

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **718 550 A2**

(51) Int. Cl.: **G04B** 13/02 (2006.01)
G04B 17/32 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)
G04B 43/00 (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: 00416/21

(71) Requérant:
Acrotec R&D SA, Route de l'Europe 7
2017 Boudry (CH)

(22) Date de dépôt: 20.04.2021

(72) Inventeur(s):
Philippe Jacot, 2022 Bevaix (CH)
Ivan Calderon, 2014 Bole (CH)

(43) Demande publiée: 31.10.2022

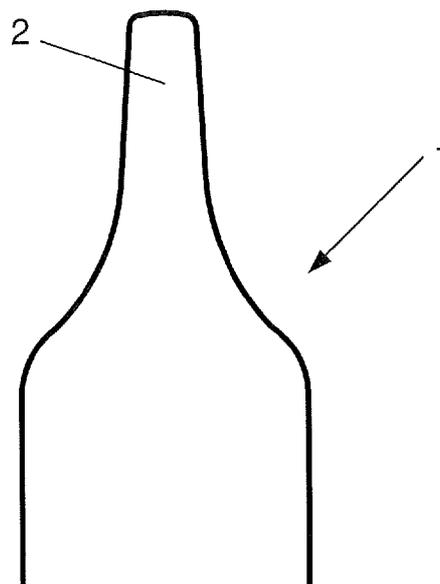
(74) Mandataire:
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété
intellectuelle, Rue des Noyers 11
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Axe de pivotement horloger et procédé de fabrication d'un tel axe de pivotement horloger.**

(57) La présente invention concerne un axe de pivotement horloger (1) comprenant au moins un pivot (2) à au moins une de ses extrémités, au moins ledit pivot (2) étant entièrement réalisé en verre métallique.

La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel axe de pivotement horloger (1), ledit procédé comprenant :

- a) une étape de fabrication d'une ébauche de l'axe de pivotement horloger (1) comprenant, à au moins une extrémité, au moins une partie constituée de verre métallique et destinée à constituer un pivot; et
- b) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de verre métallique afin d'obtenir au moins un pivot (2) entièrement réalisé en verre métallique fini.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un axe de pivotement horloger comprenant au moins un pivot à au moins une de ses extrémités.

[0002] La présente invention concerne également un mouvement horloger et une pièce d'horlogerie comprenant un tel axe de pivotement horloger.

[0003] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel axe de pivotement horloger.

Etat de la technique

[0004] De tels axes de pivotement horlogers sont utilisés pour le montage en rotation de composants horlogers, tels que les balanciers.

[0005] Traditionnellement, un axe de pivotement horloger est fabriqué en acier à partir d'une barre en acier trempable. La fabrication d'un tel axe en acier consiste à réaliser des opérations de décolletage de précision pour définir différentes surfaces actives (portée, épaulement, pivots etc.) puis à soumettre l'axe décolleté à des opérations de traitement thermique comprenant au moins une trempe pour améliorer la dureté de l'axe et un ou plusieurs revenus pour en améliorer la ténacité. Les opérations de traitements thermiques sont suivies d'une opération de roulage des pivots des axes, opération qui consiste à polir les pivots pour les amener aux dimensions requises. Au cours de cette opération de roulage, la dureté ainsi que la rugosité des pivots sont encore améliorées via un écrouissage de surface. On obtient ainsi, en fin de processus, un axe présentant des pivots aux dimensions, dureté et rugosité requises. Il est à noter que le roulage peut difficilement être mis en œuvre avec des matériaux dont la dureté est supérieure à 600 HV.

[0006] Les axes de pivotement horlogers, et notamment les axes de précision tels que les axes de balancier, utilisés classiquement dans les mouvements d'horlogerie mécaniques, sont réalisés dans des nuances d'aciers de décolletage qui sont généralement des aciers martensitiques au carbone incluant du plomb et des sulfures de manganèse pour améliorer leur usinabilité. Un acier de ce type connu, désigné 20 AP, est typiquement utilisé pour ces applications. Des alternatives sans plomb comme la nuance Finemac sont aussi utilisées.

[0007] Ce type de matériau a l'avantage d'être facilement usinable, en particulier d'être apte au décolletage et présente, après des traitements de trempe et de revenu adéquats, des propriétés mécaniques élevées très intéressantes pour la réalisation d'axes de pivotement horlogers. Ces aciers présentent en particulier une résistance à l'usure et une dureté après traitement thermique élevées. Typiquement la dureté des pivots d'un axe réalisé en acier 20 AP peut atteindre une dureté de surface dépassant les 700 HV après traitement thermique et roulage.

[0008] Bien que fournissant des propriétés mécaniques satisfaisantes pour les applications horlogères décrites ci-dessus, ce type de matériau présente l'inconvénient d'être magnétique et de pouvoir perturber la marche d'une montre après avoir été soumis à un champ magnétique, et ce notamment lorsque ce matériau est utilisé pour la réalisation d'un axe de balancier coopérant avec un balancier spiral en matériau ferromagnétique. On notera également que ces aciers martensitiques sont également sensibles à la corrosion.

[0009] Pour tenter de remédier à ces inconvénients, une solution a été proposée, consistant à utiliser des aciers inoxydables austénitiques qui présentent la particularité d'être amagnétiques, c'est-à-dire du type paramagnétique, diamagnétique ou antiferromagnétique, dont la perméabilité magnétique relative est inférieure ou égale à 1.01.

[0010] Toutefois, ces aciers austénitiques présentent une structure cristallographique ne permettant pas de les tremper et d'atteindre des duretés et donc des résistances à l'usure compatibles avec les exigences requises pour la réalisation d'axes de pivotement horlogers. Un moyen d'augmenter la dureté de ces aciers est l'écrouissage, toutefois cette opération de durcissement ne permet pas d'obtenir des duretés supérieures à 500 HV pour ce type de matériau. Par conséquent, dans le cadre de pièces nécessitant une grande résistance à l'usure par frottement et devant avoir des pivots ne présentant pas ou peu de risques de casse ou de déformation, l'utilisation de ce type d'aciers reste limitée.

[0011] Une autre solution proposée a consisté à déposer sur les axes de pivotement des couches dures de matériaux tels que le carbone amorphe connu sous la dénomination anglaise „diamond like carbon“ (DLC). Or, on a constaté des risques importants de délamination de la couche dure et donc la formation de débris qui peuvent circuler à l'intérieur du mouvement horloger et venir perturber le fonctionnement de ce dernier, ce qui n'est pas satisfaisant.

[0012] Une autre approche a été envisagée pour remédier aux inconvénients des aciers inoxydables austénitiques, à savoir le durcissement superficiel de ces axes de pivotement par nitruration, carburation ou nitrocarburation. Toutefois ces traitements sont connus pour entraîner une perte importante de la résistance à la corrosion en raison de la réaction de l'azote et/ou du carbone avec le chrome de l'acier et la formation de nitrure de chrome et/ou de carbure de chrome causant un appauvrissement localisé de la matrice en chrome, ce qui est préjudiciable pour l'application horlogère souhaitée.

[0013] Une opération supplémentaire de dépôt de Ni chimique semble nécessaire afin de pallier ces problèmes de corrosion, ce qui complique et renchérit fortement le processus de fabrication.

[0014] D'autres approches existent encore, comme les réalisations en alliages de titane, métal dur, certains oxydes ou céramiques. Toutefois l'utilisation de ces matériaux ne permet pas d'obtenir des performances satisfaisantes propres aux axes de pivotement horlogers, autres que l'amagnétisme.

[0015] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients en proposant un axe de pivotement horloger, et plus particulièrement un axe de pivotement amagnétique, présentant les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de résistance à l'usure et aux chocs requises dans le domaine horloger, mais également limitant la sensibilité aux champs magnétiques.

[0016] Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de fabrication d'un tel axe de pivotement horloger, notamment un axe de pivotement amagnétique, et plus particulièrement un axe de précision, permettant une réalisation extrêmement simple et économique.

Divulgateion de l'invention

[0017] A cet effet, l'invention concerne un axe de pivotement horloger comprenant au moins un pivot à au moins une de ses extrémités.

[0018] Selon l'invention, au moins ledit pivot est entièrement réalisé en verre métallique.

[0019] D'une manière particulièrement avantageuse, l'axe de pivotement horloger est intégralement réalisé en verre métallique.

[0020] Avantagusement, ledit axe de pivotement horloger est agencé pour former un axe de balancier.

[0021] Ainsi, la dureté de surface des pivots de l'axe de pivotement horloger selon l'invention est celle du verre métallique, atteignant et même dépassant des valeurs de 700 HV.

[0022] De plus, l'utilisation de verre métallique permet d'obtenir un axe de pivotement horloger qui présente une déformation élastique supérieure ou égale à 2%, soit nettement plus élevée que celle des axes de pivotement horlogers connus.

[0023] En outre, le coefficient de frottement du verre métallique étant très faible, le pivot peut présenter un coefficient de frottement inférieur ou égal à 0.2 sans lubrification.

[0024] De plus, le verre métallique est amagnétique et présente une grande résistance à la corrosion.

[0025] De ce fait, toutes les performances d'un axe de pivotement horloger amagnétique actuel se trouvent améliorées.

[0026] La présente invention concerne également un mouvement horloger et une pièce d'horlogerie comprenant un axe de pivotement horloger tel que défini ci-dessus.

[0027] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger tel que défini ci-dessus, ledit procédé comprenant :

- a) une étape de fabrication d'une ébauche de l'axe de pivotement horloger comprenant, à au moins extrémité, au moins une partie constituée de verre métallique et destinée à constituer un pivot ; et
- b) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de verre métallique afin d'obtenir au moins un pivot entièrement réalisé en verre métallique fini.

[0028] Le procédé selon l'invention permet de diminuer notablement le temps de production et de réduire le nombre d'opérations nécessaires pour la fabrication d'un axe de pivotement horloger, réalisé dans un matériau amagnétique tout en présentant les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de résistance à l'usure et aux chocs requises dans le domaine horloger, par comparaison avec les axes de pivotement horlogers fabriqués traditionnellement à partir de différents alliages métalliques. De façon remarquable, le procédé selon l'invention permet d'éviter les opérations de traitement thermique (trempes, revenus, recuits, etc.) ainsi que les opérations de roulage.

Brève description des dessins

[0029] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématisée d'un pivot d'un axe de pivotement selon l'invention; et
- la figure 2 est une représentation schématique des étapes d'un procédé selon l'invention.

Modes de réalisation de l'invention

[0030] En référence à la figure 1, la présente invention concerne un axe de pivotement horloger 1 comprenant au moins un pivot 2 à au moins une de ses deux extrémités. Classiquement, l'axe de pivotement 1 comprend un pivot 2 à chacune

de ses extrémités, lesdits pivots présentant une surface de révolution, et étant destinés à venir chacun pivoter dans un palier, typiquement dans un orifice d'une pierre ou rubis.

[0031] Le pivot 2 présente un diamètre extérieur inférieur ou égal à 200 µm, de préférence inférieur ou égal à 100 µm, préférentiellement inférieur ou égal à 90 µm, et plus préférentiellement inférieur ou égal à 70 µm.

[0032] De préférence, l'axe de pivotement horloger 1 est un axe de balancier, comportant une pluralité de sections de diamètres différents, définissant classiquement des portées et des épaulements arrangés le long d'un tigeon entre deux portions d'extrémité définissant les deux pivots, une seule extrémité étant représentée ici sur la figure 1. Bien évidemment, d'autres types d'axes de pivotement horlogers sont envisageables comme par exemple des axes de mobiles horlogers, typiquement des pignons d'échappement, ou encore des tiges d'ancre. Les pièces de ce type présentent au niveau du corps des diamètres inférieurs de préférence à 2 mm, et des pivots de diamètre inférieur de préférence à 0.2 mm comme décrit ci-dessus, avec une précision de quelques microns.

[0033] Selon l'invention, au moins le pivot 2 est entièrement réalisé en verre métallique, appelé également alliage métallique amorphe. Cela signifie que le pivot 2 est intégralement constitué de verre métallique, et que le matériau constitutif d'au moins du pivot 2, et de préférence de tout l'axe de pivotement horloger 1, est un verre métallique, aucun autre matériau n'étant utilisé.

[0034] À la différence des verres d'oxyde classiques constitués de molécules de type SiO₂, les verres métalliques ou alliages métalliques amorphes sont principalement constitués d'atomes d'éléments métalliques qui forment une phase amorphe. Ils ne contiennent donc pas d'éléments tels que le carbone, l'oxygène ou l'azote. Ce ne sont donc pas des céramiques qui concernent les matériaux solides non métalliques et inorganiques.

[0035] La formation d'un verre métallique consiste à refroidir le métal fondu à une vitesse suffisamment rapide pour éviter toute cristallisation. Les règles de base concernant la formation des verres métalliques sont désormais connues de l'homme du métier et ne nécessitent pas ici de description détaillée.

[0036] Il existe de nombreuses familles d'alliages métalliques amorphes. On trouve ainsi par exemple les alliages à base de Nickel (Ni_{71,4}Cr_{5,5}Nb_{3,4}P₁₆B₃), à base de Palladium (Pd₇₉Ag₃₅P₆Si₉₅Ge₂), les alliages de Cuivre - Zirconium (Cu₆₄Zr₃₆, Cu₄₆Zr₄₂Al₇Y₅, Cu₄₆Zr₅₄, Cu₅₀Zr₄₅Ti₅), les alliages de Zirconium divers (Zr₂Ni_xCu_(1-x), Zr₄₁Ti₁₄Cu₁₃Ni₁₀Be₂₂, Zr₅₅Cu₃₀Al₁₀Ni₅, Zr₅₇Nb₅Al₁₀Cu_{15,4}Ni_{12,6} ou Zr₆₁Ti₄Nb₄Cu₁₄Ni₉Al₉) les alliages de Titane - Cuivre - Nickel (Ti₃₄Cu₄₇Ni₈Zr₁₁, Ti₅₀Cu₂₈Ni₁₅Sn₇), les alliages d'Aluminium - Yttrium - Fer (Al₈₅Y₁₀Fe₅, Al₈₈Y₉Fe₅, Al₈₈Y₅Fe₇) ou enfin les alliages de Magnésium - Cuivre (Mg₅₃Cu₃₇Nd₁₀, Mg₆₅Cu₂₅Tb₁₀).

[0037] Avantagusement, l'axe de pivotement horloger est intégralement constitué de verre métallique. Toutefois, l'utilisation de verre métallique peut être limitée aux pivots et au tigeon de l'axe.

[0038] D'une manière particulièrement avantageuse, le verre métallique est choisi pour être amagnétique de sorte que l'axe de pivotement horloger selon l'invention présente l'avantage d'être amagnétique afin de limiter sa sensibilité aux champs magnétiques.

[0039] Par exemple, on peut utiliser l'alliage Pd₇₉Ag_{35,5}P₆Si_{95,5}Ge₂ ou bien l'alliage Ni_{71,4}Cr_{5,5}Nb_{3,4}P_{16,7}B_{3,0}.

[0040] D'une manière particulièrement avantageuse, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention, présente une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV), du fait de l'utilisation de verre métallique. Les méthodes d'essais de dureté Vickers sont définies dans les normes suivantes ASTM C1327 et ISO 6507.

[0041] D'une manière particulièrement avantageuse, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 µm, de préférence inférieure ou égale à 0.1 µm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses. La rugosité Ra est définie selon la norme ISO 4287.

[0042] Du fait de l'utilisation de verre métallique, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente une déformation élastique (pourcentage d'allongement dans la direction de traction) supérieure ou égale à 0.5%, de préférence supérieure ou égale à 1.5%.

[0043] L'utilisation de verre métallique permet de réduire de façon très drastique le coefficient de frottement.

[0044] De ce fait, d'une manière particulièrement avantageuse, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente un coefficient de frottement très faible, inférieur ou égal à 0.2, de préférence inférieur ou égal à 0.1.

[0045] De plus, d'une manière particulièrement avantageuse, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente une ténacité supérieure ou égale à 100 MPa.m^{1/2}, de préférence supérieure ou égale à 200 MPa.m^{1/2} et une résistance à la traction Rm supérieure ou égale à 800 MPa, de préférence supérieure ou égale à 1000 MPa.

[0046] D'une manière particulièrement avantageuse, le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente un module de Young supérieur ou égal à 40 GPa, de préférence supérieur ou égal à 100 GPa.

[0047] Le module d'Young, le pourcentage de déformation élastique, la ténacité et la résistance à la traction sont mesurés et calculés par des essais de traction-compression connus de l'homme du métier.

[0048] Outre le fait d'être amagnétique, le verre métallique choisi est résistant à la corrosion.

[0049] Ainsi, outre le fait d'être amagnétique, au moins le pivot 2, et de préférence l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présente toutes les performances satisfaisantes propres aux axes de pivotement horlogers pour lesquels on recherche, en surface, une dureté supérieure à 700 HV afin de résister à l'usure, un coefficient de frottement faible pour limiter la lubrification, un état lisse ($R_a < 0.5 \mu\text{m}$) pour le frottement et l'isochronisme, une résistance à la corrosion, et pour lesquels on recherche un cœur présentant une rigidité, une ténacité et une résistance à la rupture R_m élevées (haute limite élastique).

[0050] L'invention se rapporte également au procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger 1 tel que décrit ci-dessus. Le procédé selon l'invention comporte avantageusement les étapes suivantes, décrites en relation avec la figure 2 :

- a) une étape de fabrication d'une ébauche de l'axe de pivotement horloger 1 comprenant, à au moins une de ses deux extrémités, au moins une partie constituée intégralement de verre métallique et destinée à constituer un pivot ; et
- b) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée intégralement de verre métallique afin d'obtenir au moins un pivot entièrement réalisé en verre métallique fini, c'est-à-dire qui présente sa configuration finale, c'est-à-dire toutes les caractéristiques requises pour son utilisation et sa fonction en tant qu'axe de pivotement, notamment en termes de dureté, de rugosité, de dimensions et de géométrie, et qui ne nécessite donc plus aucune autre étape de traitement ultérieure.

[0051] D'une manière avantageuse, l'axe de pivotement horloger 1 est constitué entièrement de verre métallique. Dans ce cas, l'étape a) peut être réalisée par moulage par injection. En effet, l'injection de ces alliages est très semblable à celle des thermoplastiques et des équipements actuels (par exemple la société Engel) sont proposés sur le marché.

[0052] Si nécessaire, les ébauches fabriquées lors de l'étape a) sont produites avec des cotes prévues pour la reprise.

[0053] D'une manière avantageuse, le procédé selon l'invention comprend, entre l'étape a) et l'étape b), une étape intermédiaire a') d'usinage de l'ébauche de l'axe de pivotement réalisée lors de l'étape a). Cette étape d'usinage peut être par exemple une étape de trovalisation de l'ébauche. Lors de cette étape a'), on peut obtenir des états de surface intermédiaire avec une rugosité R_a de l'ordre de 200 nm à 500 nm par exemple.

[0054] Si nécessaire, les ébauches réalisées lors de l'étape a) et/ou de l'étape a') peuvent présenter une surépaisseur minimale, permettant d'obtenir les caractéristiques géométriques finales souhaitées lors de l'étape de finition b).

[0055] Après l'étape a) ou après l'étape a') vient ensuite l'étape b) de reprise et finition de l'axe de pivotement horloger, ou au moins de sa partie constituée intégralement de verre métallique destinée à constituer un pivot, par un usinage de précision sans force.

[0056] Dans la présente description, on appelle usinage sans force un usinage non conventionnel selon lequel il n'y a pas d'action mécanique transmise par contact direct et effort entre un outil et la pièce, contrairement à un usinage conventionnel où il existe un contact direct entre l'outil et la pièce et dans lequel d'importantes forces de coupe sont impliquées. Un usinage sans force est donc un usinage sans contact direct entre la pièce à usiner et un outil d'usinage qui serait susceptible d'exercer un effort ou une contrainte sur ladite pièce.

[0057] D'une manière avantageuse, l'usinage de précision sans force réalisé lors de l'étape b) est un processus d'enlèvement de matière sans force par un tournage par femto laser, un tournage électrochimique (ECM), ou un tournage par électroérosion (par exemple EDM par fil).

[0058] Les opérations d'usinage de cette étape se font avantageusement par microusinage au laser pulsé femto seconde avec un laser de longueurs d'onde comprises par exemple entre 200 nm et 2000 nm, de préférence entre 400 nm et 1 000 nm, bornes incluses. Les paramètres du laser peuvent être par exemple : puissance moyenne entre 1 W et 100 W, énergie par pulse entre 20 μJ et 4000 μJ , fréquence entre 100 kHz et 1000 kHz, durée d'impulsion entre 100 fs et 2 ps.

[0059] Les méthodes d'usinage ECM (electrochemical machining) et EDM (electrical discharge machining) peuvent aussi être utilisées pour l'étape de finition.

[0060] Grâce à l'usinage de précision sans force, notamment par femto laser, cette opération de finition selon l'étape b) permet d'atteindre des états de surface avec une rugosité R_a de préférence inférieure ou égale à 100 nm. De préférence, au moins le pivot en verre métallique fini obtenu à l'étape b) présente une rugosité R_a inférieure ou égale à 0.5 μm , et de préférence inférieure ou égale à 0.1 μm , de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses, ce qui permet d'éviter les opérations de roulage.

[0061] Ainsi, de manière particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention ne comprend aucune étape de roulage, notamment après l'étape b) puisque le pivot intégralement réalisé en verre métallique finie obtenu à l'étape b) présente déjà les dimensions, la dureté et la rugosité requises, qui sont traditionnellement obtenues seulement après une opération de roulage. Ainsi, aucune étape de traitement tribologique, notamment aucune tribofinition, n'est nécessaire après l'étape b),

[0062] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir un axe de pivotement horloger amagnétique présentant toutes les propriétés mécaniques requises, notamment une haute limite élastique, une dureté très élevée, une très faible rugosité, de manière simple et économique. En effet, le procédé selon l'invention permet d'éviter les opérations de traitement thermique (trempes, revenus, recuits) et de roulage traditionnellement utilisées, de sorte que le nombre d'opérations nécessaires à la fabrication de l'axe de pivotement horloger est réduit, le temps de production étant considérablement diminué.

Revendications

1. Axe de pivotement horloger (1) comprenant au moins un pivot (2) à au moins une de ses extrémités, caractérisé en ce qu'au moins ledit pivot (2) est entièrement réalisé en verre métallique.
2. Axe de pivotement horloger (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le verre métallique est amagnétique.
3. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est intégralement réalisé en verre métallique.
4. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 μm , et de préférence inférieure ou égale à 0.1 μm , de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.
5. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV.
6. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le pivot (2) présente un coefficient de frottement inférieur ou égal à 0.2, de préférence inférieur ou égal à 0.1.
7. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente une déformation élastique supérieure ou égale à 0.5%, de préférence supérieure ou égale à 1.5%.
8. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente une ténacité supérieure ou égale à 100 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, de préférence supérieure ou égale à 200 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, et une résistance à la traction Rm supérieure ou égale à 800 MPA, de préférence supérieure ou égale à 1000 MPA.
9. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente un module de Young supérieur ou égal à 40 GPa, de préférence supérieur ou égal à 100 GPa.
10. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le pivot (2) présente un diamètre extérieur inférieur à 200 μm , de préférence inférieur à 100 μm , préférentiellement inférieur à 90 μm , et plus préférentiellement inférieur à 70 μm .
11. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour former un axe de balancier.
12. Mouvement horloger comprenant un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 11.
13. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger selon la revendication 12 ou un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 11.
14. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 11, comprenant:
 - a) une étape de fabrication d'une ébauche de l'axe de pivotement horloger (1) comprenant, à au moins une extrémité, au moins une partie constituée de verre métallique et destinée à constituer un pivot (2); et
 - b) une étape de finition par usinage de précision sans force au moins de la partie constituée de verre métallique afin d'obtenir au moins un pivot (2) entièrement réalisé en verre métallique fini.
15. Procédé selon la revendication 14 dans lequel l'axe de pivotement horloger (1) est intégralement réalisé en verre métallique, caractérisé en ce que l'étape a) est réalisée par moulage par injection.
16. Procédé selon l'une des revendications 14 et 15, caractérisé en ce qu'il comprend, entre l'étape a) et l'étape b), une étape a') d'usinage de l'ébauche de l'axe de pivotement.
17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'usinage de l'ébauche de l'axe de pivotement de l'étape a') est une trovoalisation.
18. Procédé selon l'une des revendications 14 à 17, caractérisé en ce que l'usinage de précision sans force réalisé lors de l'étape b) est un tournage par femto laser, un tournage électrochimique, ou un tournage par électroérosion.

CH 718 550 A2

19. Procédé selon l'une des revendications 14 à 18, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) entièrement réalisé en verre métallique fini obtenu à l'étape b) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 0.5 μm , et de préférence inférieure ou égale à 0.1 μm , de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, plus préférentiellement inférieure ou égale à 10 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.
20. Procédé selon l'une des revendications 14 à 19, caractérisé en ce qu'il ne comprend aucune étape de roulage après l'étape b).

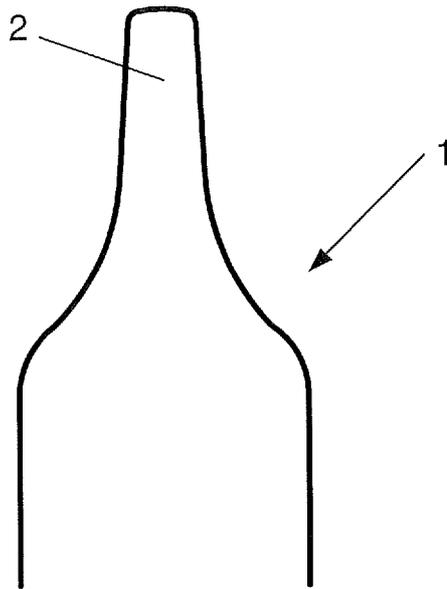


Fig. 1

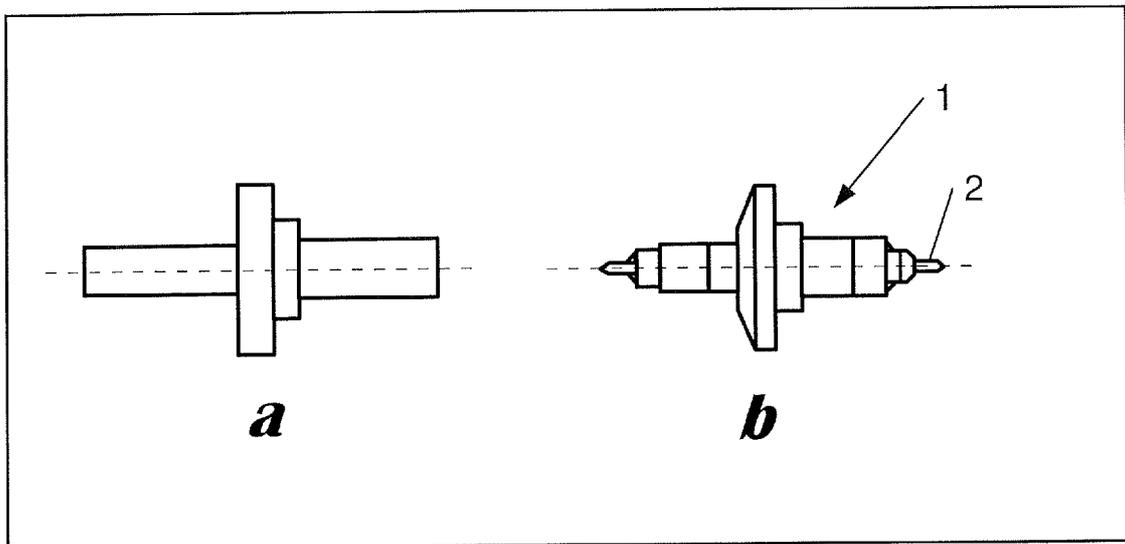


Fig. 2