



(11) **EP 1 832 753 A2**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**12.09.2007 Bulletin 2007/37**

(51) Int Cl.:  
**F04D 29/02** (2006.01) **C25D 11/02** (2006.01)  
**F04B 39/00** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **07103799.8**

(22) Date de dépôt: **08.03.2007**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Etats d'extension désignés:  
**AL BA HR MK YU**

- **BEAUVIR, Jacques**  
**CH-1701, FRIBOURG (CH)**
- **PLATON, Francis**  
**87065, LIMOGES (FR)**
- **FOURCADE, Patrick**  
**87065, LIMOGES (FR)**

(30) Priorité: **10.03.2006 FR 0650815**

(74) Mandataire: **Sciaux, Edmond**  
**Alcatel-Lucent**  
**Intellectual Property & Standards**  
**54, rue La Boétie**  
**F-75008 Paris (FR)**

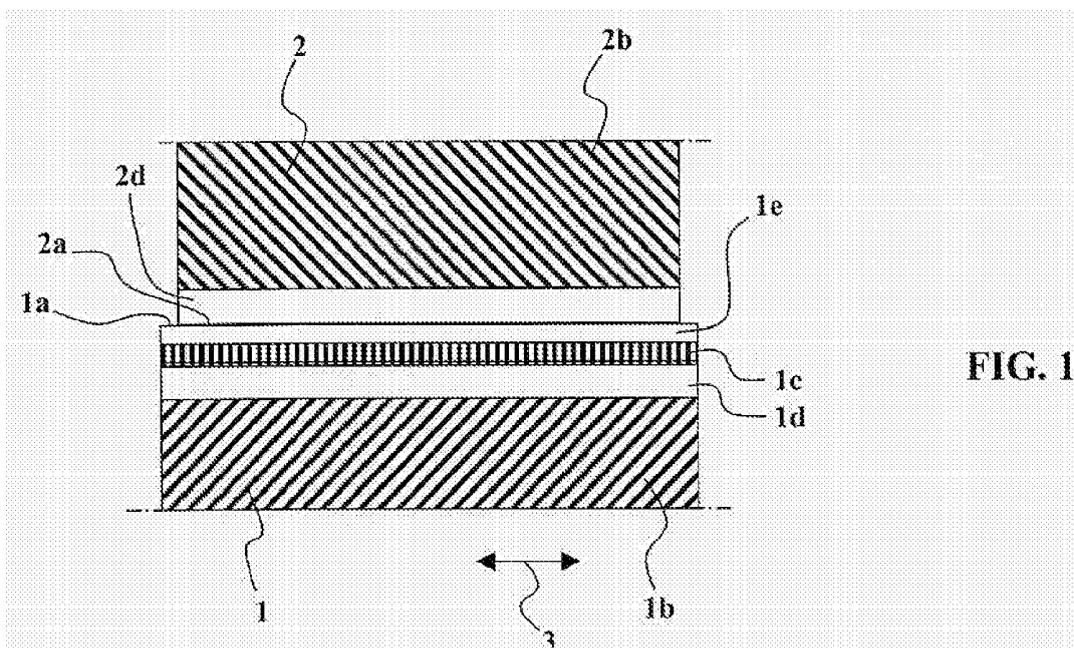
(71) Demandeur: **ALCATEL**  
**75008 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **VUILLERMOZ, Jean-François**  
**74940, ANNECY LE VIEUX (FR)**

(54) **Structure d'interface entre deux pieces mecaniques en mouvement, procede pour sa realisation, et application aux pompes a vide**

(57) Selon l'invention, les surfaces antagonistes (1a, 2a) de frottement des pièces mécaniques (1, 2) en mouvement dans une atmosphère en dépression, notamment dans une pompe à vide, sont réalisées par transformation d'alliage léger en une céramique par oxydation micro-arc. On réalise ainsi, sur une première pièce mé-

canique (1), une structure de frottement comprenant une sous-couche interne de céramique dense (1d), une couche superficielle externe de céramique poreuse (1c), et une couche d'imprégnation et de recouvrement (1e) en polymère additionné d'un lubrifiant solide. On évite ainsi la libération de particules polluantes, on assure une bonne résistance à l'usure, et on favorise le glissement.



**FIG. 1**

**EP 1 832 753 A2**

## Description

**[0001]** L'invention concerne les structures d'interface entre des pièces mécaniques en mouvement, en particulier des pièces de pompes ou autres systèmes se mouvant dans une atmosphère en dépression, dans lesquelles des surfaces de contact antagonistes sont en mouvement les unes par rapport aux autres avec un jeu alternativement faible ou nul.

**[0002]** Des surfaces de contact antagonistes en mouvement les unes par rapport aux autres sont généralement nécessaires soit pour la transmission d'efforts mécaniques d'une pièce à l'autre, soit pour la réalisation d'un appui d'une pièce sur l'autre, soit pour la réalisation d'une étanchéité aux gaz ou aux liquides.

**[0003]** La friction, quand le jeu faible devient nul entre deux surfaces antagonistes dans un contact, est traditionnellement réalisée en prévoyant la présence d'un lubrifiant liquide. Toutefois, dans une atmosphère en dépression, les lubrifiants liquides présentent l'inconvénient de s'évaporer, produisant l'émission de vapeurs polluantes dont la présence est incompatible avec les critères des systèmes sous vide "propres et secs".

**[0004]** Dans le domaine des pompes ou des compresseurs, on connaît déjà, comme décrit dans le document EP-0 705 979, la possibilité de revêtir l'une des surfaces antagonistes à l'aide d'une matrice polymère contenant un lubrifiant solide. Par une opération de rodage préliminaire, consistant à déplacer les pièces antagonistes les unes par rapport aux autres selon leurs trajectoires propres, on réalise sous l'effet des pressions de contact une usure de la matrice à lubrifiant solide pour lui conférer exactement la forme nécessaire à l'obtention d'un jeu nul ou aussi réduit que possible. Ceci permet ultérieurement le déplacement relatif des pièces sans risque de grippage tout en assurant une étanchéité optimisée. Les pièces peuvent être en alliage léger tel que l'aluminium. La matrice d'enrobage peut être une résine polymérisant à chaud ou en présence d'un catalyseur, par exemple une résine époxy ou polyimide, contenant des lubrifiants solides tels que le graphite, le disulfure de molybdène et le nitrure de bore.

**[0005]** Cette technique présente toutefois l'inconvénient que la matrice continue à subir le frottement d'écoulement et la compression des fluides pompés pendant l'utilisation du système. L'échauffement et les contraintes répétitives sur la pièce rechargée sont systématiques. Il peut en résulter, surtout dans un usage où la nature des fluides gazeux peut être chimiquement agressive, sous l'effet d'une telle attaque, soit un gonflement ou une striction, soit un décollement de la matrice. Il est à craindre une augmentation progressive du jeu entre les deux pièces, réduisant l'efficacité de l'interface, induisant par exemple une perte d'étanchéité. De plus, si les frottements entre pièces se produisent, l'usure génèrera continuellement une émission de particules qui s'échappent dans le flux ambiant, ce qui n'est pas souhaitable dans les applications du vide.

**[0006]** Ainsi, invention vise à augmenter la résistance à l'usure des surfaces antagonistes de contact en mouvement les unes par rapport aux autres, tout en diminuant leur frottement.

5 **[0007]** Dans le document EP-0 520 487, il est proposé d'assurer l'étanchéité des spires conjuguées d'une pompe de type SCROLL en prévoyant des joints d'étanchéité comportant une partie élastique en élastomère et une partie de contact autolubrifiante en résine. L'usure progressive du joint en résine est compensée par la déformation possible de la partie élastique du joint. Il reste néanmoins nécessaire de changer périodiquement les joints, et le système présente l'inconvénient d'émettre de nombreuses particules dans l'atmosphère intérieure à faible pression, qui sont libérées ensuite dans un flux établi.

10 **[0008]** Dans le domaine du vide, c'est-à-dire lorsque les pièces en mouvement sont dans une atmosphère en dépression, la difficulté est encore accrue, par le fait que les surfaces antagonistes de contact en mouvement les unes vis-à-vis des autres ne peuvent pas emprisonner entre elles un "matelas" de molécules gazeuses. La friction est alors permanente, la sollicitation est maximale. Ceci contrairement aux systèmes de pièces en déplacement dans une atmosphère à pression voisine ou supérieure à la pression atmosphérique, où le glissement est facilité par l'interposition d'un film gazeux d'autant plus efficace que les pièces sont en mouvement rapide, selon un régime aérodynamique.

15 **[0009]** Par ailleurs on connaît certains documents (US-5,487,825 ; US-2005/0,098,441) qui se pose le problème de protéger des pièces métalliques de la corrosion lorsqu'elles sont placées dans des conditions extrêmes ou agressives. Dans ce but les pièces sont recouvertes d'une couche superficielle en céramique poreuse dans la porosité de laquelle est introduit un fluoropolymère.

20 **[0010]** Le document WO-2005/014 892 décrit un procédé de revêtement d'un substrat afin d'améliorer sa résistance à la corrosion et à l'abrasion par des particules. Le substrat métallique est recouvert de trois couches de céramique : une première couche de transition, une couche fonctionnelle de grande dureté et une couche de surface poreuse. La couche de surface dont la porosité est apte à retenir une couche composite contenant un lubrifiant.

25 **[0011]** Selon la présente invention, dans un système comportant des pièces en mouvement l'une vis-à-vis de l'autre, en particulier sous vide, on veut permettre, sans risque de grippage ou d'abrasion significative, le contact permanent ou temporaire des surfaces antagonistes en mouvement les unes par rapport aux autres en contact glissant avec un jeu très faible ou nul, tout en minimisant l'émission de particules et donc en minimisant l'usure progressive des surfaces en cours d'utilisation normale.

30 **[0012]** Pour atteindre ces buts ainsi que d'autres, l'invention propose une structure d'interface comprenant une première pièce mécanique et une seconde pièce mécanique ayant respectivement au moins une première

surface et au moins une seconde surface antagoniste en regard de ladite première surface, la première pièce mécanique ayant une structure propre en métal ou alliage de faible densité et la zone superficielle de la première surface de la première pièce mécanique comprenant au moins deux couches superficielles en céramique, une couche superficielle externe poreuse et une sous-couche interne dense, la porosité de la couche superficielle externe contenant un matériau qui favorise le glissement. La première surface de la première pièce mécanique et la seconde surface de la seconde pièce mécanique sont en mouvement l'une par rapport à l'autre en contact glissant permanent ou temporaire dans une atmosphère en dépression, la seconde pièce mécanique ayant une structure propre en métal ou alliage de faible densité, et la zone superficielle de la seconde surface antagoniste comprenant au moins une couche dense en céramique.

**[0013]** En transformant en une céramique la zone superficielle de la première pièce à structure propre en métal léger, avec une couche superficielle externe poreuse et une sous-couche interne dense, on donne à la zone superficielle en céramique une grande dureté qui lui permet de supporter des pressions localisées élevées en limitant les déformations, et on donne à la zone superficielle en céramique une capacité de recevoir un traitement de finition par rectification qui lui confère la géométrie la plus régulière possible dans la zone d'interface. La couche superficielle externe poreuse est particulièrement adhérente à la structure de la pièce en métal via la sous-couche interne de même nature mais plus dense de ce même métal transformé en céramique. Et la couche superficielle externe poreuse constitue une couche d'accrochage très efficace pour un matériau favorisant le glissement, et peut elle-même recevoir et retenir du matériau favorisant le glissement pour le redistribuer ensuite dans l'interface de contact entre les surfaces antagonistes, Il en résulte ainsi une réduction très sensible des frottements, et il en résulte une réduction de l'émission de particules.

**[0014]** Les porosités de la couche superficielle externe poreuse en céramique contiennent un matériau favorisant le glissement. Une amélioration des propriétés tribologiques et une réduction simultanée de l'émission de particules peuvent être obtenues en prévoyant que le matériau qui favorise le glissement est un lubrifiant solide organique et/ou minéral, par exemple choisi dans la famille comprenant le graphite, le disulfure de molybdène, le nitrure de bore, le disulfure de tungstène, le PTFE.

**[0015]** De préférence, le matériau qui favorise le glissement est contenu dans un polymère solide. Il s'agit ainsi d'un mélange de polymère et de lubrifiant, et le polymère favorise l'accrochage du lubrifiant à la céramique.

**[0016]** Le polymère solide est une résine polymérisée à chaud, par exemple un polymère choisi dans la famille comprenant les polyamides imides, les polyimides, les résines époxy, le polyaryl sulfone. Le polymère sera choisi en fonction de son spectre de résistance chimique ou physique adopté à la nature et à la température des fluides

en contact. De préférence la température de polymérisation de la résine est supérieure à 200°C, et de préférence encore comprise entre 230°C et 370°C.

**[0017]** Selon une possibilité, la couche superficielle externe poreuse en céramique, qui est ainsi imprégnée de polymère solide, peut être en outre recouverte d'une couche de surface dudit polymère solide, laquelle couche de surface de polymère constituant une couche d'adaptation susceptible d'être mise à dimension définitive par une opération préliminaire d'usinage, d'ajustage ou bien de rodage. On assure ainsi la réalisation d'un jeu minimal entre les première et seconde pièces mécaniques.

**[0018]** Du fait de la structuration poreuse de la couche superficielle externe constituant un support d'accrochage idéal, le polymère solide est très adhérent.

**[0019]** Selon l'invention, le métal ou alliage de faible densité peut être pris dans la famille des métaux ou alliages comprenant l'aluminium, le titane, le magnésium.

**[0020]** La seconde pièce mécanique a une structure propre en métal ou alliage de faible densité, et la seconde surface antagoniste comprend au moins une couche dense du métal ou alliage transformé en une céramique. Cette couche dense peut alors constituer la couche superficielle de ladite seconde pièce mécanique.

**[0021]** En alternative, selon certaines applications, la seconde surface antagoniste peut comprendre une couche superficielle externe poreuse et une sous-couche interne dense dudit métal ou alliage transformé en une céramique.

**[0022]** Selon l'invention, les couches en céramique peuvent avantageusement présenter une structure de couche de métal ou alliage transformée en céramique par oxydation micro-arc.

**[0023]** L'invention a aussi pour objet un procédé pour la réalisation d'une structure d'interface telle que définie ci-dessus. Le procédé comprend une étape d'oxydation micro-arc du métal ou alliage de la zone superficielle d'une première surface et d'au moins une seconde surface antagoniste, les paramètres d'étincelage de l'étape d'oxydation micro-arc étant choisis de façon à constituer au moins une couche superficielle en céramique.

**[0024]** Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape au cours de laquelle la couche superficielle externe poreuse en céramique de la première surface reçoit une enduction de matériau favorisant le glissement.

**[0025]** Avantageusement, l'enduction de matériau favorisant le glissement est réalisée par projection nébulisée, par trempage, par imprégnation, ou par centrifugation.

**[0026]** Selon un autre mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape d'échauffement pour polymériser la résine du matériau favorisant le glissement afin de lui apporter la dureté et la résistance de structure nécessaire.

**[0027]** Le procédé peut avantageusement comprendre une étape d'usinage, dit de conformation, d'au moins une surface antagoniste en céramique obtenue par oxy-

dition micro-arc d'une surface en métal ou alliage.

**[0028]** L'invention prévoit également diverses applications d'une telle structure d'interface pour la constitution de surfaces antagonistes de frottement, continu ou discontinu, entre des pièces mécaniques en mouvement dans une atmosphère en dépression, notamment dans des pompes à vide.

**[0029]** D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe d'une structure d'interface selon un mode de réalisation de l'invention, avec contact dynamique entre les deux pièces antagonistes ;
- la figure 2 est une vue schématique en coupe d'une structure d'interface selon un autre mode de réalisation de l'invention, avec un contact permanent entre des surfaces axiales, et avec un jeu entre des surfaces radiales ;
- la figure 3 est une vue schématique en coupe illustrant le détail de structure d'une première surface à double couche de céramique et couche de surface en polymère ;
- la figure 4 illustre une première application d'une structure d'interface selon l'invention, pour la réalisation d'un joint d'étanchéité de pompe SCROLL ;
- la figure 5 illustre une seconde application d'une structure d'interface selon l'invention, pour la réalisation de zones de contact accidentel d'une pompe turbo moléculaire et pour la réalisation de paliers et d'une butée à gaz sur une telle pompe ;
- la figure 6 illustre une troisième application d'une structure d'interface selon l'invention, pour une pompe SCROLL ; et
- la figure 8 illustre une autre application d'une structure d'interface selon l'invention pour une pompe à piston.

**[0030]** Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 1, une structure d'interface selon l'invention est prévue entre une première pièce mécanique 1 et une seconde pièce mécanique 2, qui ont respectivement au moins une première surface 1a et une seconde surface antagoniste 2a.

**[0031]** Les surfaces antagonistes 1a et 2a sont en regard l'une de l'autre et sont l'une par rapport à l'autre en mouvement de glissement, illustré par la flèche 3, étant observé que les pièces 1 et 2 sont en contact l'une de l'autre selon leurs surfaces antagonistes 1a et 2a, que ce soit occasionnellement ou accidentellement.

**[0032]** La première pièce mécanique 1 a une structure propre 1b en métal ou alliage de faible densité, par exemple un métal ou alliage pris dans la famille des métaux ou alliages comprenant l'aluminium, le titane, le magnésium.

**[0033]** La zone superficielle de la première surface la

de la première pièce mécanique 1 comprend au moins deux couches 1c et 1d dans lesquelles ledit métal ou alliage de faible densité a été transformé en une céramique. On distingue ainsi une couche superficielle externe 1c et une sous-couche interne 1d, de même nature, c'est-à-dire en céramique à base dudit métal ou alliage de faible densité constituant la structure propre 1b de la première pièce mécanique 1.

**[0034]** La couche superficielle externe 1c présente une structure physique poreuse, c'est-à-dire comportant des porosités qui débouchent vers l'extérieur en direction de la seconde pièce mécanique 2, tandis que la sous-couche interne 1d est dense, essentiellement dépourvue de porosités.

**[0035]** La nature de la céramique constituant les couches superficielles interne 1d et externe 1c peut avantageusement être de l'alumine alpha (corindon)  $\alpha\text{-AL}_2\text{O}_3$  dans le cas où ledit métal ou alliage est à base d'aluminium. La dureté de la sous-couche interne 1d peut alors être d'au moins 1 200 à 2 000 Vickers.

**[0036]** Dans la réalisation illustrée sur la figure 1, la couche superficielle externe 1c poreuse est recouverte d'une couche de surface 1e d'un polymère solide, ledit polymère solide remplissant également les porosités de la couche superficielle externe 1c poreuse.

**[0037]** Le polymère solide est choisi parmi les résines polymérisables à chaud, par exemple dans la famille comprenant les polyamides imides, les polyimides, les résines epoxy, le polyaryl sulfone.

**[0038]** De préférence, le polymère solide constituant la couche de surface le contient au moins un lubrifiant solide organique et/ou minéral, par exemple choisi dans la famille comprenant le graphite, le disulfure de molybdène, le nitrure de bore, le disulfure de tungstène, le PT-FE.

**[0039]** La seconde pièce mécanique 2 a une structure propre 2b en métal ou alliage de faible densité, par exemple pris dans la famille des métaux ou alliages comprenant l'aluminium, le titane, le magnésium, et la seconde surface antagoniste 2a comprend au moins une couche superficielle 2d dense dudit métal ou alliage transformé en une céramique.

**[0040]** Les coefficients de friction sous vide pour de tels couples antagonistes sont ainsi voisins de ou inférieurs à 0,1.

**[0041]** On peut par exemple réaliser par oxydation micro-arc une double couche superficielle de céramique à couche superficielle externe poreuse et sous-couche interne dense, puis usiner la céramique pour ne conserver que tout ou partie de la sous-couche interne dense qui forme alors la couche superficielle 2d dense. La seconde surface antagoniste 2a est alors lisse et dure, et est dépourvue de couche superficielle externe poreuse en céramique et de couche de surface en polymère.

**[0042]** En prévoyant des surfaces antagonistes 1a et 2a à couches superficielles en céramique présentant une structure de couche transformée par oxydation micro-arc, on obtient à la fois une bonne résistance à l'usure,

une bonne adhérence de la couche superficielle externe à la structure sous-jacente, et un glissement amélioré entre ces surfaces.

**[0043]** On considère maintenant la figure 3, qui illustre avec plus de détails une structure possible de zone superficielle de la première pièce mécanique 1, dans laquelle on retrouve la structure propre 1 b en métal ou alliage de faible densité, par exemple un alliage d'aluminium, la sous-couche interne 1d dense en céramique obtenue par transformation dudit métal ou alliage formant la structure propre 1b, la couche superficielle externe 1c poreuse en céramique obtenue par transformation dudit métal ou alliage constituant la structure propre 1b, et la couche de surface 1e en polymère solide.

**[0044]** Une telle structure de surface est réalisée avantageusement par un procédé d'oxydation micro-arc, dans lequel on transforme la zone superficielle de la structure propre 1 b en alliage d'aluminium pour former les deux couches interne dense 1d et externe poreuse 1c. On a illustré, en pointillés, le niveau de la surface d'origine 5 de la structure propre 1b, avant oxydation micro-arc. Au cours du procédé d'oxydation micro-arc, la structure propre 1b se transforme progressivement en surface en une couche superficielle externe 1c poreuse et une sous-couche interne 1d dense, la couche superficielle externe 1c poreuse occupant une épaisseur comprise sensiblement entre le quart et le tiers de l'épaisseur totale T de la couche transformée en céramique, ladite épaisseur totale T de couche transformée en céramique pouvant être de l'ordre de 50 à 100 micromètres, la surface d'origine 5 occupant sensiblement la position moyenne dans l'épaisseur totale T de la couche transformée en céramique.

**[0045]** On peut par exemple choisir une épaisseur E de couche de surface 1e égale environ à 20 micromètres, cette épaisseur pouvant être modifiée selon les applications, en fonction des besoins.

**[0046]** Dans le mode de réalisation de la figure 2, la structure d'interface entre les deux pièces mécaniques 1 et 2 comprend une première zone A et une seconde zone B, repérées sur la figure. La première pièce mécanique 1 est destinée à se déplacer en translation circulaire par rapport à la seconde pièce mécanique 2 dans le plan perpendiculaire à la coupe, et selon un axe d'excentration normal à ce plan. Ainsi, la structure d'interface de la première zone d'interface A est constituée par des surfaces axiales des deux pièces 1 et 2, tandis que la structure d'interface de la seconde zone d'interface B est constituée par des surfaces radiales des pièces 1 et 2.

**[0047]** Dans la première zone d'interface A, on retrouve la structure du mode de réalisation de la figure 1, et les éléments correspondants sont repérés par les mêmes références numériques. Dans cette première zone d'interface A, seule la première pièce mécanique 1 comprend une couche de surface 1e en polymère solide et une couche superficielle externe 1c poreuse de céramique. Les deux pièces mécaniques 1 et 2 comportent chacune une couche respective 1d ou 2d dense en cérami-

que.

**[0048]** Dans la seconde zone d'interface B, les deux pièces mécaniques 1 et 2 comportent chacune une sous-couche interne dense 1d ou 2d en céramique, une couche superficielle externe poreuse 1c ou 2c en céramique, et une couche de surface 1e ou 2e en polymère solide.

**[0049]** Ce mode de réalisation de la figure 2 est adapté notamment pour assurer l'étanchéité et les glissements sans détérioration dans une pompe de type SCROLL.

**[0050]** Le couplage d'une première surface 1a traitée par oxydation micro-arc puis enduite de polymère solide 1e avec une seconde surface antagoniste 2a également traitée par oxydation micro-arc puis usinée jusqu'à ne conserver en surface que tout ou partie de sa sous-couche interne 2d dense en céramique, donne des résultats optimaux en termes de friction et d'échauffement du contact, et en termes de libération de particules polluantes.

**[0051]** Dans la première zone d'interface A, la céramique de la couche 2d en céramique dense, présente en surface, étale et polit le polymère de la couche de surface 1e et l'absorbe éventuellement en partie. La consommation de lubrifiant est minimisée.

**[0052]** Au cours d'une étape préliminaire de rodage, on peut conformer parfaitement les surfaces antagonistes 1a et 2a, et il peut se produire au cours de cette étape de rodage des transferts de matière d'une surface vers l'autre. Après rodage, l'émission de particules est minimale, voire inexistante.

**[0053]** Ces propriétés autorisent un fonctionnement sans autre apport de lubrifiant pour des périodes de longue durée. Et une telle structure d'interface est particulièrement efficace en particulier dans les pompes sèches à vide, par la réalisation de joints étanches et par l'absence d'émission de particules polluantes.

**[0054]** La structure de la figure 1 est utilisable dans le cas où les pièces mécaniques 1 et 2 glissent l'une sur l'autre en permanence.

**[0055]** La structure de la figure 2 réalise deux fonctions, à savoir un glissement permanent sur la première zone d'interface A et un jeu avec friction accidentelle possible dans la seconde zone d'interface B.

**[0056]** On considère maintenant la réalisation pratique de la zone superficielle de la première pièce 1 telle que représentée sur la figure 3.

**[0057]** Initialement, on part d'une structure de première pièce 1 ayant une structure propre 1 b en alliage de métal léger, par exemple un alliage d'aluminium, dont la surface externe est illustrée par la ligne en pointillés 5.

**[0058]** On soumet cette structure propre 1b à une oxydation micro-arc, qui est un procédé déjà ancien et connu dans l'état de la technique, mais qui n'a pas été encore appliqué à la réalisation de structures d'interface de pièces en mouvement, notamment dans le vide.

**[0059]** Le procédé peut être par exemple tel que décrit dans le document WO-01/81 658.

**[0060]** Dans un tel procédé, on immerge la première pièce mécanique 1, ou au moins la superficie de sa structure propre 1b, dans un bain électrolytique composé

d'une solution aqueuse d'hydroxyde de métal alcalin, tel que potassium ou sodium, et d'un sel oxyacide d'un métal alcalin, la première pièce 1 formant l'une des électrodes. On applique aux électrodes une tension variable ayant une forme d'onde appropriée.

**[0061]** Dans une première étape, qui dure suivant les alliages de quelques secondes à quelques minutes, il se forme une couche diélectrique isolante constituée d'hydroxyde.

**[0062]** Dans une seconde étape, on observe un claquage de cette couche diélectrique avec une activité micro-arc qui va en s'amplifiant, en fonction de l'énergie électrique appliquée aux électrodes. Cette deuxième étape dure, en fonction des paramètres choisis, entre quinze et trente minutes environ.

**[0063]** Au cours d'une troisième étape, la couche superficielle se développe en épaisseur et il se forme une céramique dont la composition et les propriétés physiques dépendent en partie de l'électrolyte et en partie des formes d'ondes de tension appliquées aux électrodes. En présence d'une structure propre 1b en alliage d'aluminium, on forme une céramique ayant majoritairement de l'alumine alpha ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) encore appelée corindon.

**[0064]** Du fait de la poursuite du développement des micro-arcs, la couche superficielle externe 1c en céramique est poreuse, par la présence des cratères produits par les micro-arcs. Par contre, il se développe en profondeur une sous-couche interne 1d dense en céramique.

**[0065]** On choisit les paramètres d'étincelage de l'étape d'oxydation micro-arc, notamment la forme d'onde et la valeur de la tension appliquée aux électrodes, de façon à constituer les deux couches superficielles de métal ou alliage transformé en céramique 1c et 1d, selon l'épaisseur recherchée.

**[0066]** Pour constituer la zone superficielle de première surface 1a illustrée sur la figure 4, on enduit ensuite d'un polymère solide 1e la surface externe de la couche superficielle poreuse 1c de la céramique transformée par oxydation micro-arc. Cette enduction peut être réalisée par projection nébulisée, par trempage, par imprégnation, ou par centrifugation (spin method) par exemple. Au cours de cette enduction, le polymère solide pénètre dans les porosités de la couche poreuse 1c, de sorte qu'il devient très adhérent à la céramique. L'épaisseur E de la couche de surface le peut être par exemple d'environ 20 micromètres.

**[0067]** On procède ensuite à un échauffement du polymère, pour obtenir sa polymérisation sur la première surface la transformée en céramique. Une température de cuisson supérieure à 200°C, et de préférence comprise entre 230 à 370°C, pourra être choisie en fonction de la composition du polymère.

**[0068]** Le polymère peut avantageusement être une résine additionnée, incluant au moins un lubrifiant solide organique et/ou minéral tel que le graphite, le disulfure de molybdène, le nitrure de bore, le disulfure de tungstène, le PTFE.

**[0069]** Au cours d'une étape de rodage des surfaces antagonistes 1a et 2a respectives de la première pièce mécanique 1 et de la seconde pièce mécanique 2, après assemblage des deux pièces mécaniques l'une avec l'autre, on déplace les deux pièces mécaniques 1 et 2 en frottement l'une contre l'autre, ce qui produit l'usure progressive de la couche de surface 1e, qui devient parfaitement conformée à la seconde surface antagoniste 2a.

**[0070]** Pour réaliser la seconde surface antagoniste 2a à couche superficielle dure, on peut utiliser tout d'abord le même procédé que celui décrit ci-dessus en relation avec la figure 3, jusqu'à l'obtention d'une couche de céramique composée d'une sous-couche interne 2d dense et d'une couche superficielle externe 2c poreuse. On élimine ensuite, par usinage, la couche superficielle externe 2c poreuse, pour ne laisser subsister que tout ou partie de la couche interne 2d dense. On s'abstient d'ajouter une couche de surface en polymère.

**[0071]** L'oxydation micro-arc permet une excellente adhérence de la céramique au substrat en alliage léger. La couche continue de céramique, de sa partie dense à la partie poreuse, présente une résistance maximale vis-à-vis des contraintes mécaniques. Le polymère éventuellement utilisé est incrusté de manière optimale dans les porosités, ce qui permet une adhérence élevée du produit à la surface de la pièce. La présence de lubrifiant solide au sein du polymère le dote de qualités frottantes particulièrement améliorées.

**[0072]** Sur la figure 4, on a illustré une première application de l'invention, pour réaliser la structure d'interface de joints dans une pompe à vide de type SCROLL.

**[0073]** Le principe de fonctionnement d'une pompe SCROLL est basé sur la conjugaison de deux profils taillés en spirale dans un mouvement de translation circulaire. L'une des spires, mobile, se déplace sans rotation sur elle-même par rapport à la spire fixe. Son centre décrit alors un cercle de rayon égal à l'entraxe entre les spires. Ce mouvement fait apparaître un volume ouvert permettant l'aspiration d'un fluide, puis le volume se referme et une phase de transfert se produit sur la longueur du profil, qui se transforme en compression, le rayon des spires diminuant. Le refoulement s'effectue au final latéralement dans la partie centrale des spires où le volume résiduel devient minimal.

**[0074]** L'étanchéité d'une telle pompe se fait axialement et radialement entre les parties saillantes, les murs, les parties évidées des spires, les sillons. L'étanchéité se fait notamment par des joints de compensation axiaux destinés à minimiser l'espace qui existe axialement entre l'extrémité des murs et le fond des sillons des deux pièces. Ainsi, dans l'extrémité du mur est taillée une gorge dans laquelle est glissé un patin de matériau plastique à propriétés de frottement optimisées qui épouse la forme spiralée du mur. Le joint est saillant par rapport au mur et glisse sur le fond de sillon qui lui est opposé. Selon certaines configurations un élément en élastomère peut être intercalé entre le joint lui-même et le fond de gorge

pour conférer au montage une élasticité dans le sens axial de manière à plaquer le joint sur la contre-face indépendamment des positions des spires elles-mêmes.

[0075] La figure 4 illustre une application de l'invention à la structure d'interface entre le joint et la surface antagoniste. Dans ce cas et selon une disposition uniquement exploitable par la nature rigide de l'élément, le joint 10 est disposé dans le fond du sillon 11, et frotte contre la surface d'extrémité lisse 12 du mur 13. Le joint 10 est formé d'une zone superficielle en céramique réalisée comme indiqué précédemment par oxydation micro-arc. On distingue la couche interne 10d en céramique dense, la couche superficielle externe 10c en céramique poreuse, et la couche de surface 10e en polymère. Une partie élastomère de compression 14 est interposée entre le fond du sillon 11 et le joint 10.

[0076] Sur la figure 5, on a illustré une autre application de l'invention pour réaliser les zones de contact accidentel d'une pompe turbomoléculaire. Une telle pompe moléculaire comprend un rotor 20 tournant à grande vitesse selon un axe II-II autour d'un stator 21, l'ensemble étant disposé dans un carter 22. Une zone périphérique de contact accidentel 23 doit être prévue entre le carter 22 se déformant sous l'effet de contraintes externes et le rotor 20. Cette zone de contact accidentel 23 peut comprendre une structure d'interface telle que définie ci-dessus selon l'invention, avec le carter 22 jouant le rôle de la première pièce mécanique 1, et avec le rotor 20 jouant le rôle de la seconde pièce mécanique 2.

[0077] La figure 5 illustre également l'usage de l'invention pour établir les zones en contact durant les phases de démarrage et d'atterrissage d'une broche à paliers à gaz d'une telle pompe turbomoléculaire. Le principe d'une broche à paliers à gaz consiste à établir des paliers lisses et une butée axiale avec faibles jeux, quelques microns, par rapport à un arbre. Des ajutages sont ménagés dans ces paliers pour générer une surpression gazeuse locale dans le jeu interstitiel entre surfaces. Lorsque la broche tourne à grande vitesse l'effet de portance aérodynamique est maximal. Sur la figure 6 la butée axiale 24 est comprise entre une contre butée 25 et un palier / butée inférieur 26. En partie haute le palier supérieur 27 guide le rotor 20. Les couples antagonistes ainsi disposés sont des applications de la présente invention. Les parties tournantes constituent la pièce mécanique 1, et les parties statiques constituent la pièce mécanique 2. Le contact entre pièces est certain dans la phase de démarrage comme dans celle d'arrêt. L'usage d'un revêtement apte aux frottements sans émission de particules est nécessaire. La portance aérodynamique n'est acquise que lorsque la broche atteint les vitesses supérieures, même avec l'adjonction des purges entrantes qui sont compensées dans ce fonctionnement en dépression par un pompage d'extraction du gaz qui s'échappe des zones interstitielles de manière à limiter la fuite en partie haute de la broche. Dans ce but le palier supérieur 27 est prolongé d'un joint dynamique 28 pour introduire une perte de charge maximale entre le volume

du palier et la partie pompe à vide.

[0078] Sur la figure 6, on a illustré une autre application de l'invention pour la réalisation des structures d'interface dans une pompe SCROLL. Le rotor 31 se déplace en frottant axialement sur le stator 32. L'un et l'autre constituent alternativement la première pièce mécanique 1 ou la seconde pièce mécanique 2 au sens décrit en relation avec la figure 3. Les surfaces antagonistes de frottement à jeu faible sont réalisées selon l'invention par oxydation micro-arc complétée par l'enduction des surfaces avec une résine additionnée de lubrifiant solide. La conformation réciproque des faces latérales est obtenue par rodage préalable des pièces assemblées.

[0079] La figure 7 illustre une autre application de l'invention pour la réalisation des structures d'interface dans une pompe à vide à pistons. On distingue deux pistons 41a et 41b, symétriques par rapport à un actionneur électromagnétique central 43, et qui se déplacent ensemble en constituant la première pièce mécanique 1 qui se déplace en translation par rapport à des chemises 42 constituant la seconde pièce mécanique 2. Les surfaces antagonistes de frottement sont réalisées selon l'invention par oxydation micro-arc.

## Revendications

1. Structure d'interface comprenant une première pièce mécanique (1) et une seconde pièce mécanique (2) ayant respectivement au moins une première surface (1a) et au moins une seconde surface (2a), antagoniste en regard de ladite première surface (1a), la première pièce mécanique (1) ayant une structure propre (1b) en métal ou alliage de faible densité et la zone superficielle de la première surface (1a) de la première pièce mécanique (1) comprenant au moins deux couches superficielles en céramique, une couche superficielle externe (1c) poreuse et une sous-couche interne (1d) dense, la porosité de la couche superficielle externe (1c) contenant un matériau qui favorise le glissement, **caractérisé en ce que** la première surface (1a) de la première pièce mécanique (1) et la seconde surface (2a) de la seconde pièce mécanique (2) sont en mouvement l'une par rapport à l'autre en contact glissant permanent ou temporaire dans une atmosphère en dépression, la seconde pièce mécanique (2) ayant une structure propre (2b) en métal ou alliage de faible densité, et la zone superficielle de la seconde surface antagoniste (2a) comprenant au moins une couche (2d) dense en céramique.
2. Structure d'interface selon la revendication 1, dans laquelle le matériau favorisant le glissement est un lubrifiant solide organique et/ou minéral contenu dans une résine polymérisée à chaud.
3. Structure d'interface selon la revendication 2, dans

- laquelle le lubrifiant est choisi dans la famille comprenant le graphite, le disulfure de molybdène, le nitrure de bore, le disulfure de tungstène, le PTFE.
4. Structure d'interface selon l'une des revendications 2 et 3, dans laquelle la résine polymérisée à chaud est choisi dans la famille comprenant les polyamides imides, les polyimides, les résines époxy, le polyaryl sulfone. 5
  5. Structure d'interface selon l'une des revendications 2 à 4, dans laquelle la résine est polymérisée à chaud à une température supérieure à 200°C. 10
  6. Structure d'interface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la couche superficielle externe (1c) poreuse en céramique de la première surface (1a) est en outre recouverte d'une couche de surface (1e) de matériau favorisant le glissement. 15
  7. Structure d'interface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le métal ou alliage de faible densité est choisi dans la famille des métaux ou alliages comprenant l'aluminium, le titane et le magnésium. 20
  8. Structure d'interface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la zone superficielle de la seconde surface antagoniste (2a) comprend au moins deux couches superficielles en céramique, une couche superficielle externe (2c) poreuse et une sous-couche interne (2d) dense. 30
  9. Structure d'interface selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les couches en céramique (1c, 1d, 2c, 2d) présentent une structure de couche de métal ou alliage transformée en céramique par oxydation micro-arc. 35
  10. Procédé pour la réalisation d'une structure d'interface selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape d'oxydation micro-arc du métal ou alliage de la zone superficielle d'une première surface (1a) et d'au moins une seconde surface antagoniste (2a), les paramètres d'étincelage de l'étape d'oxydation micro-arc étant choisis de façon à constituer au moins une couche superficielle (1c, 1d, 2c, 2d) en céramique. 40
  11. Procédé selon la revendication 10, comprenant une étape au cours de laquelle la couche superficielle externe (1c) poreuse en céramique de la première surface (1a) reçoit une enduction de matériau favorisant le glissement. 50
  12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'enduction de matériau favorisant le glissement est réalisée par projection nébulisée, par trempage, par im- 55
- prégnation, ou par centrifugation.
13. Procédé selon l'une des revendications 11 ou 12, comprenant en outre une étape d'échauffement pour polymériser la résine du matériau favorisant le glissement.
  14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, comprenant en outre une étape d'usinage d'au moins une surface (2a) en céramique.
  15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, comprenant une étape de rodage des surfaces antagonistes (1a, 2a) respectivement de la première pièce mécanique (1) et de la seconde pièce mécanique (2) par déplacement en frottement l'une contre l'autre.
  16. Pompe à vide de type turbomoléculaire comprenant une structure d'interface (22, 23, 24 à 28) d'une broche à paliers à gaz selon l'une des revendications 1 à 9.
  17. Pompe à vide de type SCROLL comprenant une structure d'interface de joints (10) de pompe à vide selon l'une des revendications 1 à 9.
  18. Pompe à vide comprenant une structure d'interface selon l'une des revendications 1 à 9.

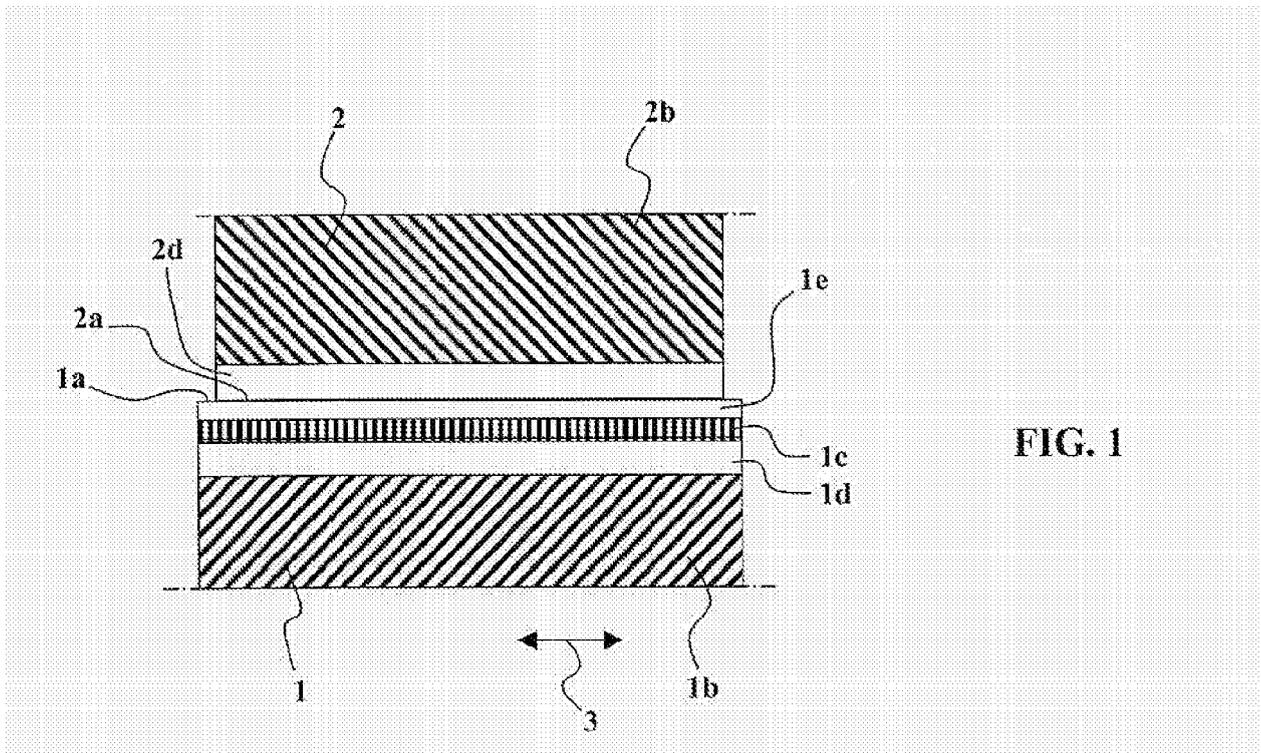


FIG. 1

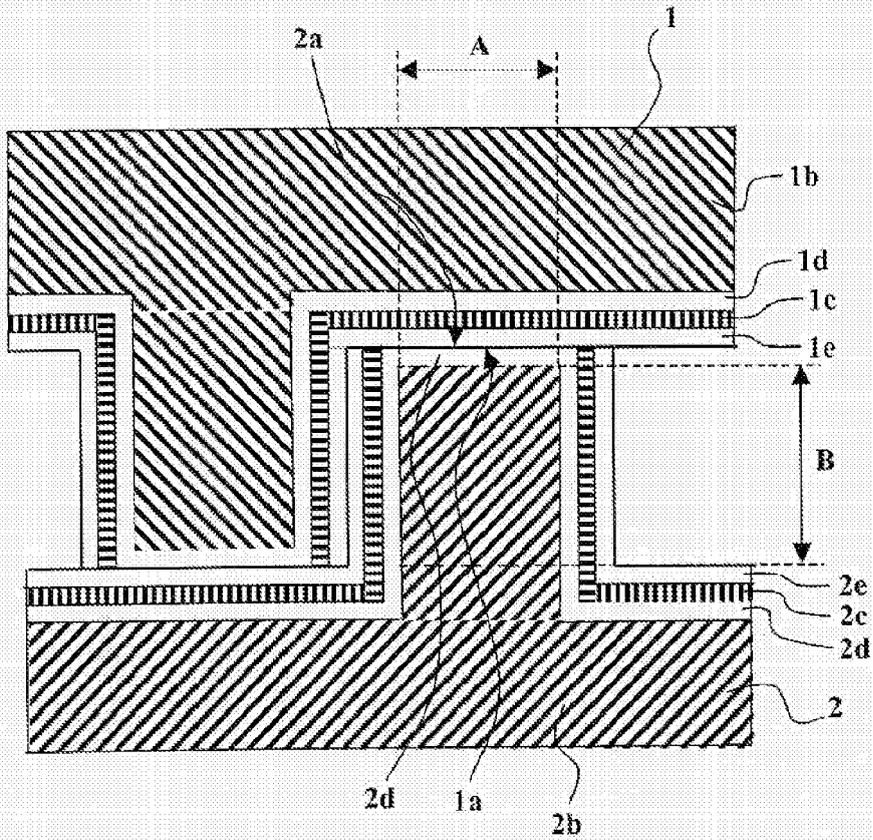


FIG. 2

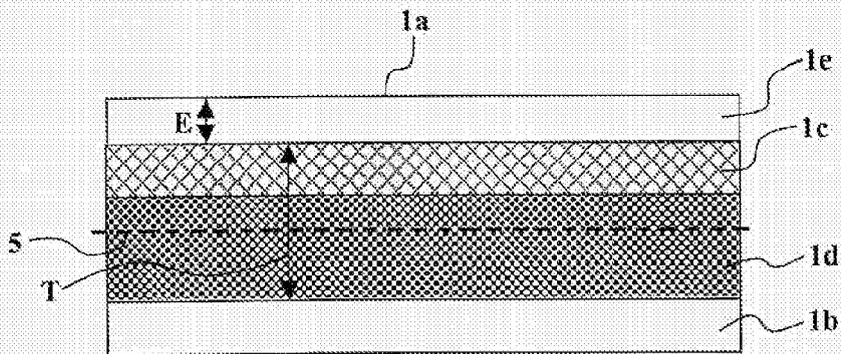


FIG. 3

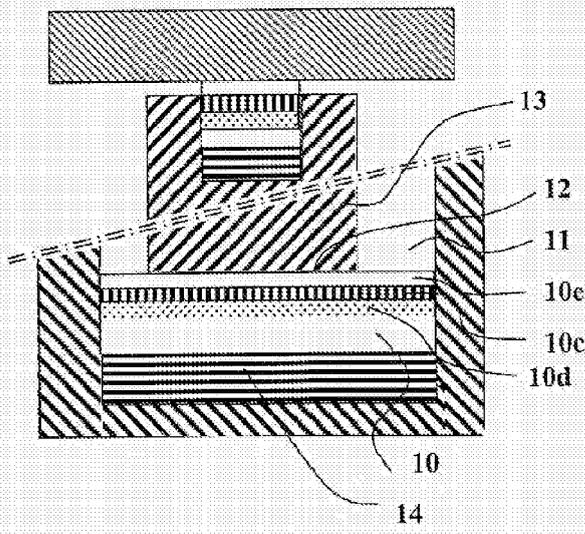


FIG. 4

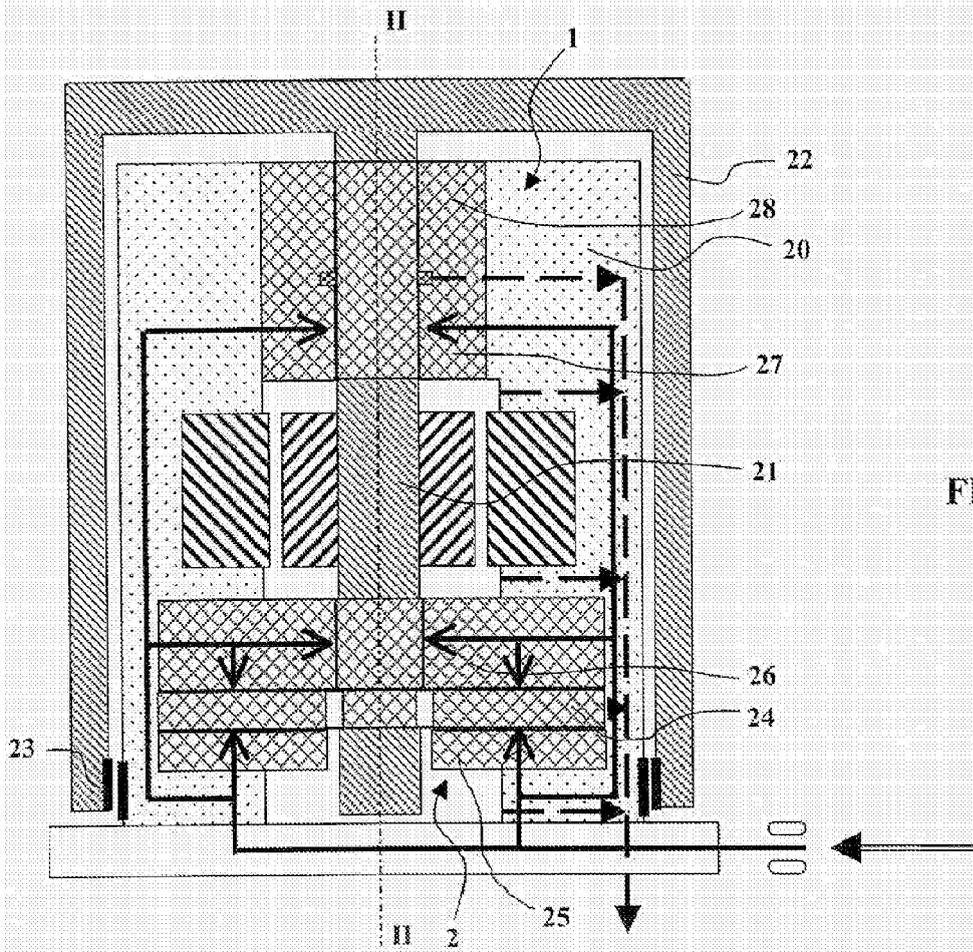


FIG. 5

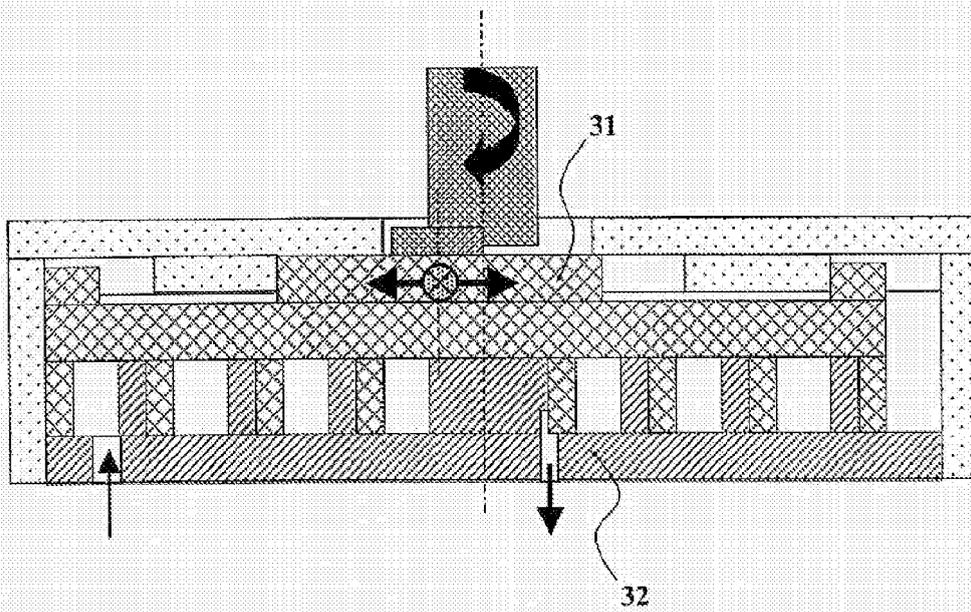


FIG. 6

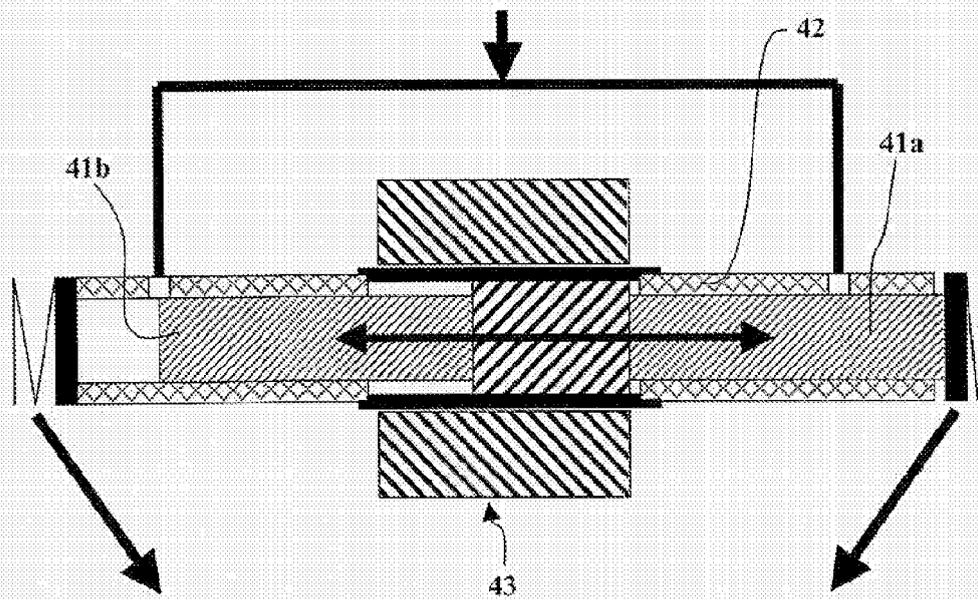


FIG. 7

## EP 1 832 753 A2

### 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

- EP 0705979 A [0004]
- EP 0520487 A [0007]
- US 5487825 A [0009]
- US 20050098441 A [0009]
- WO 2005014892 A [0010]
- WO 0181658 A [0059]