généralement au moins une phase de disilicate et une phase de monosilicate (leur proportion dépendant des paramètres du procédé utilisé).
- [0042] On obtient ainsi une éprouvette de caractérisation 70 comprenant un substrat en CMC, une sous-couche d'accroche 30 et un revêtement de protection de type barrière environnementale 50 comprenant au moins un silicate de terre rare ([Fig.2E]). Conformément à l'invention, l'éprouvette 70 comporte localement une zone de faible adhérence entre le revêtement de protection 50 et le substrat en CMC 10 correspondant à la portion de surface exposée 110 du substrat dépourvue de sous-couche d'accroche. Ce manque d'adhérence permet de créer une pré-fissure à l'interface entre le revêtement de protection et le substrat en CMC.
- [0043] En outre, l'extrémité 33 de la sous-couche d'accroche 30 qui délimite le début de la zone de faible adhérence forme une pointe de pré-fissure à partir de laquelle une

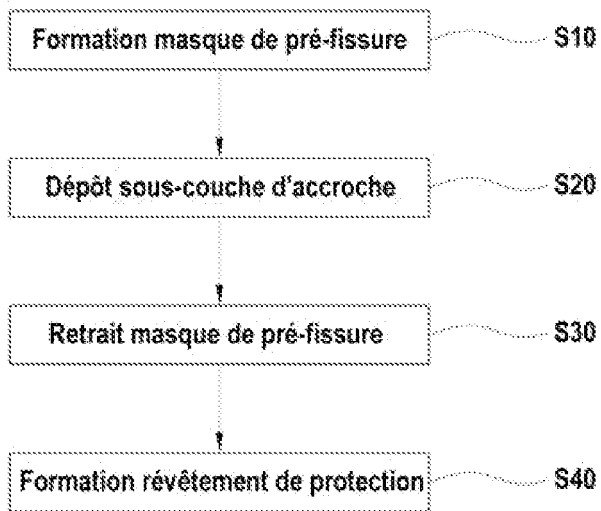
fissure peut se propager aussi bien à l'interface entre la sous-couche d'accroche 30 et le substrat en CMC 10 qu'à l'interface entre le revêtement de protection 50 et la sous-couche d'accroche.

- [0044] Quelle que soit l'interface considérée, la pré-fissure s'étend sur une longueur limitée par la taille du masque utilisé pour créer la zone de faible adhérence. Cela permet de contrôler l'étendue de la pré-fissure sur une zone très limitée par rapport à l'ensemble du substrat.
- [0045] On obtient ainsi une éprouvette de caractérisation qui peut être directement utilisée pour des essais permettant de caractériser les propriétés intrinsèques des interfaces d'une structure multicouche présente sur un matériau en CMC.
- [0046] La [Fig.3] montre une éprouvette 100 dans laquelle une pré-fissure 120 a été créée et propagée à l'interface entre une sous-couche d'accroche 130 formée sur un substrat en CMC 110 et un revêtement de protection de type barrière environnementale 150.
- [0047] La [Fig.4] montre une éprouvette 200 dans laquelle une pré-fissure 220 a été créée et propagée à l'interface entre un substrat en CMC 210 et une sous-couche d'accroche 230, l'éprouvette comprenant un revêtement de protection de type barrière environnementale 250.

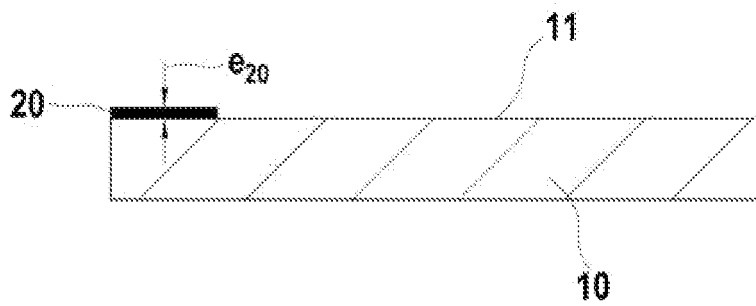
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une éprouvette de caractérisation (70), le procédé comprenant au moins les étapes suivantes :
- a) dépôt d'une sous-couche d'accroche (30) sur la surface (11) d'un substrat en matériau composite à matrice céramique (10),
- b) élaboration sur le substrat d'un revêtement de protection de type barrière environnementale (50) comprenant au moins un silicate de terre rare,
- caractérisé en ce que le procédé comprend en outre, avant l'étape a), le dépôt d'un masque (20) sur une portion (110) de la surface du substrat et, après l'étape a) et avant l'étape b), le retrait du masque (20) de manière à exposer la portion (110) de surface du substrat et en ce que le masque présente une épaisseur (e_{20}) supérieure à l'épaisseur (e_{30}) de la sous-couche d'accroche (30).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le masque (20) présente une épaisseur (e_{20}) supérieure d'au moins 10 μm par rapport à l'épaisseur (e_{30}) de la sous-couche d'accroche (30).
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la sous-couche d'accroche (30) comprend du silicium et est déposée par une des méthodes suivantes : projection thermique, voie liquide, dépôt chimique en phase vapeur et dépôt physique en phase vapeur.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le masque (20) est en un des matériaux suivants : graphite, oxyde, matériau métallique, élastomère et matière plastique.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel le retrait du masque est réalisé manuellement ou par retrait mécanique.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel une partie du masque dépasse à l'extérieur du substrat, le retrait du masque étant réalisée par arrachage dudit masque à partir de la partie dépassant du substrat.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'élaboration du revêtement de protection de type barrière environnementale (50) comprend le dépôt, sur la sous-couche d'accroche (30) et sur la portion (110) exposée de la surface (11) du substrat (10) après retrait du masque, de particules de silicate de terre rare par voie liquide ou par projection thermique.

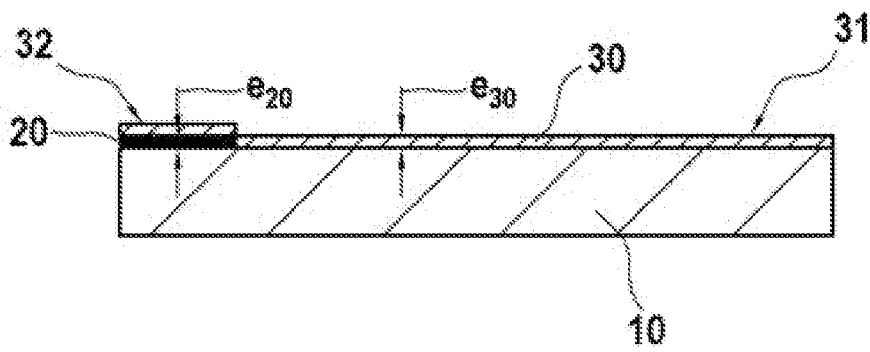
[Fig. 1]



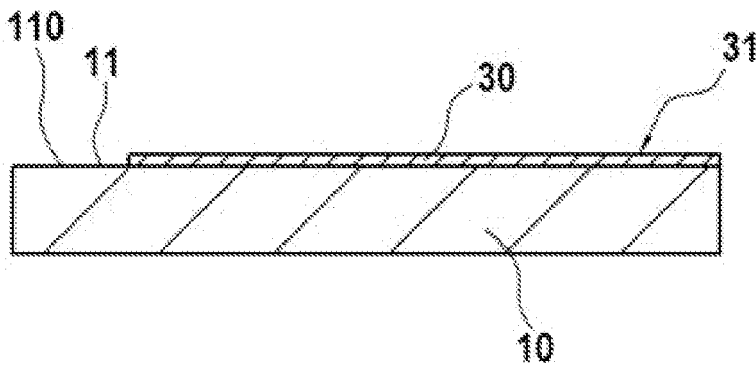
[Fig. 2A]



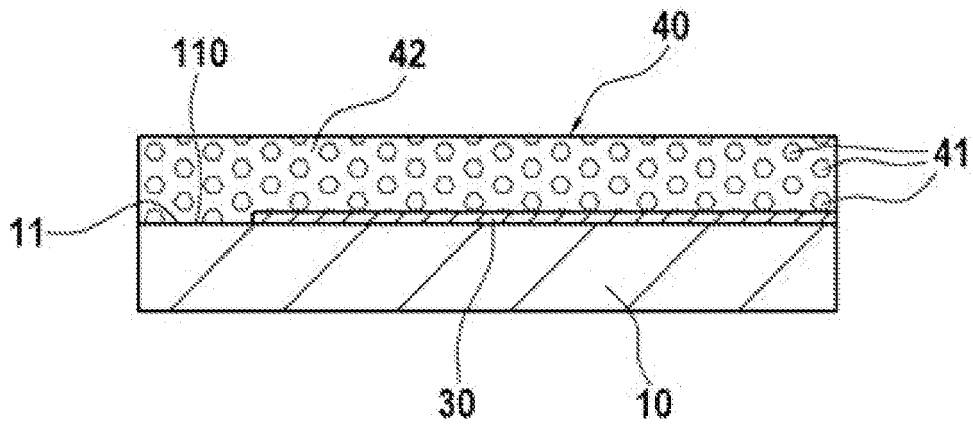
[Fig. 2B]



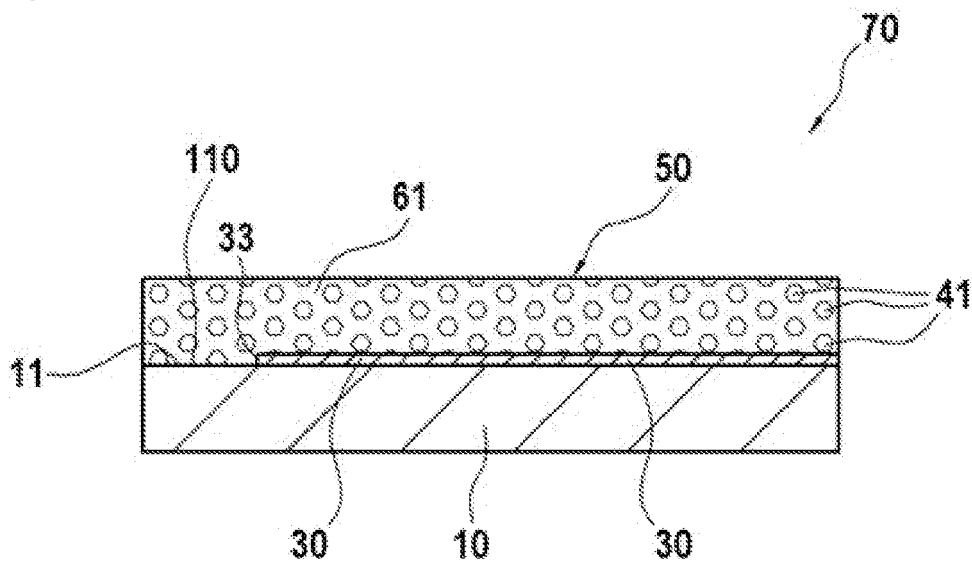
[Fig. 2C]



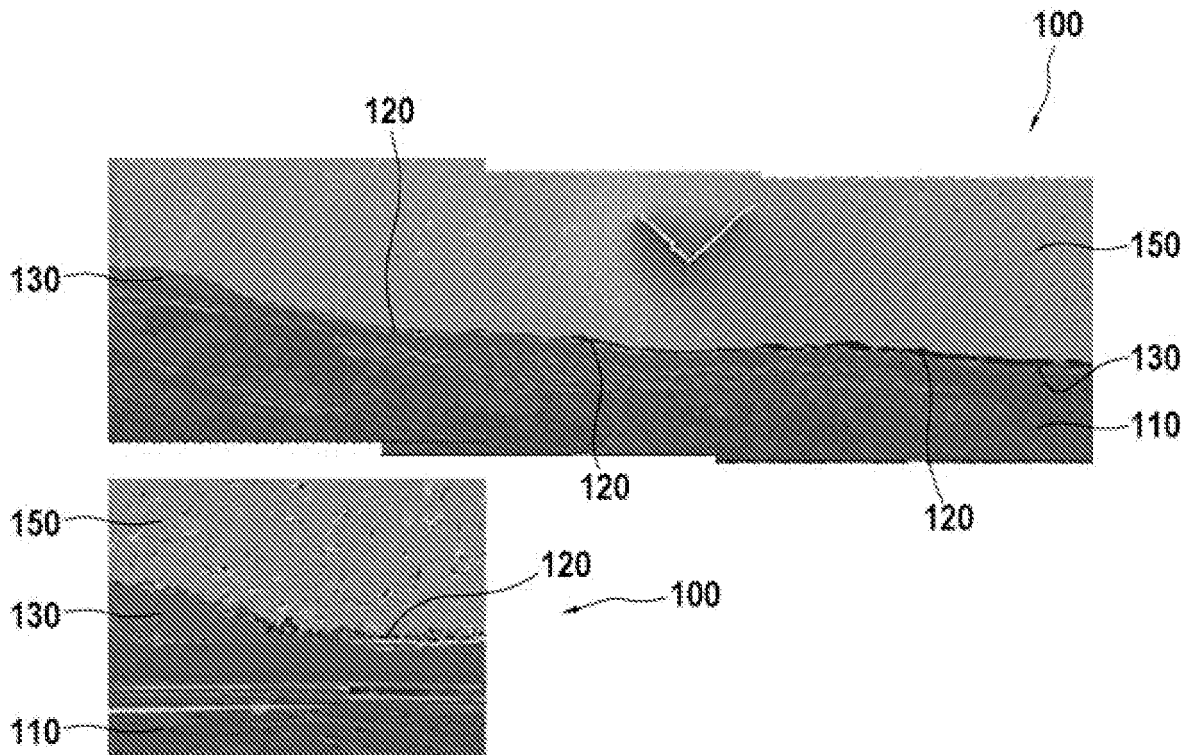
[Fig. 2D]



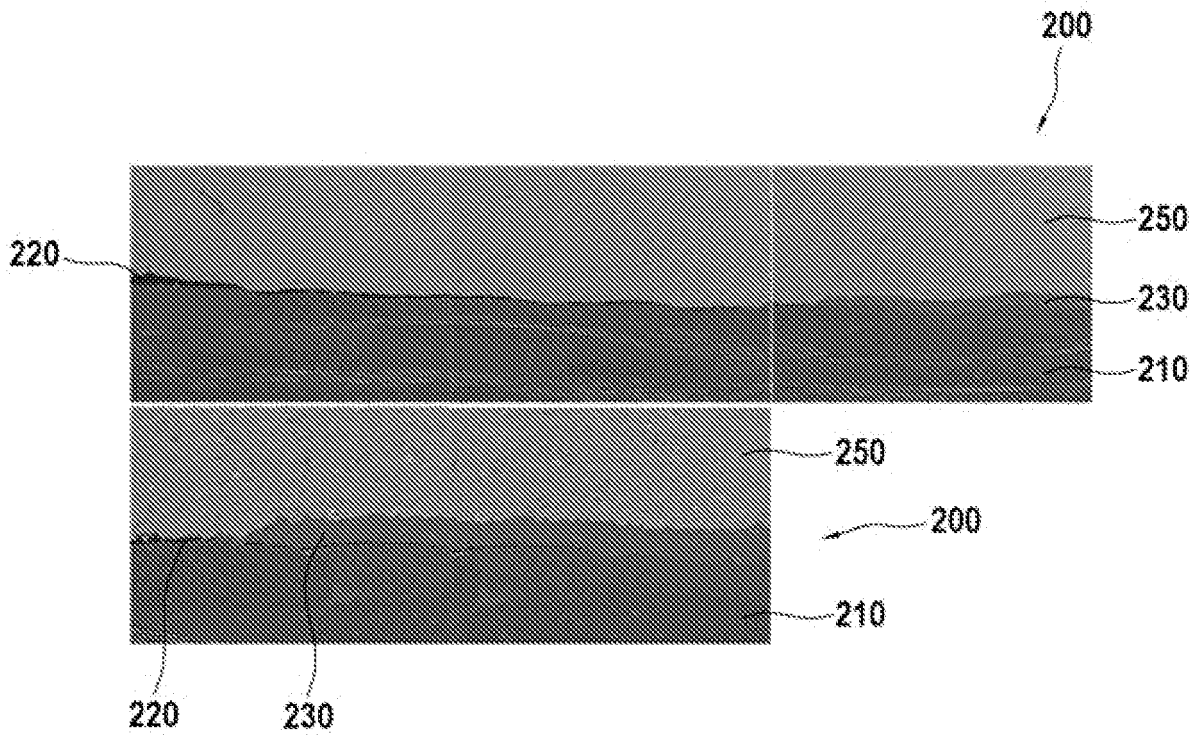
[Fig. 2E]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

KAKISAWA HIDEKI ET AL: "A method for testing the interface toughness of ceramic environmental barrier coatings (EBCs) on ceramic matrix composites (CMCs)", JOURNAL OF THE EUROPEAN CERAMIC SOCIETY, [Online] vol. 38, no. 2, 21 septembre 2017 (2017-09-21), pages 655-663, XP085249265, ISSN: 0955-2219, DOI: 10.1016/J.JEURCERAMSOC.2017.09.032
Extrait de l'Internet:
URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221917306465?via%3Dihub>
[extrait le 2023-05-11]

De Boer Maarten P., Kriese Michael, Gerberich William W.: "Investigation of a new fracture mechanics specimen for thin film adhesion measurement", Journal of Materials Research, vol. 12, no. 10 31 janvier 2011 (2011-01-31), pages 2673-2685, XP009544379, Cambridge University Press, New York, USA ISSN: 0884-2914, DOI: 10.1557/JMR.1997.0357
Extrait de l'Internet:
URL:<http://link.springer.com/10.1557/JMR.1997.0357>
[extrait le 2023-05-12]

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT