



(11)

EP 3 389 903 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.04.2022 Bulletin 2022/15

(21) Numéro de dépôt: **16825487.8**

(22) Date de dépôt: **13.12.2016**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
B22F 7/06 ^(2006.01) **C23C 24/08** ^(2006.01)
F01D 11/12 ^(2006.01) **B22F 3/105** ^(2006.01)
B22F 5/00 ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
(C-Sets disponibles)
F01D 11/122; B22F 3/105; B22F 5/009; B22F 7/06;
C23C 24/08; F01D 11/12; B22F 2998/10;
F05B 2230/90 (Cont.)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/053360

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/103422 (22.06.2017 Gazette 2017/25)

(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN REVÊTEMENT ABRADABLE À DENSITÉ VARIABLE

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER ABREIBBAREN BESCHICHTUNG MIT VARIABLEN
DICHTEN

METHOD OF MAKING AN ABRADABLE COATING HAVING VARIABLE DENSITIES

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **14.12.2015 FR 1562324**

(43) Date de publication de la demande:
24.10.2018 Bulletin 2018/43

(73) Titulaire: **Safran Aircraft Engines**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: **LE BIEZ, Philippe Charles Alain**
77500 Moissy-Cramayel Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 3 081 764 EP-A2- 2 317 079
WO-A1-2014/053754 FR-A1- 2 996 475
GB-A- 1 361 814 US-A1- 2014 263 579
US-A1- 2015 354 392

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 3 389 903 B1

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
(Cont.)

C-Sets
B22F 2998/10

Description

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'un revêtement abradable à densité variable.

[0002] Un tel revêtement abradable, ne faisant pas partie de l'invention, peut notamment être utilisé pour équiper un anneau de machine tournante afin d'assurer l'étanchéité de la machine au sommet des aubes tournantes par exemple. Un tel revêtement abradable est tout particulièrement adapté pour équiper les anneaux de turbine dans le domaine aéronautique, et tout particulièrement dans les turboréacteurs d'avion.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0003] Dans de nombreuses machines tournantes, il est désormais connu de munir l'anneau du stator de pistes abradables en regard du sommet des aubes du rotor. De telles pistes sont réalisées à l'aide de matériaux dit « abradables » qui, lorsqu'ils entrent en contact avec les aubes tournantes, s'usent plus facilement que ces dernières. On assure ainsi un jeu minimal entre le rotor et le stator, améliorant les performances de la machine tournante, sans risquer de détériorer les aubes en cas de frottement de ces dernières sur le stator. Au contraire, un tel frottement abrade la piste abradable, ce qui permet d'ajuster automatiquement le diamètre de l'anneau du stator au plus proche du rotor. Ainsi, de telles pistes abradables sont souvent mises en place dans les compresseurs de turbomachines.

[0004] En revanche, leur emploi est beaucoup plus rare dans les turbines de telles turbomachines, et surtout dans les turbines haute pression dans lesquelles règnent des conditions physico-chimiques extrêmes.

[0005] En effet, les gaz brûlés issus de la chambre de combustion débouchent dans la turbine haute pression à des niveaux de température et de pression très élevés, ce qui entraîne l'érosion prématurée des pistes abradables conventionnelles.

[0006] Dès lors, afin de protéger l'anneau de turbine, il est souvent préféré de munir ce dernier d'un revêtement du type barrière thermique dont les matériaux et la densité élevée, trop importante pour que le revêtement soit efficacement abradable, permettent de protéger l'anneau contre l'érosion et la corrosion.

[0007] Toutefois, on comprend naturellement que dans un tel cas l'intégrité des aubes n'est plus assurée en cas de contact avec le stator, ce qui nécessite de prévoir un jeu plus important entre le rotor et le stator et augmente donc le débit de fuite en sommet d'aubes et réduit ainsi les performances de la turbine.

[0008] On connaît également les documents US 2014/0263579, FR 2 996 475 et WO 2014/053754 qui décrivent d'autres procédés de fabrication d'un revêtement abradable.

[0009] Il existe donc un réel besoin pour un procédé

de fabrication d'un revêtement abradable ainsi qu'un tel revêtement abradable qui soit dépourvu, au moins en partie, des inconvénients inhérents aux configurations connues précitées.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0010] Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'un revêtement abradable à densité variable, comprenant les étapes suivantes : fourniture d'un substrat comportant une première portion et une deuxième portion ; dépôt d'un premier matériau précurseur sur la première portion du substrat ; compression du premier matériau précurseur entre le substrat et une première surface d'appui ; frittage du premier matériau précurseur ainsi comprimé pour obtenir une première partie de revêtement abradable, en regard de la première portion du substrat, possédant une première densité ; dépôt d'un deuxième matériau précurseur sur la deuxième portion du substrat ; compression du deuxième matériau précurseur entre le substrat et une deuxième surface d'appui ; frittage du deuxième matériau précurseur ainsi comprimé pour obtenir une deuxième partie de revêtement abradable, en regard de la deuxième portion du substrat, possédant une deuxième densité distincte de la première.

[0011] Ce procédé permet d'obtenir un revêtement à densité variable. En effet, plusieurs paramètres peuvent être réglés différemment pour chaque portion du substrat de manière à obtenir des parties de revêtement abradable présentant des propriétés différentes. Tout d'abord, il est possible de choisir différents matériaux précurseurs. En particulier, la taille des particules constituant le matériau précurseur ou le taux de porosité initial du matériau précurseur permettent d'influer sur le taux de porosité final du revêtement abradable et donc sur sa densité.

[0012] Il est également possible de déposer une quantité plus ou moins importante de matériau précurseur avant l'étape de compression, c'est-à-dire de déposer une couche de matériau précurseur d'épaisseur plus ou moins importante. Cette quantité de matériau influera ainsi sur la densité finale du revêtement abradable.

[0013] Il est également possible de comprimer de manière plus ou moins forte les matériaux précurseur au cours des étapes de compression de manière à tasser plus ou moins ces derniers avant frittage : on réduit ainsi plus ou moins leurs taux de porosité, ce qui influe sur le taux de porosité final et donc la densité finale de chaque partie du revêtement abradable.

[0014] Il est également possible de jouer sur la température et/ou la durée des étapes de frittage afin d'influer sur la micro-structure du revêtement abradable et notamment sur son taux de porosité final et sur sa densité.

[0015] Dans le présent exposé, on entend par « taux de porosité » le rapport entre le volume des espaces interstitiels séparant les grains du matériau considéré et le volume global dudit matériau. En outre, il va de soit au

sens du présent exposé que les première et deuxième portions du substrat, tout comme les première et deuxième parties du revêtement abrasable, possèdent une taille significative afin de remplir les fonctions auxquelles elles sont destinées. Ainsi, comme cela est visible sur les figures, chaque portion du substrat, et donc chaque partie de revêtement abrasable, possède une largeur supérieure à 2 mm, de préférence supérieure à 5 mm, et donc une longueur encore supérieure.

[0016] Dès lors, grâce à ce procédé, on peut ajuster localement le taux de porosité et donc la densité du revêtement afin de satisfaire à différentes exigences ou contraintes locales. Par exemple, il est possible de munir les zones du revêtement sensibles à l'érosion d'une densité élevée et munir les zones du revêtement destinées à entrer en contact avec un corps mobile d'une densité plus faible, renforçant le caractère facilement abrasable de ces zones. De plus, il est également possible de disposer la première partie de revêtement, bénéficiant d'une grande densité, de manière à masquer et donc protéger la seconde partie du revêtement dont la densité est plus faible.

[0017] Dans certains modes de réalisation, les étapes de dépôt, compression et frittage du deuxième matériau précurseur ont lieu après les étapes de dépôt, compression et frittage du premier matériau précurseur. En séparant ainsi ces étapes, il est possible d'individualiser les paramètres de dépôt, compression et frittage pour chaque portion de revêtement et donc d'obtenir facilement des propriétés différentes pour chaque partie du revêtement abrasable.

[0018] Dans certains modes de réalisation, les étapes de compression et de frittage du premier matériau précurseur sont réalisées au sein d'un premier moule ; les étapes de compression et de frittage du deuxième matériau précurseur sont réalisées au sein d'un deuxième moule ; et le deuxième moule est distinct du premier moule.

[0019] Dans certains modes de réalisation, le premier et deuxième moule sont un même et unique moule.

[0020] Dans certains modes de réalisation, le premier moule comprend la première surface d'appui ainsi qu'au moins une paroi de protection prévue de manière à flanquer le premier matériau précurseur à l'interface entre la première et la deuxième portion du substrat au cours des étapes de compression et de frittage du premier matériau précurseur. Cette paroi de protection permet d'empêcher que des morceaux du premier matériau précurseur ne se déplacent et ne se fixent sur la deuxième portion du substrat.

[0021] Dans certains modes de réalisation, le deuxième moule comprend une partie mobile s'étendant en vis-à-vis de la deuxième portion du substrat et incluant la deuxième surface d'appui, et une partie immobile s'étendant en vis-à-vis de, de préférence contre, la première portion du substrat. Cette portion immobile permet de protéger la première partie de revêtement abrasable qui est achevée. Ainsi, de préférence, seule la portion du

moule qui fait face à la deuxième portion du substrat est mobile.

[0022] Dans certains modes de réalisation, les étapes de dépôt des premier et deuxième matériaux précurseurs ont lieu simultanément ou successivement, les étapes de compression des premier et deuxième matériaux précurseurs ont lieu simultanément, et les étapes de frittage des premier et deuxième matériaux précurseurs ont lieu simultanément. On réduit dès lors la durée totale du procédé. Il est également possible de n'utiliser qu'un seul moule. Dans un tel cas, la différence de densité finale peut être obtenue, par exemple, grâce à des matériaux précurseurs différents, des épaisseurs de couches de matériau précurseur différentes, ou encore une compression différentielle. Une telle compression différentielle peut être obtenue, par exemple, à l'aide d'un moule possédant des surfaces d'appui s'étendant à différents niveaux, ou à l'aide d'un moule possédant plusieurs parties mobiles indépendantes.

[0023] Dans certains modes de réalisation, la première portion du substrat se situe à un premier niveau, et la deuxième portion du substrat se situe à un deuxième niveau différent du premier niveau. Grâce à cette différence de niveau entre la première portion et la deuxième portion du substrat, la réduction du volume disponible au cours de l'étape de compression est d'autant plus importante que le substrat était proche de la surface d'appui dans l'état initial : en supposant par exemple que le deuxième niveau est plus profond que le premier niveau, la partie du matériau précurseur située au-dessus de la première portion du substrat est ainsi plus comprimée que la partie du matériau précurseur située au-dessus de la deuxième portion du substrat. Une pression plus importante règne donc dans cette partie du matériau précurseur, ce qui conduit à une densité plus importante du matériau après frittage. A l'inverse, dans la deuxième partie du matériau précurseur, la compression étant moins importante, la réduction du taux de porosité dans le matériau et donc sa densification sont moins importantes.

[0024] Dans certains modes de réalisation, la deuxième portion du substrat est obtenue par usinage d'au moins une rainure dans une ébauche du substrat. Un tel substrat à deux niveaux est ainsi facile à fabriquer puisqu'il suffit de fabriquer une ébauche régulière puis d'usiner une rainure dans cette ébauche uniquement aux endroits désirés.

[0025] Dans certains modes de réalisation, la première portion du substrat est obtenue en ajoutant au moins un muret sur une ébauche du substrat. Cette méthode est particulièrement adaptée pour réparer une pièce existante dont l'épaisseur n'est pas suffisante pour usiner une rainure.

[0026] Dans certains modes de réalisation, le muret est fabriqué directement sur l'ébauche du substrat par frittage, notamment par une méthode de frittage du type « Spark Plasma Sintering » (SPS).

[0027] Dans certains modes de réalisation, le muret

est fabriqué indépendamment et rapporté par soudage ou brasage. Il peut notamment être rapporté par une méthode de soudage du type « Tungstène Inert Gas » (TIG).

[0028] Dans certains modes de réalisation, les première et deuxième surfaces d'appui sont continues, l'une dans le prolongement de l'autre. On entend ici que les surfaces d'appui ne comportent aucune discontinuité telle qu'une marche ou un autre changement brusque de niveau en leur sein ou à leur interface.

[0029] Dans certains modes de réalisation, les surfaces d'appui sont rectilignes au moins selon une direction transverse aux première et deuxième portions du substrat. Il existe ainsi un plan de coupe traversant à la fois la première et la deuxième portion du substrat dans lequel les surfaces d'appuis sont rectilignes.

[0030] Dans certains modes de réalisation, au moins une surface d'appui, de préférence chaque surface d'appui, prend la forme d'un secteur de cylindre, de préférence d'un secteur de cylindre de révolution.

[0031] Dans certains modes de réalisation, au moins une surface d'appui, de préférence chaque surface d'appui, est une surface d'un moule de forme.

[0032] Dans certains modes de réalisation, la première partie du revêtement abrasable possède un taux de porosité final inférieur à 15%, de préférence inférieur à 5%. La première partie du revêtement possède ainsi un taux de porosité suffisamment faible, et donc une densité suffisamment élevée, pour résister à l'érosion.

[0033] Dans certains modes de réalisation, la deuxième partie du revêtement abrasable possède un taux de porosité final supérieur à 20%, de préférence supérieur à 30%. La deuxième partie du revêtement possède ainsi un taux de porosité suffisamment élevé, et donc une densité suffisamment faible, pour présenter un comportement facilement abrasable.

[0034] Dans certains modes de réalisation, la première partie du revêtement abrasable subit une densification d'au moins 80%, de préférence d'au moins 100%, au cours de l'étape de compression et de frittage. Dans le présent exposé, on entend par « densification » l'augmentation de la densité du matériau composant le revêtement abrasable entre l'état initial au moment de l'étape de dépôt du matériau précurseur et l'état final obtenu après les étapes de compression et de frittage. Autrement dit, il s'agit de la différence entre la densité finale et la densité initiale rapportée sur la densité initiale.

[0035] Dans certains modes de réalisation, la deuxième partie du revêtement abrasable subit une densification d'au plus 70%, de préférence d'au plus 50%, et préférentiellement d'au plus 10% au cours de l'étape de compression et de frittage.

[0036] Dans certains modes de réalisation, le procédé comprend en outre, avant l'étape de dépôt du matériau précurseur sur l'une des portions du substrat, de préférence sur la deuxième portion du substrat, une étape de formation par frittage d'une couche talon, dont le taux de porosité est inférieur à 15% et préférentiellement inférieur à 5%, sur la portion considérée du substrat. Cette

couche talon permet de conserver une couche fortement densifiée sous la deuxième partie, peu densifiée, du revêtement abrasable. Ainsi, le substrat reste protégé en cas de déplacement radial du corps circulant en regard du revêtement supérieur au déplacement maximal envisagé. Ceci protège notamment le substrat en cas de balourd important du corps mobile par exemple.

[0037] Dans certains modes de réalisation, cette étape de formation par frittage d'une couche talon est réalisée dans le deuxième moule ou dans un moule identique au deuxième moule.

[0038] Dans certains modes de réalisation, le procédé comprend en outre, après l'étape de frittage de l'un des matériaux précurseurs, une étape de formation par frittage d'une couche de surface, dont le taux de porosité final est inférieur à 15% et préférentiellement inférieur à 5%, sur au moins une des parties du revêtement abrasable, préférentiellement sur sa deuxième partie. Cette couche permet de doter le revêtement d'une faible rugosité de surface. Elle peut être également formée sur toute la surface du revêtement abrasable.

[0039] Dans certains modes de réalisation, cette étape de formation par frittage d'une couche de surface est réalisée dans le deuxième moule ou dans un moule identique au deuxième moule.

[0040] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de la couche de surface est comprise entre 0,05 et 0,10 mm.

[0041] Dans certains modes de réalisation, au moins un matériau précurseur, de préférence chaque matériau précurseur, est une poudre métallique ou céramique.

[0042] Dans certains modes de réalisation, les premier et deuxième matériaux précurseurs sont différents. Dans d'autres modes de réalisation, ils sont identiques.

[0043] Dans certains modes de réalisation, le premier matériau précurseur est une poudre dont la granulométrie est inférieure à 20 μm .

[0044] Dans certains modes de réalisation, le deuxième matériau précurseur est une poudre dont la granulométrie est supérieure à 45 μm .

[0045] Dans certains modes de réalisation, le deuxième matériau précurseur est une poudre dont la granulométrie est inférieure à 100 μm .

[0046] Dans certains modes de réalisation, le substrat est un secteur d'anneau. Il peut notamment s'agir d'un secteur d'anneau de turbine qui sera monté au stator de la turbine.

[0047] Dans certains modes de réalisation, la première portion du substrat s'étend le long de la deuxième portion du substrat.

[0048] Dans certains modes de réalisation, le substrat possède un canal longitudinal encadré par deux épaulements longitudinaux, les épaulements faisant partie de la première portion du substrat et le fond du canal faisant partie de la deuxième portion du substrat. On obtient ainsi à l'issue du procédé une bande peu dense, donc facilement abrasable, dans la zone susceptible d'entrer en contact avec les aubes d'un rotor par exemple et deux

bandes de revêtement plus dense de part et d'autre de la bande abrasable permettant de protéger cette dernière de l'érosion provoquée par la circulation axiale d'une veine d'air par exemple.

[0049] Le présent exposé concerne également une piste abrasable à densité variable, ne faisant pas partie de l'invention, comprenant une première partie comportant un matériau fritté possédant une première densité, et une deuxième partie, contiguë à la première partie, comportant un matériau fritté possédant une deuxième densité distincte de la première densité. Comme cela est expliqué ci-dessus, ceci permet de protéger les zones les plus sensibles à l'érosion tout en offrant une couche facilement abrasable dans les zones destinées à entrer en contact avec le corps mobile.

[0050] Dans certains modes de réalisation, l'épaisseur de la première partie de la piste abrasable est inférieure à l'épaisseur de la deuxième partie.

[0051] Dans certains modes de réalisation, les matériaux des première et deuxième parties de la piste abrasable sont différents. Dans d'autres modes de réalisation, ils sont identiques.

[0052] Dans certains modes de réalisation, la piste abrasable est obtenue à l'aide d'un procédé de fabrication selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

[0053] Le présent exposé concerne également un anneau de turbine ou de compresseur, ne faisant pas partie de l'invention, comprenant une piste abrasable selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

[0054] Le présent exposé concerne également une turbomachine, ne faisant pas partie de l'invention, comprenant une piste abrasable ou un anneau de turbine ou de compresseur selon l'un des modes de réalisation précédents.

[0055] Les caractéristiques et avantages précités, ainsi que d'autres, apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, d'exemples de réalisation du dispositif et du procédé proposés. Cette description détaillée fait référence aux dessins annexés.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0056] Les dessins annexés sont schématiques et visent avant tout à illustrer les principes de l'invention.

[0057] Sur ces dessins, d'une figure (FIG) à l'autre, des éléments (ou parties d'élément) identiques sont repérés par les mêmes signes de référence. En outre, des éléments (ou parties d'élément) appartenant à des exemples de réalisation différents mais ayant une fonction analogue sont repérés sur les figures par des références numériques incrémentées de 100, 200, etc.

La FIG 1 est un plan en coupe d'une turbomachine selon l'invention.

La FIG 2 est une vue partielle en perspective d'un exemple d'anneau de stator selon l'invention.

Les FIG 3A à 3G illustrent plusieurs étapes succes-

sives d'un exemple de procédé selon l'invention.

Les FIG 4A à 4E illustrent plusieurs étapes successives d'un exemple de procédé selon l'invention.

Les FIG 5A à 5E illustrent plusieurs étapes successives d'un exemple de procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE D'EXEMPLE(S) DE REALISATION

[0058] Afin de rendre plus concrète l'invention, des exemples de procédés et de pistes abrasables sont décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Il est rappelé que l'invention ne se limite pas à ces exemples.

[0059] La FIG 1 représente, en coupe selon un plan vertical passant par son axe principal A, un turboréacteur à double flux 1 selon l'invention. Il comporte, d'amont en aval selon la circulation du flux d'air, une soufflante 2, un compresseur basse pression 3, un compresseur haute pression 4, une chambre de combustion 5, une turbine haute pression 6, et une turbine basse pression 7.

[0060] La turbine haute pression 6 comprend une pluralité d'aubes 6a tournant avec le rotor et de redresseurs 6b montés sur le stator. Le stator de la turbine 6 comprend une pluralité d'anneaux de stator 10 disposés en vis-à-vis des aubes mobile 6a de la turbine 6. Comme cela est visible sur la FIG 2, chaque anneau de stator 10 est divisé en plusieurs secteurs 11 munis chacun d'une piste abrasable 20 sur laquelle viennent frotter les aubes mobiles 6a en cas d'excursion radiale du rotor.

[0061] Un exemple de réalisation d'une telle piste abrasable 20 va être décrit en référence aux FIG 3A à 3G. En FIG 3A, une ébauche 30 est tout d'abord fournie. En l'espèce, il s'agit d'un secteur d'anneau obtenu selon une méthode conventionnelle. Sa surface 30s est régulière, rectiligne dans le plan de coupe axial de la FIG 3A, et en arc de cercle dans un plan de coupe radial.

[0062] Comme cela est représenté à la FIG 3B, une rainure 31 est ensuite usinée longitudinalement, c'est-à-dire circonférentiellement, en surface de l'ébauche 30 de manière à former un canal : on obtient ainsi un substrat 32 possédant deux épaulements 33 encadrant la rainure 31 en amont et en aval respectivement. Dans le présent exposé cette rainure 31 possède une profondeur de 5 mm. Toutefois, la réalisation d'une telle rainure est facultative : d'autres exemples de réalisation du procédé peuvent en effet s'appliquer sur un substrat régulier ne présentant pas de différence de niveau.

[0063] Les deux épaulements forment ensemble une première portion 33 de substrat ; la portion du substrat 32 située au fond de la rainure 31 forme quant à elle une deuxième portion 34 de substrat.

[0064] Comme cela est représenté à la FIG 3C, le substrat 32 ainsi formé est ensuite disposé dans la cavité 42 d'un premier moule de forme 40. Ce premier moule de forme 40 comprend une partie principale 41, comportant la cavité 42 dont les dimensions axiales correspondant à celle du substrat 32, et une partie de couvercle

43 (visible sur la FIG 3D).

[0065] Un premier matériau précurseur 35a, en l'occurrence une poudre métallique, est alors déposée sur les épaulements 33, c'est-à-dire la première portion du substrat 32, tout en laissant la rainure 31, et donc la deuxième portion 34 du substrat, exempte de poudre. A cette occasion, un bloc de masquage, amovible, peut être disposé dans la rainure 31 afin d'éviter que de la poudre du premier matériau précurseur 35a ne se dépose sur la deuxième portion 34.

[0066] La poudre 35a forme alors une couche continue d'épaisseur constante au-dessus des épaulements 33 du substrat 32. Dans le présent exemple, la poudre est une poudre d'alumine de granulométrie centrée autour de 5 μm ; cette couche possède une épaisseur de 10 mm et un taux de porosité initial d'environ 30%.

[0067] Comme cela est représenté à la FIG 3D, le moule 40 est ensuite refermé en rapportant sa partie de couvercle 43 sur sa partie principale 41. Cette partie de couvercle 43 comprend un bloc central de protection 44 et deux surfaces d'appui 45 s'étendant de part et d'autre du bloc de protection 44.

[0068] Ces surfaces d'appui 45, rectilignes dans le plan axial de la FIG 3D et en arc de cercle dans un plan radial, s'appliquent alors contre la surface supérieure de chaque couche de poudre du premier matériau précurseur 35a. Le bloc de protection 44 s'insère pour sa part entre les couches de poudre 35a et pénètre dans la rainure 31 de manière à la boucher : les couches de poudre du premier matériau précurseur 35a sont ainsi enfermées dans l'espace défini par la première portion 33 du substrat, les parois de la cavité 42 de la partie principale 41 du moule 40, les surfaces d'appui 45 du couvercle 43 du moule 40 et les parois latérales 44a du bloc de protection 44 du couvercle 41 du moule 40.

[0069] Une contrainte est alors exercée sur le couvercle 43 du moule 40 pour appuyer sur les couches de poudre 35a et comprimer ces dernières entre le substrat 32 et les surfaces d'appui 45 du couvercle 43 du moule 40. La couche de poudre 35a est ainsi comprimée jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à 2 mm. Dans cet exemple, la surface frontale 44b du bloc de protection 44 du couvercle 43 du moule 40 est alors en appui contre la deuxième portion 34 du substrat.

[0070] Au cours de cette étape de compression, les particules de poudre du premier matériau précurseur 35a sont tassées les unes contre les autres et remplissent donc certains vides présents initialement entre les particules, l'air ainsi chassé étant évacué hors du moule 40. Le taux de porosité de la poudre diminue donc au cours de cette étape de compression et la densité de la poudre augmente.

[0071] Une fois un tel état comprimé obtenu, la couche de poudre 35a ainsi comprimée est frittée à l'aide d'une méthode conventionnelle de manière à obtenir une première partie 36a de revêtement 36 surmontant la première portion 33 du substrat 32 et possédant une épaisseur de 2 mm et un taux de porosité de 6%.

[0072] Le substrat 32 est alors transféré dans un deuxième moule de forme 50 comprenant une partie principale 51, comportant une cavité 52 dont les dimensions axiales correspondant à celle du substrat 32, et une partie de couvercle 53 (visible sur la FIG 3F) comportant deux parties fixes 54, c'est-à-dire immobiles, et une partie mobile 55.

[0073] Comme cela est représenté sur la FIG 3E, un deuxième matériau précurseur 35b, en l'occurrence une poudre métallique, est alors déposée dans la rainure 31, c'est-à-dire sur la deuxième portion 34 du substrat 32, tout en laissant la première partie de revêtement 36a exempte de poudre. A cette occasion, des blocs de masquage, amovibles, peuvent être disposés sur ces parties 36a du revêtement afin d'éviter que de la poudre du deuxième matériau précurseur 35b ne s'y dépose.

[0074] La poudre 35b forme alors une couche continue d'épaisseur constante au-dessus de la deuxième portion 34 du substrat 32. Dans le présent exemple, la poudre est une poudre d'alumine de granulométrie centrée autour de 100 μm ; cette couche possède une épaisseur de 12 mm et un taux de porosité initial d'environ 70%.

[0075] A cette occasion, on note qu'il est possible d'obtenir un taux de porosité initial plus important en ajoutant à cette poudre un agent porogène qui sera éliminé ultérieurement au cours du procédé, au cours d'une étape de pyrolyse par exemple.

[0076] Comme cela est représenté à la FIG 3F, le moule 50 est ensuite refermé en rapportant sa partie de couvercle 53 sur sa partie principale 51. Les parties fixes 54 du couvercle sont prévues pour recouvrir et s'appliquer contre la première partie 36a du revêtement abradable obtenu précédemment. La partie mobile 55 du couvercle possède pour sa part une surface frontale d'appui 55a, rectiligne dans le plan axial de la FIG 3F et en arc de cercle dans un plan radial, prévue en vis-à-vis de la deuxième portion 34 du substrat 32 de telle sorte qu'elle s'applique alors contre la surface supérieure de la couche de poudre du deuxième matériau précurseur 35b. Cette couche de poudre du deuxième matériau précurseur 35b est enfermée dans l'espace défini par la rainure 31 du substrat, les flancs de la première partie de revêtement 36a, les surfaces latérales des parties fixes 54 du couvercle 53 du moule 50 et la surface d'appui 55a de la partie mobile 55 du couvercle 53 du moule 50.

[0077] Une contrainte est alors exercée sur la partie mobile 55 du couvercle 53 du moule 50 pour appuyer sur la couche de poudre 35b et comprimer cette dernière entre le substrat 32 et la surface d'appui 55a du couvercle 53 du moule 50. La couche de poudre 35b est ainsi comprimée jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à 7 mm. Dans cet exemple, le niveau de surface de la couche de poudre 35b affleure alors le niveau de surface de la première partie de revêtement 36a.

[0078] Au cours de cette étape de compression, les particules de poudre du deuxième matériau précurseur 35b sont tassées les unes contre les autres et remplissent donc certains vides présents initialement entre les

particules, l'air ainsi chassé étant évacué hors du moule 50. Le taux de porosité de la poudre diminue donc au cours de cette étape de compression et la densité de la poudre augmente, mais toutefois de manière moins importante que dans le cas du premier matériau précurseur 35a.

[0079] Une fois un tel état comprimé obtenu, la couche de poudre 35b ainsi comprimée est frittée à l'aide d'une méthode conventionnelle. A l'issue de cette étape de frittage on obtient alors la piste abrasable 20 de la FIG 3G dans laquelle le substrat 32 est recouvert d'un revêtement 36 comprenant une première partie 36a surmontant les épaulements 33, possédant une épaisseur de 2 mm et un taux de porosité de 6%, et une deuxième partie 36b surmontant la deuxième portion de substrat 34 possédant une épaisseur de 7 mm et un taux de porosité de 40,6%.

[0080] Naturellement, la profondeur de la rainure 31 (qui peut éventuellement être nulle), les matériaux 35a, 35b utilisés, l'épaisseur initiale des couches de poudre 35a, 35b, et l'amplitude des compressions réalisées peuvent être réglés librement pour atteindre les densités et les épaisseurs de revêtement voulues.

[0081] Dans un deuxième exemple, illustré aux FIG 4A à 4E, le procédé comprend des étapes supplémentaires, ayant lieu après la réalisation de la première partie de revêtement 136a et avant la réalisation de la deuxième partie de revêtement 136b, visant à former une couche talon 137 de forte densité, possédant par exemple un taux de porosité de l'ordre de 6%, sur la deuxième portion 134 du substrat et sous la deuxième partie de revêtement 136b.

[0082] Le procédé commence de la même manière que l'exemple de réalisation précédent avec la réalisation d'une première partie de revêtement 136a à forte densité. Ces étapes ne seront donc pas décrites à nouveau.

[0083] A l'issue de ces étapes, comme cela est représenté à la FIG 4A, le substrat 132 est transféré dans un moule 150 analogue au deuxième moule 50 du premier exemple de réalisation.

[0084] Un troisième matériau précurseur 135c, est alors déposé dans la rainure 131, c'est-à-dire sur la deuxième portion 34 du substrat 32, de manière à former une couche continue d'épaisseur constante au-dessus de la deuxième portion 34 du substrat 32. Dans le présent exemple, le troisième matériau précurseur 135c est identique au premier matériau précurseur utilisé pour réaliser la première partie de revêtement 136a ; en outre, cette couche possède une épaisseur de 10 mm et un taux de porosité initial d'environ 30%.

[0085] Comme cela est représenté à la FIG 4B, le moule 150 est ensuite refermé et une contrainte est alors exercée sur la partie mobile 155 du couvercle 153 du moule 50 pour comprimer la couche de poudre 135c entre le substrat 32 et la surface d'appui du couvercle 153 du moule 150 jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à 2 mm. Une fois un tel état comprimé obtenu, la couche de poudre 135c ainsi comprimée est frittée à l'aide d'une

méthode conventionnelle.

[0086] A l'issue de cette étape de frittage on obtient alors une couche talon 137 recouvrant la deuxième portion 134 du substrat 132, possédant une épaisseur de 2 mm et un taux de porosité de 6%.

[0087] Comme cela est représenté aux FIG 4C et 4D, la suite du procédé est alors analogue au premier exemple de réalisation si ce n'est que le deuxième matériau précurseur 135b est déposé sur la couche talon 137.

[0088] A l'issue du procédé, on obtient ainsi la piste abrasable 120 de la FIG 4E dans laquelle la deuxième partie du revêtement 136b à moindre densité recouvre la couche talon 137, cette dernière protégeant le substrat 132 en cas de déplacement radial du corps circulant en regard du revêtement supérieur au déplacement maximal envisagé, en cas de balourd important du corps mobile par exemple.

[0089] Dans un troisième exemple, compatible avec les premier et deuxième exemples et illustré aux FIG 5A à 5E, le procédé comprend des étapes supplémentaires, ayant lieu juste après la réalisation de la deuxième partie de revêtement 236b, visant à former une couche de surface 238 de forte densité, possédant par exemple un taux de porosité de 15%, sur la deuxième partie de revêtement 236b et/ou la première partie de revêtement 236a.

[0090] Le procédé commence de la même manière que le premier exemple de réalisation avec la réalisation d'une première partie de revêtement 236a à forte densité et d'une deuxième partie de revêtement 236b à faible densité. Ces étapes ne seront donc pas décrites à nouveau.

[0091] Il convient toutefois de noter sur les FIG 5A et 5B que les épaisseurs de la couche de deuxième matériau précurseur 235b dans son état initial et son état comprimé sont éventuellement adaptées, c'est-à-dire réduites, de manière à laisser en surface de la deuxième partie de revêtement 236b une place suffisante pour recevoir la couche de surface 238 lorsque l'on souhaite que cette dernière affleure la première partie de revêtement 236a.

[0092] A l'issue de ces étapes, comme cela est représenté à la FIG 5C, un quatrième matériau précurseur 235d, est déposé sur la deuxième partie de revêtement 236b ainsi réalisée, de manière à former une couche continue d'épaisseur constante. Dans le présent exemple, le quatrième matériau précurseur 235d est identique au deuxième matériau précurseur utilisé pour réaliser la deuxième partie de revêtement 236b ; en outre, cette couche possède une épaisseur de 0,6 mm et un taux de porosité initial d'environ 70%.

[0093] Comme cela est représenté à la FIG 5D, le moule 250 est ensuite refermé et une contrainte est alors exercée sur la partie mobile 255 du couvercle 253 du moule 250 pour comprimer la couche de poudre 235d entre la deuxième partie de revêtement 236b et la surface d'appui du couvercle 153 du moule 150 jusqu'à ce que son épaisseur soit réduite à 0,10 mm. Une fois un tel état comprimé obtenu, la couche de poudre 235d ainsi comprimée est frittée à l'aide d'une méthode conventionnelle.

[0094] A l'issue du procédé, on obtient alors la piste abrasable 220 de la FIG 5E dans laquelle la deuxième partie du revêtement 236b à moindre densité est recouverte par une couche de surface 238, affleurant la première partie du revêtement 236b, possédant une épaisseur de 0,10 mm et un taux de porosité de 11,9%. Cette couche de surface 238 possède une rugosité de surface moins importante que la deuxième partie du revêtement 236b et offre donc un gain sur le frottement aérodynamique.

[0095] 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.

[0096] 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.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un revêtement abrasable à densité variable, comprenant les étapes suivantes :

fourniture d'un substrat (32) comportant une première portion (33) et une deuxième portion (34) ;
 dépôt d'un premier matériau précurseur (35a) sur la première portion (33) du substrat (32) ;
 compression du premier matériau précurseur (35a) entre le substrat (32) et une première surface d'appui (45) ;
 frittage du premier matériau précurseur (35a) ainsi comprimé pour obtenir une première partie de revêtement abrasable (36a), en regard de la première portion (33) du substrat (32), possédant une première densité ;
 dépôt d'un deuxième matériau précurseur (35b) sur la deuxième portion (34) du substrat (32) ;
 compression du deuxième matériau précurseur (35b) entre le substrat (32) et une deuxième surface d'appui (55a) ;
 frittage du deuxième matériau précurseur (35b) ainsi comprimé pour obtenir une deuxième partie de revêtement abrasable (36b), en regard de la deuxième portion (34) du substrat (32), possédant une deuxième densité distincte de la première.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les étapes de compression et de frittage du premier ma-

tériau précurseur (35a) sont réalisées au sein d'un premier moule (40), et

dans lequel le premier moule comprend la première surface d'appui (45) ainsi qu'au moins une paroi de protection (44a) prévue de manière à flanquer le premier matériau précurseur (35a) à l'interface entre la première et la deuxième portion du substrat (33, 34) au cours des étapes de compression et de frittage du premier matériau précurseur (35a).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les étapes de compression et de frittage du deuxième matériau précurseur (35b) sont réalisées au sein d'un deuxième moule (50), et dans lequel le deuxième moule (50) comprend une partie mobile (55) s'étendant en vis-à-vis de la deuxième portion (34) du substrat (32) et incluant la deuxième surface d'appui (55a), et une partie immobile (54) s'étendant en vis-à-vis de la première portion du substrat.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la première partie du revêtement abrasable (36a) possède un taux de porosité final inférieur à 15%, de préférence inférieur à 5%.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la deuxième partie du revêtement abrasable (36b) possède un taux de porosité final supérieur à 20%, de préférence supérieur à 30%.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre, avant l'étape de dépôt du matériau précurseur sur l'une des portions du substrat, de préférence sur la deuxième portion (134) du substrat (132), une étape de formation par frittage d'une couche talon (137), dont le taux de porosité final est inférieur à 15% et préférentiellement inférieur à 5%, sur la portion considérée du substrat.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre, après l'étape de frittage de l'un des matériaux précurseurs, une étape de formation par frittage d'une couche de surface (238), dont le taux de porosité final est inférieur à 15% et préférentiellement inférieur à 5%, sur au moins une des parties du revêtement abrasable, préférentiellement sur sa deuxième partie (236b).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le substrat est un secteur d'anneau (11).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer abreibbaren Be-

schichtung mit variabler Dichte, das die folgenden Schritte umfasst:

- Liefern eines Substrats (32), das einen ersten Abschnitt (33) und einen zweiten Abschnitt (34) umfasst;

Aufbringen eines ersten Vorläufermaterials (35a) auf dem ersten Abschnitt (33) des Substrats (32);

Verdichten des ersten Vorläufermaterials (35a) zwischen dem Substrat (32) und einer ersten Auflageoberfläche (45);

Sintern des so verdichteten ersten Vorläufermaterials (35a), um einen ersten abreibbaren Beschichtungsteil (36a) dem ersten Abschnitt (33) des Substrats (32) gegenüberstehend zu erhalten, der eine erste Dichte besitzt;

Aufbringen eines zweiten Vorläufermaterials (35b) auf dem zweiten Abschnitt (34) des Substrats (32);

Verdichten des zweiten Vorläufermaterials (35b) zwischen dem Substrat (32) und einer zweiten Auflageoberfläche (55a);

Sintern des so verdichteten zweiten Vorläufermaterials (35b), um einen zweiten abreibbaren Beschichtungsteil (36b) dem zweiten Abschnitt (33) des Substrats (32) gegenüberstehend zu erhalten, der eine zweite Dichte besitzt, die sich von der ersten unterscheidet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schritte des Verdichtens und des Sinterns des ersten Vorläufermaterials (35a) innerhalb einer ersten Form (40) ausgeführt werden, und

wobei die erste Form die erste Auflageoberfläche (45) sowie mindestens eine Schutzwand (44a) umfasst, die derart vorgesehen ist, dass sie das erste Vorläufermaterial (35a) an der Grenzfläche zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt des Substrats (33, 34) während der Schritte des Verdichtens und des Sinterns des ersten Vorläufermaterials (35a) flankiert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Schritte des Verdichtens und des Sinterns des zweiten Vorläufermaterials (35b) innerhalb einer zweiten Form (50) ausgeführt werden, und

wobei die zweite Form (50) einen beweglichen Teil (55), der sich gegenüber dem zweiten Abschnitt (34) des Substrats (32) erstreckt und die zweite Auflageoberfläche (55a) einschließt, und einen unbeweglichen Teil (54) umfasst, der sich gegenüber dem ersten Abschnitt des Substrats erstreckt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der erste Teil der abreibbaren Beschichtung (36a) einen Endporositätsgrad von niedriger als 15 %, vorzugsweise niedriger als 5 %, besitzt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der zweite Teil der abreibbaren Beschichtung (36b) einen Endporositätsgrad von höher als 20 %, vorzugsweise höher als 30 %, besitzt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das ferner vor dem Schritt des Aufbringens des Vorläufermaterials auf einem der Abschnitte des Substrats, vorzugsweise auf dem zweiten Abschnitt (134) des Substrats (132), einen Schritt des Bildens einer Absatzschicht (137), deren Endporositätsgrad niedriger als 15 % und vorzugsweise niedriger als 5 % ist, durch Sintern auf dem betrachteten Abschnitt des Substrats umfasst.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, das ferner nach dem Schritt des Sinterns des einen der Vorläufermaterialien einen Schritt des Bildens einer Oberflächenschicht (238), deren Endporositätsgrad niedriger als 15 % und vorzugsweise niedriger als 5 % ist, durch Sintern auf mindestens einem der Teile der abreibbaren Beschichtung, vorzugsweise auf ihrem zweiten Teil (236b), umfasst.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Substrat ein Ringsektor (11) ist.

Claims

1. A fabrication method for fabricating an abrasible coating of varying density, the method comprising the following steps:

providing a substrate (32) having a first portion (33) and a second portion (34);

depositing a first precursor material (35a) on the first portion (33) of the substrate (32);

compressing the first precursor material (35a) between the substrate (32) and a first bearing surface (45);

sintering the first precursor material (35a) as compressed in this way in order to obtain a first abrasible coating portion (36a) on the first portion (33) of the substrate (32), and possessing a first density;

depositing a second precursor material (35b) on the second portion (34) of the substrate (32);

compressing the second precursor material (35b) between the substrate (32) and a second bearing surface (55a); and

sintering the second precursor material (35b) as compressed in this way in order to obtain a second abrasible coating portion (36b) on the second portion (33) of the substrate (32), and possessing a second density distinct from the first.
2. A method according to claim 1, wherein the steps of

compressing and sintering the first precursor material (35a) are performed within a first mold (40); and wherein the first mold includes the first bearing surface (45) together with at least one protection wall (44a) provided so as to lie beside the first precursor material (35a) at the interface between the first and second portions (33, 34) of the substrate during the steps of compressing and sintering the first precursor material (35a).

3. A method according to claim 1 or claim 2, wherein the steps of compressing and sintering the second precursor material (35b) are performed within a second mold (50); and wherein the second mold (50) includes a movable portion (55) extending facing the second portion (34) of the substrate (32) and including the second bearing surface (55a), and a stationary portion (54) extending facing the first portion of the substrate.
4. A method according to any one of claims 1 to 3, wherein the first portion of the abradable coating (36a) possesses final porosity of less than 15%, preferably less than 5%.
5. A method according to any one of claims 1 to 4, wherein the second portion of the abradable coating (36b) possesses final porosity greater than 20%, preferably greater than 30%.
6. A method according to any one of claims 1 to 5, further comprising, prior to the step of depositing the precursor material on one of the portions of the substrate, preferably on the second portion (134) of the substrate (132), a step of forming a backing layer (137) by sintering on the portion under consideration of the substrate, the backing layer having final porosity of less than 15%, and preferably less than 5%.
7. A method according to any one of claims 1 to 6, further comprising, after the step of sintering one of the precursor materials, a step of forming a surface layer (238) by sintering on at least one of the portions of the abradable coating, preferably on its second portion (236b), the surface layer having final porosity of less than 15%, and preferably less than 5%.
8. A method according to any one of claims 1 to 7, wherein the substrate is a ring sector (11).

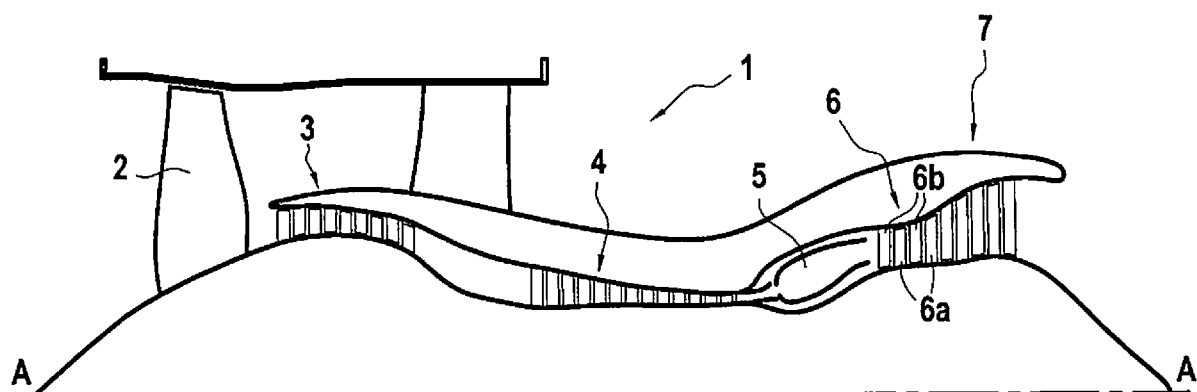


FIG. 1

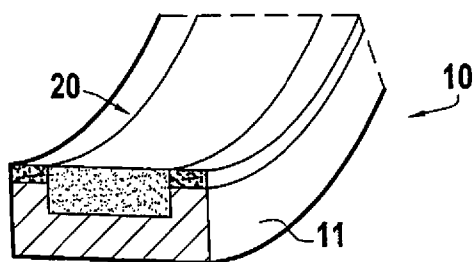


FIG. 2

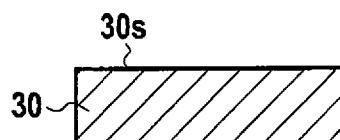


FIG. 3A

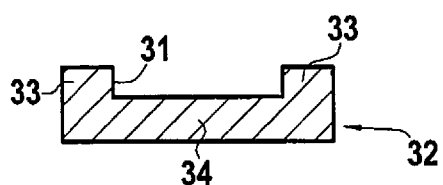


FIG. 3B

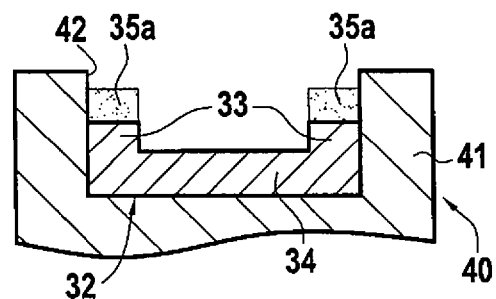


FIG. 3C

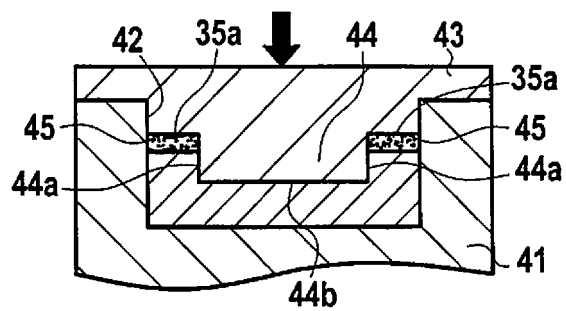


FIG. 3D

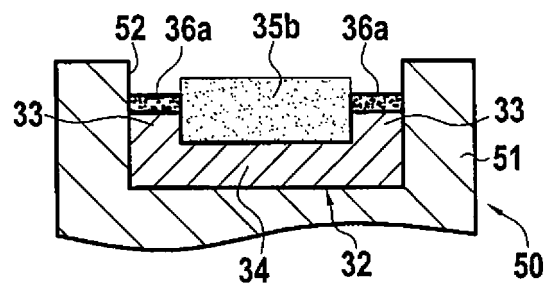


FIG. 3E

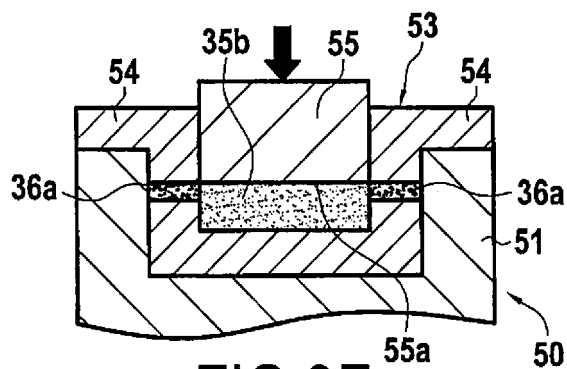


FIG. 3F

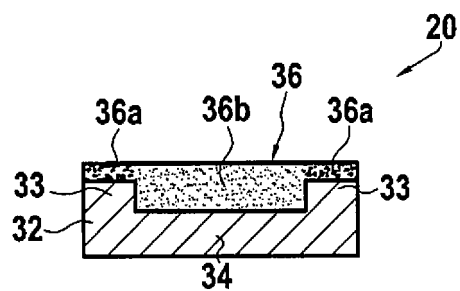


FIG. 3G

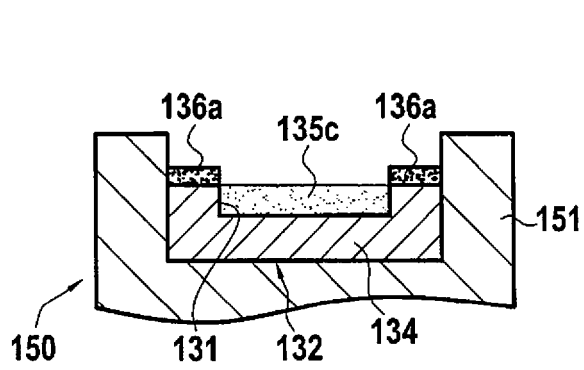


FIG. 4A

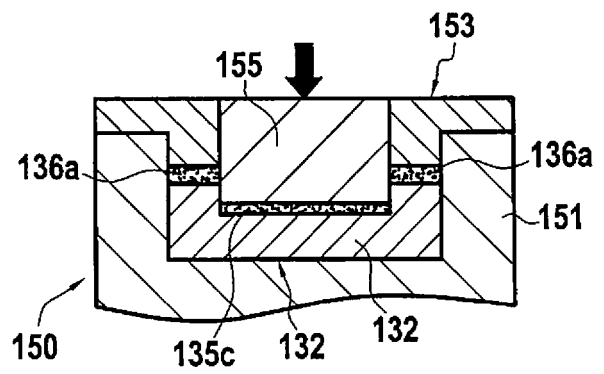


FIG. 4B

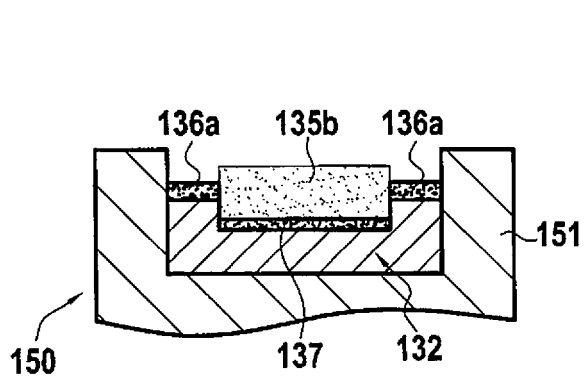


FIG. 4C

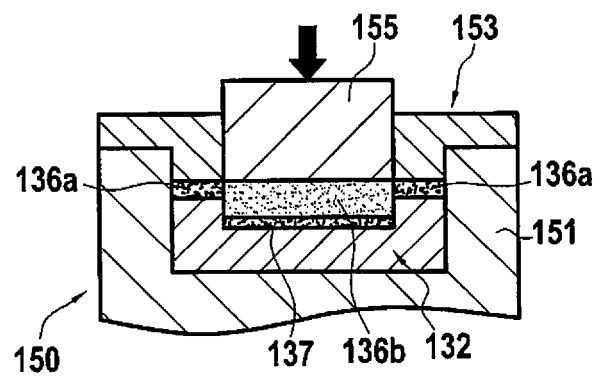


FIG. 4D

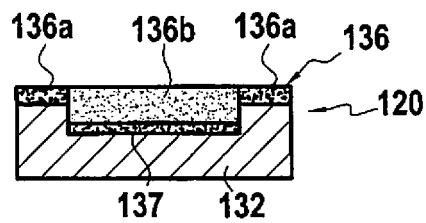


FIG. 4E

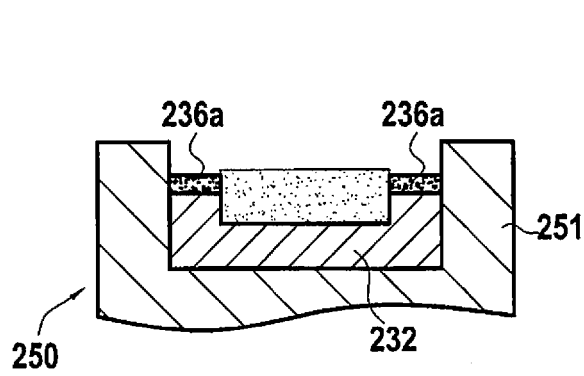


FIG. 5A

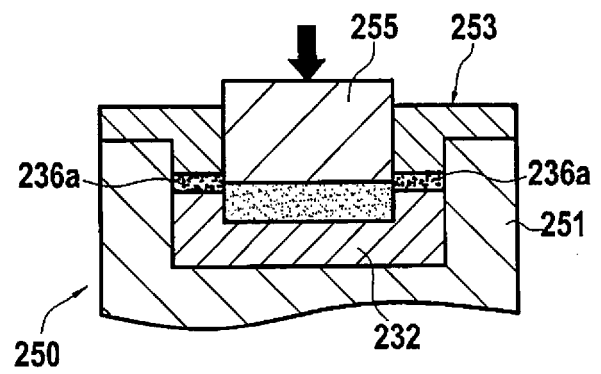


FIG. 5B

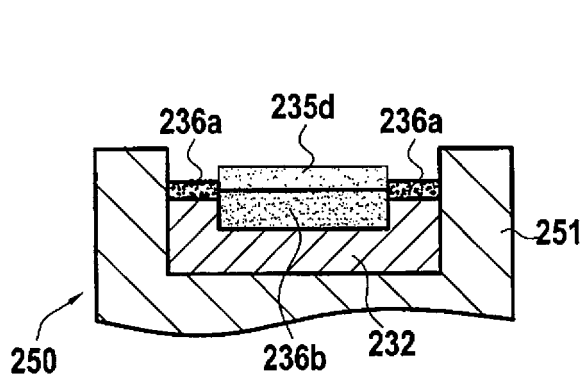


FIG. 5C

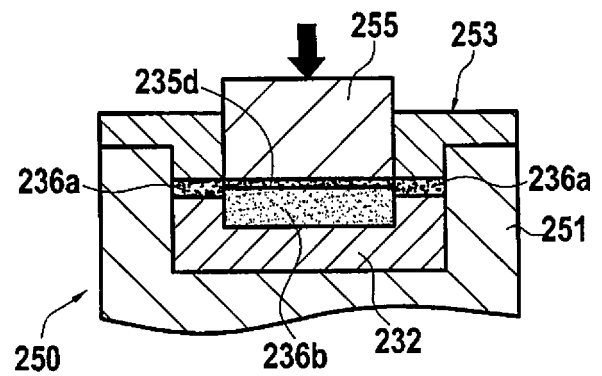


FIG. 5D

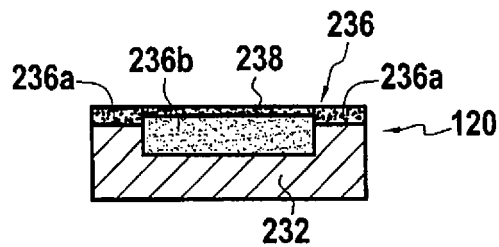


FIG. 5E

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 20140263579 A [0008]
- FR 2996475 [0008]
- WO 2014053754 A [0008]