(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
30 août 2018 (30.08.2018)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/154207 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F16J 1/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2018/050280

(22) Date de dépôt international :
05 février 2018 (05.02.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1751356 21 février 2017 (21.02.2017) FR

(71) Déposants : **PSA AUTOMOBILES SA** [FR/FR] ; 2-10 Boulevard de l'Europe, 78300 Poissy (FR). **H.E.F** [FR/FR] ; ZI Sud – Avenue Benoît Fourneyron, 42160 Andrezieux-boutheon (FR).

(72) Inventeurs : **DIABY, Moussa** ; 7 Allee de la Garenne, 78330 Fontenay le Fleury (FR). **HENRY, Sandrine** ; 9 Cour Vial, 42740 Saint-Paul-en-Jarez (FR). **PROST, Fabrice** ; 7 Place Jean Jaures, 42000 Saint Etienne (FR).

(74) Mandataire : **FERNANDEZ, Francis** ; Peugeot Citroen Automobiles SA, Propriété Industrielle, 18 rue des Fauvelles, 92250 La Garenne Colombes (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,

(54) **Title:** MOVEMENT TRANSMISSION DEVICE FOR A COMBUSTION ENGINE

(54) **Titre :** DISPOSITIF DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT POUR MOTEUR THERMIQUE

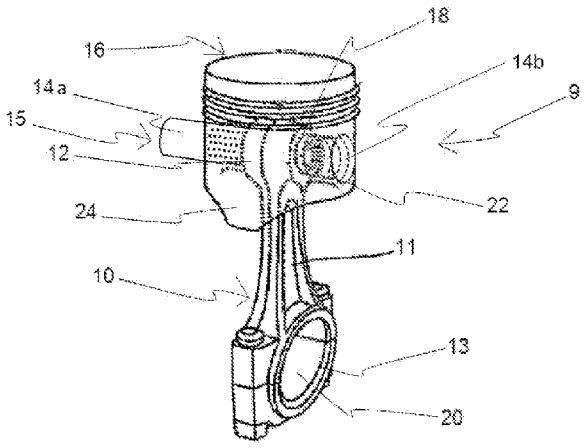


Figure 1

(57) **Abstract:** The invention mainly relates to a mechanical device (9) for transmitting movement for a combustion engine, comprising: - a connecting rod (10) comprising a connecting rod big end (13) intended to cooperate with a crank pin of a crankshaft and a connecting rod small end (12) having an internal bore (18); - a piston (16) comprising a pin hole (22); and - a piston pin (15) inserted into said pin hole (22) of said piston (16) and into said internal bore (18) of the connecting rod small end (12) in order to provide a rotary link between said connecting rod (10) and said piston (16), characterised in that the piston pin (15) is covered with a surface coating (14a) with a low friction coefficient and the pin hole (22) of said piston (16) or an insert interposed between said piston pin (15) and said pin hole (22) is covered with a layer of a surface coating (14b) with a low friction coefficient.

(57) **Abrégé :** L'invention porte principalement sur un dispositif mécanique de transmission de mouvement (9) pour moteur thermique comportant : - une bielle (10) comportant une tête de bielle (13) destinée à coopérer avec un maneton d'un vilebrequin et un pied de bielle (12) ayant un alésage interne (18), - un piston (16) comportant un trou d'axe (22), et - un axe de piston (15) inséré dans ledit trou d'axe (22) dudit piston (16) et dans ledit alésage interne (18) du pied de bielle (12) pour assurer une liaison rotative entre ladite bielle (10) et ledit piston (16), caractérisé en ce que l'axe de de piston (15) est recouvert par un revêtement de surface (14a) à faible coefficient de frottement et le trou d'axe (22) dudit piston (16) ou une pièce rapportée interposée entre ledit axe de piston (15) et ledit trou d'axe (22) est recouvert par une couche d'un revêtement de surface (14b) à faible coefficient de frottement.

WO 2018/154207 A1

[Suite sur la page suivante]

KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

DISPOSITIF DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT POUR MOTEUR THERMIQUE

[0001] La présente invention porte sur un dispositif de transmission de mouvement pour moteur thermique. L'invention trouve une application particulièrement avantageuse, mais non exclusive, dans le domaine des véhicules automobiles, mais aussi dans le domaine de tout véhicule terrestre ou maritime.

[0002] La configuration actuelle de l'ensemble piston, axe de piston, et bielle, est généralement constituée par un piston en aluminium ayant l'avantage d'être léger et de présenter une bonne conduction thermique. Des pistons en acier sont également possibles, mais sont en général réservés aux moteurs diesels.

[0003] Un trou d'axe est alésé directement dans le piston et peut présenter différentes configurations permettant d'augmenter la tenue mécanique (profil, ovalité, fraisages, bague en bronze, etc.) et la résistance au grippage (profil, rainure, alimentation en huile).

[0004] L'axe de piston réalisé en acier, peut être recouvert d'un revêtement à faible coefficient de frottement. L'utilisation des revêtements de couche mince à base de carbone amorphe de type DLC (acronyme pour "Diamond Like Carbon" en anglais) sur les axes de piston s'est généralisée à la suite des sévérisations successives des normes environnementales (consommation et rejets de dioxyde de carbone). En effet, l'utilisation de ces revêtements permet de repousser la limite au grippage dans le contact piston/axe de piston, suite à l'augmentation des charges au niveau de ce contact, augmentation liée à la réduction de la cylindrée des moteurs (principe dit de "downsizing" en anglais).

[0005] Les cycles actuels de mesure de la pollution et/ou de la consommation des véhicules, dits NEDC (acronyme pour "New European Driving Cycle", ou Nouveau cycle de conduite européen en français), ont entraîné une tendance au développement de moteurs de plus petite cylindrée mais développant autant de puissance.

[0006] Ces normes actuelles montrent toutefois des écarts de plus en plus importants entre les consommations mesurées lors des tests et les consommations réelles observées. Les cycles de test NEDC vont être remplacés par les cycles de tests, dits WLTP (acronyme pour "Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure" en anglais, ou Procédure de test harmonisé mondialement pour véhicule léger en français), et ces nouvelles normes, plus représentatives d'un cycle réel de conduite avec un profil de charge plus élevé, tendent

à réduire l'écart entre les petits moteurs et les moteurs plus puissants. En effet, le cycle NEDC avait tendance à favoriser les moteurs de faible puissance. Au contraire, le cycle WLTP, par un enchaînement de phases à plus haut régimes et charges, montre qu'il devient intéressant de développer des moteurs présentant des puissances plus élevées. L'augmentation de la puissance des moteurs peut être atteinte, à iso-géométrie par l'augmentation de la puissance spécifique, ou par une augmentation de la cylindrée du moteur.

[0007] Sur une base de moteur existante, cette augmentation de cylindrée peut être générée de deux façons. Soit en augmentant l'alésage du cylindre du moteur qui est limité par la distance inter-fûts et les épaisseurs de matière minimum à respecter pour assurer la tenue mécanique de l'ensemble, soit en augmentant la course des pistons. Dans tous les cas, une augmentation de cylindrée à iso-géométrie ou une augmentation des puissances spécifiques, induit des pressions conséquentes au niveau des contacts piston/axe de piston, et bielle/axe de piston, avec une charge thermique plus élevée, et donc génère des risques accrus de grippage, notamment au niveau du contact piston/axe de piston.

[0008] Par ailleurs, afin de réduire la consommation en carburant des moteurs thermiques, les constructeurs font appel à des huiles à basse viscosité, et à l'utilisation massive de systèmes de recirculation des gaz d'échappement (système dit "EGR" pour l'acronyme de l'expression anglaise « Exhaust Gas Recirculation ») sur des points de charges élevées, ce qui a tendance à dégrader l'huile. Malgré la présence de revêtement à faible coefficient de frottement sur l'axe de piston, certaines applications présentent alors des usures excessives.

[0009] Certains organes, tels que la pompe à huile, peuvent également être pilotés pour permettre une rupture de l'alimentation en huile du piston sur des points de fonctionnement peu chargés. La répétition et la durée de cette désactivation de la lubrification peut engendrer des risques de grippage des axes des pistons. L'application d'un revêtement à faible coefficient de frottement sur l'axe de piston permet de repousser cette limite et d'étendre, dans une certaine mesure, la plage de pilotage de la pompe à huile. Toutefois, cette solution ne saurait répondre complètement aux différentes problématiques posées par l'augmentation des charges mécaniques sur le système par les cycles WLTP, qui prennent davantage en compte la dynamique du système.

[0010] L'invention vise à remédier efficacement aux inconvénients précités en proposant un dispositif mécanique de transmission de mouvement pour moteur thermique comportant:

- une bielle comportant une tête de bielle destinée à coopérer avec un maneton d'un vilebrequin et un pied de bielle ayant un alésage interne,
- un piston comportant un trou d'axe, et
- un axe de piston inséré dans le trou d'axe du piston et dans l'alésage interne du pied de bielle pour assurer une liaison rotative entre la bielle et le piston, tel que l'axe de piston est recouvert par un revêtement de surface à faible coefficient de frottement et que le trou d'axe du piston ou une pièce rapportée interposée entre l'axe de piston et le trou d'axe est recouvert par un revêtement de surface à faible coefficient de frottement.

[0011] L'invention permet ainsi, grâce à une réduction significative des frottements au niveau de la liaison axe de piston/piston, d'augmenter les performances du moteur. L'invention permet également de réaliser de nouvelles architectures plus compactes à nombre de composants réduit. En outre, l'invention autorise l'utilisation d'huile à très basse viscosité, ainsi que l'extension de la plage de pilotage de la pompe à huile.

[0012] Selon l'invention, on a alors un contact entre deux revêtements de surface à faible coefficient de frottement, ce qui est très favorable pour la réduction des frottements. Les revêtements peuvent alors être choisis de même composition, ou non.

[0013] Selon une réalisation, au moins un des revêtements de surface à faible coefficient de frottement est à base de carbone amorphe de type DLC.

[0014] Selon une réalisation, le revêtement de surface à base de carbone amorphe de type DLC présente une teneur atomique en hydrogène comprise entre 20% à 50%, et préférentiellement comprise entre 20% à 30%. Cela permet d'obtenir un bon compromis entre dureté et réduction des frottements entre les pièces.

[0015] Selon une réalisation, ce dernier revêtement recouvre l'axe de piston.

[0016] Selon une réalisation, au moins un des revêtements de surface à base de carbone amorphe de type DLC contient majoritairement une structure tétraédrique avec une teneur atomique en hydrogène inférieure à 5%. Cela permet également d'obtenir un bon compromis entre dureté et réduction des frottements entre les pièces.

[0017] Selon une réalisation, ce dernier revêtement de surface recouvre le trou d'axe du piston.

[0018] Selon une réalisation, la dureté de la couche de revêtement de surface à faible coefficient de frottement a tendance à augmenter suivant un gradient lorsque l'on se déplace du piston vers l'extérieur de la couche. Cela permet d'obtenir une transition optimale entre les propriétés mécaniques du piston et les propriétés mécaniques du revêtement proprement dit. En outre, cela permet également d'assurer l'adhérence du revêtement sur le piston.

[0019] Selon une réalisation, le trou d'axe est poli. Cela permet de réduire la rugosité pour optimiser un couplage entre le matériau du piston et le matériau de l'axe de piston.

[0020] Selon une réalisation, une hauteur maximale d'un profil de rugosité de l'axe de piston est inférieure à 1 micromètre, et préférentiellement inférieure à 0.7 micromètre.

[0021] Selon une réalisation, une épaisseur de la couche de revêtement de surface à faible coefficient de frottement est comprise entre 1 micromètre et 3 micromètres.

[0022] Selon une réalisation, le piston est réalisé dans un matériau à base d'acier ou à base d'aluminium.

[0023] Selon une réalisation, l'axe de piston est réalisé dans un matériau à base d'acier.

[0024] Selon une réalisation, le piston comporte une jupe également recouverte d'une couche de revêtement de surface à faible coefficient de frottement.

[0025] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Ces figures ne sont données qu'à titre illustratif mais nullement limitatif de l'invention.

[0026] La figure 1 est une vue en perspective d'un dispositif mécanique de transmission de mouvement selon la présente invention comportant un piston et une bielle associée;

[0027] La figure 2a est une représentation graphique illustrant l'évolution d'un coefficient de frottement en fonction d'un nombre de cycles dans le cas respectivement d'un contact entre un trou d'axe en aluminium et un axe de piston recouvert par un revêtement de type DLC, et dans le cas d'un contact entre un trou d'axe et un axe de piston recouverts par le revêtement de type DLC;

[0028] La figure 2b est une représentation graphique illustrant l'évolution d'un coefficient de frottement en fonction d'une vitesse de glissement dans le cas respectivement d'un

contact entre un trou d'axe en acier et un axe de piston recouvert par un revêtement de type DLC, et dans le cas d'un contact entre un trou d'axe et un axe de piston recouverts par le revêtement de type DLC;

[0029] La figure 3 est une représentation graphique illustrant un taux d'usure mesuré respectivement dans le cas d'un contact entre un trou d'axe en acier rectifié, poli, ou recouvert par le revêtement de type DLC et un axe de piston recouvert par le revêtement de type DLC;

[0030] Les figures 4a, 4b, et 4c sont des représentations graphiques illustrant un coefficient de frottement en fonction de vitesses de glissement de l'axe de piston par rapport au trou d'axe du piston, à différentes températures et pour différentes huiles de lubrification;

[0031] La figure 5 est une représentation graphique illustrant un coefficient de frottement en fonction de vitesses de glissement de l'axe de piston par rapport au trou d'axe du piston, dans le cas d'une huile de lubrification usagée;

[0032] La figure 6 est un diagramme illustrant les différentes familles de matériaux de type DLC et de leur teneur correspondante en hydrogène, en graphite (C sp2), et en diamant (C sp3);

[0033] La figure 7 est une représentation schématique illustrant les forces de poussée agissant sur l'axe de piston lors d'un pic de pression à l'intérieur d'un cylindre à la compression ou à l'explosion.

[0034] La figure 1 montre un dispositif mécanique de transmission de mouvement 9 comportant une bielle 10 de moteur thermique ayant un corps 11 muni à une de ses extrémités d'un pied de bielle 12 et à l'autre de ses extrémités d'une tête de bielle 13. Le pied de bielle 12 est destiné à coopérer avec un axe 15 d'un piston 16 du moteur via un alésage interne 18 tandis que la tête de bielle 13 est destinée à autoriser le passage d'un maneton d'un vilebrequin via un autre alésage interne 20.

[0035] Le piston 16 comporte un trou d'axe 22 permettant le passage de l'axe de piston 15. Ainsi, pour assurer une liaison rotative entre la bielle 10 et le piston 16, l'axe de piston 15 est inséré dans le trou d'axe 22 du piston 16 et dans l'alésage interne 18 du pied de bielle 12.

[0036] L'augmentation de la puissance du moteur, génère une forte augmentation de pression sur le piston 16 et des risques de grippages avérés. Ces risques de grippages surviennent dans un premier temps, au niveau du contact entre le piston 16 et l'axe de piston 15 recouvert par une couche d'un revêtement de surface 14a à faible coefficient de frottement de type DLC (acronyme pour "Diamond Like Carbon" en anglais), puis dans un deuxième temps, au niveau du contact entre la bielle 10 en acier et l'axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a, et ce malgré la présence du revêtement 14 sur l'axe de piston 15.

[0037] Comme cela est représenté sur la figure 2a, on remarque que dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a (cas DLC/DLC), le coefficient de frottement C_f en fonction du nombre de cycle Nb_cy est globalement plus faible, que dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 en aluminium et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a (cas Alu/DLC). On précise que dans les exemples de la figure 2a, les essais ont été réalisés à sec, c'est-à-dire sans agent lubrifiant.

[0038] Comme cela est représenté sur la figure 2b, on remarque que dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a (cas DLC/DLC), le coefficient de frottement C_f en fonction d'une vitesse de glissement V_g est plus faible que dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 en acier et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a (cas A/DLC). On précise que dans les exemples de la figure 2b, les essais ont été réalisés avec un agent lubrifiant de type huile 5W30.

[0039] Dans le cas d'un montage avec un axe de piston 15 serré dans la bielle 10, on s'affranchit du risque de grippage dans la bielle 10. Un montage serré aurait également l'avantage supplémentaire de supprimer la bague en bronze généralement présente dans le cas d'un montage flottant de l'axe de piston 15, et donc de diminuer encore l'encombrement de l'ensemble.

[0040] Toutefois, du fait du blocage en rotation de l'axe de piston 15 dans la bielle 10, l'usure du revêtement 14 est amplifiée car la zone de contact n'est plus répartie sur toute la circonférence de l'axe de piston 15. Cette problématique est avérée dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 en aluminium ou en acier et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a de type DLC, mais elle disparaît dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a.

[0041] Comme cela est représenté sur la figure 3, on remarque que dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 en acier rectifié et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a (cas DLC/A_r), le taux d'usure T_u est d'environ 20 μm^3/cycle, avec une rugosité moyenne arithmétique Ra égale à 0,2 µm. Dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 en acier poli et un axe de piston 15 recouvert par le revêtement 14a (cas DLC/A_p), le taux d'usure T_u est d'environ 2,5 μm^3/cycle, avec une rugosité moyenne arithmétique Ra égale à 0,02 µm .Dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a (cas DLC/DLC), le taux d'usure T_u est quasi nul. En effet, on observe que deux surfaces en contact recouvertes par des revêtements 14a/14b de type DLC ne présentent quasiment plus d'usure une fois la phase de rodage passée.

[0042] Par ailleurs, du fait de la présence d'un contact associé à une lubrification complexe, avec des huiles de très faible viscosité et rapidement dégradées, l'ajout d'un revêtement 14 avec des propriétés autolubrifiantes est recherché par le motoriste. La configuration utilisant un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a permet de s'affranchir de ces différents paramètres, en garantissant un coefficient de frottement stable et reproductible, quelles que soient les conditions de lubrification du système.

[0043] Ainsi, comme cela est représenté sur les figures 4a, 4b, et 4c, le coefficient de frottement C_f dans ce type de configuration est mesuré à différentes températures, respectivement à 50°C, 80°C, et 100°C, pour cinq lubrifiants différents L1, L2, L3, L4, L5, en fonction d'une vitesse de glissement V_g dans une configuration bague/plan dans un contact de type DLC/DLC.

[0044] A 50°C, les cinq lubrifiants L1, L2, L3, L4, L5 ont respectivement des viscosités cinématiques de 35 mm^2/s pour L1, 30 mm^2/s pour L2, L3, L4, et 20 mm^2/s pour L5. A 80°C, les lubrifiants ont respectivement des viscosités cinématiques de 15 mm^2/s pour L1, 13 mm^2/s pour L2, L3, L4, et 10 mm^2/s pour L5. A 100°C, les lubrifiants ont respectivement des viscosités cinématiques de 10 mm^2/s pour L1, 8 mm^2/s pour L2, L3, L4, et 7 mm^2/s pour L5.

[0045] On remarque que quelles que soient la température et la nature du lubrifiant L1, L2, L3, L4, L5, dans le cas d'un contact entre un trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et un axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a, le coefficient de frottement C_f est maîtrisé et sensiblement constant dans une plage comprise entre 0,01 et 0,04.

[0046] +Par ailleurs, comme cela est représenté sur la figure 5, on remarque également que pour une huile usagée, un contact entre une bague 15' et un plan 16' de type DLC/DLC présente un coefficient de frottement C_f plus faible qu'un contact acier/DLC (cf. couple A/DCL sur la figure).

[0047] Dans le cas d'un moteur, comme toute machine tournante, les masses alternatives (piston, axe de piston, pied de bielle) génèrent des acyclismes qu'il est nécessaire de compenser par l'utilisation de contrepoids, d'arbres d'équilibrages, de poulie et de volant double. L'invention est capable de supporter des charges plus importantes qu'un système composé par un piston 16 en aluminium ou en acier et un axe de piston 15 recouvert par une couche de revêtement 14a de type DLC. Il permet donc de concevoir des systèmes plus légers et compacts (longueur d'axe réduite, diamètre inférieur, hauteur de compression du piston 16 réduite) avec de faibles niveaux d'acyclismes, permettant de simplifier, voire de supprimer certaines configurations d'équilibrage.

[0048] Dans un mode de réalisation particulier, une couche de revêtement 14 de type DLC est déposée dans le trou d'axe 22. De préférence, le revêtement 14 est composé d'une couche à gradient de propriétés permettant une transition optimale entre les propriétés mécaniques du substrat, en l'occurrence le piston 16, et les propriétés mécaniques du revêtement 14 proprement dit. En l'occurrence, la dureté de la couche de revêtement 14 a tendance à augmenter suivant un gradient lorsque l'on se déplace du piston 16 vers l'extérieur de la couche. Ce gradient permet également d'assurer une adhérence optimale du revêtement 14 sur le piston 16.

[0049] Comme cela est représenté sur la figure 6, le revêtement 14 est formé par trois éléments Csp2, Csp3, et H, correspondant aux trois sommets du triangle. Plus on se rapproche d'un sommet du triangle, plus la teneur de l'élément correspondant est importante.

[0050] On distingue une famille a-C:H principalement à base de graphite Csp2 présentant une teneur atomique en hydrogène élevée, et une famille correspondante a-C dite "non-hydrogénée" présentant une teneur atomique en hydrogène inférieure à 5%.

[0051] On distingue également une famille de type ta-C:H contenant majoritairement une structure tétraédrique à teneur atomique en hydrogène élevée, et une famille correspondante ta-C dite "non-hydrogénée" présentant une teneur atomique en hydrogène inférieure à 5%.

[0052] Avantageusement, pour la mise en œuvre de l'invention, on sélectionne la famille a-C:H avec une teneur atomique en hydrogène comprise entre 20% à 50%, et préférentiellement comprise entre 20% à 30%. Alternativement, on pourra sélectionner la famille ta-C. Ces revêtements 14 ont l'avantage de présenter un bon compromis entre dureté et réduction des frottements entre les pièces. Il est également possible de choisir une de ces deux familles pour le revêtement 14a et l'autre pour le revêtement 14b.

[0053] On précise qu'une hauteur maximale d'un profil de rugosité Rz de l'axe de piston 15 est inférieure à 1 micromètre, préférentiellement inférieure à 0.7 micromètre, et une profondeur réduite des pics Rpk est inférieure à 0,12 micromètre, préférentiellement inférieure à 0.08 micromètre, et encore préférentiellement inférieure à 0,05 micromètre.

[0054] Ce point est d'autant plus important que le matériau antagoniste présente une dureté faible (cas de l'aluminium). Il est donc nécessaire d'assurer un niveau de rugosité faible au niveau du trou d'axe 22 du piston 16, afin d'optimiser le fonctionnement du couple composé du trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b et de l'axe de piston 15 recouvert par un revêtement 14a, par une préparation de surface spécifique, par exemple par polissage.

[0055] Les paramètres de dépôt de la couche mince à base de carbone amorphe ont été adaptés pour permettre de revêtir les trous d'axe 22 avec une couche de revêtement 14b présentant des propriétés optimales pour l'application. Une alternative consiste à revêtir une pièce intermédiaire, par exemple une bague, qui est ensuite frettée dans le trou d'axe 22 du piston 16. En variante, la pièce intermédiaire peut se présenter sous la forme d'une plaque, ou d'une demi-lune. Avantageusement, par la mise en œuvre d'outillages adaptés, le revêtement 14b de type DLC pourra être également appliqué sur la jupe 24 du piston 16.

[0056] On décrit ci-après le procédé de dépose du revêtement 14b sur le trou d'axe 22 du piston 16. Les trous d'axe 22 des pistons 16 en aluminium ou en acier, sont revêtus avec une couche de revêtement 14b en utilisant un montage spécifique permettant d'orienter favorablement le trou d'axe 22 du piston 16 par rapport à la source de dépôt, et de masquer les zones ne devant pas être revêtues. Ce montage peut prendre l'aspect d'un cylindre avec lumières circonférentielles.

[0057] Après nettoyage des pistons 16, ceux-ci sont mis en place sur le montage qui est chargé dans l'enceinte de dépôt sous vide. Pendant le pompage de l'air, l'enceinte et les

pistons 16 sont dégazés par chauffage radiatif à une température de consigne respectant la température de revenu des pièces.

[0058] Lorsque le vide a atteint une valeur de 2.10^{-5} mbar, de l'argon est introduit dans l'enceinte pour atteindre une pression de l'ordre de 10^{-3} mbar, et les paramètres de décapage (puissance plasma, tension de bias) sont adaptés de manière à permettre l'élimination de la couche d'oxyde naturel des pistons 16, en particulier dans la zone confinée que représente le trou d'axe 22. Ces paramètres sont adaptés de façon à diminuer la tension sur les pièces, tout en augmentant le courant, ceci afin de diminuer la gaine cathodique.

[0059] Après décapage, une couche à gradient de propriété est déposée afin de permettre une transition optimale entre les propriétés mécaniques du matériau du piston 16 et les propriétés mécaniques du revêtement 14b proprement dit. La fin de cette couche à gradient de propriété correspond au dépôt de type carbone amorphe fonctionnel. Cette couche de carbone amorphe fonctionnelle est maintenue afin de garantir une épaisseur de l'ordre de 1 micromètre au minimum. De préférence, une épaisseur de la couche de revêtement 14b est comprise entre 1 micromètre et 3 micromètres.

[0060] En variante, le revêtement 14b pourra être tout revêtement déposé par le procédé sous vide décrit ci-dessus.

[0061] La figure 7 met en évidence que l'interface DLC/DLC entre l'axe 15 recouvert par un revêtement 14a et le trou d'axe 22 recouvert par un revêtement 14b du piston 16 favorise le glissement de ces deux éléments 15, 22 dans les zones Z1 et Z2 soumises à des forces F1 et F2 importantes appliquées par le piston 16 sur l'axe 15 lors d'un pic de pression P_g à l'intérieur d'un cylindre à la compression ou à l'explosion. La force F3 correspond à la force appliquée par la bielle 10 sur l'axe 15, dans la zone Z3.

REVENDICATIONS

1. Dispositif mécanique de transmission de mouvement (9) pour moteur thermique comportant :
- une bielle (10) comportant une tête de bielle (13) destinée à coopérer avec un maneton d'un vilebrequin et un pied de bielle (12) ayant un alésage interne (18),
- un piston (16) comportant un trou d'axe (22), et
- un axe de piston (15) inséré dans ledit trou d'axe (22) dudit piston (16) et dans ledit alésage interne (18) du pied de bielle (12) pour assurer une liaison rotative entre ladite bielle (10) et ledit piston (16), caractérisé en ce que l'axe de de piston (15) est recouvert par un revêtement de surface (14a) à faible coefficient de frottement et le trou d'axe (22) dudit piston (16) ou une pièce rapportée interposée entre ledit axe de piston (15) et ledit trou d'axe (22) est recouvert par un revêtement de surface (14b) à faible coefficient de frottement.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits revêtements de surface (14a/14b) à faible coefficient de frottement sont à base de carbone amorphe de type DLC.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que au moins un desdits revêtements de surface (14a/14b) à base de carbone amorphe de type DLC présente une teneur atomique en hydrogène comprise entre 20% à 50%, et préférentiellement comprise entre 20% à 30%.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit revêtement de surface recouvre l'axe de piston (15).

5. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que au moins un desdits revêtements de surface (14a/14b) à base de carbone amorphe de type DLC contient majoritairement une structure tétraédrique avec une teneur atomique en hydrogène inférieure à 5%.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit revêtement de surface recouvre le trou d'axe (22) dudit piston (16).

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la dureté d'au moins une desdites couches de revêtement de surface (14a/14b) à faible

coefficient de frottement a tendance à augmenter suivant un gradient lorsque l'on se déplace dudit piston (16) vers l'extérieur de ladite couche.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ledit trou d'axe (22) est poli.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une hauteur maximale d'un profil de rugosité (Rz) de l'axe de piston (15) est inférieure à 1 micromètre, et préférentiellement inférieure à 0.7 micromètre.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'une épaisseur de ladite couche de revêtement de surface (14) à faible coefficient de frottement est comprise entre 1 micromètre et 3 micromètres.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit piston (16) est réalisé dans un matériau à base d'acier ou à base d'aluminium.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ledit axe de piston (15) est réalisé dans un matériau à base d'acier.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que ledit piston (16) comporte une jupe (24) également recouverte d'une couche de revêtement de surface (14b) à faible coefficient de frottement.

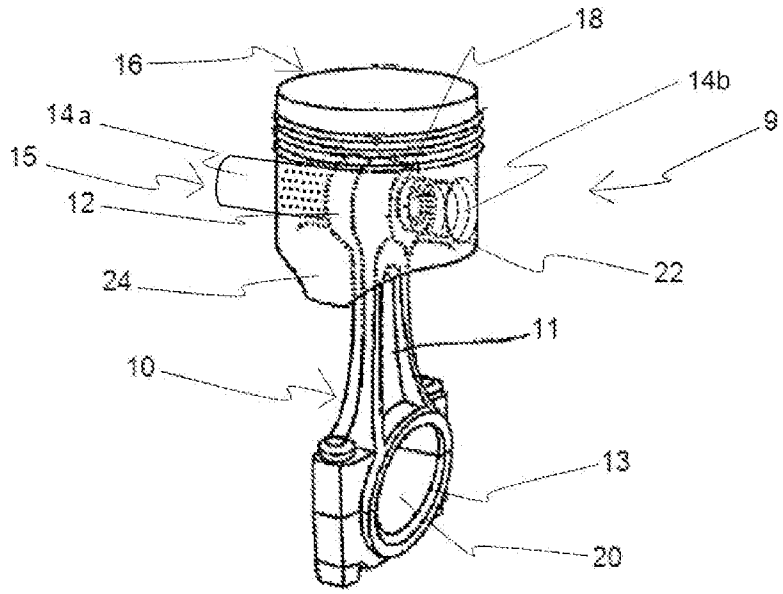


Figure 1

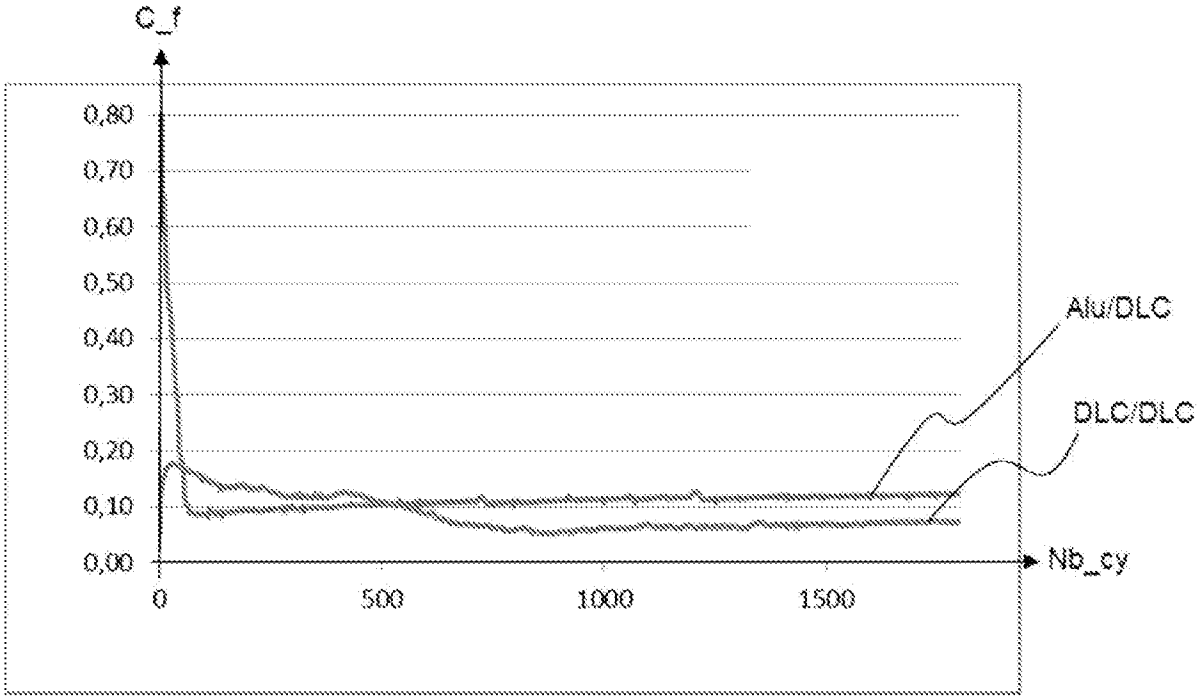


Figure 2a

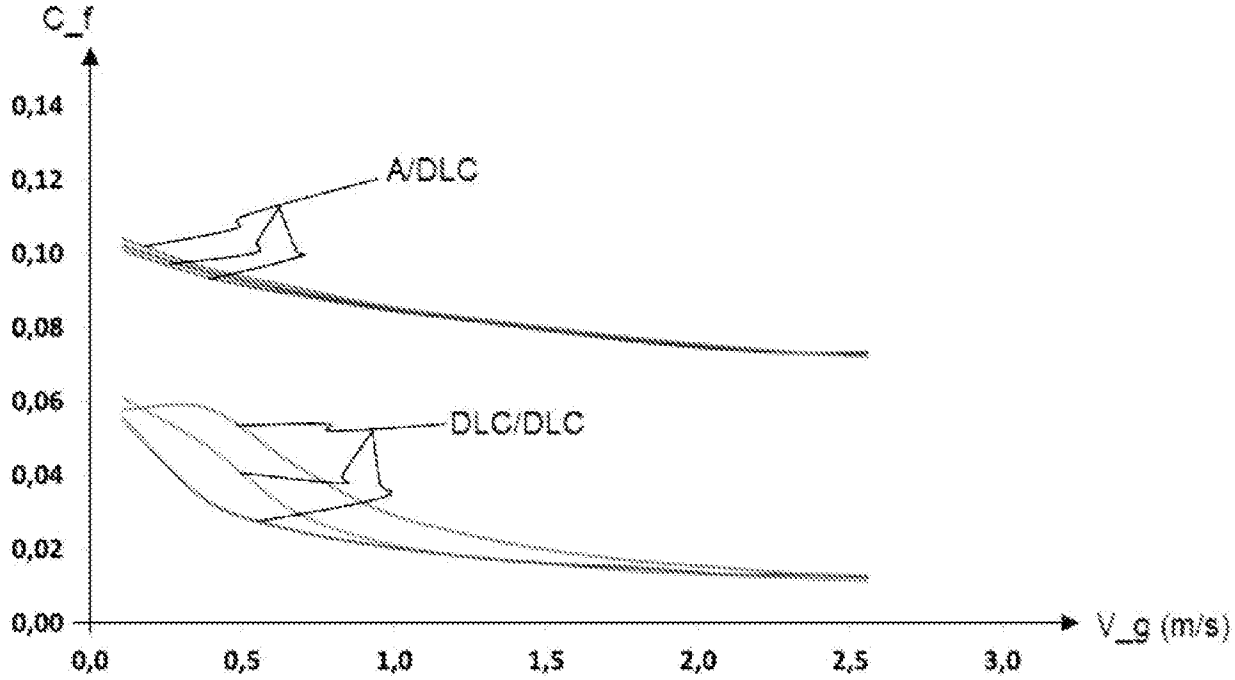


Figure 2b

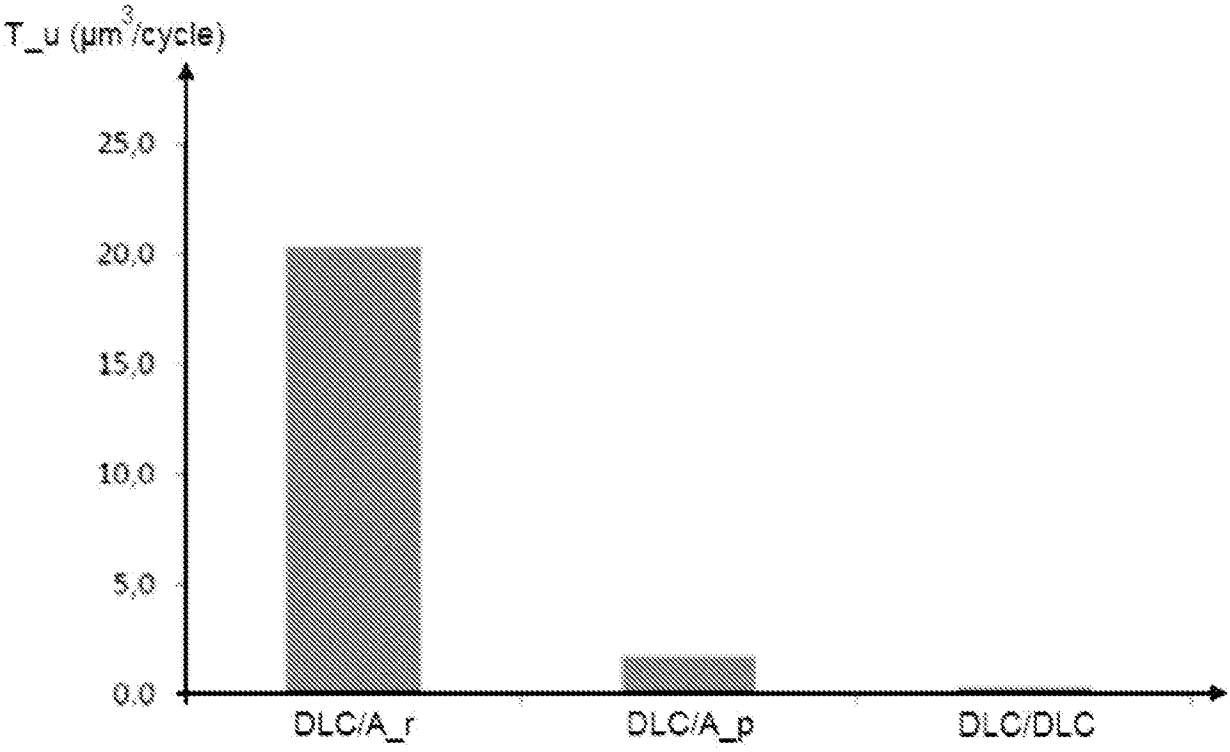


Figure 3

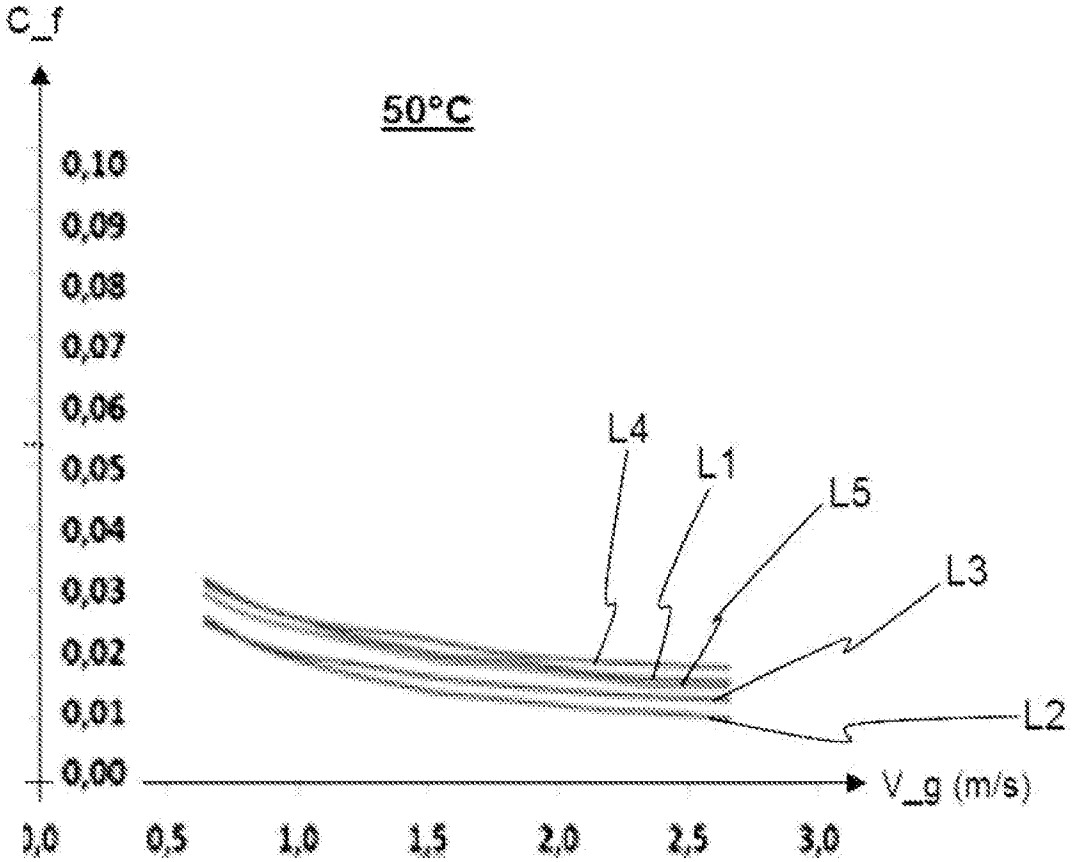


Figure 4a

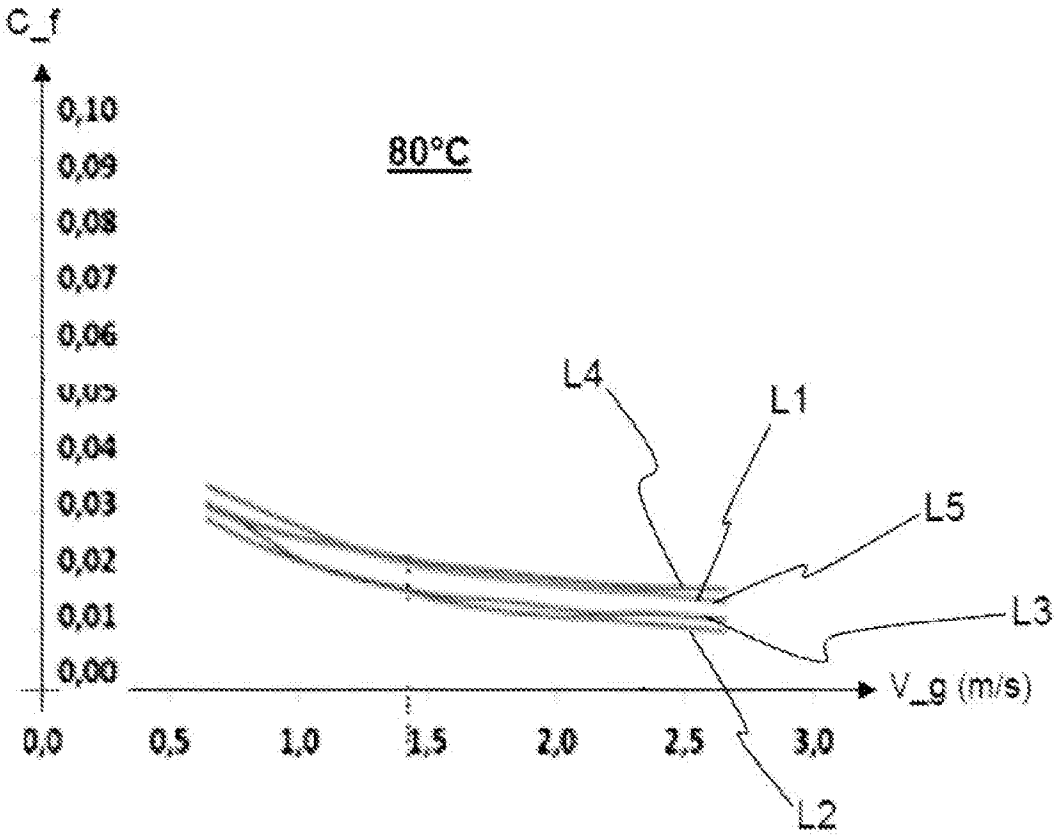


Figure 4b

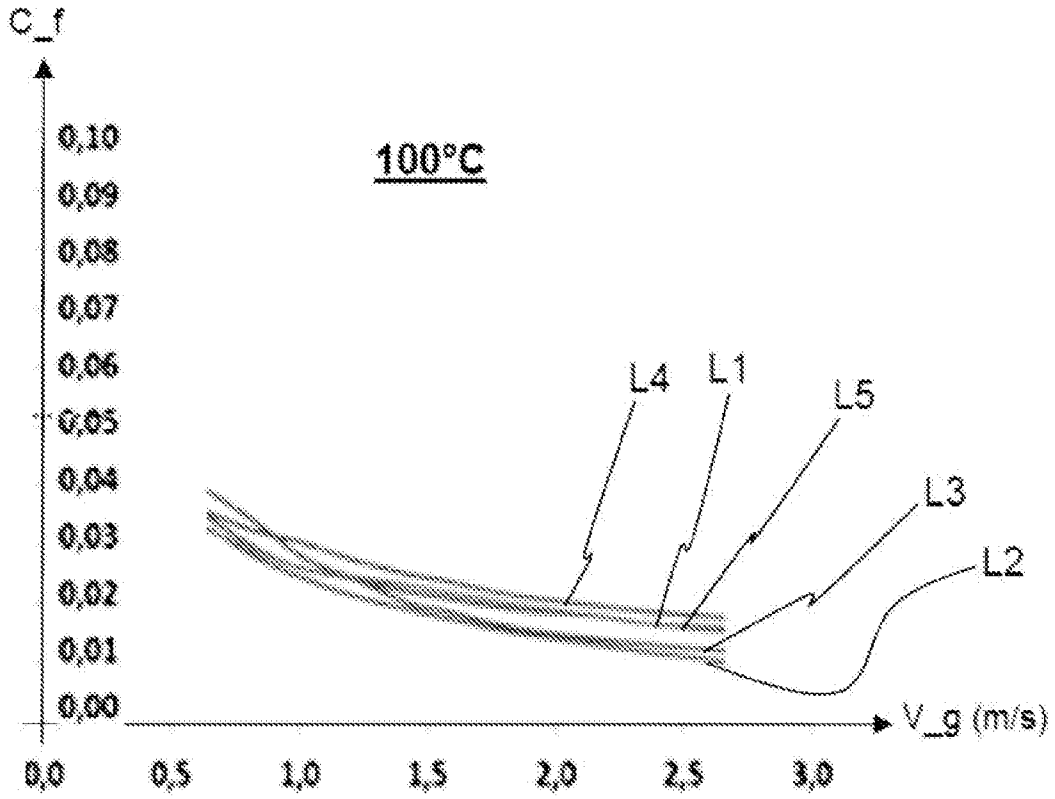


Figure 4c

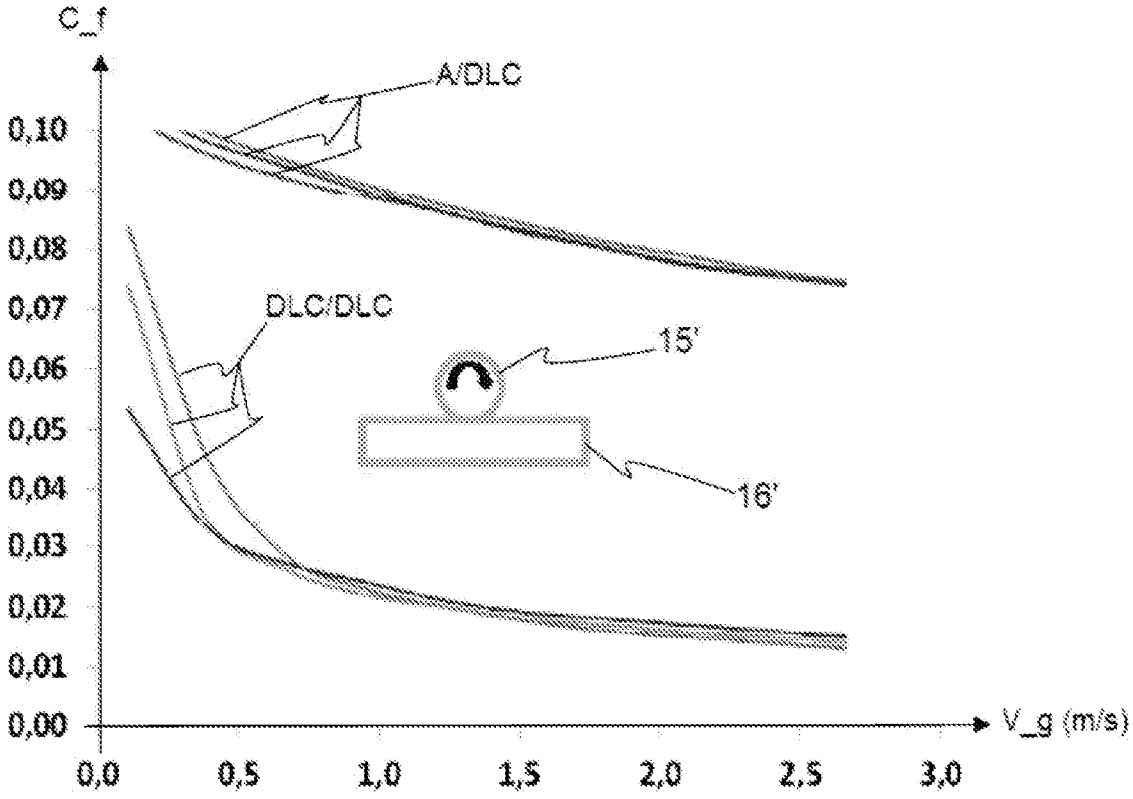


Figure 5

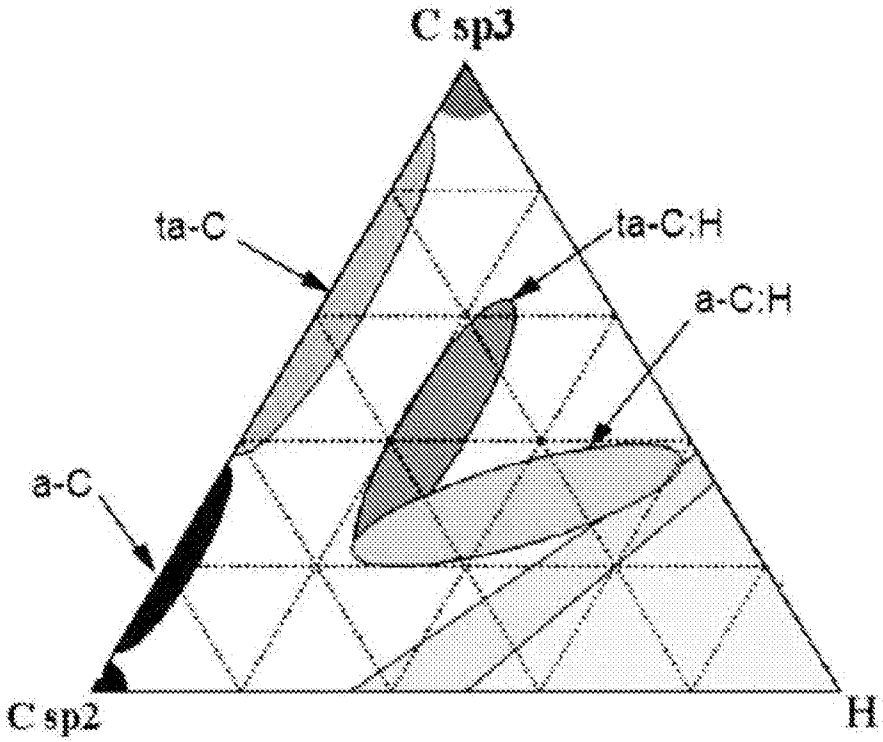


Figure 6

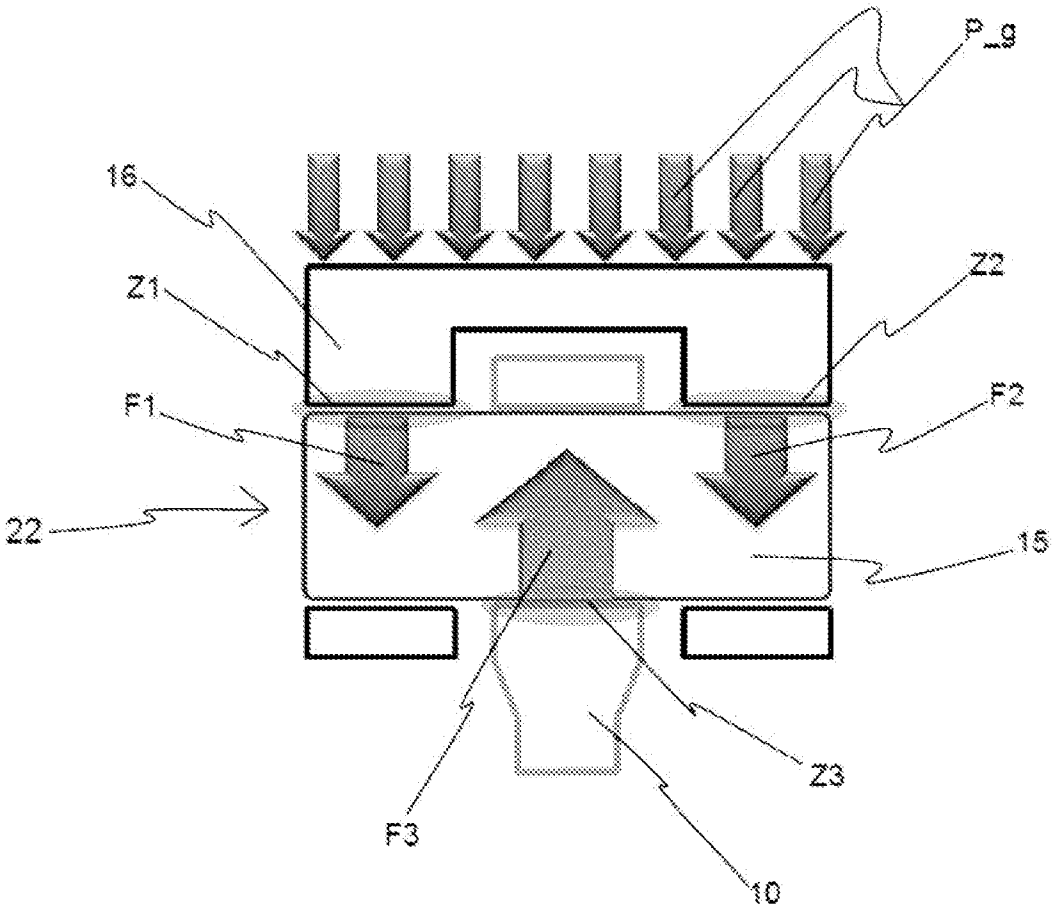


Figure 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2018/050280

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16J1/16
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F16J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2011 102209 A1 (MAHLE INT GMBH [DE]) 22 November 2012 (2012-11-22) page 2, paragraph 11; claims 1-3; figures	1-13
A	WO 2009/144076 A1 (FEDERAL MOGUL NUERNBERG GMBH [DE]; MORGENSTERN ROMAN [DE]) 3 December 2009 (2009-12-03) abstract; claim 1	1-13
A	EP 2 647 738 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 9 October 2013 (2013-10-09) abstract; figures	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
15 May 2018	23/05/2018

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

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2018/050280

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102011102209 A1	22-11-2012	NONE	
WO 2009144076 A1	03-12-2009	DE 102008025681 A1	10-12-2009
		WO 2009144076 A1	03-12-2009
EP 2647738 A1	09-10-2013	CN 103228817 A	31-07-2013
		EP 2647738 A1	09-10-2013
		JP 5730902 B2	10-06-2015
		JP WO2012073717 A1	19-05-2014
		US 2013252860 A1	26-09-2013
		WO 2012073717 A1	07-06-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2018/050280

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F16J1/16
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F16J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 10 2011 102209 A1 (MAHLE INT GMBH [DE]) 22 novembre 2012 (2012-11-22) page 2, alinéa 11; revendications 1-3; figures	1-13
A	WO 2009/144076 A1 (FEDERAL MOGUL NUERNBERG GMBH [DE]; MORGENSTERN ROMAN [DE]) 3 décembre 2009 (2009-12-03) abrégé; revendication 1	1-13
A	EP 2 647 738 A1 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 9 octobre 2013 (2013-10-09) abrégé; figures	1-13

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
15 mai 2018	23/05/2018

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Narminio, Adriano

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2018/050280

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102011102209 A1	22-11-2012	AUCUN	
WO 2009144076 A1	03-12-2009	DE 102008025681 A1	10-12-2009
		WO 2009144076 A1	03-12-2009
EP 2647738 A1	09-10-2013	CN 103228817 A	31-07-2013
		EP 2647738 A1	09-10-2013
		JP 5730902 B2	10-06-2015
		JP WO2012073717 A1	19-05-2014
		US 2013252860 A1	26-09-2013
		WO 2012073717 A1	07-06-2012