

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **720 233 A2**

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

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 001280/2023

(22) Date de dépôt: 16.11.2023

(43) Demande publiée: 31.05.2024

(30) Priorité: 16.11.2022 CH 001366/2022

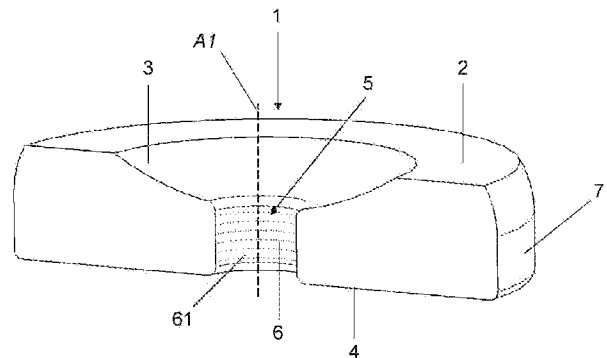
(71) Requérant:
ROLEX SA, 3-5-7, rue François-Dussaud
1211 Genève 26 (CH)

(72) Inventeur(s):
Cédric MOREAUX, 39220 LES ROUSSES (FR)
Josquin THIAUDIERE, 2000 NEUCHÂTEL (CH)
Marco PAVONE, 2000 Neuchâtel (CH)
Thomas VEAUVY, 2533 EVILARD (CH)

(74) Mandataire:
MOINAS & SAVOYE SARL, 27, rue de la Croix d'Or
1204 Genève (CH)

(54) **Pierre d'horlogerie comprenant un trou de pivotement présentant des stries principales**

(57) L'invention porte sur une pierre de pivotement (1) pour mouvement horloger comprenant un trou de pivotement (5) présentant un premier axe (A1) et apte à pivoter un composant horloger ou apte à pivoter autour d'un composant horloger, comme un axe horloger, le trou de pivotement comprenant une surface (6) présentant des stries principales (61) d'usinage par abrasion, notamment des stries principales de polissage, orientées sensiblement orthoradialement relativement au premier axe (A1), par exemple formant un angle d'hélice inférieur à 1° avec un plan perpendiculaire au premier axe (A1).



Description

[0001] L'invention concerne une pierre de pivotement pour mouvement horloger. L'invention concerne un procédé de réalisation d'une telle pierre de pivotement et une machine de polissage d'une telle pierre de pivotement. L'invention concerne aussi un procédé de détermination de la rugosité d'une surface d'un trou de pivotement d'une telle pierre de pivotement. L'invention concerne aussi un composant horloger comprenant une telle pierre de pivotement. L'invention concerne aussi un mouvement horloger, comprenant une telle pierre de pivotement ou un tel composant horloger. L'invention concerne enfin une pièce d'horlogerie comprenant un tel mouvement horloger ou une telle pierre de pivotement ou un tel composant horloger.

[0002] L'invention concerne encore généralement un procédé de réalisation d'un composant comprenant un trou. L'invention concerne aussi :

- un tel composant horloger,
- un mouvement horloger comprenant un tel composant horloger, et
- une pièce d'horlogerie comprenant un tel mouvement horloger ou un tel composant horloger.

[0003] Les pierres d'horlogerie sont des éléments déterminants pour le bon fonctionnement d'un mouvement horloger. Quasiment tous les mouvements de rotation sont assurés par des axes pivotés dans des paliers, qui sont réalisés dans des éléments percés en rubis, appelées aussi pierres fonctionnelles ou pierres de pivotement.

[0004] De manière connue, pour réaliser une pierre de pivotement, une boule de matériau, notamment une boule de rubis synthétique, plus particulièrement une boule de rubis synthétique monocristallin, est débitée par sciage ou découpage au fil ou découpage laser en plaques d'épaisseur déterminée. Ces plaques sont ensuite découpées pour former des ébauches (préparages) des pierres qui sont amenées à une forme extérieure cylindrique, par exemple par une opération de tournage.

[0005] Les pierres sont ensuite percées, par exemple par laser ou par une broche, de façon à obtenir l'ébauche d'un trou de pivotement. Les pierres sont ensuite soumises à une étape de grandissage qui permet d'arriver au diamètre final et à l'état de surface souhaité du trou de pivotement. Une étape de tournage permet ensuite d'amener la pierre à son diamètre externe nominal. Une éventuelle opération de creusage permet de former une creusure sur une ou deux face(s) de la pierre pour servir d'huilier pour la lubrification. Finalement, un polissage permet d'amener l'épaisseur de la pierre à sa dimension finale et à l'état de surface désiré. Un éventuel polissage final permet d'obtenir un état de surface extérieur souhaité. Ce polissage ne modifie pas l'état de surface du trou de pivotement.

[0006] L'étape de grandissage est primordiale car elle détermine non seulement la dimension mais aussi l'état de surface du trou de pivotement. Pour ce faire, les pierres sont enfilées sur un fil et solidarisiées entre elles, ce qui permet à la fois de les mettre en rotation autour de l'axe des trous de pivotement et de réaliser un traitement en lot. Le fil est en général conique, avec un diamètre qui augmente petit-à-petit jusqu'au diamètre final visé. Grâce à l'ajout d'un abrasif et d'un mouvement de va-et-vient du fil, le trou est graduellement agrandi jusqu'à sa cote finale. La vitesse de rotation des pierres est bien moindre que la vitesse de translation du fil, et l'usinage est principalement dû au mouvement d'aller-retour du fil. Des stries résiduelles d'usinage sont donc nécessairement orientées selon l'axe de la pierre de pivotement ou du trou de pivotement, avec une inclinaison éventuelle des stries de quelques degrés par rapport à cet axe, vu les vitesses de rotation et de déplacement du fil par rapport aux pierres. L'équipement utilisé et le principe même du procédé de grandissage ne permettent pas d'obtenir une autre orientation des stries résiduelles d'usinage.

[0007] Pour certaines pierres de pivotement, il est souhaitable d'obtenir un trou olivé, c'est-à-dire avec un trou non cylindrique et présentant un profil arrondi convexe minimisant le diamètre du trou vers son milieu. Un tel trou olivé diminue la surface de frottement des pivots des axes et facilite la lubrification. Pour obtenir un trou olivé, les pierres sont à nouveau enfilées sur un fil puis sont soumises à un procédé d'olivage particulier décrit plus bas. Les pierres à trou droit ou cylindrique ne sont pas olivées et ne sont pas soumises à un procédé autre que le grandissage décrit ci-dessus.

[0008] L'article „La pierre d'horlogerie“ de Pierhor S.A., publié dans le bulletin de la Société Suisse de Chronométrie no 69 (06.2012), décrit les étapes principales des procédés de fabrication de différentes pierres, ainsi que les différents types de pierre. Le procédé d'olivage est illustré à la figure 4 de cet article. L'opération est réalisée sur des machines en inclinant les pierres sur un rouleau muni d'un sillon hélicoïdal, à l'aide d'un fil de diamètre précis chargé d'une suspension diamantée. La pierre est entraînée par le sillon le long du rouleau, et le fil permet l'abrasion des extrémités du trou de pivotement. Un bon choix de paramètres permet de renverser le sens d'inclinaison de la pierre au milieu du rouleau et d'obtenir ainsi un olivage qui soit le plus régulier et symétrique possible.

[0009] Les documents CH121766 et CH336311 décrivent des machines pour réaliser des pierres, avec un fil enduit d'un mélange d'huile et de poudre de diamant, soit pour l'alésage/grandissage par va-et-vient dans la direction axiale ; soit pour l'olivage avec une inclinaison de la pierre.

[0010] Le document CH706268 insiste sur l'effet de l'olivage des pierres, qui permet de diminuer les frottements.

[0011] Le document CH393194 décrit un procédé de fabrication de pierre qui permet l'obtention d'une très faible rugosité de surface, puis un traitement des zones de frottement pour obtenir une topographie/rugosité adaptée pour le maintien du lubrifiant, par une réalisation intentionnelle de petits trous, de rainures, de rugosité ou d'ondulations. Ces inégalités sont de l'ordre de grandeur de quelques molécules du lubrifiant utilisé, c'est-à-dire d'une fraction de micromètre selon le déposant. Cependant, le document ne cite aucune valeur ou élément quantitatif, et ne mentionne aucun procédé concret permettant d'obtenir l'état de surface en question.

[0012] Le document EP2778801 décrit une pierre frittée avec un trou formé par laser, puis un finissage par rodage, brossage et/ou polissage pour une modification locale de la rugosité, sans plus de précision.

[0013] Les documents EP3835881 et EP3835882 concernent également différents aspects d'un procédé de fabrication par pressage de pierres polycristallines. Ces pierres présentent la particularité de comprendre un trou évasé, dont le plus petit diamètre peut être inférieur à 0.11 mm. Ce procédé vise ici à proposer une alternative aux procédés faisant intervenir un laser qui, selon le demandeur, ne permettrait pas d'avoir directement un état de surface de qualité. La réalisation de la pierre par pressage permettrait d'obtenir un bon état de surface, alors que la pierre percée par laser femtoseconde aurait un état de surface insatisfaisant.

[0014] Le but de l'invention est de fournir une pierre de pivotement performante et permettant d'améliorer les pierres de pivotement connues de l'art antérieur. En particulier, l'invention propose une pierre de pivotement présentant des caractéristiques de pivotement améliorées, en particulier des caractéristiques de rugosité améliorées, et des procédés associés à une telle pierre.

[0015] Selon un premier aspect, l'invention est définie par les propositions qui suivent.

1. Pierre de pivotement (1) pour mouvement horloger (100), la pierre de pivotement (1) comprenant un trou de pivotement (5) présentant un premier axe (A1) et apte à pivoter un composant horloger (98) ou apte à pivoter autour d'un composant horloger (98), comme un axe horloger, le trou de pivotement comprenant une surface (6) présentant des stries principales (61) d'usinage par abrasion, notamment des stries principales de polissage, orientées sensiblement orthoradialement relativement au premier axe (A1).
2. Pierre de pivotement (1) selon la proposition 1, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage présentent un angle d'hélice inférieur à 1° ou inférieur à 0.5°.
3. Pierre de pivotement (1) selon la proposition 1 ou 2, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage sont parallèles ou sensiblement parallèles à un plan perpendiculaire au premier axe (A1) et/ou forment un angle inférieur à 1° ou inférieur à 0.5° relativement à un plan perpendiculaire au premier axe (A1).
4. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 3, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage présentent une dispersion d'orientation de plus ou moins θ , avec $\theta > 0.2^\circ$, en particulier avec θ de l'ordre de 0.5°, autour d'une orientation moyenne.
5. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 4, caractérisée en ce que la rugosité Ra de la surface, notamment la rugosité Ra de la surface (6) mesurée parallèlement au premier axe (A1) ou perpendiculairement aux stries principales (61), est inférieure à 20 nm ou inférieure à 10 nm ou inférieure à 5 nm.
6. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 5, caractérisée en ce que le diamètre du trou de pivotement (5) est inférieur à 2.5 mm ou inférieur à 2 mm ou inférieur à 1.6 mm ou inférieur à 0.6 mm ou inférieur à 0.3 mm.
7. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 6, caractérisée en ce que le profil de la surface (6) du trou de pivotement (5), selon un plan passant par le premier axe (A1), est droit ou cylindrique.
8. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 6, caractérisée en ce que le profil de la surface (6) du trou de pivotement (5), selon un plan passant par le premier axe (A1), est convexe vu depuis le premier axe (A1) avec une flèche inférieure à 1 μm ou inférieure à 0.5 μm ou inférieure à 0.25 μm .
9. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 8, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en céramique technique, notamment en rubis.
10. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend une surface de roulement (7), notamment une surface de roulement (7) de premier axe (A1), destinée à rouler sur un composant horloger.
11. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 10, caractérisée en ce que les géométries et/ou positionnements des stries principales sont non contrôlés.

12. Pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 11, caractérisée en ce que la surface (6) présente une isotropie :
 - strictement supérieure à 0, en particulier supérieure à 1%, et
 - inférieure à 10%, en particulier inférieure à 3%.
13. Composant horloger (98), notamment mobile (98), en particulier mobile de centre, comprenant au moins une pierre de pivotement selon l'une des propositions 1 à 12 en particulier au moins deux pierres de pivotement selon l'une des propositions 1 à 12.
14. Mouvement horloger (100) comprenant au moins une pierre de pivotement selon l'une des propositions 1 à 12, en particulier au moins deux pierres de pivotement selon l'une des propositions 1 à 12 et/ou comprenant un composant horloger (100) selon la proposition 13.
15. Mouvement horloger (100) selon la proposition 14, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger, ledit composant horloger étant :
 - un balancier, ou
 - une ancre, ou
 - une roue d'échappement.
16. Mouvement horloger (100) selon la proposition 14, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger étant un mobile d'un rouage de finissage, comme :
 - une grande moyenne, ou
 - une petite moyenne, ou
 - un mobile des secondes.
17. Mouvement horloger (100) selon la proposition 14, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger étant un mobile d'une chaîne d'automate.
18. Pièce d'horlogerie (200), notamment montre bracelet, comprenant :
 - au moins une pierre de pivotement (1) selon l'une des propositions 1 à 12, et/ou
 - un composant horloger (98) selon la proposition 13, et/ou
 - un mouvement horloger (100) selon l'une des propositions 14 à 17.

[0016] Selon un deuxième aspect, l'invention est définie par les propositions qui suivent.

19. Procédé de réalisation d'une pierre de pivotement (1) pour mouvement horloger (100), la pierre de pivotement (1) comprenant un trou de pivotement (5) présentant un premier axe (A1), notamment un trou de pivotement droit ou cylindrique et présentant un premier axe (A1), et apte à pivoter un composant horloger (98), comme un axe horloger, ou apte à pivoter autour d'un composant horloger (98), le procédé comprenant une première étape de polissage dans laquelle :
 - (i) on utilise des particules abrasives libres (21), notamment des particules de diamant, roulant entre la surface (6) du trou de pivotement (5) à polir et un support de polissage (20), comme un fil (20), et/ou
 - (ii) on entraîne la pierre de pivotement (1) dans un mouvement rotatif selon le premier axe (A1) relativement à un support de polissage (20) rappelé vers la surface (6) du trou de pivotement (5) à polir.
20. Procédé de réalisation selon la proposition 19, caractérisé en ce que, lors de la première étape de polissage, on maintient la pierre de pivotement (1) en position relativement au support de polissage (20) par contact sur la face périphérique (7).
21. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 et 20, caractérisé :
 - en ce que le premier axe (A1) est parallèle ou sensiblement parallèle à une surface du support de polissage (20), et/ou

- en ce que le premier axe (A1) est parallèle ou sensiblement parallèle à un deuxième axe (A3) du support de polissage (20), le support de polissage consistant notamment en un fil (20).
- 22. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 21, caractérisé en ce que, lors de la première étape de polissage, on entraîne la pierre de pivotement (1) relativement au support de polissage (20) par contact sur la face périphérique (7).
- 23. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 22, caractérisé en ce que, lors de la première étape de polissage, on entraîne la pierre de pivotement (1) dans un mouvement rotatif ou hélicoïdal droit selon le premier axe (A1) relativement au support de polissage (20).
- 24. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 23, caractérisé en ce que l'angle entre le premier axe (A1) et un deuxième axe (A3) du support de polissage est inférieur à 0.5°.
- 25. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 24, caractérisé en ce que les particules abrasives libres (21) sont contenues dans une suspension, notamment une suspension à base aqueuse ou huileuse, recouvrant le support de polissage.
- 26. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 25, caractérisé en ce que, lors de la première étape de polissage, on ménage un jeu compris entre 5 µm et 20 µm, typiquement 10 µm, entre le support de polissage (20) et le trou de pivotement (5).
- 27. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 26, caractérisé en ce que le procédé comprend, postérieurement à la première étape de polissage, une deuxième étape d'usinage d'une creusure (3) sur une ou deux faces (2, 4) de la pierre de pivotement (1), la face ou les faces (2, 4) s'étendant perpendiculairement ou sensiblement perpendiculairement au premier axe (A1).
- 28. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 27, caractérisé en ce que le procédé comprend, postérieurement à la première étape de polissage, une troisième étape de polissage d'au moins une face (2, 4), de préférence deux faces, de la pierre de pivotement (1), la face ou les faces (2, 4) s'étendant perpendiculairement ou sensiblement perpendiculairement au premier axe (A1).
- 29. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 19 à 28, caractérisé en ce que la vitesse de la pierre de pivotement (1) dans le sens orthoradial relativement au premier axe (A1) au niveau du contact avec le support de polissage (20) et relativement au support de polissage (20) est comprise entre 1 m/s et 10 m/s ou entre 1 m/s et 20 m/s.
- 30. Machine (30) de polissage de trous de pivotement (5) de pierres de pivotement (1) pour mouvement horloger (100), les pierres de pivotement (1) présentant des trous de pivotement orientés selon un premier axe (A1), la machine comprenant un tambour (31) entraîné en rotation autour d'un deuxième axe (A2) et présentant une rainure (32) d'entraînement des pierres de pivotement formant une hélice sur le tambour (31) et de maintien des pierres de pivotement dans une position telle que le premier axe (A1) est perpendiculaire au plan osculateur de l'hélice au niveau du contact entre la pierre de pivotement et la rainure.
- 31. Machine de polissage selon la proposition 30, caractérisée en ce qu'elle comprend un support de polissage (20) présentant un deuxième axe (A3) et en ce que :
 - le deuxième axe (A3) du support de polissage et/ou le premier axe (A1) des trous de pivotement est perpendiculaire à la tangente à l'hélice de la rainure, et/ou
 - le deuxième axe (A3) du support de polissage et/ou le premier axe (A1) des trous de pivotement est perpendiculaire au plan osculateur de l'hélice de la rainure au niveau du contact entre la pierre de pivotement et la rainure (32).
- 32. Machine de polissage selon la proposition 30 ou 31, caractérisée en ce que l'hélice sur le tambour (31) présente un angle d'hélice inférieur à 0.1° ou inférieur à 0.05°.
- 33. Machine de polissage selon l'une des propositions 30 à 32, caractérisée en ce que la machine comprend un support de polissage (20) de forme filaire destiné à maintenir des pierres de pivotement au fond de la rainure (32) et à polir les trous de pivotement (5) par abrasion.
- 34. Machine de polissage selon l'une des propositions 30 à 33, caractérisée en ce que la machine comprend un élément (35) de réglage de l'orientation du support de polissage (20) relativement au deuxième axe (A2).

35. Machine de polissage selon l'une des propositions 30 à 34, caractérisée en ce que la machine comprend une pince (33) de distribution des pierres de pivotement (1), la pince étant agencée pour alimenter le tambour (31) en amenant une à une les pierres de pivotement sur le tambour.
36. Machine de polissage selon l'une des propositions 30 à 35, caractérisée en ce que le diamètre du tambour (31) est supérieur à 10 cm et/ou en ce que le profil de la rainure est de forme en U ou rectangulaire, notamment sans chanfrein au fond de la rainure, pour faciliter un bon maintien des pierres de pivotement dans leur position verticale par rapport au tambour (31).
37. Machine de polissage selon l'une des propositions 30 à 36, caractérisée en ce qu'elle comprend un élément (38) d'alimentation pour déposer, sur le support de polissage (20), une suspension contenant des particules abrasives libres (21).

[0017] Selon un troisième aspect, l'invention est définie par les propositions qui suivent.

38. Procédé de réalisation d'un composant horloger (1), en particulier une pierre de pivotement (1), comprenant un trou (5), le procédé comprenant :
 - une étape d'usinage du trou (5) par abrasion à l'aide de particules abrasives libres (21) relativement à un support d'usinage (20), notamment des particules de diamant, roulant entre la surface (6) du trou à usiner et le support d'usinage (20) logé dans le trou, et/ou à l'aide de particules abrasives susceptibles de se libérer du support d'usinage, puis
 - une étape de lavage du composant horloger (1) et du support d'usinage (20) alors que le support d'usinage est logé dans le trou, puis
 - une étape de retrait du support d'usinage du trou.
39. Procédé de réalisation selon la proposition 38, caractérisé en ce que l'étape de lavage comprend une utilisation d'une solution de lavage, notamment une solution aqueuse ou une solution alcoolique ou une solution huileuse.
40. Procédé de réalisation selon la proposition 39, caractérisé en ce que l'étape de lavage comprend un trempage du composant horloger (1) et du support d'usinage (20) dans la solution de lavage.
41. Procédé de réalisation selon la proposition 40, caractérisé en ce que le trempage comprend l'émission d'ultrasons dans la solution de lavage.
42. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 38 à 41, caractérisé en ce que l'étape de lavage comprend une aspersion du composant horloger (1) et du support d'usinage (20) avec une solution de lavage.
43. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 38 à 42, caractérisé en ce que l'étape de lavage comprend le soufflage d'un gaz ou de vapeur d'eau.
44. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 38 à 43, caractérisé en ce que l'étape de lavage est réalisée sur une machine d'usinage, notamment sur une machine de polissage ayant permis de réaliser l'étape d'usinage du trou par abrasion.
45. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 38 à 43, caractérisé en ce que l'étape de lavage est réalisée après dépose de l'ensemble constitué par :
 - le composant horloger (1), et
 - le support d'usinage (20)

d'une machine d'usinage ayant permis de réaliser l'étape d'usinage du trou par abrasion.

46. Procédé de réalisation selon l'une des propositions 38 à 45, caractérisé en ce que l'étape de lavage est mise en oeuvre dans un boîtier (80) traversé de part en part par l'ensemble constitué par le composant horloger (1) et le support d'usinage (20).
47. Système de lavage (84) comprenant des moyens matériels (80, 81, 82, 83) de mise en oeuvre de l'étape de lavage d'un composant horloger (1) alors qu'un support d'usinage est logé dans un trou d'un composant horloger (1) selon le procédé selon l'une des propositions 38 à 46, notamment :
 -

un boîtier (80), par exemple globalement formé par deux parties (81, 82) mobiles l'une par rapport à l'autre et/ou présentant un passage pour le support d'usinage, et

- des buses 83 et/ou des canaux de projection de solution de lavage.
- 48. Machine d'usinage (30) comprenant des moyens matériels (20, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 84) de mise en oeuvre du procédé selon l'une des propositions 38 à 46, notamment comprenant un système de lavage (84) selon la proposition 47.
- 49. Composant horloger (1), notamment pierre de pivotement (1), obtenue par la mise en oeuvre du procédé selon l'une des propositions 38 à 46.
- 50. Mouvement horloger (100) comprenant un composant horloger (1) selon la proposition 49.
- 51. Pièce d'horlogerie (200) comprenant un composant horloger selon la proposition 49 et/ou un mouvement horloger (100) selon la proposition 50.

[0018] Selon un quatrième aspect, l'invention est définie par les propositions qui suivent.

- 52. Procédé de détermination de la rugosité d'une surface (6) d'un trou de pivotement (5) d'une pierre de pivotement (1) pour mouvement horloger (100), le procédé comprenant :
 - une première étape de préparation de la pierre de pivotement (1) comprenant une ablation d'une première partie de la pierre de pivotement (1) incluant (i) une partie de la surface (6) du trou de pivotement (5), (ii) une partie d'une surface externe (7) de la pierre de pivotement (1) et (iii) une partie du volume entre la surface (6) du trou de pivotement et la surface externe (7) afin d'obtenir une deuxième partie de la pierre de pivotement (1), puis
 - une deuxième étape de mesure de la surface (6) du trou de pivotement (5) se trouvant sur la deuxième partie de la pierre de pivotement (1).
- 53. Procédé de détermination selon la proposition 52, caractérisé en ce que l'ablation de la première partie de la pierre de pivotement est réalisée selon un plan passant par un axe (A1) du trou de pivotement (5) ou selon un plan parallèle à l'axe (A1) du trou de pivotement (5) et/ou en ce que la première étape de préparation ne modifie pas la surface (6) du trou de pivotement (5) se trouvant sur la deuxième partie de la pierre de pivotement (1) mais y permet l'accès.
- 54. Procédé de détermination selon l'une des propositions 52 et 53, caractérisé en ce que l'ablation est réalisée par abrasion.
- 55. Procédé de détermination selon la proposition 54, caractérisé en ce qu'une sous-étape d'assemblage de plusieurs pierres de pivotement (1) est mise en oeuvre avant l'ablation.
- 56. Procédé de détermination selon l'un des propositions 52 à 55, caractérisé en ce qu'une sous-étape d'assemblage d'une ou plusieurs pierres de pivotement (1) sur un support est mise en oeuvre avant l'ablation.
- 57. Procédé de détermination selon la proposition 55 ou 56, caractérisé en ce que la sous-étape d'assemblage comprend l'enfilage de pierres de pivotement sur un fil.
- 58. Procédé de détermination selon l'une des propositions 52 à 57, caractérisé en ce qu'une sous-étape d'enrobage de la pierre de pivotement (1) ou des pierres de pivotement (1) est mise en oeuvre avant l'ablation.
- 59. Procédé de détermination selon la proposition 52 ou 53, caractérisé en ce que l'ablation est réalisée par bris.
- 60. Procédé de détermination selon la proposition 59, caractérisé en ce qu'une sous-étape de réalisation d'une incision de la pierre de pivotement (1) sur une face (2, 4) de la pierre de pivotement (1) est mise en oeuvre avant le bris.
- 61. Procédé de détermination selon la proposition 60, caractérisé en ce que le bris est réalisé par application d'un choc sur une partie de la pierre de pivotement (1), l'autre partie de la pierre de pivotement étant maintenue sur un support, les parties étant délimitées par l'incision.
- 62. Procédé de détermination selon la proposition 52 ou 53, caractérisé en ce que l'ablation est réalisée par découpe à la scie ou au fil.

63. Procédé selon l'une des propositions 52 à 62, caractérisé en ce que la deuxième étape de mesure est réalisée par microscopie confocale à balayage laser.
64. Procédé selon l'une des propositions 52 à 63, caractérisé en ce que la deuxième étape de mesure comprend une détermination d'une direction perpendiculaire aux stries principales d'usinage (61) de la surface (6) du trou de pivotement (5) de la pierre de pivotement (1).
65. Procédé selon la proposition 64, caractérisé en ce que la deuxième étape de mesure est une mesure linéaire selon la direction perpendiculaire aux stries principales d'usinage (61) de surface (6) du trou de pivotement (5) de la pierre de pivotement (1).

[0019] Sauf incompatibilité logique ou technique, toutes les caractéristiques de ces différents aspects sont combinables entre elles.

[0020] Les dessins annexés représentent, à titre d'exemples, des modes de réalisation de pierres de pivotement, de machines de polissage et de procédés associés selon l'invention.

La figure 1 est une vue en perspective et en coupe longitudinale d'un mode de réalisation d'une pierre de pivotement selon l'invention.

La figure 2 est une vue en coupe longitudinale de plusieurs pierres de pivotement selon l'invention en cours de polissage.

La figure 3 est une vue schématique de côté d'un mode de réalisation d'une machine de polissage selon l'invention.

La figure 4 est une vue schématique de dessus du mode de réalisation de la machine de polissage selon l'invention.

La figure 5 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention.

La figure 6 est une représentation schématique d'un deuxième mode de réalisation d'une pièce d'horlogerie selon l'invention.

La figure 7 est une représentation schématique d'un mode de réalisation d'un système de lavage selon l'invention.

[0021] Les travaux de la déposante ont mis en évidence que l'état de surface des zones de pivotement est primordial pour garantir la fiabilité du mouvement horloger, en particulier pour garantir la fiabilité du pivotement des axes dans les pierres de pivotement. La déposante a constaté qu'il est encore possible d'améliorer la tenue à l'usure des pivots, notamment par la suppression ou l'apparition retardée d'un dépôt noir et visqueux susceptible d'engendrer une perte de performance.

[0022] Les développements de la déposante ont permis d'obtenir un excellent état de surface au sein du trou de pivotement d'une pierre, en particulier pour une pierre à trou droit ou cylindrique, c'est-à-dire un trou sans surface conique, tronconique ou olivée. Ces développements concernent aussi bien la méthode de mesure de la rugosité, la méthode de préparation des pierres en vue de la mesure de rugosité, la machine (ou équipement) et le procédé permettant d'obtenir l'état de surface optimisé par polissage, le procédé de lavage des pierres après polissage, et la pierre avec l'état de surface optimisé. En particulier, grâce aux solutions objets de l'invention, il est possible d'obtenir une rugosité R_a du trou de pivotement inférieure à 10 nm avec une orientation préférentielle des stries de polissage résiduelles dans le sens orthoradial à l'axe du trou de pivotement. Les stries sont des stries d'usinage, en particulier des stries de polissage, leurs géométries et leurs positionnements sur la surface du trou de pivotement sont en grande partie non contrôlés et fortement aléatoires. Selon l'invention, seules :

- la profondeur des stries est grossièrement contrôlée en choisissant un abrasif apte à produire des profondeurs nanométriques, par exemple résultant en une rugosité R_a inférieure à 20nm, et
- l'orientation des stries est grossièrement contrôlée avec une dispersion d'orientation de plus ou moins θ , avec $\theta > 0.2^\circ$, en particulier avec θ de l'ordre de 0.5° , autour d'une orientation moyenne.

[0023] Comme mentionné ci-dessus, les pierres d'horlogerie sont un élément clé de la fiabilité du mouvement horloger. Le défi est d'obtenir un état de surface adapté avec une reproductibilité optimale sur toutes les pierres d'un lot de fabrication ainsi que d'un lot à l'autre. Ceci est d'autant plus nécessaire que le contrôle de l'état de surface du trou de pivotement est très difficile à réaliser et destructif.

[0024] De nombreux pivotements des mouvements horlogers sont assurés et réalisés par des pierres à trous droits ou cylindriques. C'est le cas par exemple pour les pivotements de grande moyenne, de petite moyenne, de seconde ou encore de mobile de calendrier. En général, les pivotements avec un axe muni d'un pivot de petit diamètre (oscillateur

balancier-spiral, ancre, roue d'ancre) sont assurés par des pierres olivées (c'est-à-dire dont le trou de pivotement présente un olivage), alors que les axes de plus grand diamètre (au-dessus de 0.15 mm, par exemple) sont pivotés dans des pierres droites (c'est-à-dire à trous droits).

[0025] Il a aussi été constaté par la déposante qu'un „cotonnage“, réalisé par va-et-vient sur un fil en coton avec une suspension de particules de diamant, permet d'obtenir un meilleur état de surface. Cependant, ce procédé est très difficile à mettre en oeuvre pour des diamètres inférieurs à 0.3 mm, et ne peut pas être appliqué pour une production de série pour certains pivotements critiques du rouage de finissage. Même pour des diamètres inférieurs à 0.6 mm, ce procédé ne peut être mis en oeuvre que de façon manuelle, et il s'avère que ce polissage manuel n'a pas la robustesse d'un procédé industriel et n'élimine pas totalement les phénomènes d'usure.

[0026] Par ailleurs, les mesures de rugosité montrent que les pierres obtenues avec le procédé de grandissage standard présentent des rugosités élevées avec une orientation des stries de polissage résiduelles dans le sens axial (c'est-à-dire parallèlement à l'axe du trou de pivotement, ce qui est logique vu le mouvement de va-et-vient imposé aux pierres par rapport au fil lors du procédé). Le procédé manuel évoqué précédemment permet d'améliorer la rugosité mais ne modifie pas l'orientation axiale des stries. Pour éliminer les phénomènes d'usure, les inventeurs ont, au contraire, constaté qu'il fallait obtenir non seulement une rugosité la plus faible possible, mais également une orientation des stries de polissage résiduelles dans le sens orthoradial (à l'axe du trou de pivotement), afin de minimiser les effets d'abrasion de la pierre de pivotement sur l'axe qu'elle est destinée à recevoir.

[0027] Un mode de réalisation d'une pierre de pivotement 1 pour mouvement horloger 100 est représenté sur la figure 1. La pierre de pivotement 1 a globalement une forme cylindrique d'axe A1 et comprend un trou de pivotement 5 selon l'axe A1. Ce trou de pivotement 5 comprend une surface 6, notamment une surface cylindrique 6 ou sensiblement cylindrique 6, et est destiné à pivoter un composant horloger, comme un axe horloger, ou apte à pivoter autour d'un composant horloger. Par ailleurs, la pierre de pivotement 1 est limitée par :

- une face supérieure 2 et une face inférieure 4 s'étendant de préférence toutes deux perpendiculairement à l'axe A1, et
- une surface globalement cylindrique externe 7 d'axe A1.

[0028] La pierre de pivotement peut présenter en outre une creusure 3 réalisée sur la face supérieure 2 et/ou une creusure réalisée sur la face inférieure 4. La pierre de pivotement peut ainsi ne pas présenter de creusure, présenter une creusure sur l'une des faces, présenter une creusure sur chacune des faces, on encore présenter une face bombée ou deux faces bombées.

[0029] Avantagusement, le diamètre du trou de pivotement 5 est inférieur à 2.5 mm ou inférieur à 2 mm ou inférieur à 1.6 mm ou inférieur à 0.6 mm ou inférieur à 0.3 mm.

[0030] La surface 6 présente des stries principales de polissage 61.

[0031] La pierre de pivotement 1 est de préférence réalisée en céramique technique, en particulier un corindon ou une spinelle ou une zircone ou du SiC ou une silice, ou éventuellement d'autres pierres naturelles ou synthétiques comme le diamant. La pierre de pivotement 1 peut être réalisée en corindon polycristallin ou monocristallin, par exemple en rubis, notamment en alumine dopée au Cr, par exemple en alumine dopée au Cr synthétique, voire en alumine dopée au Cr monocristalline. La pierre de pivotement 1 peut encore être réalisée en une combinaison alumine-zircone.

[0032] Selon l'invention, le procédé de réalisation d'une pierre de pivotement 1 pour un mouvement horloger 100 permet d'obtenir un état de surface à l'intérieur du trou de pivotement 5 de la pierre, en particulier au niveau de la surface 6, qui présente une rugosité la plus faible possible et une orientation de la rugosité, c'est-à-dire une orientation des stries principales, dans le sens du mouvement relatif entre la pierre et le composant horloger, notamment l'axe, qu'elle est destinée à recevoir. Cette orientation est donc dans une direction orthoradiale relativement à l'axe A1. Il a été constaté que cette orientation permet en effet de minimiser les effets d'abrasion et donc d'usure au niveau du contact entre la pierre de pivotement et le composant horloger, notamment l'axe.

[0033] Dans un mode d'exécution du procédé de réalisation d'une pierre de pivotement, on procède de préférence comme expliqué plus haut, c'est-à-dire en réalisant les étapes de :

- débit de matière en plaques,
- découpe des plaques en ébauches,
- tournage,
- perçage d'ébauches de trous de pivotement,
- éventuel grandissage, et

- éventuelles creusage(s) et polissage(s).

[0034] Toutefois, en complément ou en alternative à l'étape de grandissage, on met en oeuvre une étape de polissage spécifique du trou de pivotement qui est décrite plus en détail ci-après. Cette étape de polissage permet d'atteindre l'objectif d'état de surface mentionné précédemment.

[0035] Le polissage est un polissage à trois corps illustré par la figure 2. Ce polissage est réalisé en utilisant un abrasif libre 21 (notamment des grains de diamant de diamètre déterminé, en suspension dans une base aqueuse ou huileuse) qui roule entre la pierre de pivotement et un support de polissage 20 de géométrie adaptée, notamment un fil. Le fil peut être un fil métallique, notamment un fil métallique de diamètre constant. Ce polissage à trois corps permet d'obtenir un état de surface soigné et une rugosité faible, par opposition à un polissage à deux corps où l'abrasif est fixé sur le support de polissage et vient rayer la surface. Pour obtenir l'orientation souhaitée des stries 61 résiduelles de polissage, à savoir éviter l'orientation selon l'axe A1, il faut :

- éviter les mouvements de va-et-vient de polissage selon l'axe A1 du trou de pivotement comme habituellement mis en oeuvre dans les procédés habituels d'obtention standard des trous droits, et
- privilégier au contraire les mouvements de rotation de la pierre de pivotement autour du support de polissage 20, c'est-à-dire autour de l'axe A1.

[0036] Par ailleurs, pour avoir un état de surface régulier sur toute la hauteur du trou et un trou qui reste droit et/ou cylindrique (par opposition à un olivage), la pierre de pivotement doit être maintenue droite par rapport au support de polissage, c'est-à-dire que l'axe A1 doit être maintenu parallèle à la surface du support de polissage 20 et donc éviter que la pierre ne se mette en travers et/ou que l'axe du trou de la pierre présente un angle non nul par rapport au support de polissage.

[0037] Pour remplir simultanément ces différentes exigences, comme illustré sur la figure 2, la pierre 1 est enfilée sur le support de polissage 20, qui est recouvert ou chargé régulièrement avec l'abrasif 21. La pierre est plaquée par une force appliquée sur le support de polissage 20 contre un rouleau ou tambour 31, qui sert de surface d'appui et de moyen d'entraînement en rotation de la pierre. Lors de l'étape de polissage, la pierre de pivotement 1 est donc entraînée relativement au support de polissage 20 par contact (de roulement) sur sa face périphérique 7. Pour garantir un bon entraînement et un mouvement de rotation à haute vitesse, ainsi que pour éviter la mise en biais de la pierre, un sillon 32 (ou rainure 32) est réalisé sur le rouleau avec une largeur, une profondeur, une forme et un pas du sillon bien choisis.

[0038] La largeur du sillon est choisie pour bien guider la pierre, en évitant que celle-ci ne se mette en biais, et est déterminée essentiellement par l'épaisseur de la pierre avec la prise en compte d'un certain jeu. Typiquement, la largeur La du sillon est d'au moins 50 µm supérieure à l'épaisseur e nominale de la pierre, par exemple supérieure de 80 à 100 µm. La profondeur p du sillon doit permettre un bon guidage de la pierre et un bon positionnement du fil au-dessus du rouleau, avec un certain jeu j1 entre le fil et la surface extérieure du rouleau, typiquement un jeu d'au moins 200 µm, notamment un jeu compris entre 200 et 400 µm. Par exemple, pour une pierre de diamètre de 1.2 mm et un trou de 0.2 mm, la profondeur p du sillon pourra être de 0.12 mm. Le profil du sillon a de préférence une forme rectangulaire (profil en U ou rectangulaire dans un plan longitudinal passant par l'axe A2), notamment une forme rectangulaire sans angles cassés ou chanfrein au fond du sillon, pour faciliter un bon maintien de la pierre dans sa position verticale par rapport au rouleau 31.

[0039] Le pas du sillon pourrait être nul, à savoir que chaque pierre serait placée dans un sillon individuel parfaitement perpendiculaire à l'axe du rouleau. Cependant, il est beaucoup plus favorable d'un point de vue industriel de réaliser un sillon en forme hélicoïdale, donc avec un pas non nul, ce qui permet de faire petit-à-petit avancer la pierre le long du rouleau lorsque celui-ci est mis en rotation. Le pas du sillon peut être d'au moins une fois la largeur La du sillon, par exemple de typiquement 1.5 fois la largeur La du sillon, par exemple de 0.6 mm pour une largeur de sillon de 0.4 mm. Le pas détermine aussi la distance totale parcourue par la pierre sur le rouleau : il est avantageux de choisir un pas le plus faible possible pour maximiser la distance et donc le temps de traitement ou de polissage. Le diamètre du support de polissage est quant à lui choisi en fonction du diamètre du trou de la pierre, de façon notamment à laisser un jeu j2 entre la pierre et le support de polissage 20 tout en gardant une bonne résistance à la traction et en limitant la tendance à l'inclinaison de la pierre. Typiquement, le jeu j2 est compris entre 5 µm et 20 µm et vaut par exemple 10 µm.

[0040] L'axe du support de polissage doit être très précisément orienté par rapport au sillon. En particulier, l'axe du support de polissage doit être perpendiculaire à l'orientation du sillon (ou en être le plus proche possible). Il est donc nécessaire de compenser avec précision l'angle de l'hélice de la rainure. A cet effet, la précision de réglage requise est $<0.1^\circ$. La machine de polissage ou l'équipement utilisé pour réaliser un tel polissage présente donc une construction particulière, avec un moyen permettant de réaliser un tel réglage précis. Ceci revient à incliner un axe A2 du rouleau relativement à un axe A3 du support de polissage, lequel axe A3 est parallèle à l'axe A1 des trous de pivotement en cours de polissage.

[0041] Comme illustré sur la figure 4, cet angle de compensation, référencé α , peut être déterminé avec précision : si dr est le diamètre du rouleau et pa le pas de la rainure 32, $\alpha = \text{atan}(pa/(\pi \times dr))$. Cet angle de compensation α correspond à l'angle

de l'hélice de la rainure 32. Autrement dit, l'axe A3 du support de polissage et l'axe A1 des trous de pivotement doivent être perpendiculaires à la tangente à l'hélice de la rainure 32. De façon alternative, l'axe A3 du support de polissage et l'axe A1 des trous de pivotement doivent être perpendiculaires au plan osculateur de l'hélice de la rainure 32 au niveau du contact entre la pierre de pivotement et la rainure 32. Ceci permet d'obtenir un trou droit ou cylindrique avec une rugosité uniforme le long du trou et avec une orientation sensiblement orthoradiale (à l'axe A1) des stries principales d'usinage.

[0042] En guise d'exemple, pour un diamètre de rouleau de 250 mm et un pas de rainure de 0.6 mm, l'angle de compensation est de 0.044° . Plus généralement, l'hélice présente de préférence un angle d'hélice inférieur à 0.1° ou inférieur à 0.05° . Ceci requiert une grande précision de réglage. En pratique, un premier réglage est réalisé sur la base de la valeur théorique, puis un ajustement fin (de l'ordre du centième de degré) est réalisé de façon à éliminer toute trace d'olivage (c'est-à-dire à maintenir le trou aussi cylindrique que possible, soit minimiser la différence de diamètre entre le centre et les bords du trou) sur la pierre obtenue.

[0043] Il est important, pour la bonne mise en oeuvre du procédé selon l'invention, que l'axe A1 du trou 5 de la pierre de pivotement 1 soit parallèle à l'axe A3 du support de polissage, et/ou que l'angle entre l'axe A1 du trou de la pierre de pivotement et l'axe A3 du support de polissage soit le plus faible possible, notamment inférieur à 0.5° . Pour cela, une très bonne précision de réglage de l'angle de compensation entre l'axe A3 du support de polissage et l'axe A2 du tambour 31 est nécessaire.

[0044] Le procédé décrit ci-dessus peut ressembler à première vue à un procédé d'olivage. En effet, le procédé de polissage selon l'invention est mis en oeuvre avec des pierres enfilées sur un support de polissage et avec un rouleau sur lequel un sillon en hélice est usiné, ce qui permet de faire avancer chaque pierre pendant le polissage. Cependant, les différences sont nombreuses et significatives :

- Le but de l'olivage est d'usiner de façon locale le trou, et notamment les extrémités débouchantes du trou, de façon à obtenir un profil arrondi du trou (le but de l'olivage est de minimiser la surface de contact entre l'axe et le trou de pivotement). L'olivage est donc un usinage différent d'un polissage. La quantité de matière enlevée lors de l'olivage est importante, le diamètre minimal du trou augmentant typiquement de plusieurs micromètres lors de l'olivage. En cas d'olivage, la différence entre le diamètre minimal du trou avant et après olivage est de typiquement $2\text{ }\mu\text{m}$, et est encore plus élevée aux extrémités du trou (déterminées selon la direction axiale de la pierre). L'olivage permet donc d'amener le diamètre minimum du trou à la cote nominale. Au contraire, dans le cas du procédé de polissage selon l'invention, le diamètre du trou de pivotement est à sa valeur nominale avant l'étape de polissage mise en oeuvre dans le procédé de réalisation d'une pierre. Il est estimé que la différence de diamètre est inférieure à $0.1\text{ }\mu\text{m}$ entre (i) l'état avant mise en oeuvre du procédé de polissage et (ii) l'état après mise en oeuvre du procédé. En d'autres termes, le but du procédé de polissage selon l'invention est de diminuer la hauteur crête-à-crête des stries produites lors des opérations de perçage et/ou de grandissage en enlevant le moins de matière possible, de façon à diminuer la rugosité, écrêter les aspérités et également d'orienter la rugosité dans le sens favorable au mouvement du composant guidé par le trou de pivotement lors du pivotement.
- L'angle entre le support de polissage et l'orientation des sillons n'est pas compensé mais exagéré lors de la réalisation d'un olivage, avec une valeur typiquement de l'ordre de 5 à 10° , voire de 30° , ce qui permet d'incliner les pierres par rapport à l'axe du support de polissage afin de casser les arêtes des bords du trou et de réaliser le profil arrondi à l'intérieur du trou. La maîtrise précise de l'angle n'est pas importante pour l'olivage.
- Ainsi, dans un procédé d'olivage, l'axe du trou des pierres de pivotement n'est pas parallèle à l'axe du support de polissage, mais présente une inclinaison marquée, par exemple un angle de l'ordre de 5 à 10° .
- De plus, dans un procédé d'olivage, l'intersection du cylindre du rouleau avec le plan vertical qui comprend le support de polissage forme une ellipse, ce qui fait que la pierre „monte“ sur la première moitié du rouleau, puis „descend“ sur la deuxième moitié du rouleau, avec un basculement de son inclinaison au sommet, ce qui permet de produire un profil régulier et symétrique.
- Dans un procédé d'olivage, la forme du sillon est préférentiellement en V au lieu d'une forme en U ou rectangulaire, pour faciliter la mise en biais et l'inclinaison de la pierre.
- D'un point de vue de l'enchaînement des étapes, l'olivage est réalisé après l'usinage de la creusure, car cela permet d'obtenir un olivage qui est directement centré par rapport aux extrémités débouchantes du trou, et il est plus facile d'incliner la pierre dans le sillon avec un trou de longueur plus faible. Pour le procédé de polissage selon l'invention, il est au contraire plus facile de maintenir la pierre droite dans le sillon avec un trou de longueur plus élevée. L'étape de polissage du trou est donc préférentiellement réalisée avant l'usinage éventuel de la creusure et avant le polissage éventuel des faces supérieure et inférieure. Les étapes de creusage et de polissage sont donc de préférence inversées avec le procédé de polissage selon l'invention par rapport à un procédé d'olivage.

[0045] En conséquence de ce qui a été décrit plus haut, le procédé de réalisation d'une pierre de pivotement 1 pour mouvement horloger 100, comprend une première étape de polissage dans laquelle :

- (i) on utilise des particules abrasives libres 21 roulant entre la surface 6 du trou de pivotement 5 à polir et le support de polissage 20, et/ou
- (ii) on entraîne la pierre de pivotement 1 dans un mouvement rotatif selon l'axe A1 relativement au support de polissage 20 qui est rappelé vers la surface 6 du trou de pivotement 5 à polir. Ce rappel permet une action de contact direct ou indirect (via les particules abrasives) du support de polissage 20 contre la surface 6.

[0046] En négligeant la vitesse d'avance de la pierre en translation selon l'axe A1 relativement au support de polissage, on considère le mouvement de la pierre relativement au support de polissage comme un mouvement rotatif autour de l'axe A1.

[0047] Comme vu précédemment, lors de la première étape de polissage, on maintient la pierre de pivotement 1 en position relativement au support de polissage 20 par contact de la face périphérique 7 de la pierre de pivotement 1 sur le fond de la rainure 32. De préférence, la face 7 s'étend parallèlement ou sensiblement parallèlement au premier axe A1.

[0048] De préférence, en conséquence des solutions décrites plus haut, lors de la première étape de polissage, le support de polissage est un fil dont l'axe A3 est sensiblement parallèle à l'axe A1, et l'angle entre l'axe du support de polissage A3 et l'axe A1 du trou de la pierre est inférieur à 0.5°.

[0049] De préférence encore, en conséquence des solutions décrites plus haut, lors de la première étape de polissage :

- on entraîne la pierre de pivotement 1 dans un mouvement rotatif ou hélicoïdal droit selon l'axe A1 relativement au support de polissage 20, et/ou
- on produit un mouvement hélicoïdal avec un angle d'hélice inférieur à 0.5°, et/ou
- l'angle entre l'axe A1 et l'axe du support de polissage A3 est inférieur à 0.5°, et/ou
- l'angle entre l'axe A1 (ou l'axe A3) et l'axe A2 est égal à l'angle de l'hélice de la rainure 32.

[0050] Un mode de réalisation d'une machine de polissage permettant de mettre en oeuvre le procédé de polissage selon l'invention est décrit ci-après en référence aux figures 3 et 4. De préférence, la machine de polissage permet de mettre en oeuvre le procédé de polissage de façon industrielle sur des lots importants de pierres (plusieurs milliers, voire dizaines de milliers de pièces), de façon reproductible et répétable. De préférence, la machine permet le polissage simultané de plusieurs pierres.

[0051] Les éléments principaux d'un mode de réalisation de la machine de polissage sont représentés schématiquement sur les figures 3 et 4. La machine de polissage comprend principalement :

- le rouleau 31 ou tambour 31,
- le support de polissage 20, et
- un bâti 39.

[0052] La machine de polissage comprend en outre :

- un actionneur 40 comprenant un moteur et permettant de mettre en rotation le rouleau relativement au bâti 39 autour de l'axe A2,
- un module 38 d'alimentation ou de dépôt d'abrasif sur le support de polissage 20 permettant d'alimenter le contact entre le support de polissage 20 et le trou 5 des pierres en produit de polissage,
- un module 37 de distribution permettant d'amener séquentiellement des pierres sur le rouleau,
- un module 36 de réglage de la tension F du support de polissage 20, et
- un module 35 de réglage de l'angle α entre les axes A2 et A3, et
- un module 34 d'ajustement de la position du support de polissage par rapport au rouleau afin de maintenir une distance constante entre le support de polissage et le rouleau sur toute la longueur du rouleau.

[0053] Grâce au module 36 de réglage de la tension, le support de polissage peut être maintenu à la bonne tension afin d'assurer que la force d'appui des pierres sur le rouleau soit constante. Le module 36 de réglage de la tension peut être réalisé de façon simple et efficace par un poids ajustable fixé en bout de support de polissage et exerçant donc une traction calibrée sur le support de polissage.

[0054] Il est avantageux aussi que les différentes pierres en cours de traitement soient réparties de façon équidistante sur le rouleau, avec un écartement donné, pour garantir une force constante et comparable pour chaque pierre. Pour ce faire, le module 37 de distribution peut par exemple comprendre des pinces 33 permettant d'assurer une telle répartition uniforme.

[0055] Par exemple, les dimensions du rouleau peuvent être :

- un diamètre extérieur supérieur à 10 cm ou de l'ordre de 25 cm, et
- une longueur de l'ordre de 28 cm,

ces dimensions étant à ajuster et/ou optimiser selon les caractéristiques des pierres.

[0056] Le module 35 de réglage de l'angle α entre les axes A2 et A3 permet un réglage très fin de l'angle pour assurer la perpendicularité entre :

- l'axe du support de polissage, et donc l'axe des trous des pierres, et
- l'orientation du sillon au lieu où se trouve la pierre en cours de traitement.

[0057] Dans une variante, le module 35 de réglage permet donc d'assurer, au travers du réglage de l'angle α , la perpendicularité entre l'axe A3 du support de polissage et la tangente à l'hélice de la rainure. Dans une autre variante, le module 35 de réglage permet d'assurer, au travers du réglage de l'angle α , la perpendicularité entre l'axe A3 du support de polissage et le plan osculateur de l'hélice de la rainure au niveau du contact entre la pierre de pivotement et la rainure 32. Concrètement, le module 35 de réglage comprend un plateau qui porte le rouleau 31 et l'actionneur 40 et qui est réglable par rapport au bâti 39 qui porte le support de polissage 20. Le module 35 de réglage comprend en outre un accouplement par roulement qui permet un ajustement de l'angle α avec une précision de l'ordre de $1/100^\circ$, voire $<1/100^\circ$. Cet ajustement est réalisé par exemple grâce à un système mécanique à coulisse faisant également partie du module 35 de réglage.

[0058] Le réglage de l'angle α est effectué initialement à la valeur théorique, notamment à la valeur théorique de l'angle de l'hélice, puis des pierres de réglage sont réalisées. L'angle est ensuite ajusté si le trou de pivotement des pierres réalisées n'est pas cylindrique, et/ou si une variation de diamètre est détectée le long des trous de pivotement des pierres réalisées, et/ou si la présence d'une flèche est détectée (par exemple une flèche supérieure à $0.5 \mu\text{m}$) le long des trous de pivotement des pierres réalisées, et/ou si une portion significative de la surface du trou de pivotement des pierres réalisées n'est pas modifiée (polie) par le procédé. Le but est d'enlever les zones et traces de l'opération de perçage ou de grandissage sur toute la longueur du trou de pivotement. Quand l'axe A1 du trou de la pierre est parallèle au support de polissage, toute la surface 6 du trou, allant de la face inférieure 4 à la face supérieure 2 de la pierre, est polie de façon uniforme ou sensiblement polie de façon uniforme.

[0059] Pour l'ajustement du support de polissage par rapport au rouleau, il est important que le support de polissage soit en contact avec le trou des pierres. Un réglage précis de la position du support de polissage, notamment de l'angle de l'axe du support de polissage par rapport à la surface du rouleau, n'est pas nécessaire, vu qu'il est guidé par les pierres et maintenu en position par la tension appliquée sur le support de polissage. La profondeur du sillon ne doit pas être trop importante pour maintenir le support de polissage à l'écart du rouleau, mais suffisante pour assurer un bon guidage de la pierre et éviter les vibrations. L'important est que la pierre soit bien maintenue en appui sur le fond du sillon avec la force exercée par le support de polissage permettant en outre le polissage uniforme.

[0060] Par exemple, la vitesse du rouleau est comprise entre 800 et 1500 tr/min et vaut typiquement 1200 tr/min. Avec un diamètre de rouleau de l'ordre de 25 cm et un diamètre de pierre de typiquement 1 mm, il en résulte une vitesse de rotation de la pierre très élevée, de l'ordre de 300'000 tr/min ou encore 5'000 tr/sec (en faisant l'hypothèse que la pierre ne glisse pas sur le rouleau). La vitesse de rotation est donc bien plus élevée que la vitesse d'avance de la pierre sur le support de polissage : au niveau du trou, pour un diamètre de trou de 0.2 mm par exemple, la vitesse au point de contact entre le support de polissage et le trou est de 3.15 m/s dans le sens orthoradial relativement à l'axe A1, contre 9.2 mm/s dans le sens axial relativement à l'axe A1, soit plus de 300 fois plus élevée. L'angle des stries de polissage par rapport au plan perpendiculaire à l'axe A1 est dans ce cas de l'ordre de 0.2° , ce qui est négligeable.

[0061] La vitesse de la pierre de pivotement 1 au niveau du contact avec le support de polissage 20 et dans le sens orthoradial relativement à l'axe A1 relativement au support de polissage 20 peut être comprise entre 1 m/s et 20 m/s, en particulier entre 1 m/s et 10 m/s.

[0062] Un autre élément avantageux pour la répétabilité du procédé de polissage selon l'invention est d'assurer une bonne séparation des pierres sur le rouleau, en évitant que les pierres s'accrochent les unes aux autres lors du traitement, avec un espacement constant d'une pierre à l'autre. Cela permet de garantir une force d'appui égale d'une pierre à l'autre et le long du rouleau. Une solution pour assurer une bonne distribution est l'utilisation, dans le module 37 de distribution, de moyens de préhension de précision, notamment de pinces, qui prennent puis libèrent exactement une pierre à la fois et à intervalle identique sur le support de polissage et le rouleau. Le support de polissage avance à très faible vitesse selon

l'axe A1 relativement au rouleau pour faire avancer les pierres jusqu'au module de distribution. La vitesse d'avance est typiquement de l'ordre d'une épaisseur de pierre par période de distribution. Si le module est réglé pour une distribution d'une pierre toutes les 6 secondes sur le rouleau, et que l'épaisseur de la pierre est de 0.315 mm, la vitesse d'avance résultante du support de polissage est typiquement de l'ordre de 0.2 m/h. Le mouvement d'avance n'est pas utile à la structure de la pierre de pivotement obtenue par le procédé de réalisation. Ce mouvement est uniquement nécessaire pour obtenir une progression de la pierre de pivotement en dehors du rouleau 31 dans le mode d'exécution décrit du procédé de réalisation.

[0063] Un module de distribution fiable, qui assure la bonne avance du support de polissage et la bonne distribution des pierres, est un élément avantageux pour que chaque pierre ait dans le trou de pivotement l'état de surface requis. La mise en oeuvre du procédé doit être robuste et répétable car le contrôle de l'état de surface est destructif en l'état et est donc difficilement ou non réalisable en routine sur les pierres ou sur un échantillon de pierres pendant le procédé de fabrication des pierres.

[0064] Bien entendu, pour assurer le bon déroulement du procédé, il est possible d'ajouter des caméras (pour contrôler par exemple la hauteur du support de polissage, la position des pinces et/ou la bonne distribution des pierres sur le rouleau), des écrans de contrôle, des moyens et résultats de mesure, un suivi des paramètres, une interface homme-machine, etc.

[0065] Lors de la mise en oeuvre du procédé de polissage pour une nouvelle géométrie de pierre, des étapes de réglage et d'optimisation pourront être effectuées. Il existe de manière générale une interaction et une influence réciproque à optimiser entre la vitesse du rouleau, la tension du support de polissage (et donc la force appliquée), le diamètre du trou, et la taille de l'abrasif.

[0066] Plus généralement, une machine 30 de polissage de trous de pivotement 5 de pierres de pivotement 1 pour mouvement horloger 100 selon l'invention, comprend le tambour 31 entraîné en rotation autour de l'axe A2 et présentant la rainure 32 qui forme une hélice sur le tambour 31, la rainure 32 assurant à la fois

- l'entraînement des pierres de pivotement, et
- le maintien des pierres de pivotement dans une position telle que l'axe A1 est perpendiculaire au plan osculateur de l'hélice au niveau du contact pierre de pivotement-rainure.

[0067] Le procédé de polissage, dont un mode d'exécution a été décrit plus haut, permet d'une part d'orienter les raies ou stries de polissage de la surface du trou de pivotement orthoradialement relativement à l'axe A1 du trou de pivotement 5. Cette orientation est beaucoup plus favorable car elle coïncide avec l'orientation du mouvement du composant, notamment du pivot, guidé dans la pierre, par rapport à la pierre, et évite ainsi un effet „lime“ qui provoque une usure plus rapide du pivot. D'autre part, le procédé de polissage, dont un mode d'exécution a été décrit plus haut, permet d'obtenir des rugosités faibles de façon répétable, avec des valeurs qui peuvent être inférieures à 5 nm pour des conditions optimisées. Comme l'orientation des raies est orthoradiale relativement à l'axe A1, une mesure de la rugosité dans la direction orthoradiale n'a pas de pertinence, et les valeurs données sont mesurées selon la direction axiale.

[0068] Le procédé décrit ci-dessus peut aussi être appliqué à des pierres de pivotement réalisées par d'autres procédés ou étapes de procédé, comme par exemple des pierres réalisées par pressage, et/ou avec un creusage réalisé par un usinage laser, et/ou avec d'autres éléments comme une zone de dégagement telle que décrite dans le document WO2021032552A1. Le procédé ci-dessus peut aussi être appliqué à d'autres composants horlogers comprenant un trou, notamment un trou cylindrique, tel qu'un tube, comme par exemple un tube en céramique ou un tube métallique, ou un composant d'horlogerie comme une chaussée.

[0069] Plus généralement à ce qui a été décrit précédemment, un procédé de réalisation d'un composant horloger 1 peut comprendre une étape de polissage ou d'usinage du trou 5 par abrasion à l'aide de particules abrasives libres 21 relativement au support d'usinage 20 roulant entre la surface 6 du trou à usiner et le support d'usinage 20 logé dans le trou, et/ou à l'aide de particules abrasives susceptibles de se libérer du support d'usinage, le composant étant entraîné dans un mouvement rotatif selon l'axe du trou relativement au support de polissage ou d'usinage.

[0070] En conséquence de la mise en oeuvre du procédé décrit précédemment et/ou de l'utilisation de la machine décrite précédemment, on peut réaliser une pierre de pivotement 1 pour mouvement horloger 100, comprenant un trou de pivotement 5, notamment un trou de pivotement cylindrique, présentant un premier axe A1 et apte à pivoter un composant horloger ou apte à pivoter autour d'un composant horloger. Le trou de pivotement comprend une surface 6 présentant des stries principales 61 d'usinage par abrasion, notamment des stries principales de polissage, orientées sensiblement orthoradialement relativement au premier axe A1.

[0071] L'orientation d'une strie est l'orientation de sa longueur ou de sa plus grande dimension, et pourra être déterminée par inspection sur une image, voire en utilisant des procédures de détermination de la texture de surface telles que décrites ci-dessous. Avec le procédé d'usinage décrit, on ne contrôle ni le nombre des stries d'usinage, ni leur géométrie, ni leur emplacement, mais il résulte du procédé une orientation préférentielle qui est sensiblement orthoradiale relativement à l'axe A1 du trou.

[0072] Les stries principales 61 d'usinage et/ou de polissage présentent avantageusement un angle moyen d'hélice inférieur à 1° ou inférieur à 0.5° ou, plus généralement, sont telles que :

- le plan osculateur à toute strie principale en tout point de cette strie principale, et
- un plan perpendiculaire à l'axe A1,

sont parallèles ou forment entre eux un angle inférieur à 1 ° ou inférieur à 0.5°.

[0073] Autrement dit, de préférence, les stries principales 61 d'usinage et/ou de polissage sont parallèles ou sensiblement parallèles au plan perpendiculaire à l'axe A1. En d'autres mots encore, les stries principales 61 d'usinage et/ou de polissage (ou leurs tangentes) forment un angle inférieur à 1° ou inférieur à 0.5° relativement au plan perpendiculaire à l'axe A1.

[0074] Avantageusement, la rugosité Ra de la surface 6, notamment la rugosité Ra de la surface 6 mesurée parallèlement au premier axe A1 ou perpendiculairement aux stries principales 61, est inférieure à 20 nm ou inférieure à 10 nm.

[0075] En conséquence de la mise en oeuvre du procédé décrit précédemment et/ou de l'utilisation de la machine décrite précédemment, le profil de la surface 6 du trou de pivotement 5, selon un plan passant par l'axe A1, peut être :

- droit, ou
- convexe vu depuis l'axe A1 avec une flèche inférieure à 1 µm ou inférieure à 0.25 µm.

[0076] Selon une première utilisation, comme illustré sur la figure 5, la pierre de pivotement 1 est destinée à :

- être chassée dans un bâti 99 d'un mouvement horloger 100, et
- recevoir, dans le trou de pivotement 5, un composant 98 comme un axe horloger.

[0077] Le composant horloger peut être notamment :

- un balancier, ou
- une ancre, ou
- une roue d'échappement, ou
- un mobile d'un rouage de finissage, comme un mobile de centre ou une grande moyenne ou une petite moyenne ou un mobile des secondes, ou
- un mobile d'une chaîne d'automate.

[0078] Selon une deuxième utilisation, comme illustré sur la figure 6, la pierre de pivotement 1 est destinée à :

- être chassée dans un composant horloger 98 comme un axe horloger, et
- recevoir, dans le trou de pivotement 5, un tenon d'un bâti 99 d'un mouvement horloger 100 ou d'un autre composant horloger. Le composant horloger 98 ou l'autre composant horloger peut être notamment un mobile d'un rouage de finissage, comme un mobile de centre, une grande moyenne ou une petite moyenne ou un mobile des secondes.

[0079] Dans les première et deuxième utilisations, de préférence, deux pierres de pivotement peuvent être utilisées pour guider le composant horloger relativement au bâti 99 ou relativement à un autre composant horloger.

[0080] Selon une troisième utilisation, la pierre de pivotement 1 est destinée à recevoir, dans le trou de pivotement 5, un tenon d'un composant horloger 98, comme une bascule. Dans cette utilisation la pierre de pivotement est utilisée comme galet et sa surface externe 7 est destinée à rouler sur un autre composant horloger. La surface externe 7 est dans ce cas destinée à venir :

- rouler dans un sillon d'un tambour lors de la fabrication de la pierre, et
- rouler sur un composant horloger lors de son utilisation, après sa fabrication. La surface externe 7 peut ne pas être cylindrique. Elle peut, par exemple, être globalement tronconique. Par ailleurs, elle peut présenter, dans un

plan perpendiculaire à l'axe A1, un profil convexe, ou concave, ou complexe comme par exemple un profil de came.

[0081] De façon plus générale, l'invention porte aussi sur un composant horloger comprenant un trou, notamment un trou cylindrique, tel qu'un tube, comme par exemple un tube en céramique ou un tube métallique, ou un composant d'horlogerie comme une chaussée, le trou de pivotement comprenant une surface présentant des stries principales d'usinage par abrasion, notamment des stries principales de polissage, orientées sensiblement orthoradialement relativement à l'axe du trou.

[0082] L'invention porte aussi sur un mouvement horloger 100 comprenant au moins une pierre de pivotement telle que mentionnée plus haut, en particulier au moins deux pierres de pivotement telles que mentionnées plus haut et/ou comprenant un composant horloger 98 comprenant une pierre de pivotement 1 telle que mentionnée plus haut, et/ou comprenant un composant tel que mentionné plus haut.

[0083] L'invention porte aussi sur une pièce d'horlogerie 200, notamment montre bracelet, comprenant :

- au moins une pierre de pivotement 1 telle que mentionnée plus haut, et/ou
- un composant horloger tel que mentionné plus haut, et/ou
- un mouvement horloger 100 tel que mentionné plus haut.

[0084] La mesure de l'état de la surface interne 6 du trou 5 de pivotement pose un double défi :

- réussir à accéder à la surface 6 dont il faut mesurer l'état, ce qui est très difficile vu la géométrie du trou, et ensuite
- mesurer la rugosité proprement dite.

[0085] Nous verrons plus bas comment, dans une première phase, préparer une pierre pour permettre ensuite, dans une deuxième phase, la mesure de l'état de la surface de frottement 6.

[0086] Pour la mesure de rugosité, il apparaît que la microscopie confocale à balayage laser est particulièrement intéressante. Elle apparaît en effet adaptée aux surfaces concaves. La microscopie à balayage laser confocale permet de réaliser une mesure précise de rugosité de surface même à faible grandissement, en étant en conformité avec les normes ISO 25178 (rugosité de surface) et ISO 4287 (rugosité linéaire).

[0087] Il est préférable dans le cadre de cette application de prendre une mesure de rugosité linéaire et non une mesure de rugosité surfacique vu l'orientation préférentielle de la rugosité. En effet, la mesure de rugosité surfacique fait une moyenne sur la surface et est pertinente quand l'état de surface est uniforme et non-directionnel, mais est moins adaptée dans le présent cas d'application où la notion d'orientation de la rugosité est présente. Il est donc opportun de considérer la rugosité linéaire Ra, soit l'écart moyen arithmétique du profil évalué.

[0088] L'orientation préférentielle de la rugosité peut être quantifiée en considérant les paramètres Str et Std. Le paramètre Str, parfois dénommé „isotropie“, est une mesure de l'uniformité de la texture de la surface et prend une valeur comprise entre 0 et 1 sans unité, selon la définition de la norme. Si la surface présente les mêmes caractéristiques dans toutes les directions (surface isotrope), la valeur de Str sera proche de 1, alors qu'une surface fortement anisotrope ou texturée aura une valeur de Str proche de 0.

[0089] Si la surface est anisotrope (valeur de Str proche de 0), il est intéressant de déterminer la direction préférentielle de la texture, exprimée par le paramètre Std. Un outil intéressant à cette fin est le spectre polaire, soit le spectre de Fourier intégré en coordonnées polaires. L'angle qui correspond au spectre le plus puissant correspond à la direction de texture principale, et la direction principale du spectre donne le paramètre Std, qui est l'angle trigonométrique de cette direction principale depuis un axe de référence de l'image. Il est donc important pour cela d'orienter les images toujours de la même manière relativement à cet axe de référence. En sus, il est préférable de réaliser ces mesures en excluant les bords de l'image ou du composant, de dégauchir la surface pour enlever les effets de forme et d'avoir si possible un pas d'acquisition adapté et une taille d'image carrée.

[0090] Cette orientation préférentielle de la rugosité, quantifiée par les paramètres Str et Std, et en particulier la direction préférentielle de la texture exprimée par le paramètre Std qui est l'angle trigonométrique de cette direction principale depuis un axe de référence de l'image, correspond à l'orientation des stries principales qui déterminent la rugosité de la surface. En d'autres termes, on considère par exemple que les stries principales sont orientées sensiblement orthoradialement relativement au premier axe A1 si l'angle trigonométrique de la direction préférentielle de la texture telle qu'exprimée par le paramètre Std est sensiblement un angle droit relativement au premier axe A1.

[0091] Pour la mesure de la rugosité, on peut utiliser à titre d'exemple un appareil doté d'un système optique à diaphragme confocal, tel que l'appareil VKX-1 100 de la société Keyence. Les paramètres clés sont la résolution en direction verticale et la résolution latérale, et un objectif 50x avec une ouverture de 0.95 utilisé sur l'appareil précité permet d'atteindre une

résolution optique optimale avec une distance de travail suffisante pour mesurer la zone d'intérêt des pierres préparées selon le procédé décrit plus bas. La mesure est prise dans la zone centrale de la pierre. La longueur du segment est choisie selon la norme ISO 4287, et, par exemple, 30 segments différents sont mesurés de façon successive, chaque segment étant coupé en cinq sous-segments selon la norme pour minimiser l'effet de la forme du profil.

[0092] Les segments de mesure sont orientés perpendiculairement aux stries résiduelles 61 de polissage, et/ou perpendiculairement à la direction préférentielle de la texture exprimée par le paramètre Std, de façon à obtenir une mesure caractéristique de la rugosité. En d'autres termes, les segments de mesure sont orientés dans la direction orthoradiale quand les raies résiduelles d'usinage ou de polissage sont orientées dans la direction axiale (comme par exemple après grandissage), et les segments de mesure sont orientés dans la direction axiale quand les raies résiduelles d'usinage ou de polissage 61 sont orientées dans la direction orthoradiale (comme par exemple après le procédé de polissage selon l'invention décrit plus haut).

[0093] Les valeurs de rugosité obtenues peuvent bien entendu varier avec l'équipement et la technique de mesure utilisés. Les valeurs indiquées dans ce document ont toutes été acquises sur un appareil de microscopie à balayage laser confocal, à un grandissement de 50x, en mesurant 30 segments et en calculant la rugosité Ra.

[0094] Pour réaliser une mesure, on peut par exemple placer une demi-pierre issue de la préparation décrite plus bas dans un étau, puis réaliser la mise au point dans la zone de mesure, par exemple de façon successive avec les différents objectifs jusqu'à arriver à une image nette au grandissement 50x. Une définition d'image de 2048x1536 pixels peut être utilisée avec un pas entre segments de 0.10 µm. La longueur de segment peut être de 65 µm avec 30 lignes espacées de 2 µm. La rugosité est mesurée dans la direction perpendiculaire aux stries résiduelles d'usinage ou de polissage. Selon la norme, la mesure de la rugosité Ra est valable si et seulement si le rapport entre la déviation standard et la valeur Ra obtenue est strictement inférieur à 0.2.

[0095] Selon un essai réalisé sur plusieurs lots de pierres de grande moyenne obtenues avec différents procédés, il a été constaté, avec un procédé standard de grandissage, que les stries résiduelles de polissage sont orientées dans la direction axiale, et les lignes de mesure sont orientées en conséquence dans la direction orthoradiale. La rugosité mesurée est de 25.5 ± 5.0 nm.

[0096] Avec le procédé de polissage selon l'invention, les stries résiduelles de polissage sont orientées dans le sens orthoradial, les lignes de mesure sont orientées dans la direction axiale et la rugosité mesurée est de 4.0 ± 1.6 nm.

[0097] La texture de surface est prononcée dans les deux cas, avec une valeur Str (isotropie) comparable et proche de 0. L'isotropie (Str) est cependant toujours strictement supérieure à 0, notamment supérieure à 1 %. Elle est de l'ordre de 20% pour le procédé standard de grandissage, contre moins de 10%, voire moins de 3%, pour le procédé selon l'invention. En particulier, le procédé selon l'invention permet d'obtenir une rugosité Ra inférieure à 5nm avec une orientation préférentielle de la texture de $90^\circ \pm 0.5^\circ$ par rapport à une direction parallèle à l'axe du trou et une isotropie supérieure à 1% et inférieure à 10%, notamment inférieure à 3%. La différence est surtout manifeste sur le spectre polaire et la valeur Std, avec une direction préférentielle de la texture de Std = 7° et 90.1° pour un procédé standard de grandissage et pour le procédé de polissage selon l'invention, respectivement.

[0098] Le procédé de mesure décrit ci-dessus peut être utilisé pour tout type de pierres, et également pour les pierres olivées. Comme mentionné précédemment, le but de l'olivage est d'obtenir un profil de trou de pivotement arrondi, et non un profil de trou de pivotement droit. Les arêtes du trou sont adoucies et une flèche (différence de diamètre entre le centre et les bords du trou) est mesurable, de 3 µm au moins, plus typiquement de 5 µm au moins. Cette valeur de flèche n'est pas spécifiée sur les plans, car aucune possibilité de mesurer cette caractéristique n'était disponible jusqu'ici, et la présence de l'olivage est habituellement constatée uniquement par inspection visuelle, par la forme ovale du reflet dans le trou. La valeur de la flèche va aussi dépendre du diamètre et de la longueur du trou. Au contraire, lorsqu'on effectue des mesures du profil typique pour une pierre selon la présente invention, les arêtes du trou sont bien définies, et la flèche du profil du trou est de 0.175 µm. Sur un lot mesuré de 40 pierres, la flèche mesurée se situait entre 0.1 et 0.2 µm, sur les 150 µm de distance de la cheminée du trou. Sur la pierre terminée, la flèche peut être encore inférieure car la longueur du trou peut être diminuée par un éventuel creusage.

[0099] Le procédé de mesure décrit ci-dessus peut être également appliqué à d'autres composants horlogers comprenant un trou, tel qu'un tube, comme par exemple un tube en céramique ou un tube métallique, ou un composant d'horlogerie comme une chaussée.

[0100] La géométrie des pierres rend la mesure quantitative de l'état de surface 6 du trou de pivotement 5 très délicate. Cette surface n'est visible directement qu'en inclinant fortement la pierre, et une mesure sur une surface inclinée et/ou confinée est difficile.

[0101] En conséquence, un mode d'exécution d'une phase de préparation d'une pierre de pivotement 1 comprend une ablation d'une première partie de la pierre de pivotement 1 incluant une partie de la surface 6 du trou de pivotement 5, ainsi qu'une partie de la surface externe 7 et une partie du volume entre la surface 6 du trou de pivotement et la surface externe 7, afin d'obtenir une deuxième partie de la pierre de pivotement 1. Cette phase de préparation d'une pierre permet d'obtenir, de façon rapide et reproductible, un élément mesurable avec un accès direct et sans obstacle à une zone de la surface 6 à mesurer. La représentation de la figure 1 peut constituer une bonne image de la deuxième partie de pierre

obtenue par le procédé de préparation. En effet, l'ablation de la première partie de la pierre de pivotement peut être réalisée selon le plan passant par l'axe A1 du trou de pivotement 5 ou selon un plan parallèle à l'axe A1 du trou de pivotement 5. Le but est de permettre un accès direct à l'intégralité d'un profil de la surface du trou de pivotement selon la direction axiale, notamment un accès avec un faisceau lumineux ou laser perpendiculaire ou sensiblement perpendiculaire audit profil.

[0102] Afin d'obtenir l'accès au trou de pivotement d'une pierre, on pourrait penser qu'il suffit d'appliquer un coup avec un outil sur la pierre pour la casser et produire des éclats avec une partie de surface de trou de pivotement intact. Toutefois, une telle méthode est très aléatoire, n'est pas reproductible et n'est pas adaptée pour un contrôle de routine.

[0103] Une première méthode passe par un enlèvement de matière d'une partie de la pierre, en particulier par abrasion. Cette méthode est en particulier intéressante quand une certaine quantité de pierres de même provenance doit être contrôlée, par exemple un contrôle par échantillonnage de 20 pièces sur un lot de 1000 pièces.

[0104] La qualité de la partie abrasée n'est pas importante car elle ne fait pas l'objet d'une mesure. Il faut en revanche s'assurer que le processus de découpe n'altère pas les échantillons au niveau du trou. Un procédé de rectification est par exemple adapté pour pouvoir rapidement préparer par découpe les pièces. Pour positionner les pierres au même niveau et protéger le trou de pivotement, notamment pour éviter la présence de résine d'enrobage dans le trou si une telle résine est utilisée, il est favorable d'enfiler les pierres sur un fil d'un diamètre très légèrement inférieur (par exemple inférieur de 10 µm) au diamètre du trou, de préférence un fil d'enfilage en Nylon ou autre polymère. Il est aussi possible d'utiliser un fil qui laisse un jeu supérieur à 10 µm et de fonder les extrémités pour colmater le trou des pierres aux extrémités, ce qui assure l'absence de pollution dans le trou. Il est aussi possible d'utiliser un fil en métal, par exemple en laiton, notamment pour les fils de petit diamètre, par exemple pour les diamètres inférieurs à 0.2 mm. Avec un fil métallique, il est important que le fil soit bien ajusté par rapport au diamètre du trou pour éviter que la résine d'enrobage ne pénètre dans le trou et rende la mesure subséquente impossible.

[0105] Une fois l'enrobage réalisé, il est aisé de rectifier les pierres, par exemple jusqu'à avoir une différence de hauteur de l'ordre du rayon du trou, par exemple de 0.2mm, entre le fond du trou et la face de découpe ou la face abrasée pour avoir un accès aisé à la zone à mesurer pour l'instrument de mesure. Le fil peut rester en place tout au long de l'étape de rectification et être enlevé uniquement juste avant un nettoyage et la mesure. Les pierres peuvent être alignées, avec des surfaces à mesurer à des hauteurs comparables, dans une configuration qui se prête bien à une mesure automatisée. Des séries de plusieurs dizaines, voire de quelques centaines de pierres, peuvent être ainsi mesurées de façon automatique.

[0106] Ainsi, une sous-étape d'assemblage de plusieurs pierres de pivotement 1 peut être mise en oeuvre avant l'ablation.

[0107] Une deuxième méthode est particulièrement adaptée à la préparation de pierres individuelles, par exemple de pierres uniques, notamment de pierres démontées d'une ébauche d'un mouvement. Cette deuxième méthode consiste à réaliser une ablation par bris.

[0108] La procédure permet une coupe simple et répétable de la pierre afin d'accéder aux parois intérieures des pierres d'horlogerie, notamment des rubis synthétiques, en vue d'une mesure de la rugosité. Le principe est d'inciser la pierre sur l'une des faces supérieure ou inférieure (par exemple sur une face non creusée) avec un outil diamant, comme un burin diamant ou une pointe diamant, afin de créer une amorce de rupture pour ensuite casser la pierre par un petit choc.

[0109] Au préalable, on s'assure du bon état de propreté des pierres avant la coupe, par exemple par microscopie optique. Les pierres sont au besoin dépoussiérées et nettoyées, par exemple par un lavage en phase aqueuse ou au solvant. La face plate de la pierre est d'abord placée côté opérateur et est incisée avec un outil diamant. La pierre incisée est ensuite positionnée pour venir appliquer un petit choc, par exemple avec une pointe à river en métal dur placée sur une potence. Un léger coup, par exemple appliqué avec un marteau d'horloger sur la tige de la potence, permet de casser la pierre selon l'amorce de rupture. Pour cette étape, les pierres peuvent être maintenues sur un posage ou un étau ou tout autre support ou moyen adapté pour un maintien en place.

[0110] Les deux demi-pierres sont ensuite récupérées, éventuellement nettoyées pour enlever d'éventuels résidus ou particules, puis mesurées. A noter que cette méthode par incision et casse par choc produit beaucoup moins de particules et de débris qu'une découpe traditionnelle au fil. Cette deuxième méthode est également répétable et ne dépend pas de la dextérité de la personne qui la met en oeuvre.

[0111] En alternative, la pierre ou le lot de pierres pourraient aussi être découpés avec une scie ou un fil. Cette troisième méthode est cependant moins favorable au vu du risque d'égrisures induites par la découpe sur des zones à proximité de la surface à mesurer.

[0112] Ainsi, de manière générale, un procédé permet de déterminer la rugosité de la surface 6 du trou de pivotement 5 de la pierre de pivotement 1. Ce procédé comprend :

- une première étape de préparation de la pierre de pivotement 1 comprenant une ablation d'une première partie de la pierre de pivotement 1 incluant une partie de la surface 6 du trou de pivotement 5 afin d'obtenir une deuxième partie de la pierre de pivotement 1, puis

- une deuxième étape de mesure sur la surface 6 du trou de pivotement 5 se trouvant sur la deuxième partie de la pierre de pivotement 1.

[0113] En toute logique, la préparation de la pierre, et notamment l'ablation d'une première partie de la pierre de pivotement, ne modifie pas la surface de pivotement se trouvant sur la deuxième partie de la pierre de pivotement, de façon à ce que la mesure de rugosité obtenue soit bien représentative de l'état de surface du trou de pivotement obtenu suite à la réalisation, notamment suite à l'usinage et au polissage, du composant horloger.

[0114] Le procédé de préparation décrit ci-dessus peut être utilisé pour tout type de pierres, et également pour les pierres olivées. Le procédé de préparation peut être également appliqué à d'autres composants horlogers comprenant un trou, tel qu'un tube, comme par exemple un tube en céramique ou un tube métallique, ou un composant d'horlogerie comme une chaussée.

[0115] L'invention porte aussi sur le lavage d'un composant horloger. Ainsi, un mode d'exécution d'une étape de lavage du composant horloger 1 et du support d'usinage 20 alors que le support d'usinage est logé dans le trou du composant horloger 1 est décrit ci-après en détail.

[0116] Cette étape de lavage est avantageusement mise en oeuvre dans le procédé de réalisation de la pierre de pivotement décrit plus haut et comprenant une étape de polissage du trou de pivotement.

[0117] Toutefois, de manière plus générale, une étape de lavage peut être mise en oeuvre dans tout procédé de réalisation d'un composant horloger comprenant un trou, le procédé comprenant :

- une étape d'usinage du trou par abrasion à l'aide de particules abrasives libres relativement à un support d'usinage, notamment des particules de diamant, roulant entre la surface du trou à usiner et le support d'usinage logé dans le trou, et/ou à l'aide de particules abrasives susceptibles de se libérer du support d'usinage.

[0118] En conséquence, l'étape de lavage peut aussi être appliquée à un procédé de réalisation d'une pierre olivée après l'étape d'usinage de l'olivage.

[0119] Dans ces procédés, une fois le passage d'une pierre 1 sur le rouleau 31 terminé, il reste de l'abrasif sur le support d'usinage et sur la pierre. Des investigations menées grâce au procédé de préparation et de mesure ont mis en évidence que cette présence d'abrasif résiduel pose fréquemment problème lors du désenfilage, soit lorsque les pierres sont enlevées du support d'usinage.

[0120] En effet, les particules d'abrasif peuvent venir se coincer dans le trou de pivotement et provoquer des stries dans le sens axial lors du désenfilage ou lorsqu'on extrait le composant du support d'usinage. Ces raies ou stries viennent détériorer l'état de surface du trou, en provoquant une rugosité importante orientée dans le sens axial et/ou en cassant éventuellement la régularité de l'arrondi de l'olivage, ce qui n'est pas souhaité.

[0121] Quand l'étape de lavage n'est pas réalisée, la présence de raies dans le sens axial est souvent constatée. Ces raies peuvent être de faible densité et de faible profondeur, mais peuvent également être très prononcées. La rugosité est dans tous les cas dégradée et l'effet de l'olivage sur l'état de surface est partiellement, voire totalement, supprimé. Il s'agit bien dans ce cas-là d'une dégradation intervenue après l'olivage, et non un résidu du procédé de grandissage, car le trou a bien été amené à sa dimension finale par l'olivage avec un enlèvement de matière conséquent et bien plus important que la profondeur des stries résiduelles du grandissage. De plus, les raies constatées sont superposées au profil caractéristique de l'olivage, avec une forme symétrique et une flèche de typiquement quelques μm ou plus.

[0122] L'ajout de l'étape de lavage du support d'usinage et des pierres pour éliminer l'abrasif avant désenfilage permet de ne pas endommager la surface polie ou usinée. Ce lavage ou nettoyage peut être réalisé de différentes manières, par exemple en milieu aqueux ou solvant, avec ou sans produit lessiviel, avec ou sans ultrasons, ou par soufflage de vapeur d'eau, ou par nettoyage avec de l'eau ou un solvant. Ce nettoyage peut être réalisé directement sur l'équipement pour nettoyer les pierres directement en sortie du rouleau 31, ou en dehors de l'équipement une fois le support d'usinage démonté. De préférence, le lavage est réalisé en utilisant un flux de fluide permettant d'emporter les particules abrasives utilisées lors de l'usinage ou lors du polissage. Le fluide peut être une solution de lavage, notamment une solution aqueuse ou une solution alcoolique ou une solution huileuse.

[0123] En complément ou en alternative, l'étape de lavage peut comprendre un trempage du composant horloger 1 et du support d'usinage 20 dans une solution de lavage. Le trempage peut comprendre l'émission d'ultrasons dans la solution de lavage.

[0124] En complément ou en alternative, l'étape de lavage peut comprendre une aspersion du composant horloger 1 et du support d'usinage 20 avec une solution de lavage.

[0125] En complément ou en alternative, l'étape de lavage peut comprendre le soufflage d'un gaz ou de vapeur d'eau.

[0126] Un système de lavage 84 peut être placé juste après le rouleau. Ainsi, l'étape de lavage peut être réalisée directement sur la machine d'usinage, notamment sur la machine de polissage ayant permis de réaliser l'étape d'usinage du

trou par abrasion. Le système de lavage 84 peut faire partie de la machine d'usinage 30. Ce système de lavage permet de laver ou de nettoyer les pierres et le support d'usinage immédiatement après le polissage ou l'olivage ou tout autre usinage. Le système de lavage comprend avantageusement des buses 83 et/ou des canaux de projection d'un fluide de lavage, comme une solution de lavage. De préférence, ces buses et/ou ces canaux sont agencés de sorte à produire des jets dirigés tant dans le sens d'avance que dans le sens inverse à l'avance de la pierre sur le support d'usinage, venant nettoyer la pierre d'abord des deux côtés, puis dans le sens de l'avance en fin de système de lavage pour sa sortie du système de lavage. Le système de lavage est avantageusement conçu de sorte à former un boîtier 80 en deux parties 81, 82 de façon à pouvoir être partiellement ouvert, par exemple pour placer un nouveau support d'usinage ou régler la position du système de lavage par rapport au support d'usinage et au reste de la machine. Ainsi, le système de lavage 84 peut prendre la forme d'un boîtier 80 comme représenté sur la figure 7. Ce boîtier 80 peut être traversé de part en part par l'ensemble constitué par le composant horloger 1 et le support d'usinage 20. Le boîtier 80 présente donc un passage pour le support d'usinage.

[0127] En alternative, l'étape de lavage peut être réalisée après dépose de l'ensemble constitué par :

- le composant horloger 1, et
- le support d'usinage 20

de la machine d'usinage ayant permis de réaliser l'étape d'usinage du trou par abrasion. Dans une telle hypothèse, on démonte l'ensemble constitué par le composant horloger 1 et le support d'usinage 20 de la machine d'usinage, puis on lave l'ensemble constitué par le composant horloger 1 et le support d'usinage 20, puis on démonte ou on désolidarise le composant horloger 1 du support d'usinage 20, en particulier on retire le support d'usinage 20 du trou du composant horloger 1.

[0128] Plus généralement à ce qui a été décrit précédemment, un procédé de réalisation d'un composant horloger 1 peut comprendre :

- une étape d'usinage du trou 5 par abrasion à l'aide de particules abrasives libres 21 relativement au support d'usinage 20 roulant entre la surface 6 du trou à usiner et le support d'usinage 20 logé dans le trou, et/ou à l'aide de particules abrasives susceptibles de se libérer du support d'usinage, puis
- une étape de lavage du composant horloger 1 et du support d'usinage 20 alors que le support d'usinage est logé dans le trou, puis
- une étape de retrait du support d'usinage du trou.

Revendications

1. Pierre de pivotement (1) pour mouvement horloger (100), la pierre de pivotement (1) comprenant un trou de pivotement (5) présentant un premier axe (A1) et apte à pivoter un composant horloger (98) ou apte à pivoter autour d'un composant horloger (98), comme un axe horloger, le trou de pivotement comprenant une surface (6) présentant des stries principales (61) d'usinage par abrasion, notamment des stries principales de polissage, orientées sensiblement orthoradialement relativement au premier axe (A1).
2. Pierre de pivotement (1) selon la revendication 1, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage présentent un angle d'hélice inférieur à 1° ou inférieur à 0.5° .
3. Pierre de pivotement (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage sont parallèles ou sensiblement parallèles à un plan perpendiculaire au premier axe (A1) et/ou forment un angle inférieur à 1° ou inférieur à 0.5° relativement à un plan perpendiculaire au premier axe (A1).
4. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les stries principales (61) d'usinage présentent une dispersion d'orientation de plus ou moins θ , avec $\theta > 0.2^\circ$, en particulier avec θ de l'ordre de 0.5° , autour d'une orientation moyenne.
5. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la rugosité R_a de la surface, notamment la rugosité R_a de la surface (6) mesurée parallèlement au premier axe (A1) ou perpendiculairement aux stries principales (61), est inférieure à 20 nm ou inférieure à 10 nm ou inférieure à 5 nm.
6. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le diamètre du trou de pivotement (5) est inférieur à 2.5 mm ou inférieur à 2 mm ou inférieur à 1.6 mm ou inférieur à 0.6 mm ou inférieur à 0.3 mm.
7. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le profil de la surface (6) du trou de pivotement (5), selon un plan passant par le premier axe (A1), est droit.

8. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le profil de la surface (6) du trou de pivotement (5), selon un plan passant par le premier axe (A1), est convexe vu depuis le premier axe (A1) avec une flèche inférieure à 1 μm ou inférieure à 0.5 μm ou inférieure à 0.25 μm .
9. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en céramique technique, notamment en rubis.
10. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend une surface de roulement (7), notamment une surface de roulement (7) de premier axe (A1), destinée à rouler sur un composant horloger.
11. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que les géométries et/ou positionnements des stries principales sont non contrôlés.
12. Pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la surface (6) présente une isotropie :
 - strictement supérieure à 0, en particulier supérieure à 1%, et
 - inférieure à 10%, en particulier inférieure à 3%.
13. Composant horloger (98), notamment mobile (98), en particulier mobile de centre, comprenant au moins une pierre de pivotement selon l'une des revendications précédentes, en particulier au moins deux pierres de pivotement selon l'une des revendications précédente.
14. Mouvement horloger (100) comprenant au moins une pierre de pivotement selon l'une des revendications 1 à 12, en particulier au moins deux pierres de pivotement selon l'une des revendications 1 à 12 et/ou comprenant un composant horloger (100) selon la revendication précédente.
15. Mouvement horloger (100) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger, ledit composant horloger étant :
 - un balancier, ou
 - une ancre, ou
 - une roue d'échappement.
16. Mouvement horloger (100) selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger étant un mobile d'un rouage de finissage, comme :
 - une grande moyenne, ou
 - une petite moyenne, ou
 - un mobile des secondes.
17. Mouvement horloger (100) selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'au moins une pierre pivote un composant horloger étant un mobile d'une chaîne d'automate.
18. Pièce d'horlogerie (200), notamment montre bracelet, comprenant :
 - au moins une pierre de pivotement (1) selon l'une des revendications 1 à 12, et/ou
 - un composant horloger (98) selon la revendication 13, et/ou
 - un mouvement horloger (100) selon l'une des revendications 14 à 17.

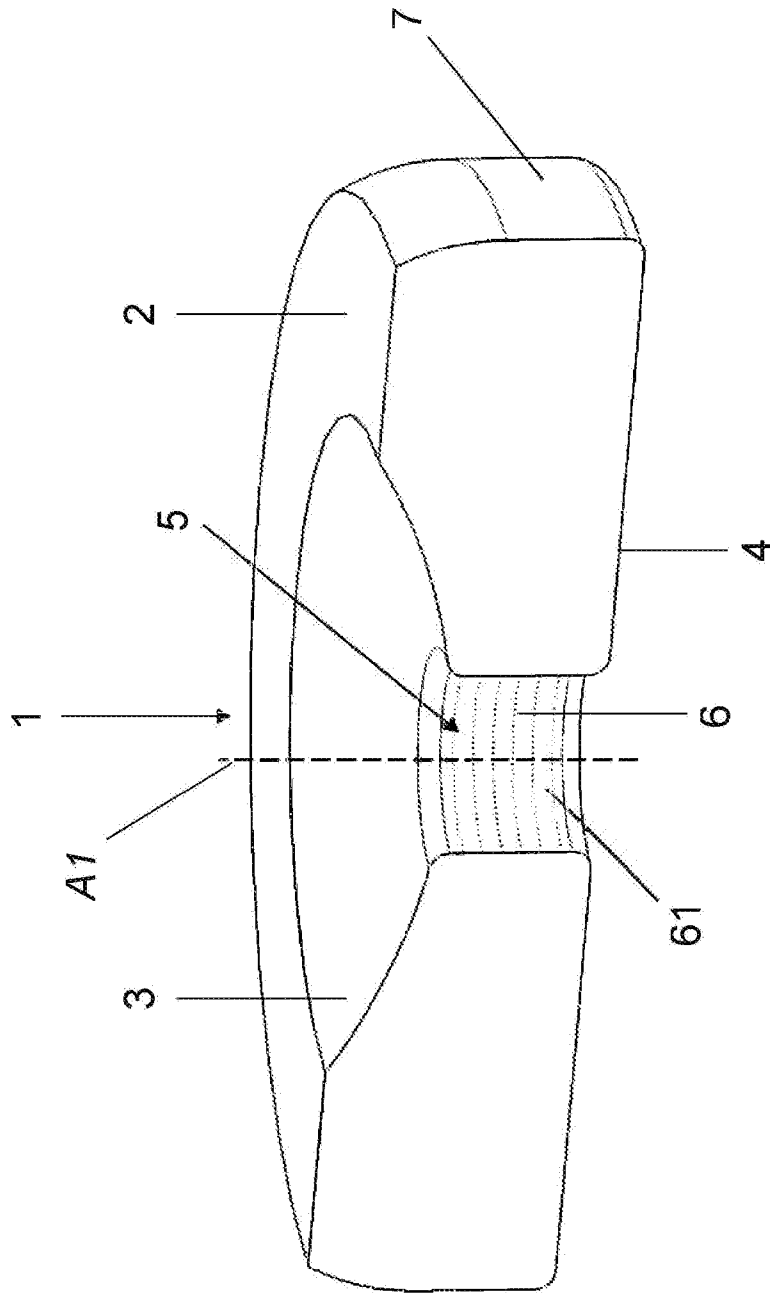


Figure 1

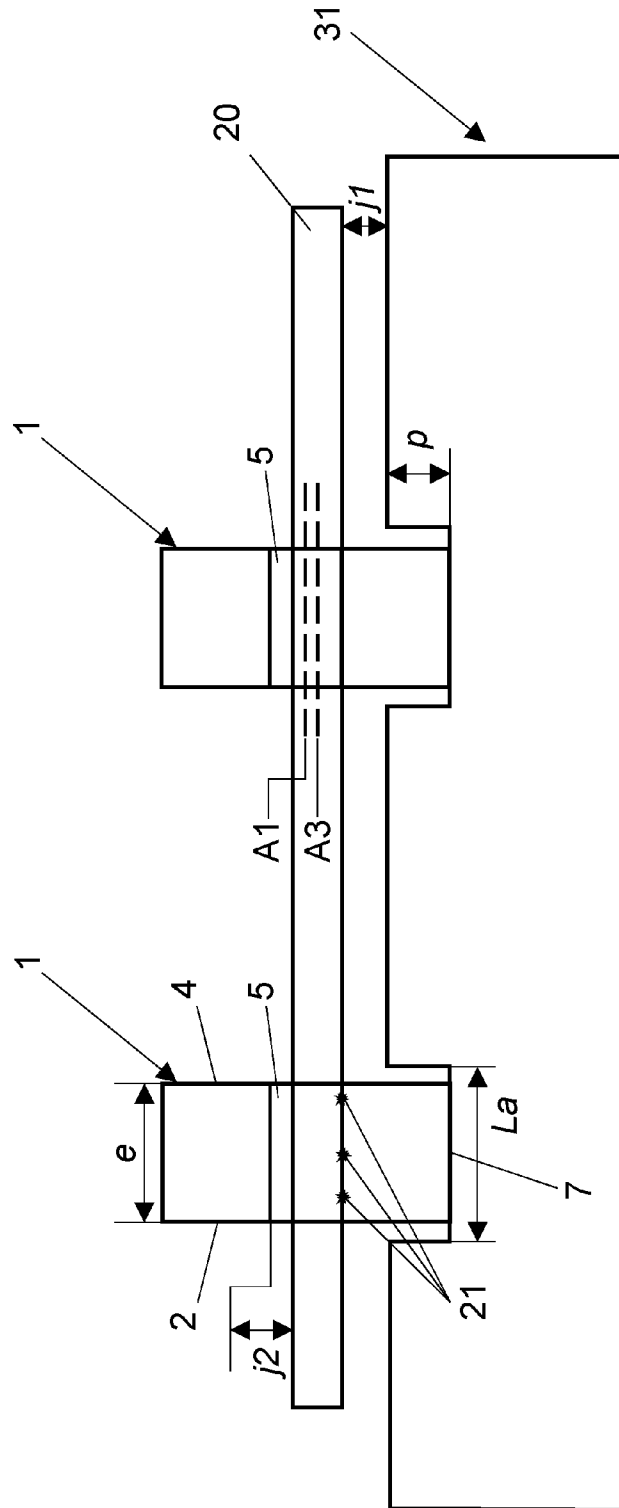


Figure 2

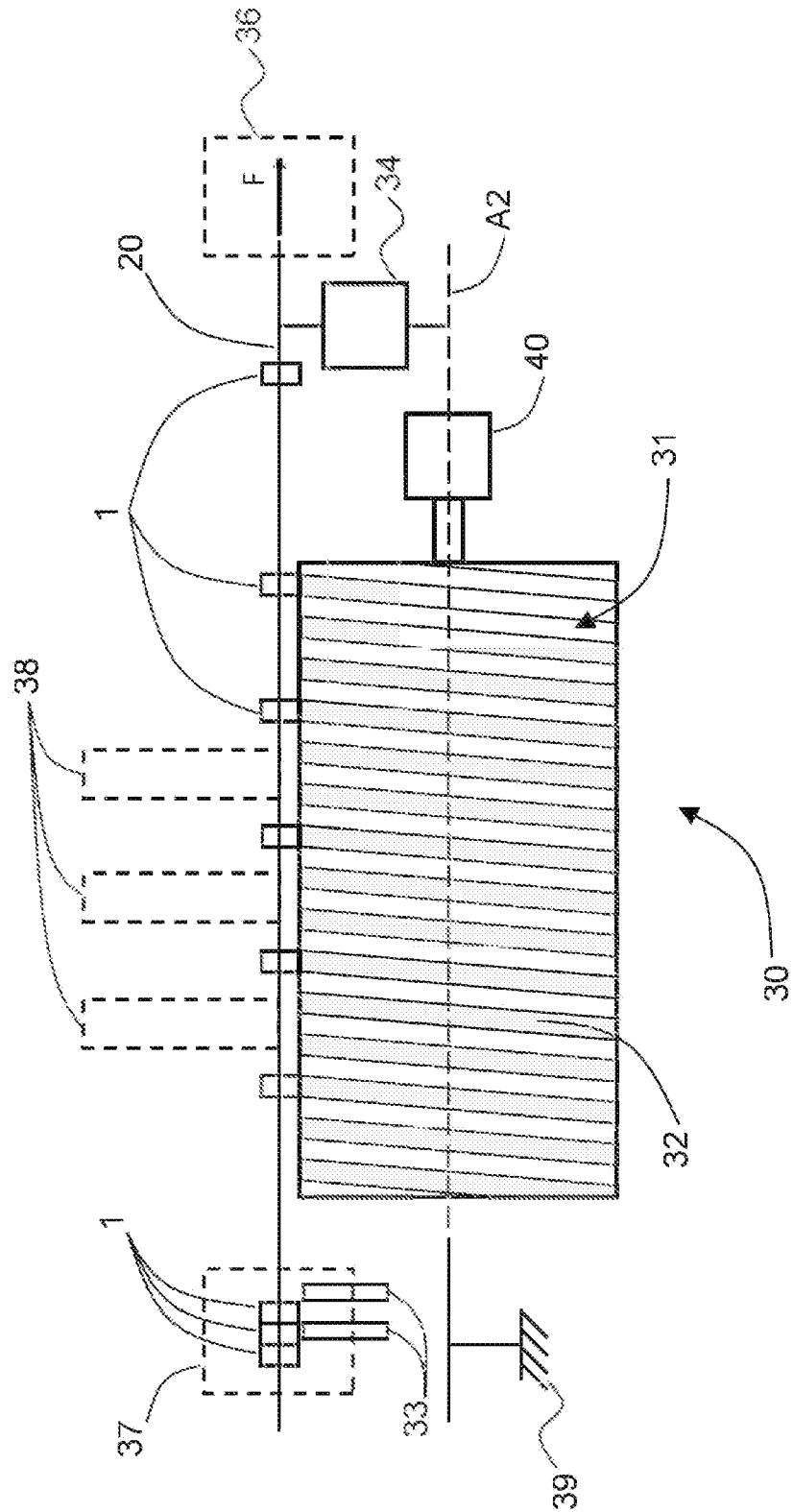


Figure 3

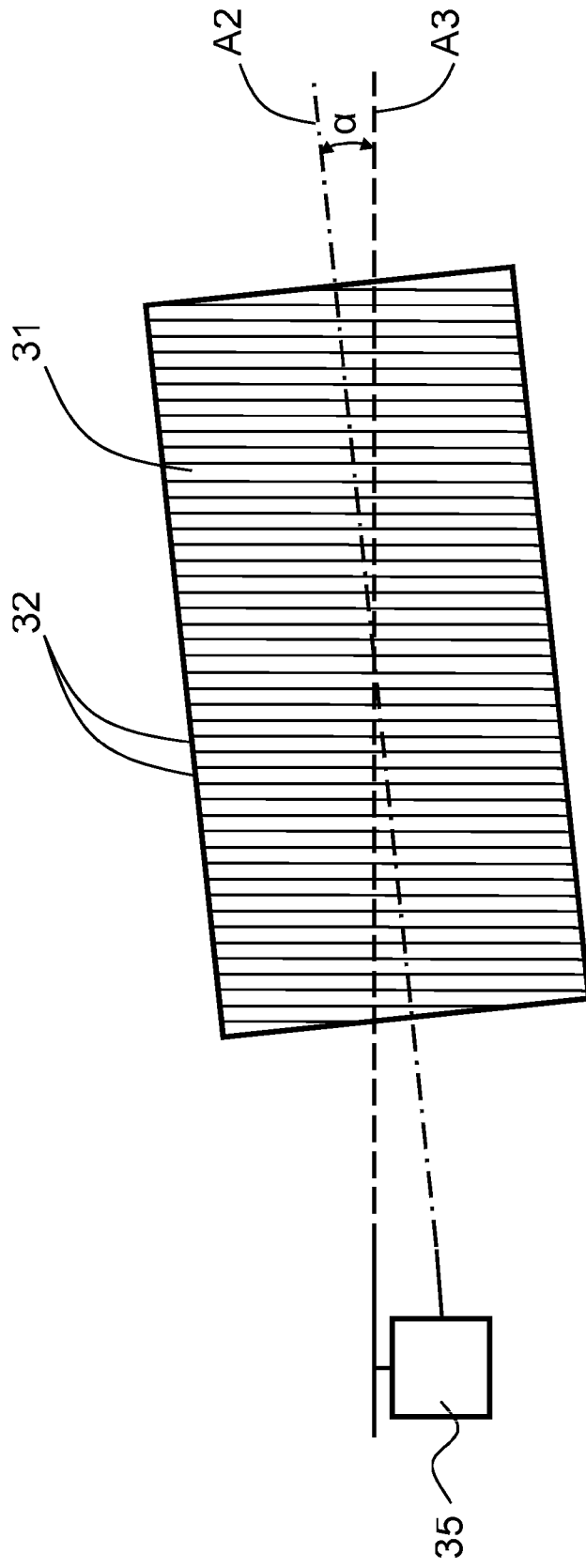


Figure 4

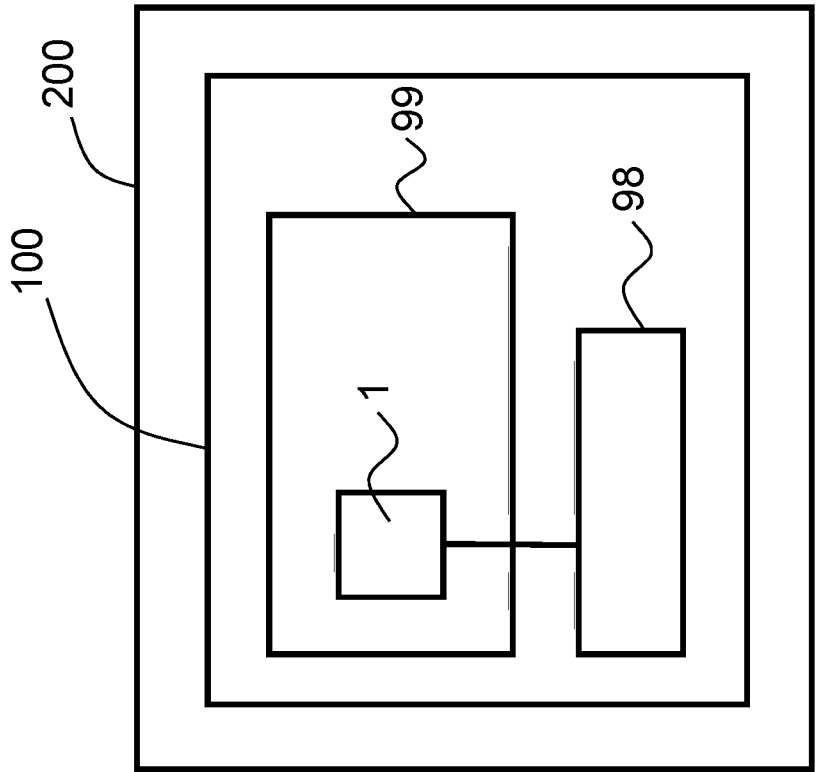


Figure 5

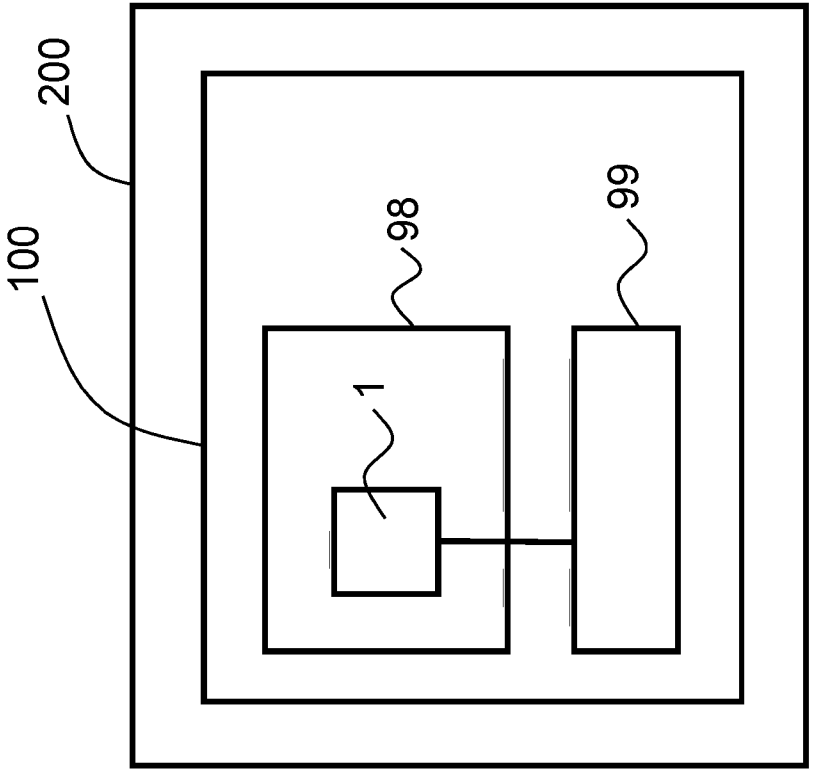


Figure 6

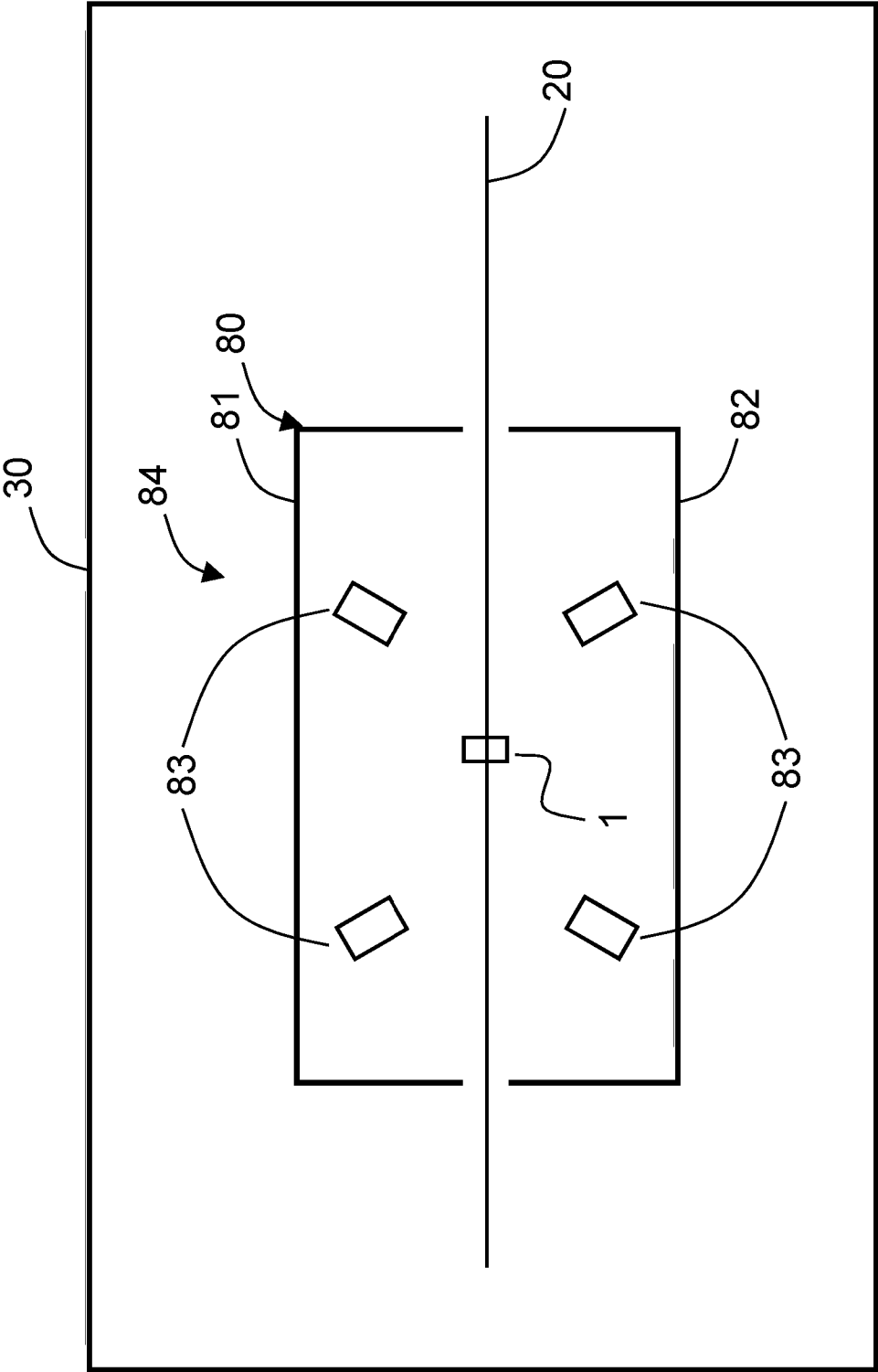


Figure 7