

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Pièce mécanique comprenant au moins une cavité interne et procédé de fabrication d'une telle pièce.

②② Date de dépôt : 29.07.22.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES*
Société par actions simplifiée — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 02.02.24 Bulletin 24/05.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 15.11.24 Bulletin 24/46.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : LOVAL Sébastien Christophe, AUBER
Kevin et SERRAU Marc.

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES* Société
par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet CAMUS LEBKIRI.



Description

Titre de l'invention : Pièce mécanique comprenant au moins une cavité interne et procédé de fabrication d'une telle pièce

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- [0001] Le domaine technique de l'invention est celui de la caractérisation d'une pièce mécanique.
- [0002] La présente invention concerne une pièce mécanique comprenant une ou plusieurs cavités internes permettant la caractérisation desdites cavités internes et, en particulier, la caractérisation de la distance séparant lesdites cavités internes de l'une ou de plusieurs des surfaces de la pièce mécanique considérée, en particulier d'une plaque de distribution de carburant.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

- [0003] La fabrication additive peut être utilisée pour fabriquer des pièces mécaniques comportant des cavités internes. Afin de s'assurer de la conformité des pièces ainsi obtenues, il est nécessaire de vérifier le bon positionnement de ces cavités, notamment par rapport à une ou plusieurs surfaces de chaque pièce mécanique.
- [0004] Pour cela, il est connu de découper une partie des pièces fabriquées afin de s'assurer que ces dernières sont bien conformes. Cependant, un tel moyen de contrôle a pour inconvénient d'être destructif et de ne permettre qu'un contrôle par sondage. Il est également connu, lorsqu'une cavité interne est débouchante, de pratiquer un scan en trois dimensions ou bien encore un palpé. Cependant, ces méthodes ne sont applicables qu'aux cavités débouchantes et ne permettent pas de caractériser entièrement la cavité en question. Enfin, il est connu d'effectuer une tomographie. Cependant, cette méthode offre une précision de mesure qui n'est pas toujours compatible avec les exigences de conformité.
- [0005] Il existe donc un besoin d'une méthode de contrôle qui permette de caractériser, de manière non destructive, des cavités internes débouchantes ou non, tout en offrant une précision de mesure supérieure à celle obtenue par une technique de tomographie.

Résumé de l'invention

- [0006] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en proposant une pièce mécanique sur laquelle des orifices non débouchants permettent de rendre compte de la distance entre une ou plusieurs cavités et une ou plusieurs surfaces de la pièce mécanique.
- [0007] Pour cela, un premier aspect de l'invention concerne une pièce mécanique, par exemple une plaque de distribution de carburant, comprenant au moins une cavité interne, de préférence une pluralité de cavités internes, la pièce mécanique comprenant

sur l'une au moins de ses surfaces une pluralité d'orifices non débouchants, une section de la cavité interne, de préférence d'une cavité interne de la pluralité de cavités internes, étant associé à chaque orifice de pluralité d'orifices non débouchants, chaque orifice de la pluralité d'orifices comprenant un fond et ayant une profondeur P_i où i est l'indice de l'orifice considéré, la profondeur P_i de chaque orifice étant fonction de la distance d_i séparant la section de la cavité interne associé à l'orifice considéré de la surface au niveau de laquelle est réalisé l'orifice considéré.

- [0008] Grâce à l'invention, en mesurant la profondeur d'un orifice donné, il est possible de connaître la distance séparant une cavité interne, au niveau de la section associée audit orifice, de la surface sur laquelle est formé l'orifice considéré. En disposant une pluralité d'orifices, il est ensuite possible de caractériser cette distance pour une pluralité de sections et ainsi remonter à la distance séparant la cavité interne de la surface considérée. Bien entendu, ce principe peut être appliqué à une cavité interne ou à une pluralité de cavités internes.
- [0009] Outre les caractéristiques qui viennent d'être évoquées dans le paragraphe précédent, la pièce mécanique selon un aspect de l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles.
- [0010] Dans un mode de réalisation, la pièce mécanique a été obtenue par fabrication additive.
- [0011] Dans un mode de réalisation, la section associée à un orifice donné est la section la plus proche dudit orifice.
- [0012] Dans un mode de réalisation, la distance d_i séparant la section de la cavité interne associée à un orifice de la surface au niveau de laquelle est réalisé ledit orifice est donnée par $d_i = p_i + \Delta$ où Δ est fixé pour l'ensemble des orifices O_i d'une surface donnée. De préférence $\Delta = 0$.
- [0013] Dans un mode de réalisation, la distance séparant une section de la cavité interne de l'orifice qui lui est associé est inférieure ou égale à 100 mm, de préférence inférieure ou égal à 10 mm.
- [0014] Dans un mode de réalisation, les orifices de la pluralité d'orifices non débouchants sont positionnés en fonction de la ou des cavités internes à caractériser et/ou en fonction du ou des déformations attendues de la pièce mécanique.
- [0015] Un deuxième aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication additive d'une pièce mécanique selon un premier aspect de l'invention.
- [0016] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0017] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.
- [0018] Les [Fig.1A], [Fig.1B] et [Fig.1C] illustrent la distance séparant une cavité interne d'une surface d'une pièce mécanique pour une pièce mécanique brut de fabrication (en négligeant les déformations mineures qui peuvent apparaître lors de la fabrication) ([Fig.1A]), après déformation ([Fig.1B]) et après usinage ([Fig.1C]).
- [0019] Les [Fig.2A] et [Fig.2B] illustrent l'évolution de la profondeur de deux orifices non débouchant au cours de la fabrication et de l'usinage d'une pièce mécanique.
- [0020] Les [Fig.3A], [Fig.3B] et [Fig.3C] illustrent trois méthodes pour mesurer la distance séparant une cavité interne d'une surface de la pièce mécanique.
- [0021] La [Fig.4] donne des exemples de formes pour la section des orifices non débouchants.

DESCRIPTION DETAILLEE

- [0022] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique. De plus, dans la suite, les illustrations et les distances données ne prennent pas en compte les incertitudes associées au procédé de fabrication utilisé pour obtenir la pièce mécanique selon l'invention (en général, +/- 0,1 mm pour la fabrication additive ou bien encore +/-0,4 mm pour de la fonderie). Cependant, une telle prise en compte relève de la pratique quotidienne de la personne du métier et n'est donc pas décrite dans la suite. De même, la déformation est évaluée en prenant en compte les incertitudes liées au procédé de fabrication par rapport à la forme théorique parfaite sur laquelle se base le procédé de fabrication en question. Là encore, une telle prise en compte relève de la pratique quotidienne de la personne du métier.
- [0023] Afin d'illustrer de manière plus détaillée le problème de positionnement d'une ou plusieurs cavités internes CI dans une pièce mécanique PM, les [Fig.1A] à [Fig.1C] illustrent une pièce mécanique PM en trois dimensions (en haut) et en coupe (en bas) pour le brut de fabrication ([Fig.1A]), avec déformation ([Fig.1B]) et après usinage ([Fig.1C]).
- [0024] Comme le montre la [Fig.1A], pour la pièce mécanique brut de fabrication, dans la pièce mécanique PM de cet exemple, la distance séparant une cavité interne CI de la surface supérieure (ou de la surface inférieure) de la pièce mécanique PM est constante et égale à d . Une fois déformée (par exemple du fait d'un traitement thermique), comme illustré à la [Fig.1B], la pièce mécanique PM présente une courbure plus ou moins complexe, la cavité interne CI présentant alors la même courbure. En conséquence, malgré cette déformation, la distance séparant une cavité interne CI de la surface de la pièce mécanique PM reste constante et égale à d . En revanche, comme illustré à la [Fig.1C], après usinage, la pièce mécanique PM retrouve sa planéité ce qui a pour conséquence que la distance séparant la cavité interne CI de la surface su-

périeure (ou de la surface inférieure) de la pièce mécanique PM n'est plus la même pour l'ensemble de la pièce mécanique PM, mais varie (dans l'exemple de la [Fig.1C] entre une première valeur d_1 et une deuxième valeur d_2) en fonction de la position considérée. Aussi, lorsqu'une contrainte existe sur cette distance et que, en particulier, une distance minimale doit être observée, il est difficile (voire impossible) de vérifier si une telle exigence est respectée. C'est à ce problème que la présente invention offre une solution en permettant de caractériser, de manière précise et sans contrôle destructif, la distance séparant une cavité interne CI (débouchant ou non) d'une ou plusieurs surfaces d'une pièce mécanique PM.

[0025] Pour cela, un premier aspect de l'invention illustré à la [Fig.2A] et à la [Fig.2B] concerne une pièce mécanique PM comprenant au moins une cavité interne CI, de préférence une pluralité de cavités internes CI. La pièce mécanique PM est de préférence obtenue par un procédé de fabrication additive. Cependant, l'invention peut s'appliquer à tout autre procédé de fabrication ou mise en en forme dès lors que celui-ci induit des déformations dans les post traitements de la pièce mécanique. La pièce mécanique PM comprend également sur l'une au moins de ses surfaces une pluralité d'orifices O_i non débouchant, une section C_i de la cavité interne ou d'une cavité interne CI de la pluralité de cavités internes étant associée à chaque orifice O_i , chaque orifice O_i comprenant un fond et ayant une profondeur notée P_i où i est l'indice de l'orifice O_i considéré. De préférence, la section C_i associée à un orifice donné O_i est la section C_i la plus proche dudit orifice O_i . Dans un mode de réalisation, la distance de l'orifice O_i à la section qui lui est associée est inférieure ou égale à 100 mm, de préférence inférieure ou égale à 10 mm. De manière plus générale, cette distance est choisie en fonction d'une grandeur caractéristique associée à la cavité interne que l'on cherche à caractériser.

[0026] De plus, dans la pièce mécanique PM selon l'invention, la profondeur P_i de chaque orifice O_i est fonction de la distance séparant la section C_i de la cavité interne CI associée audit orifice O_i de la surface au niveau de laquelle est réalisé l'orifice O_i considéré. Autrement dit, $d_i = f(p_i)$ où f est une fonction affine permettant d'associer à une valeur de P_i une et une seule valeur de d_i et vice-versa. On notera qu'une fois la distance séparant une section C_i d'une surface donnée, il est possible de déterminer la distance entre cette même section C_i et une autre surface pourvu qu'il soit possible de déterminer la position des deux surfaces l'une par rapport à l'autre. C'est particulièrement vrai pour deux surfaces qui seraient parallèle l'une à l'autre comme les surface supérieure (sur laquelle sont réalisés les orifices O_i) et inférieure de la [Fig.3B] après usinage de la pièce mécanique PM.

[0027] Dans un mode de réalisation, la distance d_i est donnée par $d_i = p_i + \Delta$ où Δ est fixé

pour l'ensemble des orifices O_i d'une surface donnée. Par exemple, si des orifices O_i sont présents sur deux surfaces de la pièce mécanique PM, alors Δ pourra prendre une première valeur pour les orifices O_i de la première surface et une deuxième valeur pour les orifices O_i de la deuxième surface. De préférence, $\Delta = 0$ de sorte que la profondeur de l'orifice O_i considéré fournit directement la distance d_i séparant la section C_i associée audit orifice O_i de la surface sur laquelle est présent ledit orifice O_i .

[0028] Sur la [Fig.2A], la partie entourée met en avant deux orifices O_1 et O_2 avant usinage de la pièce mécanique PM, un premier orifice O_1 associé à une première section C_1 de la cavité interne CI et un deuxième orifice O_2 associé à une deuxième section C_2 de la même cavité interne CI. Les deux orifices ont une même profondeur $p_1 = p_2$ traduisant le fait que les distances séparant la cavité interne de la surface sur laquelle sont présents les deux orifices au niveau de la première section et de la deuxième section sont identiques, c'est à dire $d_1 = d_2$. En outre, dans l'exemple de la [Fig.2A], $d_1 = p_1$ et $d_2 = p_2$ (autrement dit, $\Delta = 0$).

[0029] Sur la [Fig.2B], la partie entourée met en avant les mêmes deux orifices O_1, O_2 après usinage de la pièce mécanique PM. Les orifices O_1, O_2 étant proches des sections C_1, C_2 qui leur sont associées, ils ont subi les mêmes déformations et le même usinage que la surface au-dessus des sections C_1, C_2 en question. Aussi, il les relations suivantes sont vérifiées : $d_1 = p_1$ et $d_2 = p_2$. On notera que, les deux orifices étant situés à des endroits différents de la pièce mécanique PM, $p_1 \neq p_2$ (et donc $d_1 \neq d_2$). Ainsi, après usinage et malgré les déformations éventuelles de la pièce mécanique PM, il est possible, à partir de la profondeur des orifices O_i non débouchants, de remonter à la distance séparant les sections C_i associées auxdits orifices O_i à la surface au niveau de laquelle sont réalisées les orifices O_i . En répartissant des orifices O_i le long d'une cavité interne que l'on souhaite caractériser, il est alors possible de caractériser avec précision la distance d_i qui sépare ladite cavité d'une surface donnée.

[0030] Comme illustré à la [Fig.3A] (avec $\Delta = 0$) et à la [Fig.3B] (avec $\Delta > 0$), dans un mode de réalisation, la distance d_i correspond à la distance entre le haut de la cavité interne CI au niveau de la section considérée C_i et la surface considérée. Cependant, comme illustré à la [Fig.3C], la distance d_i peut être mesurée en tout point caractéristique de la cavité interne CI, comme le centre de la cavité interne CI au niveau de la section C_i considérée, par exemple si la section C_i est circulaire ou bien encore carrée.

[0031] Dans un mode de réalisation, les orifices O_i de la pluralité d'orifices non débouchant sont positionnés en fonction de la ou des cavités internes CI à caractériser et/ou en fonction du ou des déformations attendues de la pièce mécanique PM, cette déformation attendue pouvant être anticipée par calcul, par essai sur éprouvettes ou tout autre moyen connu de l'homme du métier.

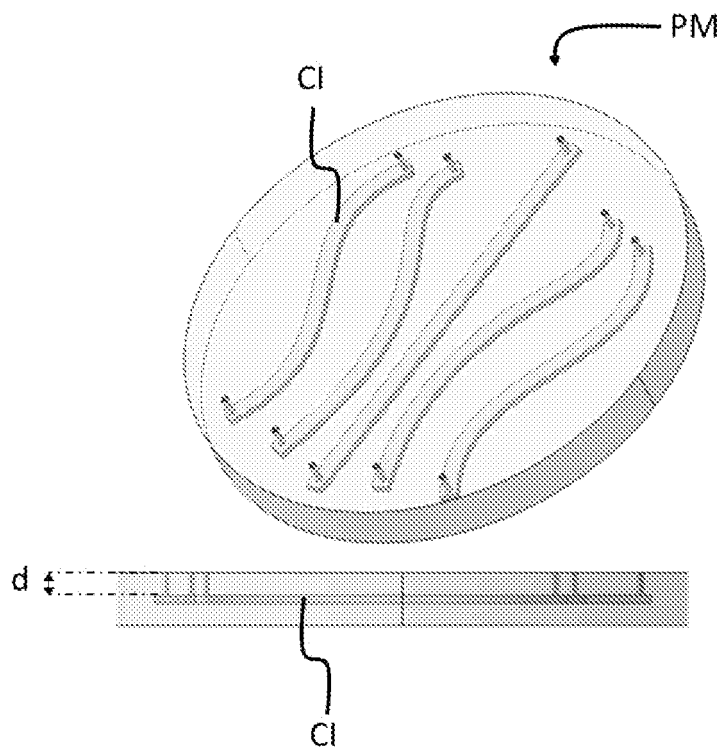
- [0032] Comme illustré à la [Fig.4], les orifices O_i peuvent avoir une section quelconque, comme une section circulaire, une section carrée ou bien encore une section losange pour ne donner que quelques exemples. Lorsque la pièce mécanique PM est obtenue par fabrication additive, la section des orifices O_i est de préférence adaptée et choisie en tenant compte des contraintes de la fabrication additive (sens de construction de la pièce et géométrie facilement fabricable notamment).
- [0033] Un deuxième aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication additive d'une pièce mécanique PM selon un premier aspect de l'invention. Plus particulièrement, le procédé de fabrication additive concerne la fabrication d'une pièce mécanique PM, par exemple une plaque de distribution de carburant, comprenant au moins une cavité interne CI, de préférence une pluralité de cavité internes CI, ledit procédé comprenant, pour chaque cavité interne CI, une étape de formation d'une pluralité d'orifices O_i non débouchant, chaque orifice O_i étant associé à une section C_i de la cavité interne CI considérée, la profondeur P_i de chaque orifice O_i étant fonction de la distance d_i séparant la section C_i de la cavité interne CI associée audit orifice O_i de la surface au niveau de laquelle est réalisé l'orifice O_i considéré.

Revendications

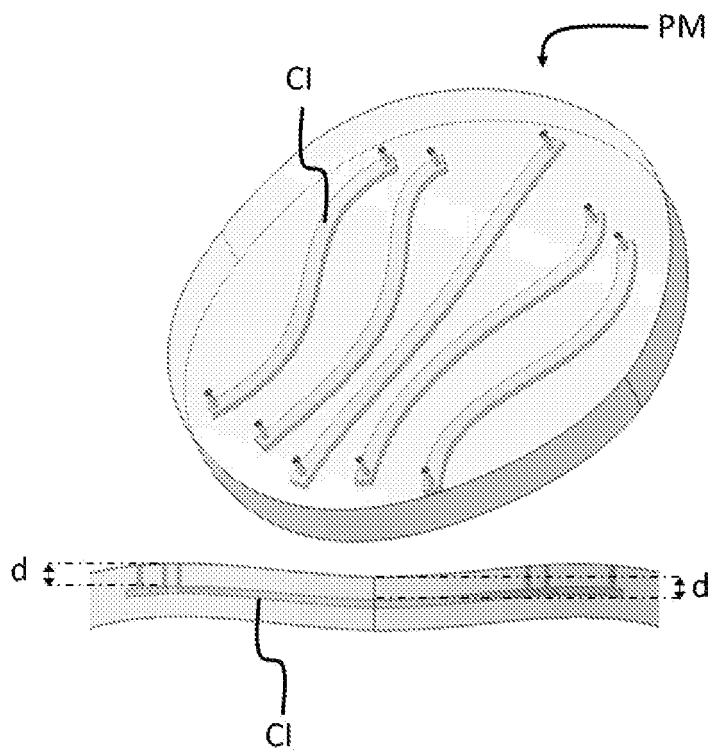
- [Revendication 1] Pièce mécanique (PM) comprenant une cavité interne (CI), la pièce mécanique comprenant sur l'une au moins de ses surfaces une pluralité d'orifices (O_i) non débouchants répartis le long de la cavité interne (CI), une section (C_i) de la cavité interne étant associée à chaque orifice (O_i) de la pluralité d'orifices (O_i), chaque orifice (O_i) de la pluralité d'orifices (O_i) comprenant un fond et ayant une profondeur p_i où i est l'indice de l'orifice (O_i) considéré, dans laquelle la profondeur p_i de chaque orifice (O_i) de la pluralité d'orifices (O_i) est fonction de la distance d_i séparant la section C_i de la cavité interne (CI) associée audit orifice O_i considéré de la surface au niveau de laquelle est réalisé l'orifice (O_i) considéré, la pièce mécanique (PM) étant caractérisée en ce que la cavité interne (CI) présente une courbure, de sorte que la distance séparant une section de la cavité interne et la surface de la pièce mécanique varie d'une section à l'autre.
- [Revendication 2] Pièce mécanique (PM) selon la revendication 1, ladite pièce mécanique (PM) ayant été obtenue par fabrication additive.
- [Revendication 3] Pièce mécanique (PM) selon l'une des revendications précédentes dans laquelle la section (C_i) associée à un orifice donné (O_i) est la section (C_i) la plus proche dudit orifice (O_i).
- [Revendication 4] Pièce mécanique selon l'une des revendications précédentes dans laquelle la distance d_i séparant la section (C_i) de la cavité interne (CI) associé à un orifice (O_i) de la surface au niveau de laquelle est réalisé l'orifice (O_i) considéré est donnée par $d_i = p_i + \Delta$ où Δ est fixé pour l'ensemble des orifices O_i d'une surface donnée.
- [Revendication 5] Pièce mécanique selon la revendication précédente dans laquelle $\Delta = 0$.
- [Revendication 6] Pièce mécanique selon l'une des revendications précédentes dans laquelle la distance séparant la section C_i de l'orifice O_i qui lui est associé est inférieure ou égale à 100 mm.
- [Revendication 7] Pièce mécanique (PM) selon l'une des revendications précédentes dans laquelle les orifices (O_i) de la pluralité d'orifices non débouchants sont positionnés en fonction de la ou des cavités internes (CI) à caractériser et/ou en fonction du ou des déformations attendues de la pièce mécanique (PM).
- [Revendication 8] Pièce mécanique selon l'une des revendications précédentes, ladite pièce mécanique étant une plaque de distribution de carburant.

- [Revendication 9] Procédé de détermination d'une distance séparant une cavité interne (CI) d'une pièce mécanique selon l'une des revendications 1 à 8 à une surface de la pièce mécanique, le procédé comprenant :
- mesurer, pour chaque orifice (O_i) de la pluralité d'orifices (O_i), la profondeur P_i dudit orifice (O_i) pour déterminer la distance séparant la cavité interne de la surface de la pièce mécanique au niveau de la section de la cavité interne associée audit orifice.

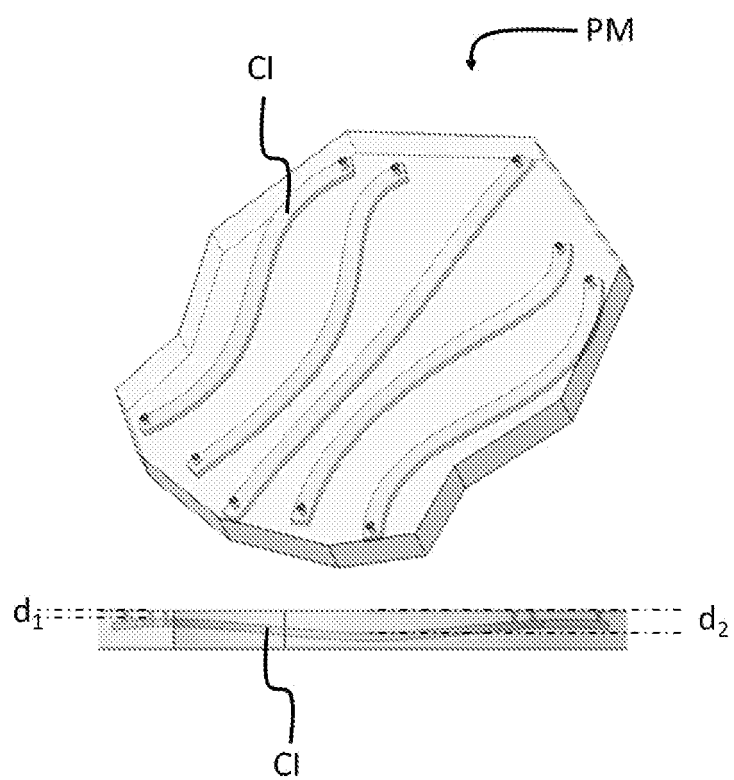
[Fig. 1A]



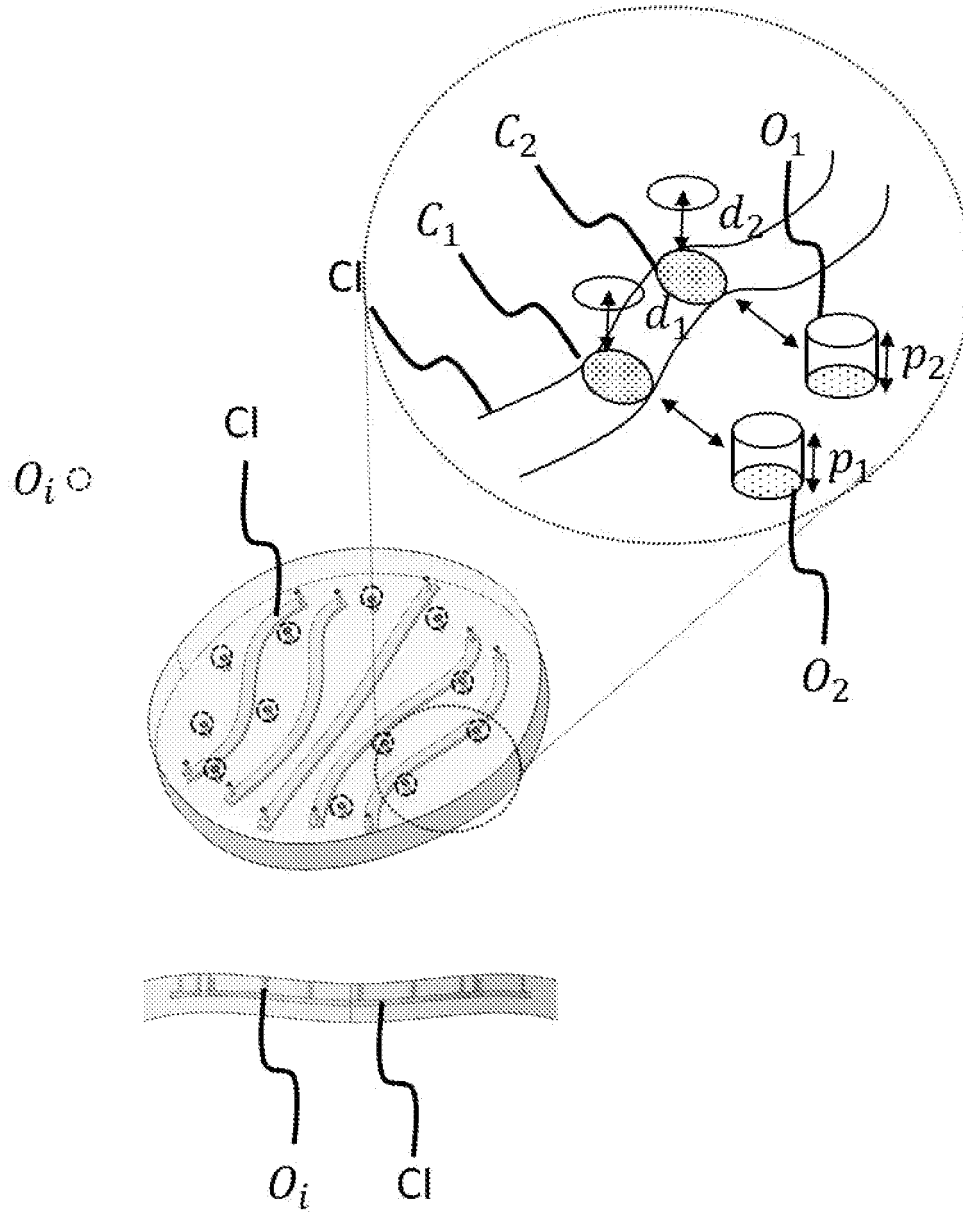
[Fig. 1B]



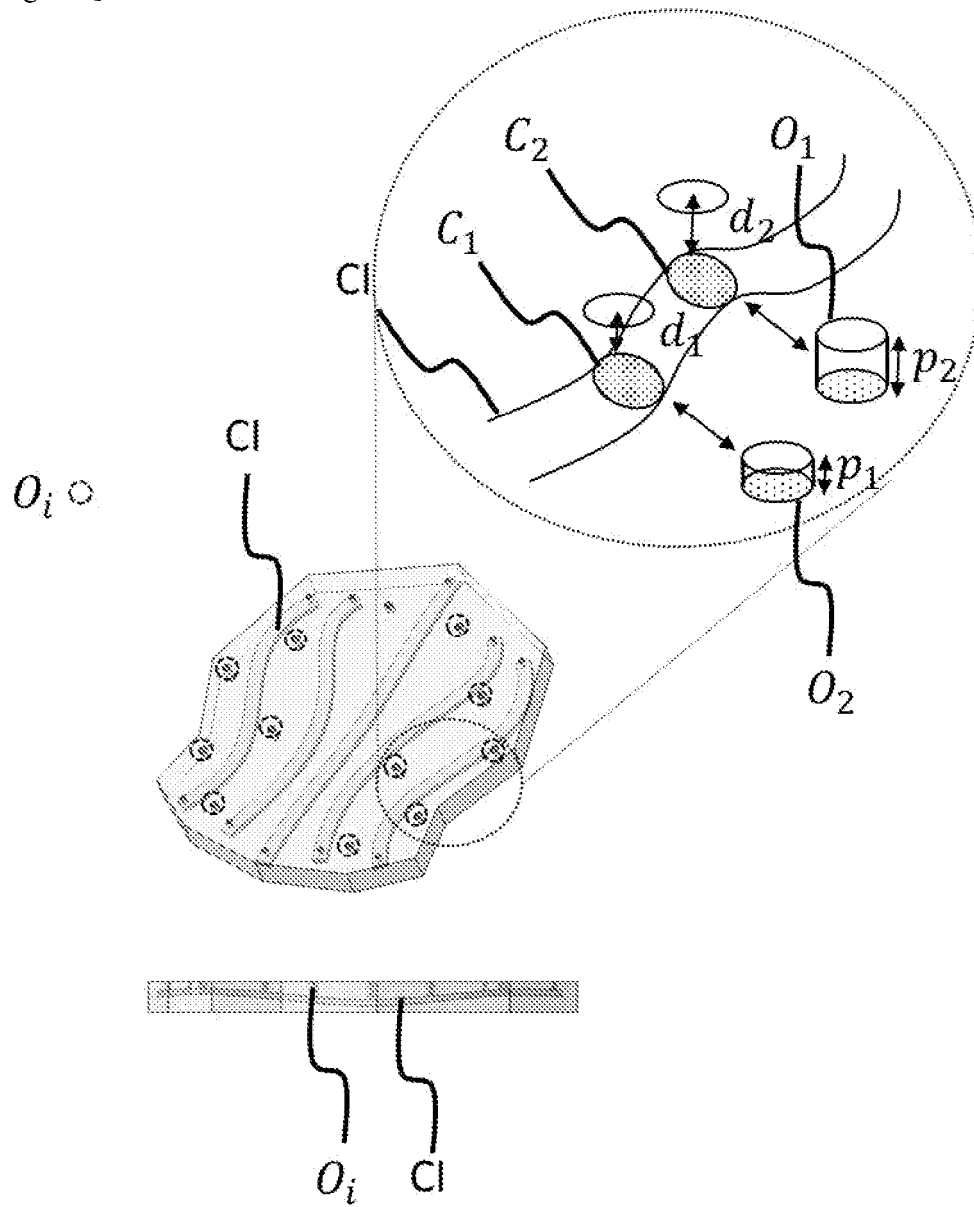
[Fig. 1C]



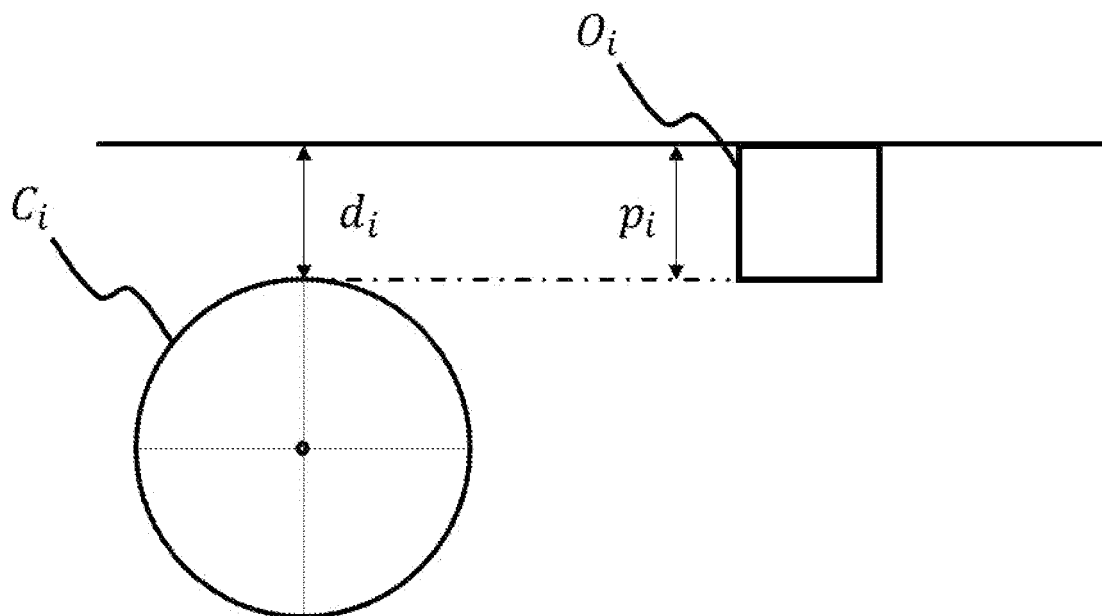
[Fig. 2A]



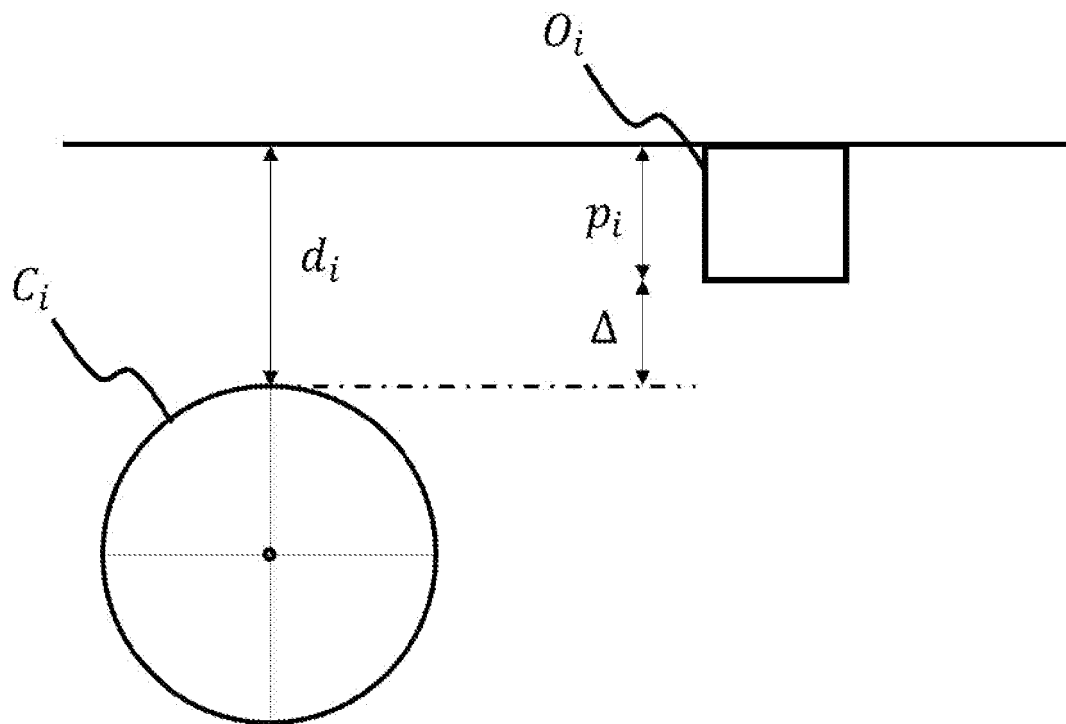
[Fig. 2B]



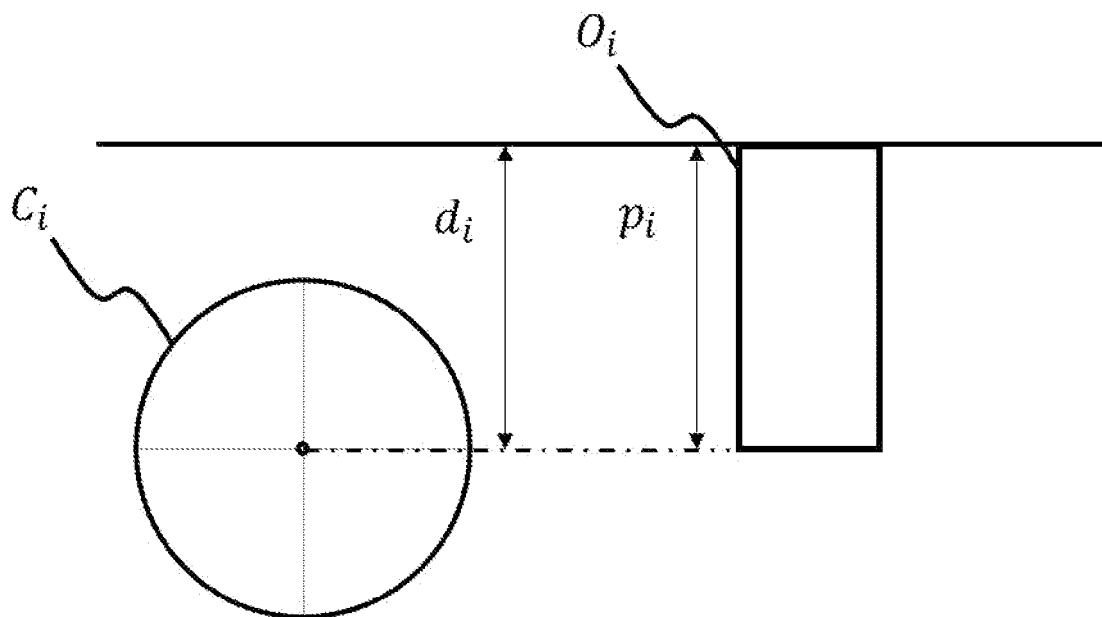
[Fig. 3A]



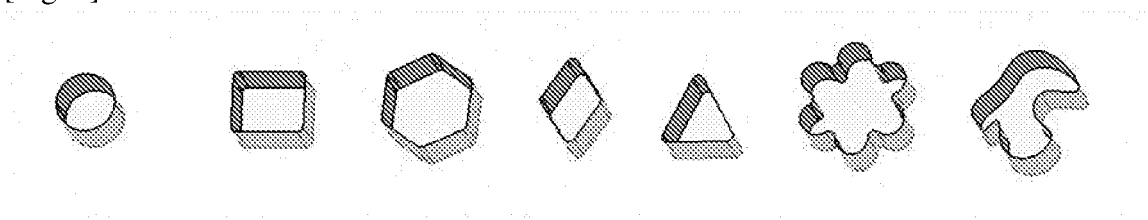
[Fig. 3B]



[Fig. 3C]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 3 278 336 A (ULINE LAWRENCE J ET AL)
11 octobre 1966 (1966-10-11)

WO 2020/225658 A1 (ROTEN MAXIME [CH])
12 novembre 2020 (2020-11-12)

WO 2014/102508 A2 (MERSEN FRANCE AMIENS
SAS [FR]) 3 juillet 2014 (2014-07-03)

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

US 2015/295251 A1 (BROUSSEAU GUILLAUME M
[US]) 15 octobre 2015 (2015-10-15)

US 2021/178387 A1 (KWON PATRICK [US] ET
AL) 17 juin 2021 (2021-06-17)

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

NEANT