



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **718 948 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 31/06** (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 070245/2021

(22) Date de dépôt: 06.09.2021

(43) Demande publiée: 15.03.2023

(24) Brevet délivré: 29.11.2024

(45) Fascicule du brevet publié: 29.11.2024

(73) Titulaire(s):
Pierhor-Gasser SA, Chemin du Croset 9B
1024 Ecublens (CH)

(72) Inventeur(s):
Philippe Jacot, 2022 Bevaix (CH)
Ivan Calderon, 2014 Bôle (CH)
Fabrice Lambert, 1173 Féchy (CH)

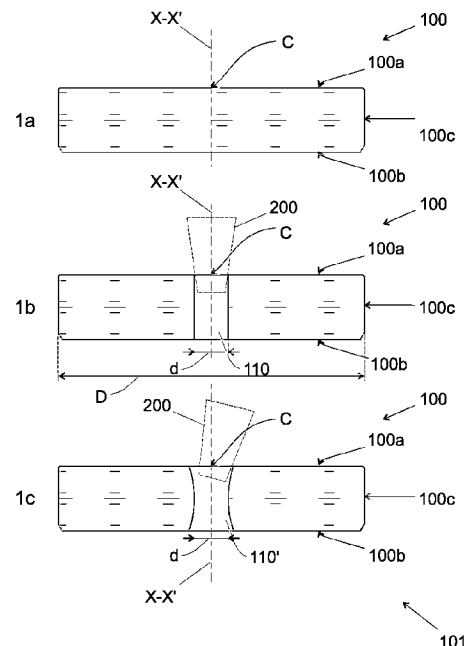
(74) Mandataire:
P&TS SA, Av. J.-J. Rousseau 4 P.O. Box 2848
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un palier de pivotement pour composant horloger.**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'un palier de pivotement (101). Ce procédé comporte les étapes suivantes :

- fourniture d'une ébauche (100) de palier définissant une première face (100a), une deuxième face (100b) opposée à la première face (100a) et une face périphérique (100c) reliant la première face (100a) à la deuxième face (100b), ladite face périphérique (100c) présentant la géométrie et les dimensions du palier de pivotement (101),
- détermination, sur la première face (100a), d'un emplacement de centre de perçage (C) passant par un axe (X-X') prévu pour le pivotement d'un composant horloger, en prenant en compte la géométrie de ladite face périphérique (100c) et/ou la position de ladite face périphérique (100c) par rapport à son environnement fonctionnel final,
- usinage de l'ébauche (100) en prenant en compte ledit emplacement de centre de perçage (C), ledit usinage comprenant le perçage par laser femtoseconde d'un trou (110) entre la première face (100a) et la deuxième face (100b),

ce par quoi on obtient un palier de pivotement (101).



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un palier de pivotement pour le pivotement d'un composant horloger. Un tel palier de pivotement concerne donc la partie femelle de la liaison pivot, encore appelée coussinet. Ce palier de pivotement reçoit et guide un composant horloger en rotation ou en pivotement autour d'un axe, tel qu'un arbre formant pivot. Il s'agit par exemple d'un axe matériel encore appelé tourillon, à savoir la partie terminale d'un mobile qui tourne dans le coussinet.

[0002] Pour assurer sa fonction de manière optimale, un tel palier de pivotement doit respecter des dimensions (cotes de fabrication) très serrées, tant pour son contour qui vient se loger fixement dans un support, que pour son trou qui reçoit le composant horloger devant effectuer un mouvement rotatif. En horlogerie, un tel palier de pivotement est donc généralement dénommé un coussinet, appelé par raccourci une „pierre“, du fait du matériau qui le constitue et qui est généralement en rubis synthétique. La matière de base du rubis synthétique est l'oxyde d'aluminium ou alumine cristallisée (Al_2O_3). Une telle pierre présente en effet des propriétés tribologiques remarquables, avec une bonne stabilité de frottement et une faible usure des surfaces en contact.

[0003] Une telle pierre forme un palier de pivotement qui est insensible aux changements de température, résiste aux acides et n'est pas conducteur. Le rubis synthétique forme un matériau homogène, ce qui permet d'effectuer un polissage du trou, et ainsi, permet d'abaisser encore le coefficient de friction. Ainsi, un axe matériel reposant dans un coussinet de rubis tourne avec un frottement minimum.

[0004] Les dimensions et le profil des pierres sont de première importance notamment pour la stabilité de la marche d'un mouvement horloger. Une pierre reçoit une certaine quantité d'huile qu'elle doit conserver autour du pivot, en l'empêchant de se répandre trop loin. Pour retenir une quantité d'huile maximum et la garder, pour un pivot de dimensions données, il faut respecter une géométrie bien précise entre les pièces, tout en autorisant un jeu suffisant entre le pivot et le trou de la pierre pour que l'huile puisse constituer un tampon de lubrifiant entre les parois du pivot et celles du trou.

[0005] Ainsi, les amortisseurs de choc ou antichoc comprennent des pierres ou rubis, et cet organe est un des plus gros contributeurs de perte de marche dans une montre. En effet, la régularité du pivotement d'un axe, notamment de type axe de balancier au sein d'un amortisseur, est un facteur clé des performances chronométriques d'une montre : toute variation intervenant au cours du temps, telles qu'une usure du pivot ou sa dégradation sous l'effet de chocs, induit des modifications du comportement de l'oscillateur pouvant provoquer des variations de la marche de la montre.

[0006] On connaît plusieurs géométries de pierres percées ou de coussinets, qui sont notamment désignées par les termes suivants : pierre glace à trou olivé ou à trou cylindrique, pierre d'appui à trou olivé ou à trou cylindrique, pierre demi-glace à trou olivé ou à trou cylindrique, pierre glace à trou olivé ou à trou cylindrique et à deux creusures, pierre bombée à trou olivé ou à trou cylindrique. Ces pierres peuvent être assemblées au sein de chatons combinés et d'amortisseurs.

[0007] Ces pierres comportent un trou, qui peut être olivé ou non, permettant le pivotement du pivot de l'axe à l'encontre d'une surface de pivotement. Concernant spécifiquement les pierres assemblées au sein de chatons combinés et d'amortisseurs, le trou comporte généralement une creusure sur une première face de la pierre, du côté de l'introduction du pivot, à savoir une dépression autour du trou, destinée à faciliter l'insertion du pivot.

[0008] Ces pierres comportent ainsi une première face généralement plate, comportant la creusure, et une face plate ou bombée à l'opposé de la creusure. Dans les pierres selon l'état de l'art, la distinction entre la creusure et la zone ou surface de pivotement se fait aisément, les deux parties étant séparées par une arête généralement franche. Cette arête franche peut s'avérer problématique lors de la phase d'insertion du pivot, qui peut venir buter contre l'arête et se marquer à son contact.

Etat de la technique

[0009] On comprend que le rubis et, plus encore, le rubis synthétique est le matériau le plus dur après le diamant et que son usinage ne peut s'effectuer qu'avec des outils garnis de diamant.

[0010] Le procédé de fabrication actuellement utilisé pour fabriquer des paliers de pivotement sous forme de pierres formant des coussinets utilise un nombre important d'étapes, parfois manuelles, qui conduisent à un pourcentage de pièces non conformes relativement important. On comprend que plus il y a d'étapes de fabrication et plus les écarts par rapport aux dimensions théoriques sont potentiellement présents et risquent de se cumuler.

[0011] Par exemple une pierre nommée „glace bombée olivée“ est obtenue après la mise en œuvre de pas moins de l'ordre de 47 opérations depuis l'ébauche grossière jusqu'à sa forme finale prête à être montée sur son support. Parmi ces opérations, on peut citer les suivantes :

- sciage du rubis synthétique,
- perçage d'un pré-trou par laser, à la broche ou par une autre méthode, pour former une ébauche,

- enfilage des ébauches (montage manuelle d'une série de pièces sur le fil),
- agrandissement de ce pré-trou, soit grandissage du perçage pour l'agrandissement du diamètre interne de la pierre sur fil couvert de diamantine (rodage),
- tournage sur fil du diamètre extérieur,
- usinage de la creusure de chaque pièce par outil-diamant, par exemple sur machine „Creusomat“,
- usinage de l'olivage sur pièces montées sur fil par frottement sur vis sans fin,
- polissage et bombage de chaque pièce par brosse,
- opérations de contrôle et visitage final....

[0012] On réalise successivement des opérations sur la pièce seule, non montée sur un fil, ou sur une série de pièces montées sur un fil : ceci exige de nombreuses manipulations pour mettre la série de pièces sur fil puis pour retirer la série de pièces du fil, et encore ultérieurement monter à nouveau la série de pièces sur fils. On comprend que ce procédé de fabrication traditionnel n'est pas satisfaisant pour la fabrication en grande série car les opérations sont nombreuses, leur maîtrise délicate et il est difficile d'obtenir le respect du cahier des charges dimensionnel pour une structuration de surface. Il est également connu d'obtenir des pierres frittées à base de céramique par des techniques de pressage, comme cela est divulgué au sein des documents EP2778801 et EP3483665. On retrouve également au sein du document EP3483665 une géométrie de pierre percée comportant un élément fonctionnel formant un cône d'engagement de la pierre percée. La géométrie de cette structuration de surface répond à un besoin de faciliter le montage du pivot à l'aveugle, notamment au sein d'un amortisseur. Néanmoins, une telle pierre frittée est opaque, à la différence d'une pierre en rubis qui présente des propriétés de transparence. D'autre part, il est toujours très laborieux d'obtenir des propriétés mécaniques proches de celles du cristal lorsque l'on utilise un procédé par frittage.

[0013] La présente invention concerne également un palier de pivotement pour le pivotement d'un composant horloger obtenu par le procédé de fabrication selon l'invention, un module horloger comprenant un tel palier de pivotement, un mouvement horloger comprenant un tel palier de pivotement ou un tel module horloger, ainsi qu'une pièce d'horlogerie ou une montre comprenant un tel palier de pivotement, un tel module horloger ou un tel mouvement horloger.

Bref résumé de l'invention

[0014] Un but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication de palier de pivotement exempt des limitations des procédés connus.

[0015] Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de fabrication de palier de pivotement qui soit plus simple et plus fiable en termes de respect des côtes de fabrication.

[0016] En particulier, l'invention vise à proposer un procédé de fabrication de palier de pivotement qui permette également d'améliorer la précision de la position du trou dans le palier et notamment la concentricité entre le trou et la face périphérique dans le cas d'un palier circulaire.

[0017] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment au moyen d'un procédé de fabrication d'un palier de pivotement pour le pivotement d'un composant horloger, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- fourniture d'une ébauche de palier définissant une première face, une deuxième face opposée à la première face et une face périphérique reliant la première face à la deuxième face, ladite face périphérique présentant la géométrie et les dimensions du palier de pivotement,
- détermination, sur la première face, d'un emplacement de centre de perçage passant par un axe prévu pour le pivotement d'un composant horloger, en prenant en compte la géométrie de ladite face périphérique et/ou la position de ladite face périphérique par rapport à son environnement fonctionnel final,
- usinage de l'ébauche en prenant en compte ledit emplacement de centre de perçage, ledit usinage comprenant le perçage par laser femtoseconde d'un trou entre la première face et la deuxième face,

ce par quoi on obtient un palier de pivotement.

[0018] De cette façon, on réalise le trou sans étape d'enfilage, le perçage laser femtoseconde permettant d'atteindre les dimensions souhaitées pour le trou. Pour finaliser la fabrication du trou, il ne reste alors éventuellement plus qu'à procéder à une étape de finition telle qu'un polissage et/ou un bombage, avec éventuellement une étape supplémentaire d'usinage de la paroi du trou, par exemple pour former un olivage. Une telle étape d'usinage supplémentaire par laser femtoseconde permet le cas échéant de réaliser une zone de transition progressive entre la creusure et la zone ou surface de pivotement du trou, au lieu d'une arête.

[0019] On comprend que selon l'invention, l'ébauche présente déjà un contour correspondant à ou sensiblement à celui du palier, donc une face périphérique avec une géométrie et des dimensions rentrant dans les tolérances du palier final. Cela signifie qu'en projection selon un axe parallèle à la face périphérique de l'ébauche, cette face périphérique de l'ébauche correspond également à la projection de la face périphérique du palier de pivotement. Ainsi, en prenant en considération la géométrie de la face périphérique de l'ébauche, qui restera pratiquement inchangée pour le palier, ou la géométrie de cette face périphérique de l'ébauche au sein des pièces l'environnant dans le cas d'un perçage du trou avec l'ébauche déjà montée, on peut déterminer de manière plus juste le centre de perçage et donc effectuer un perçage dans l'ébauche à la bonne position du trou. De cette façon, on réduit les jeux de montage et on améliore le respect des tolérances du cahier des charges en relation avec la position du trou du palier par rapport à son support (par exemple le chaton pour un amortisseur) et plus généralement par rapport aux pièces environnantes.

[0020] Avantagusement, la détermination du centre de perçage est effectuée par des moyens optiques et des moyens de calculs, formant un système de mesure, présents dans la machine à usiner par laser femtoseconde, qui vont fournir les informations de commande pour le pilotage de la position et de l'orientation de la source laser. La livraison finale du faisceau laser est généralement réalisée par une tête à précession. Ces moyens optiques comprennent une chaîne optique avec des moyens de prise de vue tels qu'une caméra qui va prendre des images de l'ébauche permettant d'identifier le contour de l'ébauche (sa face périphérique) et/ou des images de l'ébauche montée dans son support, qui permettent d'identifier et de déterminer la position du contour (de la face périphérique) de l'ébauche par rapport à son environnement fonctionnel final.

[0021] Cette caractérisation du centre de perçage est effectuée individuellement pour chaque ébauche, et ce alors que la machine à usiner qui est apte à mettre en œuvre le procédé de fabrication selon l'invention, comporte au moins un plateau sur lequel est fixée une série d'ébauches, par exemple une série d'au moins 500 ou d'au moins 1'000 ébauches par plateau, par exemple plus que 8'000 ébauches par plateau. Les plateaux sont percés d'ouvertures et chaque ébauche est fixée sur le plateau avec une ouverture du plateau dans le prolongement du centre de l'ébauche de sorte que le faisceau laser ne rencontre pas la matière du plateau lors du perçage du trou de chaque ébauche. Ce plateau est par exemple un wafer en silicium, ou un autre plateau métallique ou partiellement métallique, ou encore un wafer transparent par exemple en verre. Cette disposition permet de rentabiliser le coût important des machines à usiner par laser femtoseconde, par une utilisation maximale de leur capacité.

[0022] Pour encore plus de rapidité de traitement, la machine à usiner peut comporter un système de chargement/déchargement de plateaux ou d'ensemble de plateaux placés dans une cassette, avec un chargeur qui peut amener et placer un plateau dans la zone de traitement (champ d'usinage) de la machine à usiner, et également dégager le plateau en dehors de la zone de traitement.

[0023] La fixation des ébauches sur le plateau est par exemple réalisée par un collage temporaire comme avec un film avec matériau collant ou adhésif double face, par exemple avec un matériau au faible pouvoir adhésif afin de pouvoir retirer facilement les ébauches de plateau après leur usinage. On peut aussi utiliser une colle temporaire soluble dans un solvant, par exemple à l'eau, ou qui se dégrade par traitement thermique ou traitement aux rayons UV ou traitement par une autre source énergétique.

[0024] Selon certains modes de réalisation de l'invention, l'ébauche est une ébauche non percée, à savoir une ébauche pleine.

[0025] Selon certains modes de réalisation de l'invention, le palier de pivotement est réalisé dans un matériau appartenant à la liste suivante : céramique, corindon monocristallin ou polycristallin, rubis synthétique, saphir synthétique, SiO₂, zircon, zircon yttrée, Al₂O₃ telle que l'alumine monocristalline et combinaison alumine- zircon.

[0026] Selon certains modes de réalisation de l'invention, le palier de pivotement présente une symétrie de révolution. En particulier, la face périphérique du palier de pivotement est de révolution. Selon une possibilité, le trou débouchant présente une géométrie cylindrique de section circulaire.

[0027] Dans le présent texte, le „trou“ correspond à l'évidement initial résultant du perçage complet d'une face à l'autre de l'ébauche par laser femtoseconde. Ce trou est ensuite éventuellement agrandi dans l'une ou l'autre ou les deux portions adjacentes aux deux faces de l'ébauche. Pour un palier comportant un trou et une creusure ou un cône d'engagement, le trou reste seulement dans sa forme et sa dimension résultant du perçage initial, dans la partie de la pierre au contact de laquelle le pivot viendra pivoter en fonctionnement normal. Le diamètre du trou correspond ainsi sensiblement au diamètre du pivot, aux tolérances et jeux près.

[0028] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'usinage de l'ébauche comprend, en outre, après le perçage du trou la réalisation par laser femtoseconde d'une étape supplémentaire d'usinage de la paroi du trou. La réalisation d'un olivage est une possibilité. Selon d'autres possibilités, il peut s'agir de l'usinage d'un chanfrein, l'usinage d'une rainure, l'usinage d'une surface cylindrique conique, de micro-usinages, de texturation ou de structuration de surface.

[0029] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'usinage de l'ébauche comprend, en outre, avant ou après le perçage du trou, la réalisation sur l'une au moins parmi la première face et la deuxième face, d'un élément fonctionnel centré sur ledit centre de perçage, par ablation de matière. Par exemple, il peut s'agir d'un usinage d'un élément fonctionnel par laser femtoseconde, tel qu'une creusure.

[0030] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'usinage de l'ébauche comprend, en outre, la réalisation sur chacune parmi la première face et la deuxième face, d'un élément fonctionnel centré sur ledit centre de perçage, par ablation de matière. Par exemple, il peut s'agir d'un usinage d'un élément fonctionnel, tel qu'une creusure sur chaque face, pour former une pierre à deux creusures, par laser femtoseconde ou par une autre technique d'ablation de matière.

[0031] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'usinage de l'ébauche comprend, en outre, l'ablation de matière sur la face périphérique de l'ébauche, qui relie la première face à la deuxième face, sur au moins une des surfaces de la face périphérique. On peut ainsi par exemple former un chanfrein.

[0032] Dans l'une ou l'autre des situations qui précèdent, l'ablation de matière peut s'effectuer par usinage laser femtoseconde.

[0033] Dans certains modes de réalisation, le trou est de révolution autour d'un axe central passant par le centre de perçage.

[0034] On comprend que dans certaines configurations de l'invention pour lesquelles le perçage de l'ébauche s'effectue dans une ébauche non montée dans un support, on réalise la formation du trou débouchant par référence à la face périphérique de l'ébauche, qui est généralement de forme circulaire. Cette solution présente notamment l'avantage par rapport à l'art antérieur de permettre, par cette construction du trou autour de la face périphérique, donc en général du diamètre extérieur, de prendre en compte les écarts éventuels de forme et/ou de géométrie de cette face extérieure par rapport à la forme théorique idéale de cette face extérieure, ces écarts ne venant alors pas s'ajouter à tout écart dimensionnel du trou par rapport à son modèle idéal.

[0035] De la même façon, dans les autres configurations de mise en œuvre de l'invention, dans lesquelles l'ébauche est déjà montée dans son support qui appartient à l'environnement fonctionnel final dudit palier, ce support étant éventuellement monté dans une autre pièce, on peut prendre en compte la position de l'ébauche dans le support et/ou dans cette autre pièce, pour déterminer le centre de perçage puis pour réaliser le perçage du trou par laser femtoseconde. Plus généralement, lors de la détermination dudit emplacement de centre de perçage, la géométrie du support et/ou la position de l'ébauche dans ledit support et/ou la position de l'ébauche dans l'environnement fonctionnel final du dit palier et/ou la position du support dans l'environnement fonctionnel final du dit palier, est (sont) possiblement également prise(s) en compte.

Un tel support ou une telle pièce est par exemple un pont ou une platine. On obtient donc une pièce finale formant un palier qui risque moins de sortir des écarts de tolérances pour remplir sa fonction de pivotement dans l'ensemble fonctionnel auquel appartient le palier de pivotement, que dans le cas d'un procédé de fabrication traditionnel.

[0036] Selon certains modes de réalisation, ledit support est métallique.

[0037] Selon certains modes de réalisation, ledit support et l'ébauche (le palier de pivotement) sont dans des matériaux différents, par exemple le support est métallique et l'ébauche (le palier de pivotement) est en céramique.

[0038] Selon certains modes de réalisation, ledit support forme un composant horloger appartenant à la liste suivante : chaton, pièce d'un antichoc horloger, pièce d'un ensemble de raquetterie, pont, platine, rouage, pièce du mécanisme de remontage et de mise à l'heure, pièce de mouvement horloger ou d'une ébauche horlogère, un palier et une cage de roulement à billes, un composant de joaillerie ou un composant pour un instrument d'écriture.

[0039] Le composant horloger destiné à venir se loger dans le trou est dans bon nombre de cas formé d'un ensemble de pièces. Ainsi, par exemple, le composant horloger est un balancier assemblé d'un oscillateur du type balancier-spiral. Par „balancier assemblé“, nous entendons un ensemble constitué d'un balancier et d'un arbre, le balancier étant monté, notamment chassé sur l'arbre qui vient s'insérer dans le trou du palier de pivotement. Selon d'autres situation, le composant horloger destiné à venir se loger dans le trou appartient à un ensemble de pièces : par exemple, l'ensemble de pièces peut comprendre un amortisseur horloger. Un tel amortisseur peut comprendre un chaton, le palier, une pierre de contrepivot et un ressort. Le palier est alors un palier de type pierre de pivotement ou pierre de pivot qui est logée dans le chaton.

[0040] En particulier et de façon non limitative, la présente invention concerne la fabrication d'un tel palier de pivotement à partir d'une ébauche, que cette ébauche soit ou non déjà montée dans un support qui appartient à l'environnement fonctionnel final dudit palier. Cet environnement fonctionnel final correspond à la pièce formant le support (de l'ébauche puis du palier de pivotement) ou l'ensemble de pièces qui se trouve(nt) dans le voisinage du palier de pivotement, qui comprennent le support, et qui soit est (sont) solidaire(s) du palier de pivotement, comme son support, ou soit qui est (sont) montée(s), mobile(s) ou fixe(s), avec une de ces pièces solidaires du palier de pivotement. Par exemple, l'environnement fonctionnel final et l'ensemble de pièce peut comprendre un pont comme une platine ou un pont de balancier formant le support sur lequel est chassé un palier de pivotement résultant du procédé de fabrication selon l'invention. Dans le présent texte, l'environnement fonctionnel final ne comprend pas les pièces qui pourraient gêner ou empêcher l'usinage de l'ébauche et en particulier le perçage de l'ébauche pour former le palier de pivotement. Ainsi, par exemple, le tourillon ou l'arbre destiné à venir pivoter dans le trou du palier de pivotement, doit être absent lors du perçage de l'ébauche pour former le trou du palier de pivotement, de sorte que ce tourillon ou cet arbre ne fait pas partie de l'environnement fonctionnel final lors du perçage.

Brève description des figures

[0041] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles :

- La figure 1 illustre les étapes du procédé de fabrication selon l'invention pour un premier type de palier de pivotement,
- La figure 2 illustre les étapes du procédé de fabrication selon l'invention pour un deuxième type de palier de pivotement,
- La figure 3 représente une vue en projection d'une première face d'une platine dans laquelle sont montés des paliers de pivotement obtenus par le procédé de fabrication selon l'invention, et
- La figure 4 représente une vue en perspective de la platine de la figure 3 selon la seconde face de la platine.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0042] Sur la figure 1, est présenté le procédé de fabrication d'un palier de pivotement 101 formant une pierre plate. L'ébauche 100 visible sur la figure 1.a présente une première face 100a plane, une deuxième face plane 100b, parallèle à la première face 100a et une face périphérique 100c reliant la première face 100a à la deuxième face 100b. La face périphérique 100c est essentiellement cylindrique de section circulaire. L'ébauche 100 forme essentiellement donc un tronçon de cylindre de section circulaire avec un axe de révolution X-X'. Cette ébauche 100 présente éventuellement des écarts de tolérance par rapport aux dimensions théoriques, mais selon la présente invention, on utilise une ébauche avec de très faibles écarts par rapport aux cotes théoriques, qui restent dans le cahier des charges. Typiquement, ces écarts sont au maximum de + ou - 3 micromètres par rapport à la valeur théorique, pour le diamètre D mesuré au niveau de la face périphérique 100c, en particulier pour un diamètre compris entre 700 et 1000 micromètres.

[0043] Cette ébauche 100 est par exemple obtenue par usinage (par enlèvement ou ablation de matière) au moyen d'une machine d'usinage telle qu'une machine de tournage CNC (commande numérique par ordinateur) 5 axes, par une technique ne recourant pas à la détermination d'un centre matière, à savoir une technique „centerless“.

[0044] Cette ébauche 100 est ensuite placée dans la machine d'usinage par laser femtoseconde (non illustrée), sur un plateau et des moyens de prise de vue tels qu'une caméra prennent des images de l'ébauche depuis sa première face 100a et permettent d'identifier le contour de l'ébauche 100 délimitant sa face périphérique 100c et de déterminer, par reconnaissance d'image et par calcul, un emplacement de centre de perçage C. La connaissance de ce centre de perçage C permet de déterminer la position du trou à percer, centré sur ce centre de perçage C par lequel passe l'axe de révolution X-X' du palier de pivotement 101 après perçage du trou 110. L'ébauche 100 est soumise au perçage laser femtoseconde selon un faisceau 200, comme illustré schématiquement sur la figure 1.b, afin de percer le trou 110 circulaire, formant un trou débouchant entre la première face 100a et la deuxième face 100b, selon une géométrie cylindrique de section circulaire, centré sur l'axe X-X'. On obtient une grande précision dimensionnelle au micron de ce trou 110, avec un écart dimensionnel maximal de l'ordre de 1 à 2 micromètre(s) par rapport au diamètre théorique. De cette façon, on comprend que le diamètre externe D (face périphérique 100c) est concentrique avec le diamètre interne d (trou 110). Le trou présente en général un diamètre de l'ordre de 50 micromètres à 100 micromètres.

[0045] Sur la figure 1c, une étape supplémentaire d'usinage est illustrée : il s'agit d'une étape d'olivage pour diminuer la surface de frottement avec l'arbre qui sera logé dans le trou 110. La paroi du trou 110 est rendue convexe pour former un trou olivé 110'. Dans ce cas, l'étape d'usinage de l'ébauche comprend, en outre, après le perçage du trou 110 la réalisation par laser femtoseconde (faisceau 200) d'un olivage d'au moins un tronçon de la paroi dudit trou 110. Dans le cas de la figure 1.c, l'olivage est réalisé sur toute la hauteur du trou 110' qui présente une forme de diabololo. Cet olivage peut se faire depuis la première face 100a (celle sur laquelle on détermine le centre de perçage) comme sur la figure 1.c, ou depuis la seconde face 100b, voire depuis successivement chacune des deux faces 100a et 100b si cela est plus adapté pour des raisons d'accessibilité de toute l'étendue de la zone à arrondir. À l'issue de cet olivage, le trou 110' présente toujours un diamètre d, dans sa zone de plus petit diamètre, centré sur l'axe X-X'.

[0046] Après l'usinage de l'ébauche 100, on peut procéder à une étape de finition sur le palier de pivotement 100, comprenant l'une au moins des opérations suivantes : polissage, brossage, réalisée(s) selon une technique classique. Il peut s'agir d'un procédé de finition par des moyens mécaniques ou par plasma tel que le DRIE („Deep Reactive Ion Etching“ pour gravure ionique profonde). De cette façon, on peut par exemple minimiser la rugosité des surfaces opérationnelles du trou du palier et/ou de conférer une convexité à l'une ou l'autre des faces du palier (face bombée).

[0047] On se reporte maintenant à la figure 2 représentant le procédé de fabrication d'un palier de pivotement 102 formant une pierre olivée. On part d'une ébauche similaire à l'ébauche 100 de la figure 1a, et on détermine le centre de perçage C à partir de la face périphérique 100c qui est ici essentiellement cylindrique de section circulaire. On pourrait disposer d'une ébauche avec une autre forme pour la face périphérique 100c, soit par exemple une forme cylindrique de section

non circulaire. Dans ce cas, l'étape d'usinage de l'ébauche 100 comprend, en outre, avant le perçage du trou la réalisation d'une creusure 112 centrée sur ledit centre de perçage C. Selon une variante non représentée, la creusure 112 est usinée après la réalisation du perçage du trou 110. Sur la figure 2.a, la creusure est usinée depuis la deuxième face 100b de l'ébauche 100, qui présente un chanfrein 100b1 le long de sa bordure. Selon une variante non représentée, la creusure est usinée depuis la première face 100a de l'ébauche 100. Selon une variante non représentée, une creusure est usinée depuis la première face 100a de l'ébauche 100 et une autre creusure 112 est usinée depuis la deuxième face 100b de l'ébauche 100. L'usinage de cette creusure 112 ou de ces creusures est par exemple réalisé par une machine d'usinage telle qu'une machine numérique CNC. Plus généralement, la réalisation de la creusure 112 est effectuée avant le perçage du trou sur une machine à usiner par retrait de matière au moyen d'un outil. On n'exclut pas dans le cadre de l'invention le cas de l'usinage de cette creusure 112 après le perçage du trou 110, par une machine à usiner femto laser.

[0048] Comme dans le cas de la figure 2, si la creusure est usinée avant le perçage du trou 110, on détermine le centre de perçage C (par lequel passe l'axe de révolution X-X' du palier de pivotement 102) avant d'usiner la creusure. Ensuite on transfère l'ébauche sur la machine d'usinage par laser femtoseconde (non illustrée), et les moyens de prise d'image prennent des images de l'ébauche depuis sa deuxième face 100b et permettent d'identifier le contour de l'ébauche 100 délimitant sa face périphérique 100c et de déterminer, par reconnaissance d'image et par calcul, un emplacement de centre de perçage C' au fond de la creusure 112. L'ébauche 100 est soumise au perçage laser femtoseconde selon un faisceau 200, comme illustré schématiquement sur la figure 2.b, afin de percer le trou 110 débouchant sur la première face 100a. Ce perçage du trou s'effectue sur l'ébauche 100 déjà pourvue de la creusure 112, donc entre une seconde face 100b non plane et la première face 100a.

[0049] Sur la figure 2.c, une étape supplémentaire d'usinage est illustrée : il s'agit d'une étape d'olivage par le faisceau laser 200 pour diminuer la surface de frottement avec l'arbre qui sera logé dans le trou 110. La paroi du trou 110 est rendue convexe pour former un trou olivé 110'.

[0050] Pour ces éventuelles étapes qui suivent le perçage du trou, donc par exemple l'olivage, ou un autre type d'usinage du trou ou de l'une ou l'autre des faces de l'ébauche, telle que la formation de la creusure, on peut donc utiliser comme référence la position du centre de perçage C. S'il s'agit de l'usinage de l'une des faces de l'ébauche, cette étape éventuelle peut être mise en œuvre avant ou après le perçage du trou. Ainsi, on comprend que pour ces étapes d'usinage par ablation de matière, avec le femtolaser ou par une autre technologie d'usinage, on peut prendre en compte la position du centre de perçage qui a été déterminée préalablement de sorte que ces autres formes usinées sont positionnées également de façon juste par rapport à la face périphérique de l'ébauche. Ainsi, dans le cas d'un palier ou d'une pierre de révolution, l'ensemble des formes et zones usinées l'ont été par rapport au diamètre extérieur de l'ébauche, ou plus exactement par rapport au contour de l'ébauche.

[0051] Les opérations d'usinage au laser pulsé femto seconde s'effectuent avec un laser de longueur d'onde comprises par exemple entre 200 nm et 2000 nm, de préférence entre 400 nm et 1 000 nm, bornes incluses. Les paramètres du laser peuvent être par exemple : puissance moyenne entre 1 W et 100 W, énergie par pulse entre 10 µJ et 4000 µJ, fréquence entre 100 kHz et 1000 kHz, durée d'impulsion entre 100 fs et 2 ps. On peut atteindre des précisions d'usinage importantes, de l'ordre de 1 micromètre, voire moins, et rugosité Ra de surface de l'ordre de 50 nanomètres, voire moins.

[0052] Lors du perçage du trou 110 dans l'ébauche 100 du palier, la machine à usiner par laser femtoseconde est apte à réaliser des trous ayant un diamètre entre 200 micromètres et 500 micromètres et une profondeur entre 500 micromètres et 1000 micromètres, chaque trou 110 étant réalisé dans un temps d'usinage inférieur à 1 seconde. Dans le domaine de l'horlogerie, typiquement les pierres présentent un diamètre extérieur compris entre 50 micromètres et 2000 micromètres, et souvent compris entre 700 micromètres et 1000 micromètres, bornes incluses. Dans le domaine de l'horlogerie, typiquement, les pierres présentent une épaisseur comprise entre 50 micromètres et 1000 micromètres, bornes incluses. Typiquement, la machine à usiner permet de réaliser le perçage des trous, et éventuellement une ou deux opérations d'usinage supplémentaires, en moins de 10000 secondes pour au moins 5000 ébauches ou pièces.

[0053] On se reporte maintenant aux figures 3 et 4 illustrant une platine 120 pourvue de trois perçages 122 de réception d'un palier de pivotement 102 sous forme de pierre olivée. En l'espèce, ces trois perçages 122 sont débouchants et positionnés dans une zone de la platine d'épaisseur réduite, cette zone étant formé d'une cavité non débouchante 126 visible sur la figure 4 montrant la seconde face de la platine 120. Cette cavité non débouchante 126 peut être usinée dans la platine 120 par laser femtoseconde ou usinée par une autre technique d'ablation de matière, par exemple sur une machine de tournage CNC (commande numérique par ordinateur) 5 axes. Cette cavité non débouchante 126 présente une forme complexe avec trois cercles qui se recoupent deux à deux, et chaque cercle comporte un perçage 122 placé sensiblement au centre du cercle.

[0054] Selon une disposition possible du procédé selon la présente invention, le perçage du trou 110 de chaque palier de pivotement 102 est effectué par laser femtoseconde alors que l'ébauche de ce palier de pivotement 102 est déjà montée (chassée) dans le perçage 122 de la platine 120. Dans ce cas, la détermination de l'emplacement du centre de perçage C' des ébauches de ces paliers de pivotement 102 est effectuée en prenant en compte la position de la face périphérique de l'ébauche par rapport à la platine 120. Sur les figures 3 et 4, seuls les paliers 102 sont montés sur la platine 120, mais on peut se trouver dans la situation dans laquelle d'autres éléments du mouvement horloger sont montés sur la platine lors

de la mise en œuvre du procédé selon l'invention, ce qui comporte la détermination du centre de perçage et la réalisation par usinage par laser femtoseconde du perçage du trou 110.

[0055] Par exemple, on peut considérer le cas d'un pont formant un support de paliers de pivotement, dans lequel sont montées chassées, une à une, dans des ouvertures correspondantes, des ébauches destinées à former des paliers de pivotement. Ce pont avec ébauches est traité par un système de vision avec prise d'images lors de la mise en œuvre d'une étape de mesure, ce qui permet de déterminer le „vrai“ centre de perçage de chaque palier, puis de percer au femto laser chaque ébauche sur le „vrai“ centre de perçage avant de placer le pont sur un autre poste de traitement. On comprend que le „vrai“ centre de perçage est le centre fonctionnel, et non le centre géométrique de l'ébauche/la pierre. Ce centre fonctionnel est l'emplacement sur le pont qui est fonctionnellement juste pour le pivotement du tourillon en vue de la bonne marche cinématique du mouvement horloger.

[0056] Également, la platine 120 comporte deux perçages 124 et 125 qui sont des trous débouchants non équipés de palier de pivotement ou de pierre, qui servent respectivement à monter un élément (pièce ou ensemble de pièce) du mouvement horloger monté sur la platine (perçage de montage 124), et à repérer la position de la platine 120 (perçage d'indexage 125). Un tel perçage d'indexage 125 est circulaire sur les figures 3 et 4, mais il pourrait présenter une autre forme, par exemple une forme oblongue pour faciliter par son orientation l'angle de montage de la platine 120 dans le mouvement horloger. Ces deux perçages 124 et 125 ou l'un de ces deux perçages 124 et 125 peu(ven)t servir de repère lors de la détermination du centre de perçage C pour les trous 110' des paliers de pivotement 102.

[0057] Selon un autre exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention, non illustré, on réalise la fabrication d'un palier de pivotement depuis son ébauche déjà montée dans un chaton, en vue de constituer un organe amortisseur de choc ou antichoc permettant de retenir l'arbre ou pivot de balancier monté dans le palier de pivotement en cas de choc. Dans ce cas, le support du palier de pivotement est le chaton et l'environnement fonctionnel final dudit palier de pivotement est l'organe amortisseur de choc.

[0058] Le présent texte concerne également une série de paliers de pivotement qui présentent un trou débouchant dont les dimensions répondent au cahier des charges pour au moins 90% des paliers, et de préférence pour au moins 95% des paliers.

Parmi les dimensions mesurées pour le contrôle du respect du cahier des charges, figure au moins l'un des paramètres suivants : le diamètre du trou, notamment dans la zone où le diamètre est minimal en cas de pierre olivée. Selon une disposition, ce diamètre du trou respecte la dimension théorique du diamètre du trou avec un écart maximal de 2 micromètres, voire avec un écart maximal de 1 micromètre. Selon une disposition, ce diamètre du trou respecte la dimension théorique du diamètre du trou avec un écart maximal de 1% par rapport au diamètre théorique, voire avec un écart maximal de 0.5% par rapport au diamètre théorique, voire avec un écart maximal de 0.1 % par rapport au diamètre théorique.

On peut citer également, parmi les dimensions et les paramètres mesurés pour le contrôle du respect du cahier des charges, la concentricité entre la face périphérique et le trou de la pierre (du palier). Selon une disposition, cette concentricité présente un écart maximal de 8 micromètres, voire un écart maximal de 5 micromètres, voire un écart maximal de 3 micromètres entre le centre du trou et le centre de la face périphérique.

Par exemple, une telle série de paliers de pivotement comporte au moins 100 paliers de pivotement, de préférence au moins 1000 paliers de pivotement et avantageusement au moins 10000 paliers de pivotement.

[0059] Grâce au procédé selon l'invention, on peut en effet obtenir des séries de paliers de pivotement présentant un taux de respect des tolérances dimensionnelles du cahier des charges plus élevé que dans l'art antérieur.

Signes de référence employés sur les figures

[0060]

100	Ebauche
100a	Première face
100b	Deuxième face
100b1	Chanfrein
100c	Face périphérique
101	Palier de pivotement (pierre plate)
102	Palier de pivotement (pierre olivée)
110	Trou
110'	Trou olivé
112	Creusure
120	Platine
122	Perçage de réception du palier
124	Perçage de montage
125	Perçage d'indexage
126	Cavité non débouchante
200	Faisceau laser
C	Centre de perçage
C'	Centre de perçage en cas de creusure

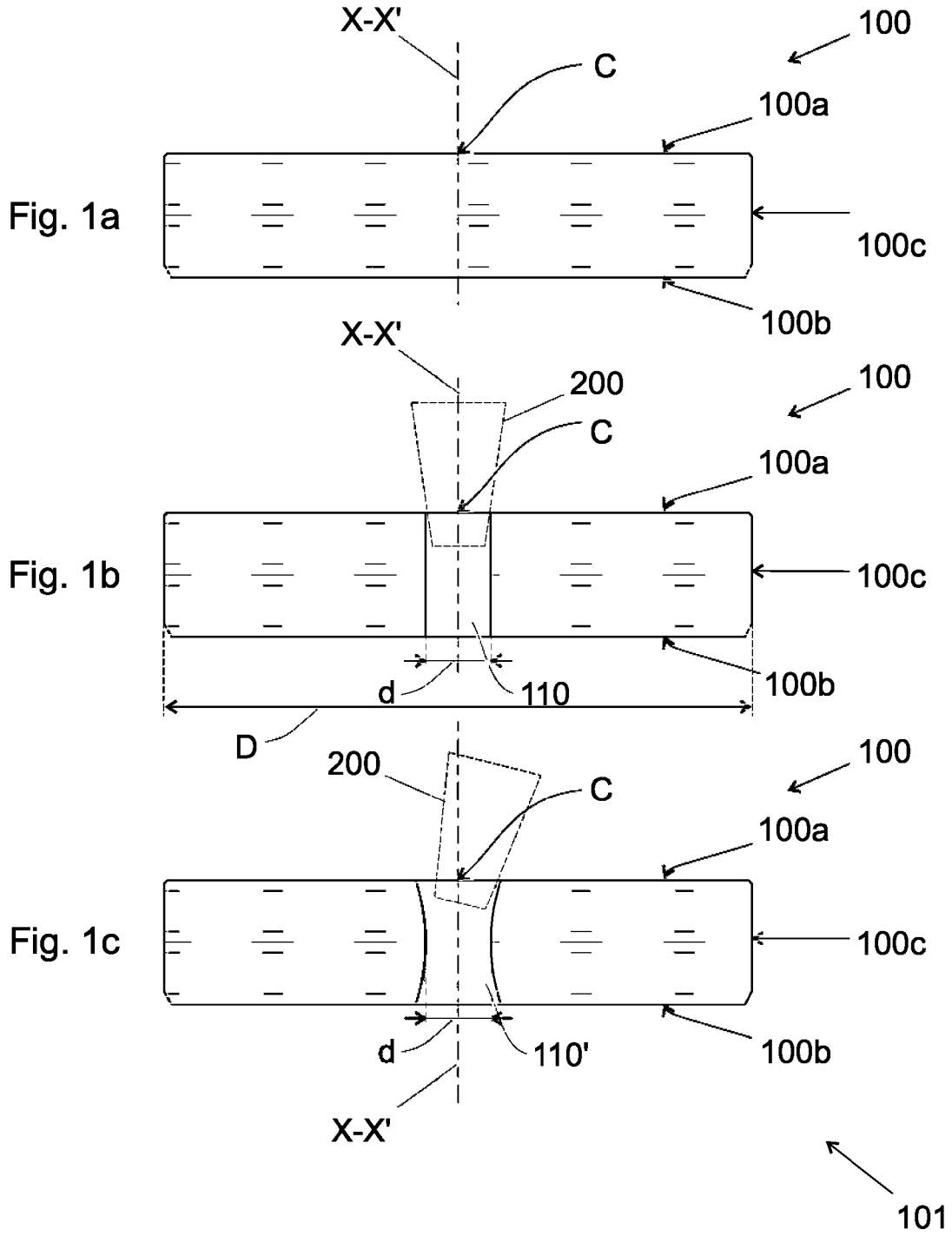
X-X'	Axe de révolution ou axe de pivotement
D	Diamètre externe du palier
d	Diamètre interne du palier

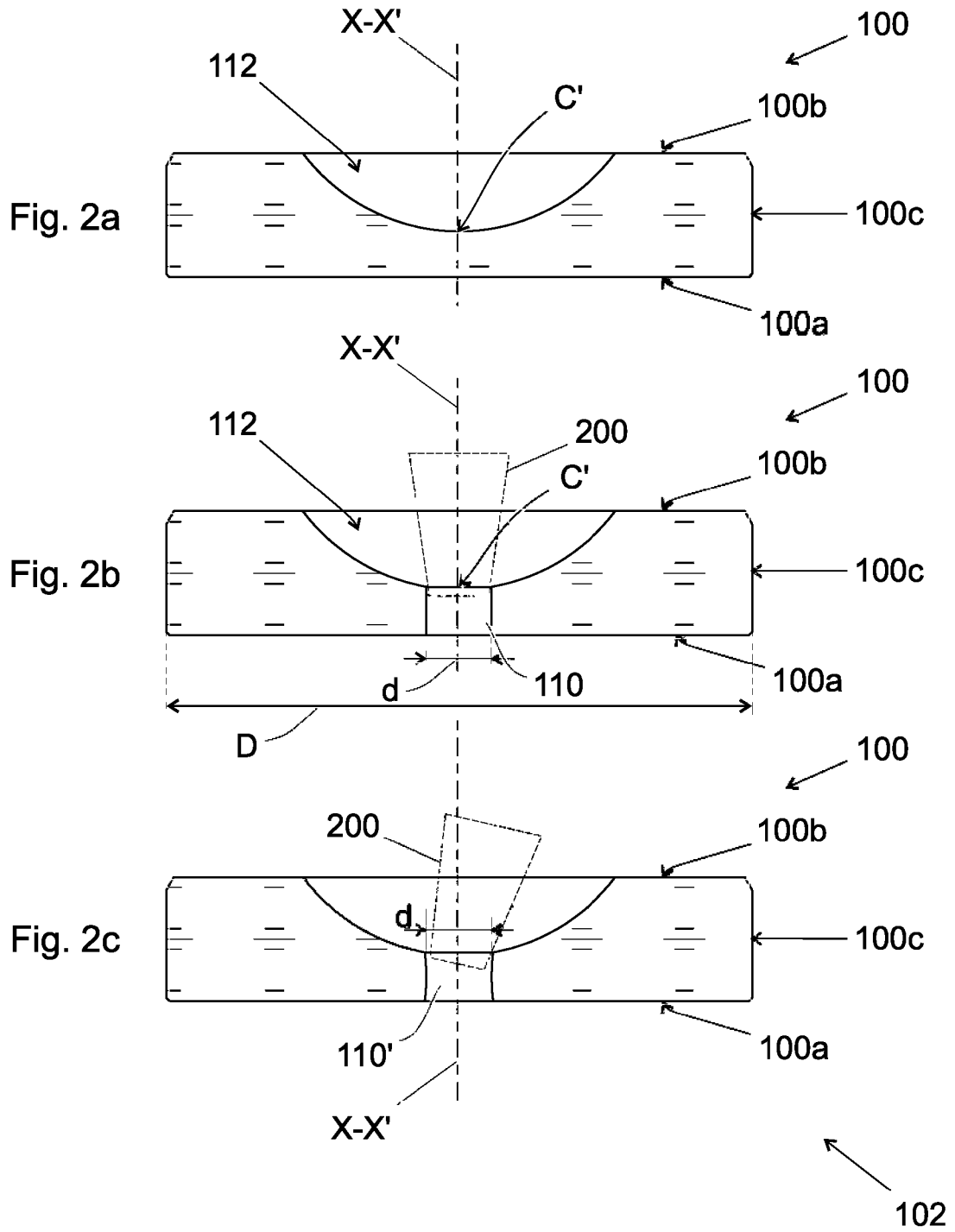
Revendications

- Procédé de fabrication d'un palier de pivotement (101; 102) pour le pivotement d'un composant horloger, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
 - fourniture d'une ébauche (100) de palier définissant une première face (100a), une deuxième face (100b) opposée à la première face (100a) et une face périphérique (100c) reliant la première face (100a) à la deuxième face (100b), ladite face périphérique (100c) présentant la géométrie et les dimensions du palier de pivotement (101; 102),
 - détermination, sur la première face (100a), d'un emplacement de centre de perçage (C; C') passant par un axe (X-X') prévu pour le pivotement d'un composant horloger, en prenant en compte la géométrie de ladite face périphérique (100c) et/ou la position de ladite face périphérique (100c) par rapport à son environnement fonctionnel final,
 - usinage de l'ébauche (100) en prenant en compte ledit emplacement de centre de perçage (C; C'), ledit usinage comprenant le perçage par laser femtoseconde d'un trou (110) entre la première face (100a) et la deuxième face (100b),
ce par quoi on obtient un palier de pivotement (101; 102).
- Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'usinage de l'ébauche (100) comprend, en outre, après le perçage du trou (110) la réalisation par laser femtoseconde d'un olivage (110') d'au moins un tronçon de la paroi dudit trou (110).
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel l'étape d'usinage de l'ébauche (100) comprend, en outre, après le perçage du trou (110) la réalisation par laser femtoseconde d'une étape supplémentaire d'usinage de la paroi du trou (110).
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape d'usinage de l'ébauche (100) comprend, en outre, avant ou après le perçage du trou (110) la réalisation d'une creusure (112) centrée sur ledit centre de perçage (C; C').
- Procédé de fabrication selon la revendication 4, dans lequel la réalisation de la creusure (112) est effectuée avant le perçage du trou (110) sur une machine à usiner par retrait de matière au moyen d'un outil.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel, après l'usinage de l'ébauche (100), on procède à une étape de finition sur le palier de pivotement (101; 102), comprenant l'une au moins des opérations suivantes : polissage, brossage.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le matériau du palier de pivotement (101; 102) appartient à la liste suivante : céramique, corindon monocristallin ou polycristallin, rubis synthétique, saphir synthétique, SiO₂, zircone, zircone yttrée, Al₂O₃ telle que l'alumine monocristalline et combinaison alumine- zircone.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le palier de pivotement (101; 102) présente une symétrie de révolution.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel lors de l'étape de fourniture de l'ébauche (100) de palier, ladite ébauche (100) de palier est montée dans un support (120) qui appartient à l'environnement fonctionnel final dudit palier.
- Procédé de fabrication selon la revendication 9, dans lequel, lors de la détermination dudit emplacement de centre de perçage (C; C'), la géométrie du support et/ou la position de l'ébauche (100) dans ledit support et/ou dans l'environnement fonctionnel final du dit palier, est également prise en compte.
- Procédé de fabrication selon la revendication 9 ou la revendication 10, dans lequel ledit support (120) est métallique.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 9 à 11, dans lequel ledit support (120) forme un composant horloger appartenant à la liste suivante : chaton, pièce d'un antichoc horloger, pièce d'un ensemble de raquetterie, pont, platine, rouage, pièce du mécanisme de remontage et de mise à l'heure, pièce de mouvement horloger ou d'une ébauche (100) horlogère, un palier et une cage de roulement à billes, un composant de joaillerie ou un composant pour un instrument d'écriture.
- Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel le palier de pivotement (101; 102) est réalisé dans un matériau appartenant à la liste suivante : céramique, corindon monocristallin ou polycristallin, rubis synthétique, saphir synthétique, SiO₂, zircone, zircone yttrée, Al₂O₃ telle que l'alumine monocristalline et combinaison alumine- zircone.
- Palier de pivotement (101; 102) pour le pivotement d'un composant horloger, obtenu par le procédé selon l'une des revendications 1 à 13.
- Module horloger comprenant un palier de pivotement (101; 102) selon la revendication 14.

CH 718 948 B1

16. Mouvement horloger comprenant un module horloger selon la revendication 15.
17. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger selon la revendication 16.





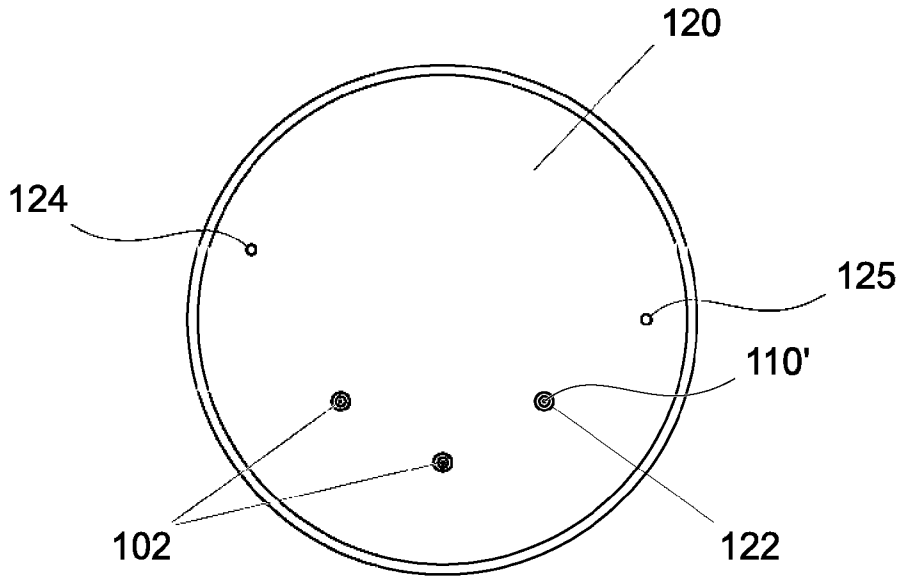


Fig. 3

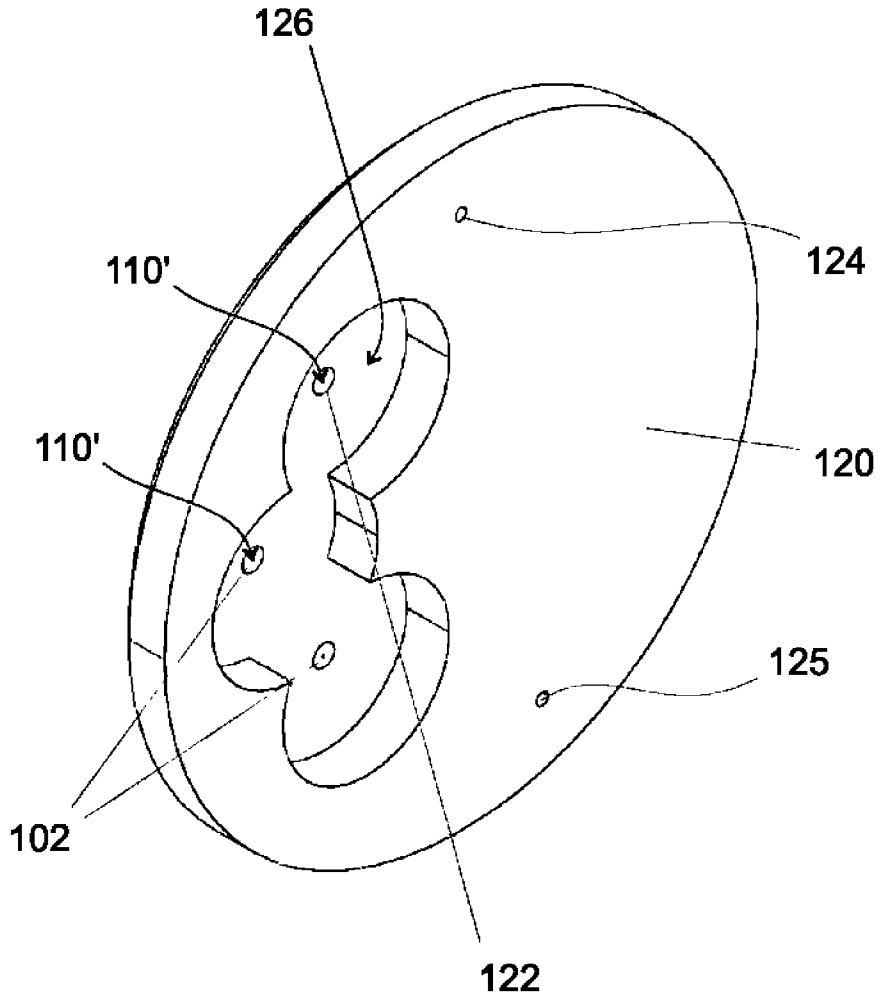


Fig. 4