

CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **718 551 A2**

**Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein**

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

(51) Int. Cl.: **G04B 13/02** (2006.01)  
**G04B 17/32** (2006.01)  
**G04B 43/00** (2006.01)  
**G04B 1/16** (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00417/21

(22) Date de dépôt: 20.04.2021

(43) Demande publiée: 31.10.2022

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

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

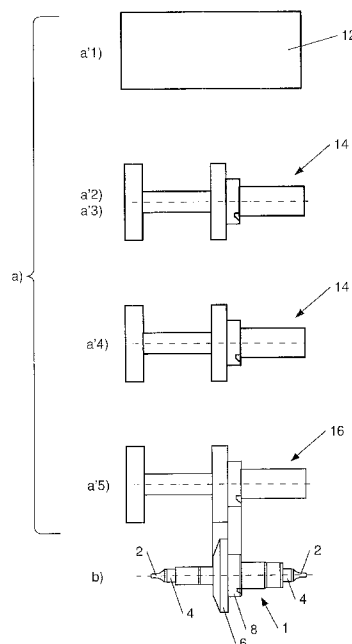
(74) Mandataire:  
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété  
intellectuelle, Rue des Noyers 11  
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un axe de pivotement de type horloger.**

(57) La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un axe de pivotement (1) agencé pour pouvoir être utilisé comme axe de pivotement horloger, ledit axe de pivotement (1) fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution de rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm et plus préférentiellement inférieure ou égale à 50 nm, lesdites portions fonctionnelles comprenant au moins un pivot (2) à au moins une extrémité de l'axe de pivotement (1). Le procédé comprend :

a) une étape de réalisation d'une ébauche d'axe (16) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, ladite ébauche d'axe (16) correspondant à la configuration fonctionnelle de l'axe de pivotement (1) fini, à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles; et

b) une étape de finition par un usinage de précision sans force au moins des parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement (1) fini.



## Description

### Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un axe de pivotement convenant à une utilisation dans un mouvement horloger, ledit axe fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution de rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm et plus préférentiellement inférieure ou égale à 50 nm, lesdites portions fonctionnelles comprenant au moins un pivot à au moins une extrémité de l'axe.

[0002] La présente invention concerne également un axe de pivotement horloger obtenu par la mise en oeuvre d'un tel procédé.

[0003] La présente invention concerne également un mouvement horloger et une pièce d'horlogerie comprenant un tel axe de pivotement horloger.

### Etat de la technique

[0004] Les axes des mouvements horlogers sont des composants importants du mouvement d'une montre. Notamment, l'axe de balancier est un composant essentiel de l'organe réglant horloger. Il comprend à chaque extrémité une partie fonctionnelle constituée par un tigeon se prolongeant par un pivot. Lors de chocs, les tigeons et les pivots de l'axe constituant des zones de moindre résistance mécanique sont prévus pour reprendre les efforts en jeu. Néanmoins, dans certains cas, notamment lors de chocs de forte intensité, les pivots peuvent être matés à l'encontre de leur palier respectif du fait de leurs faibles dimensions, notamment de leur faible diamètre.

[0005] L'axe de pivotement doit donc:

- avoir une haute limite élastique pour ne pas se déformer plastiquement lors de chocs importants,
- être tenace pour ne pas se rompre lors des chocs importants, et
- être dur, principalement au niveau des pivots, de manière à ne pas s'user ni se marquer lors des chocs courants, et afin d'optimiser le facteur de qualité et l'isochronisme de la pièce d'horlogerie qu'il équipe, l'axe étant constamment en mouvement.

[0006] Les axes horlogers sont traditionnellement décollétés pour définir différentes surfaces actives (portée, épaulement, pivots etc.) à partir de barres dans un acier 20AP ou Finemac, puis trempés. Un recuit de détente permet d'assurer une libération des contraintes internes et évite que ces axes ne se brisent comme du verre lors des chocs. Les pivots sont ensuite roulés pour obtenir l'état de surface et la dureté superficielle requis. La dureté atteint typiquement au moins 700 HV après traitement thermique et roulage. Toutefois, le recuit dégrade la limite élastique du matériau de l'axe.

[0007] Les axes en acier 20AP ou réalisés dans d'autres matériaux métalliques, qu'ils aient été durcis ou non, nécessitent cette opération de roulage au niveau des pivots pour en assurer la précision de fabrication, la tenue dans le temps, par rapport à l'usure mais également par rapport aux chocs, par rapport à la résistance à la corrosion ainsi que pour assurer le fonctionnement optimal du mouvement par la maîtrise des paramètres tribologiques.

[0008] Cette opération, qui consiste en des étapes de polissage et d'écrouissage superficiel de la surface du pivot, est complexe et délicate, et requiert un grand savoir-faire qui est fortement lié à la maîtrise du procédé par l'homme du métier qui l'applique.

[0009] Ces axes en acier 20AP ou en Finemac sont également ferromagnétiques et peuvent induire des perturbations de la marche si les mouvements dont ils sont équipés sont soumis à des champs magnétiques, par magnétisation résiduelle.

[0010] Des alternatives à ces axes en acier 20AP ou en Finemac existent, avec des axes en acier austénitique ou en alliages austénitiques à base de cobalt ou de nickel durcis par implantation d'ions carbone ou azote. Ils sont également roulés pour améliorer leurs propriétés. Des axes ont été réalisés dans un acier inoxydable austénitique de type 316L, dans le but de minimiser la sensibilité aux champs magnétiques, mais les résistances obtenues, de même que les duretés, sont en deçà des caractéristiques requises pour assurer la tenue à l'usure.

[0011] La solution d'y apposer un revêtement de type DLC (Diamond Like Carbon) a été essayée, mais des effets de délamination important ont été identifiés. De même, un traitement de surface par nitruration ou carburation destiné à former des nitrures ou des carbures de chrome aurait l'effet envisagé en termes de durcissement de la surface, mais entraînerait une perte de tenue en corrosion préjudiciable à la qualité des composants et du produit. La demande de brevet EP2757423 divulgue une solution de durcissement d'un acier austénitique ou d'un alliage de cobalt austénitique ou d'un alliage de nickel austénitique au moyen d'un traitement thermochimique, visant à intégrer dans les sites interstitiels du réseau cristallin de l'alliage des atomes de carbone ou d'azote destinés à renforcer la matière avant de procéder au roulage du pivot, tout en limitant les risques de corrosion de l'axe. Les duretés ainsi atteintes sont proches de 1000 HV, ce qui positionne théoriquement ce type de pièces à un meilleur niveau que les pièces en acier 20AP.

[0012] De tels axes nécessitent toutefois aussi un roulage au niveau des pivots pour atteindre la dimension finale, afin d'obtenir notamment un état de surface permettant d'obtenir des performances adéquates en termes de chronométrie. Une telle solution requiert à minima deux étapes de traitement de l'axe : une étape de durcissement superficielle suivie d'une deuxième étape de roulage.

[0013] Une alternative décrite dans la demande de brevet EP2757424 et permettant de s'affranchir du roulage est de constituer tout ou partie de l'axe, mais en tous les cas le ou les pivots, en matière métallique durcie par des particules dures en céramique (composite à matrice métallique ou MMC). Il s'agit d'une matière partiellement composée de particules de dureté supérieure ou égale à 1000 HV, de taille entre 0.1 et 5 microns. Les matières données en exemple comportent 92% des particules de carbure de tungstène (WC) intégrées à une matrice de nickel, qui sont mélangées avant d'être injectées dans un moule à la forme de l'axe. Après injection, l'ébauche ainsi obtenue est frittée et l'axe est poli, notamment au niveau des pivots, à l'aide d'une pâte diamantée. Un axe en composite à matrice métallique à 92% de WC et 8% de nickel présente une ténacité de 8 MPa.m<sup>1/2</sup> et une dureté supérieure à 1300 HV. Au vu des dimensions typiques des pivots, de l'ordre de 60 microns, et de l'importance de la concentricité et de l'état de surface, l'utilisation de composites comprenant des particules qui risquent de s'en détacher comporte un risque.

[0014] Comme déjà introduit, traditionnellement les axes horlogers sont fabriqués par des opérations de décolletage suivies d'opérations de finition (notamment: traitements thermiques, traitements de surfaces, tribofinition et roulage).

[0015] Des alternatives à ces méthodes existent, notamment le tournage au femto laser.

[0016] La demande de brevet EP 3 663 865 décrit un procédé qui utilise le chargement de barres de métal à usiner (par exemple de l'Inconel), similaire au chargement de barres pour le décolletage, le tournage laser sur toute la longueur de la barre, et une étape de finition tribologique, telle qu'une tribofinition. D'autre part, la demande de brevet CH 716 071 décrit un procédé d'usinage femto seconde combiné avec une phase de tournage sur toute la longueur de l'axe et une étape de finition par tribofinition pour la réalisation d'axes et pivots horlogers notamment dans des matériaux céramiques.

[0017] Toutefois, le taux d'enlèvement de matière avec ces procédés ne permet pas de réaliser une production efficace de composants par tournage laser. De plus, le tournage laser ne permet pas de tailler le composant pour former une denture. D'autre part, le chargement par barres (pour l'Inconel) rend très laborieuse l'obtention de :

- composants conformes géométriquement avec les tolérances usuelles pour ces usinages
- temps de cycle de production raisonnables.

[0018] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients en proposant un procédé de fabrication d'un tel axe de pivotement, permettant une réalisation extrêmement simple et économique, permettant d'augmenter la productivité, tout en permettant d'obtenir un axe de pivotement présentant toutes les propriétés mécaniques requises pour un axe de pivotement de type horloger, notamment en termes de ténacité, de dureté et de rugosité.

[0019] Un autre but de l'invention est de proposer un axe de pivotement de type axe de pivotement amélioré par rapport aux axes horlogers connus de l'art antérieur, présentant toutes les propriétés mécaniques requises pour un axe de pivotement de type horloger, notamment en termes limite élastique, de ténacité, de dureté, et comportant à ses extrémités des pivots présentant un état de surface poli amélioré par rapport aux pivots connus, afin d'optimiser le facteur de qualité et l'isochronisme de la pièce d'horlogerie qu'il équipe.

## Divulgation de l'invention

[0020] A cet effet, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un axe de pivotement agencé pour pouvoir être utilisé comme axe de pivotement horloger, ledit axe fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution de rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm et plus préférentiellement inférieure ou égale à 50 nm, lesdites portions fonctionnelles comprenant au moins un pivot à au moins une extrémité de l'axe.

[0021] Selon l'invention, ledit procédé comprend :

- a) une étape de réalisation d'une ébauche d'axe par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, ladite ébauche d'axe correspondant à la configuration fonctionnelle de l'axe de pivotement fini à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles; et
- b) une étape de finition par un usinage de précision sans force au moins des parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement fini dont les portions fonctionnelles présentent ladite rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm, et plus préférentiellement inférieure ou égale à 50 nm.

**[0022]** 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, tout en obtenant un axe qui présente les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences requises dans le domaine horloger, notamment en termes de dureté et de rugosité, 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 roulage.

**[0023]** Le procédé permet aussi d'optimiser le temps de passage effectif et le nombre des opérations de la gamme opératoire. D'autre part, la chaîne logistique se trouve très améliorée et optimisée par la combinaison de la suite d'opérations proposées par la méthode.

**[0024]** La présente invention concerne également un axe de pivotement horloger obtenu par le procédé tel que défini ci-dessus, comprenant au moins un pivot à au moins une de ses extrémités, au moins ledit pivot présentant une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV, et une rugosité Ra strictement inférieure à 10 nm, de préférence inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

**[0025]** L'axe de pivotement pour mouvement horloger selon l'invention est ultraprécis, et présente une dureté très élevée, ainsi qu'une rugosité extrêmement faible, permettant d'optimiser grandement le facteur de qualité et l'isochronisme de la pièce d'horlogerie dans laquelle il est utilisé.

**[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.

### **Breve description des dessins**

**[0027]** 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**

**[0028]** En référence à la figure 1, la présente invention concerne un axe de pivotement horloger 1 comprenant à chacune de ses extrémités au moins un pivot 2, dans le prolongement d'un tige 4. Classiquement, lesdits pivots présentent une surface de révolution, et sont destinés à venir chacun pivoter dans un palier, typiquement dans un orifice d'une pierre ou rubis.

**[0029]** L'axe de pivotement horloger 1 présente un diamètre inférieur ou égal à 2 mm et 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, quand l'axe de pivotement 1 est à l'état fini, prêt à être utilisé. Le pivot 2 est de type conique par exemple.

**[0030]** 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, tels que l'assiette 6 et la section 8 pour recevoir le balancier (non représenté), arrangés le long d'une tige 10 entre les deux portions d'extrémité définissant les deux pivots 2. 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, des arbres de barillet ou encore des tiges d'ancre. Dans ce cas, l'axe de pivotement peut comporter des éléments fonctionnels liés à son utilisation. Par exemple, l'axe peut comporter une denture, un taraudage ou un crochet pour la fixation du ressort dans le cas d'un arbre de barillet. 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.

**[0031]** Au moins les pivots 2 constituent des portions fonctionnelles, assurant une fonction de guidage pour assurer le pivotement de l'axe 1 dans ses paliers.

**[0032]** En plus des pivots 2, les portions fonctionnelles traitées selon l'invention peuvent comprendre d'autres sections de l'axe de pivotement 1, telles que les tige 4, l'assiette 6 et la section 8 pour recevoir le balancier. Dans la présente description, on définit les portions fonctionnelles comme étant les portions de l'axe de pivotement pour lesquelles notamment une certaine valeur de rugosité Ra est nécessaire pour assurer la fonction de ladite portion, par exemple le guidage pour les pivots ou le chassage pour l'assiette 6 et la section 8.

**[0033]** Au moins les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, sont réalisées dans des matériaux choisis de sorte que l'axe de pivotement horloger 1 obtenu 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 ( $\leq 0.2$ , de préférence  $\leq 0.1$ ), un état lisse ( $Ra < 0.5 \mu m$ ) pour le frottement et l'isochronisme, et pour lesquels on recherche un coeur présentant une rigidité, une ténacité et une résistance à la rupture  $R_m$  élevées (haute limite élastique).

**[0034]** Les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, présente(nt), à l'état fini, prêt à l'emploi, une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV. Les méthodes d'essais de dureté Vickers sont définies dans les normes suivantes ASTM C1327 et ISO 6507.

**[0035]** D'une manière particulièrement avantageuse, les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 présentent, à l'état fini, prêt à l'emploi, une rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm, de préférence inférieure ou égale à 50 nm, de préférence inférieure ou égale à 30 nm, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et plus préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm.

**[0036]** De préférence, les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 selon l'invention peuvent présenter, à l'état fini, prêt à l'emploi, une rugosité Ra strictement inférieure à 10 nm, de préférence inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

**[0037]** La rugosité Ra est définie selon la norme ISO 4287.

**[0038]** Les autres parties de l'axe de pivotement 1, différentes des portions fonctionnelles, peuvent présenter une rugosité supérieure ou égale à celle des portions fonctionnelles, par exemple une rugosité Ra de l'ordre de 50 nm à 200 nm.

**[0039]** De préférence, au moins le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, est réalisé en matériau métallique, en verre métallique, appelé également alliage métallique amorphe, ou à base de carbure de silicium.

**[0040]** Avantageusement, on peut utiliser comme matériau métallique, un acier durcissable, tel qu'un acier 20AP ou Finemac.

**[0041]** L'invention se rapporte également au procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger 1 tel que décrit ci-dessus.

**[0042]** Le procédé selon l'invention comporte avantageusement les étapes suivantes :

a) une étape de réalisation d'une ébauche d'axe par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, ladite ébauche d'axe correspondant à la configuration fonctionnelle de l'axe de pivotement 1 fini, c'est-à-dire que l'ébauche d'axe obtenue selon l'étape a), à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles, présente toutes les caractéristiques lui permettant d'assurer sa fonction et requises pour son utilisation en tant qu'axe de pivotement, notamment en termes de dureté, de rugosité, de dimensions et de géométrie, et ne nécessite donc plus aucune autre étape de traitement ultérieure pour modifier sa configuration fonctionnelle, à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles; et

b) une étape de finition par un usinage de précision sans force au moins des parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement entièrement fini, lesdites portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 obtenues selon l'étape b) présentant maintenant leur configuration fonctionnelle finale, de sorte que l'ensemble de l'axe présente toutes les caractéristiques requises pour son utilisation en tant qu'axe de pivotement, notamment en termes de dureté, de rugosité, de dimensions et de géométrie, et ne nécessite donc plus aucune autre étape de traitement ultérieure pour modifier sa configuration fonctionnelle. Notamment les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2, finis, présentent une rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm, 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 plus préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, et plus préférentiellement strictement inférieure à 10 nm, et plus préférentiellement inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

**[0043]** D'une manière avantageuse, l'ébauche d'axe est réalisée selon l'étape a) de sorte que les parties destinées à constituer les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 présentent, à l'issue de l'étape a), un diamètre supérieur de 2% à 20%, et de préférence de 5% à 15%, au diamètre des portions fonctionnelles correspondantes finies obtenues à l'étape b), permettant d'obtenir les caractéristiques géométriques finales souhaitées des portions fonctionnelles lors de l'étape de finition b).

**[0044]** L'ébauche d'axe réalisée lors de l'étape a) peut être réalisée par exemple par enlèvement de copeaux via un procédé de décolletage traditionnel ou d'usinage conventionnel, ou toute autre méthode d'enlèvement de matière différente d'un usinage de précision sans force, tel qu'un tournage par femto laser, un tournage électrochimique (ECM), ou un tournage par électroérosion (par exemple EDM par fil).

**[0045]** Lorsque l'axe de pivotement horloger 1 est constitué entièrement de verre métallique, l'étape a) peut être réalisée par moulage par injection.

**[0046]** D'une manière avantageuse, l'étape de réalisation de l'ébauche d'axe a) comprend les sous-étapes :

a1) fournir une première ébauche ;

a2) usiner ladite première ébauche par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, par exemple par un procédé de décolletage traditionnel ou d'usinage conventionnel ou toute autre méthode d'enlèvement de matière différente d'un usinage de précision sans force, pour obtenir ladite ébauche d'axe.

**[0047]** La sous-étape a2) peut comprendre une étape d'usinage de ladite première ébauche par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour former des éléments fonctionnels liés à l'utilisation de l'axe de pivotement, tel qu'un taillage, un taraudage ou un crochet de fixation du ressort dans le cas d'un arbre de barillet.

**[0048]** La sous-étape a2) peut également comprendre une étape de trovalisation (polissage mécano-chimique) de la première ébauche pour ébavurer la première ébauche, de manière à obtenir une ébauche d'axe présentant par exemple une rugosité Ra de l'ordre de 200 nm.

**[0049]** Si besoin, les première ébauches sont produites avec les cotes nécessaires pour obtenir un axe de pivotement présentant au final les caractéristiques géométriques recherchées, en tenant compte de toutes les étapes du procédé.

**[0050]** Après l'étape a) vient ensuite l'étape b) de reprise et finition au moins des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 de l'axe de pivotement horloger, par un usinage de précision sans force.

**[0051]** 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.

**[0052]** 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).

**[0053]** 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.

**[0054]** Les méthodes d'usinage ECM (electrochemical machining) et EDM (electrical discharge machining) peuvent aussi être utilisées pour l'étape de finition.

**[0055]** 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 Ra inférieure à 500 nm et de préférence inférieure ou égale à 100 nm. Plus particulièrement, en jouant sur la dernière profondeur de passe, sur la vitesse de rotation de l'axe de pivotement et sur l'oscillation du laser ajoutée à son mouvement primaire par rapport à l'ébauche d'axe, il est possible, d'une manière particulièrement avantageuse, d'obtenir à l'issue de l'étape b), au moins des portions fonctionnelles comprenant les pivots 2 finies qui présentent une rugosité Ra 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, et plus préférentiellement strictement inférieure à 10 nm, et plus préférentiellement inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

**[0056]** Les pivots 2 obtenus présentant une telle rugosité Ra, il n'est plus nécessaire de prévoir, après l'étape b) une étape de finition tribologique, telles qu'un roulage ou une tribofinition.

**[0057]** Ainsi, de manière particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention ne comprend, après l'étape b), aucune étape de finition tribologique, telles qu'un roulage ou une tribofinition puisque les portions fonctionnelles comprenant les pivots finies, obtenues selon l'étape b), présentent déjà les dimensions, la dureté et la rugosité requises, qui sont traditionnellement obtenues seulement après une opération de roulage et/ou de tribofinition.

**[0058]** Lorsque l'axe de pivotement est métallique, l'étape de réalisation de l'ébauche d'axe a) comprend avantageusement les sous-étapes suivantes, décrites en relation avec la figure 2 :

a'1) fournir une barre métallique 12 ;

a'2) usiner la barre métallique 12 par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, par exemple par un procédé de décolletage traditionnel tel qu'enlèvement de copeaux, par usinage conventionnel ou toute autre méthode d'enlèvement de matière différente d'un usinage de précision sans force, pour obtenir une première ébauche 14 ;

a'3) optionnellement usiner ladite première ébauche 14 par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour former des éléments fonctionnels liés à l'utilisation de l'axe de pivotement, tel qu'un taillage, un taraudage ou un crochet de fixation du ressort dans le cas d'un arbre de barillet ;

a'4) optionnellement traiter thermiquement la première ébauche 14 obtenue selon les étapes a'2) ou a'3) de manière à obtenir la dureté requise pour l'axe de pivotement 1 fini ;

a'5) optionnellement trovaliser la première ébauche 14 obtenue selon les étapes a'2) ou a'3) ou a'4) pour l'ébavurer;

de manière à obtenir ladite ébauche d'axe 16 après la mise en oeuvre de la dernière sous-étape a'2), a'3), a'4), ou a'5), ladite ébauche d'axe 16 correspondant à la première ébauche 14 si seule l'étape a'2) est mise en oeuvre.

**[0059]** A l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles comprenant les pivots 2, les tigerons 4, l'assiette 6 et la section 8 pour recevoir le balancier qui sont formées par un usinage traditionnel ou conventionnel, mais non finies, l'ébauche d'axe 16 obtenue selon l'étape a) présente sa configuration fonctionnelle finale, ne nécessitant plus de traitement ultérieur pour modifier sa configuration fonctionnelle.

**[0060]** D'une manière avantageuse, la sous-étape de traitement thermique a'4) comprend une trempe suivie d'un traitement thermique destiné à relaxer les contraintes et réalisé de manière à obtenir une ébauche d'axe 16 présentant une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV, correspondant à la dureté requise pour un axe de pivotement fini, ce qui permet d'éviter une opération de roulage ultérieure pour augmenter la dureté.

**[0061]** Puis les parties de l'ébauche d'axe 16 destinées à constituer les portions fonctionnelles sont traitées selon l'étape b) décrite ci-dessus pour obtenir l'axe de pivotement 1.

**[0062]** Il est possible de prévoir une étape supplémentaire de finition à but esthétique et non fonctionnel, par un usinage de précision sans force, des autres parties de l'axe de pivotement, différentes des portions fonctionnelles, afin d'abaisser leur rugosité Ra, par exemple à des valeurs inférieures à 50 nm, pour leur conférer un aspect brillant, qui a disparu lors de la sous-étape de traitement thermique a'4).

**[0063]** Le procédé selon l'invention permet d'obtenir un axe de pivotement horloger 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 l'opération de recuit ainsi qu'une opération finale de roulage et/ou de tribofinition 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.

**[0064]** Le procédé selon l'invention, prévoit, d'une manière avantageuse, de réaliser à l'étape a) une ébauche d'axe par des procédés standard et conventionnels, bien connus et maîtrisés par l'homme du métier, différents d'un usinage de précision sans force tel qu'un usinage par femto laser, dans laquelle les parties destinées à constituer les portions fonctionnelles comprenant les pivots sont formées mais non finies, de sorte que seules lesdites parties destinées à constituer les portions fonctionnelles subissent l'étape de finition b) par un usinage de précision sans force. De ce fait, il n'y a pas de perte superflue de matière.

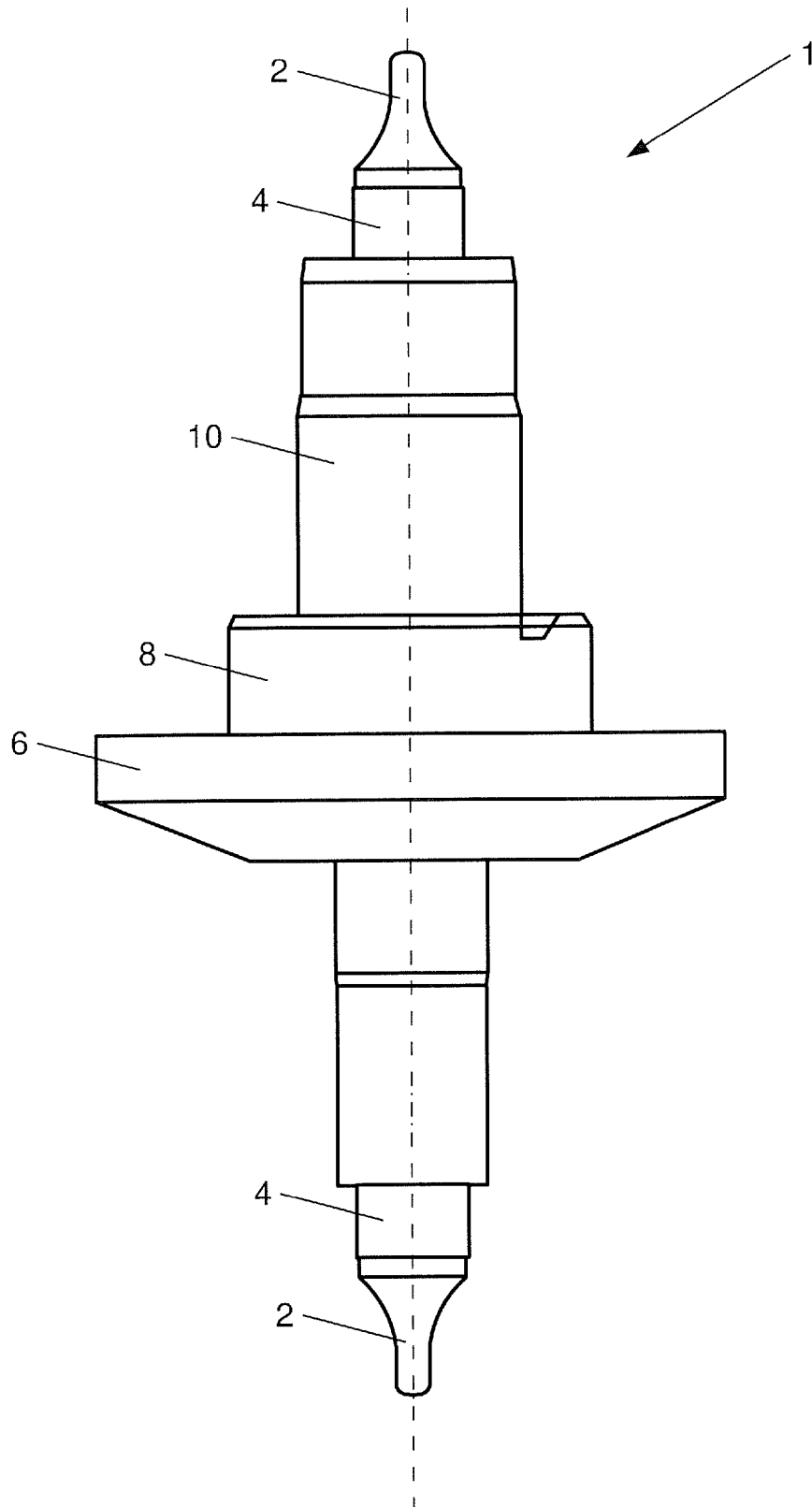
**[0065]** L'axe de pivotement décrit ici est configuré pour convenir de préférence aux applications horlogères, mais il est bien évident qu'il peut être utilisé dans toute autre application requérant la même configuration d'axe de pivotement.

## Revendications

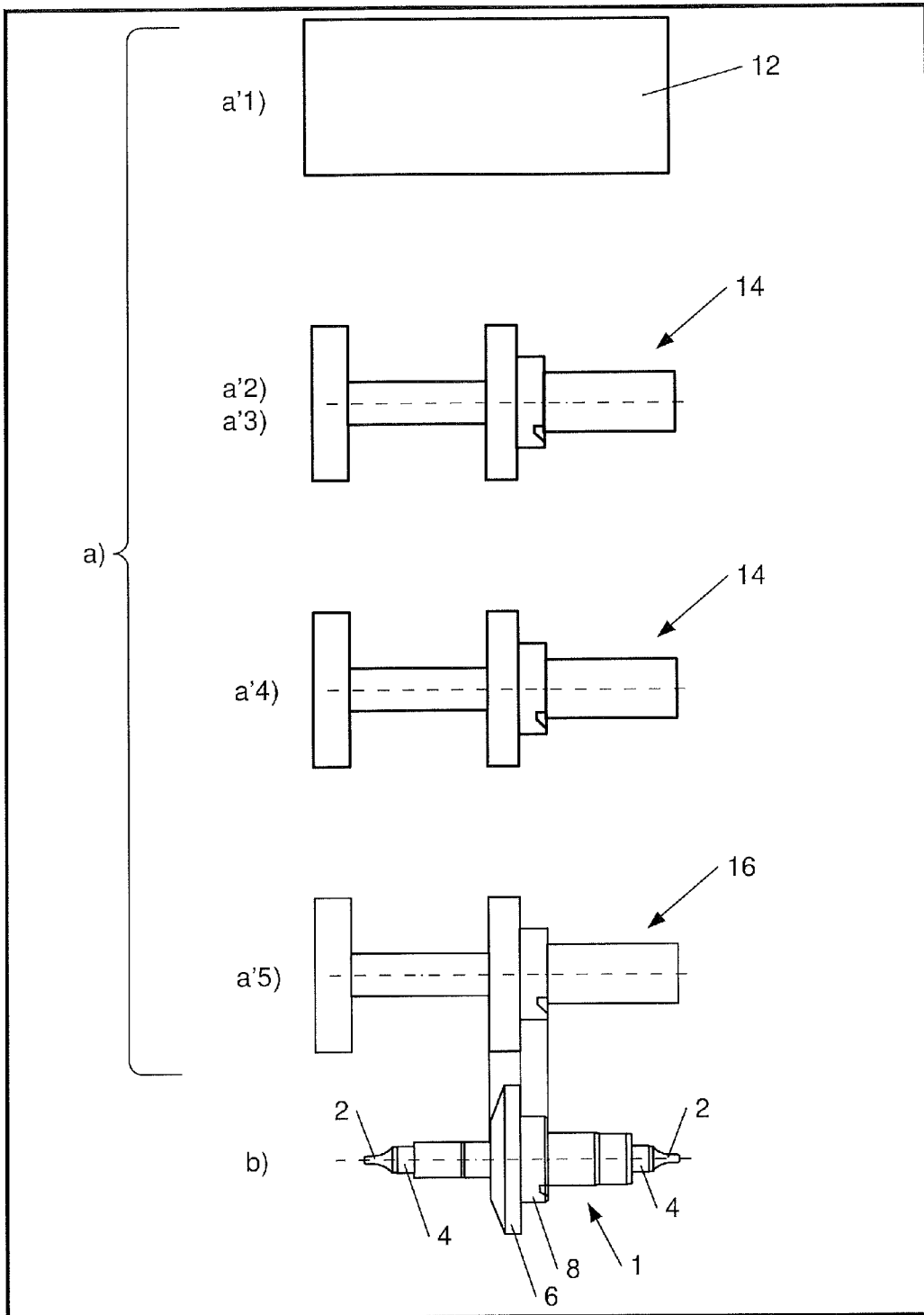
1. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement (1) agencé pour pouvoir être utilisé comme axe de pivotement horloger, ledit axe de pivotement (1) fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution de rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, de préférence inférieure ou égale à 100 nm et plus préférentiellement inférieure ou égale à 50 nm, lesdites portions fonctionnelles comprenant au moins un pivot (2) à au moins une extrémité de l'axe de pivotement (1), caractérisé en ce que ledit procédé comprend :
  - a) une étape de réalisation d'une ébauche d'axe (16) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force, ladite ébauche d'axe (16) correspondant à la configuration fonctionnelle de l'axe de pivotement (1) fini, à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles; et
  - b) une étape de finition par un usinage de précision sans force au moins des parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement (1) fini.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ébauche d'axe (16) est réalisée selon l'étape a) de sorte que les parties destinées à constituer les portions fonctionnelles présentent un diamètre supérieur de 2% à 20%, et de préférence de 5% à 15%, au diamètre des portions fonctionnelles correspondantes finies obtenues à l'étape b).
3. Procédé 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.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot fini (2) présente une rugosité Ra inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 15 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 12 nm, et plus préférentiellement strictement inférieure à 10 nm, et préférentiellement inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de pivotement (1) présente un diamètre inférieur ou égal à 2 mm.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de pivotement (1) est agencé pour former un axe de balancier.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, 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.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il ne comprend, après l'étape b), aucune étape de traitement tribologique, et notamment aucun roulage.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de réalisation a) de l'ébauche d'axe (16) comprend les sous-étapes :  
a1) fournir une première ébauche (14) ;  
a2) usiner ladite première ébauche (14) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour obtenir ladite ébauche d'axe (16).
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la sous-étape a2) comprend une étape d'usinage de ladite première ébauche (14) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour former des éléments fonctionnels liés à l'utilisation de l'axe de pivotement.
11. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la sous-étape a2) comprend une étape de trovalisation de la première ébauche (14).
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe de pivotement est métallique, de préférence en acier durcissable.
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'étape de réalisation de l'ébauche d'axe a) comprend les sous-étapes :  
a'1) fournir une barre métallique (12) ;  
a'2) usiner la barre métallique (12) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour obtenir une première ébauche (14) ;  
a'3) optionnellement usiner ladite première ébauche (14) par un procédé de fabrication n'utilisant pas d'usinage de précision sans force pour former des éléments fonctionnels liés à l'utilisation de l'axe de pivotement ;  
a'4) optionnellement traiter thermiquement la première ébauche (14) obtenue selon les étapes a'2) ou a'3) de manière à obtenir la dureté requise pour l'axe de pivotement (1) fini ;  
a'5) optionnellement trovaliser la première ébauche (14) obtenue selon les étapes a'2) ou a'3) ou a'4) ;  
de manière à obtenir ladite ébauche d'axe (16) après la mise en oeuvre de la dernière sous-étape a'2), a'3), a'4), ou a'5).
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que la sous-étape de traitement thermique a'4) comprend une trempe suivie d'un traitement thermique destiné à relaxer les contraintes et réalisé de manière à obtenir une ébauche d'axe (16) présentant une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV.
15. 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) présente une dureté de surface supérieure ou égale à 700 HV, et de préférence supérieure ou égale à 800 HV, et une rugosité Ra strictement inférieure à 10 nm, de préférence inférieure ou égale à 9 nm, et plus préférentiellement comprise entre 5 nm et 9 nm, bornes incluses.
16. Mouvement horloger comprenant un axe de pivotement horloger (1) selon la revendication 15.
17. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger selon la revendication 16 ou un axe de pivotement horloger (1) selon la revendication 15.





***Fig. 1***



**Fig. 2**