

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **720 150 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B** **13/02** (2006.01)
C22C **30/00** (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 001251/2022

(22) Date de dépôt: 24.10.2022

(43) Demande publiée: 30.04.2024

(24) Brevet délivré: 31.03.2025

(45) Fascicule du brevet publié: 31.03.2025

(73) Titulaire(s):
Acrotec R&D SA, Route de l'Europe 7
2017 Boudry (CH)

(72) Inventeur(s):
Ivan Calderon, 2014 Bôle (CH)
Philippe Jacot, 2022 Beviac (CH)

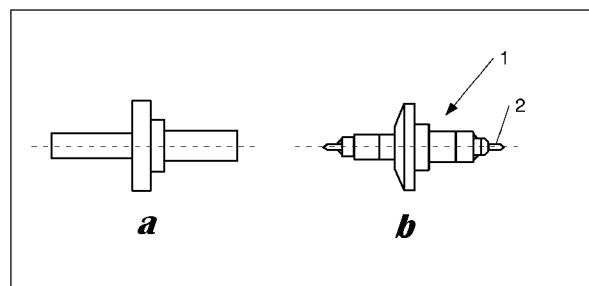
(74) Mandataire:
Bovard SA Neuchâtel, rue des Beaux-Arts 8
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Axe de pivotement horloger et procédé de fabrication dudit axe de pivotement horloger**

(57) Axe de pivotement horloger (1) comprenant au moins un pivot (2) à au moins une de ses extrémités. Ledit pivot (2) est entièrement réalisé dans un alliage à base de CoNiCr sans béryllium et comprenant en poids au moins 42% de cobalt, entre 20% et 30% de nickel, entre 10% et 18% de chrome, entre 2% et 5% de molybdène, entre 2% et 5% de tungstène, entre 2% et 10% de fer, entre 0% et 3% de titane, entre 0% et 2% d'aluminium, des impuretés éventuelles ayant chacune une teneur inférieure ou égale à 0.5%, la somme des différents éléments étant égale à 100% en poids.

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

- 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 dudit alliage à base de CoNiCr et destinée à constituer un pivot (2); et
- une dernière étape consistant en un usinage de précision sans force au moins de la partie constituée dudit alliage de l'ébauche obtenue à l'étape a) afin d'obtenir au moins un pivot (2) fini entièrement réalisé dans ledit alliage.



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] Une dernière approche est proposée dans la demande de brevet CH 716 669 qui décrit un procédé de fabrication d'un axe de balancier en verre métallique comprenant une étape de fabrication d'une ébauche en verre métallique ainsi qu'une étape de terminaison de l'ébauche pour obtenir l'arbre de balancier. L'étape de terminaison peut être précédée par une étape d'usinage. Pour obtenir un axe de balancier, cette étape d'usinage doit être suivie de l'étape de terminaison qui fait référence à des opérations de finition, telles que traitement de surfaces, rectification, roulage, polissage laser ou mécano-chimique, tribofinition ou polissage vrac. De telles étapes de terminaison présentent l'inconvénient de se faire au détriment de la qualité géométrique de la pièce (arrondissement des surfaces, pertes de précision, etc.). De plus, le polissage laser implique l'utilisation de laser continu ou de laser avec des durées d'impulsion allant jusqu'à 100 ns. Le laser attaque la pièce de façon normale à la surface à traiter, et met en fusion une partie de ladite surface, le lissage se faisant grâce à la tension interfaciale, sans enlèvement de matière. L'inconvénient est que le polissage laser se caractérise par une distribution de la rugosité Ra liée à la formation d'ondulations donnant un effet „mirage“.

[0016] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients en proposant un axe de pivotement horloger en un alliage métallique amagnétique, présentant les propriétés mécaniques compatibles avec les exigences de résistance à l'usure et aux chocs requises dans le domaine horloger, limitant la sensibilité aux champs magnétiques, et présentant au moins au niveau des pivots, une rugosité Ra extrêmement faible.

Divulcation de l'invention

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

[0018] Selon l'invention, ledit pivot est entièrement réalisé dans un alliage à base de CoNiCr sans béryllium et comprenant en poids :

- au moins 42% de cobalt
- entre 20% et 30% de nickel
- entre 10% et 18% de chrome
- entre 2% et 5% de molybdène
- entre 2% et 5% de tungstène
- entre 2% et 10% de fer
- entre 0% et 3% de titane
- entre 0% et 2% d'aluminium
- impuretés éventuelles ayant chacune une teneur inférieure ou égale à 0.5%, la somme des différents éléments étant égale à 100% en poids.

[0019] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger comprenant au moins un pivot à au moins une de ses extrémités, au moins ledit pivot étant entièrement réalisé dans l'alliage à base de CoNiCr 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 dudit alliage et destinée à constituer un pivot ; et
- b) une dernière étape consistant en un usinage de précision sans force au moins de la partie constituée dudit alliage de l'ébauche obtenue à l'étape a) afin d'obtenir au moins un pivot fini entièrement réalisé dans ledit alliage.

[0020] L'axe de pivotement horloger selon l'invention est 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.

[0021] D'une manière particulièrement avantageuse, l'axe de pivotement horloger est intégralement réalisé dans ledit alliage à base de CoNiCr.

[0022] Avantageusement, ledit axe de pivotement horloger est agencé pour former un axe de balancier.

[0023] Ainsi, la dureté de surface des pivots de l'axe de pivotement horloger selon l'invention est celle dudit alliage à base de CoNiCr, atteignant et même dépassant des valeurs de 750 HV.

[0024] De plus, ledit alliage à base de CoNiCr est amagnétique et résistant à la corrosion. En outre il est sans béryllium de sorte qu'il est compatible avec les réglementations les plus récentes.

[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.

Brève 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 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.

[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.

[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 qu'une assiette et une section pour recevoir le balancier, 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, des arbres de barillet ou encore des tiges d'ancre.

[0031] 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] En plus des pivots 2, les portions fonctionnelles traitées selon l'invention peuvent comprendre également d'autres sections de l'axe de pivotement 1, telles que les tigeons, l'assiette et la section 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 (par exemple $Ra < 0.5 \mu m$) est nécessaire pour assurer la fonction de ladite portion, par exemple le guidage pour les pivots ou le chassage pour l'assiette et la section pour recevoir le balancier.

[0035] Au moins les portions fonctionnelles comprenant au moins le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, sont entièrement réalisés dans un alliage de cobalt multi phases à base de CoNiCr sans béryllium et comprenant en poids :

- au moins 42% de cobalt
- entre 20% et 30% de nickel
- entre 10% et 18% de chrome
- entre 2% et 5% de molybdène
- entre 2% et 5% de tungstène
- entre 2% et 10% de fer

- entre 0% et 3% de titane
- entre 0% et 2% d'aluminium
- impuretés éventuelles ayant chacune une teneur inférieure ou égale à 0.5%, la somme des différents éléments étant égale à 100% en poids.

[0036] Cela signifie que le pivot 2 est intégralement constitué dudit alliage, et que le matériau constitutif d'au moins du pivot 2, et de préférence de tout l'axe de pivotement horloger 1, est ledit alliage, aucun autre matériau n'étant utilisé.

[0037] De préférence, ledit alliage comprend entre 42% et 45% de cobalt.

[0038] De préférence, ledit alliage comprend entre 21% et 26% de nickel.

[0039] De préférence, ledit alliage comprend entre 12% et 18% de chrome.

[0040] De préférence, ledit alliage comprend entre 3% et 4% de molybdène.

[0041] De préférence, ledit alliage comprend entre 3% et 4% de tungstène.

[0042] De préférence, ledit alliage comprend entre 5 et 9% de fer.

[0043] De préférence, ledit alliage comprend entre 0% et 2% de titane.

[0044] De préférence, ledit alliage comprend entre 0% et 1% d'aluminium.

[0045] Les impuretés peuvent comprendre l'un ou plusieurs des éléments suivants : C, Si, Mn, P, et S.

[0046] L'alliage utilisé dans la présente invention ne comprend pas de béryllium.

[0047] Dans un premier mode de réalisation, ledit alliage présente la composition suivante en % en poids:

Co= 42% ; Ni=26% ; Cr=12% ; Fe=9% ; W=4% ; Mo=4% ; Ti=2% ; Al=1% ; Be=0.

[0048] Dans un autre mode de réalisation préféré, ledit alliage présente la composition suivante en % en poids:

Co= 45% ; Ni=21% ; Cr=18% ; Fe=5% ; W=4% ; Mo=4% ; Ti=1% ; Be=0 ; des impuretés telles que C<0.15, P<0.0015, S<0.0015, Si, Mn ; Fe = la balance à 100.

[0049] L'alliage à base de CoNiCr utilisé dans la présente invention est différent du Phynox®.

[0050] D'une manière particulièrement avantageuse, un tel alliage est 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.

[0051] D'une manière particulièrement avantageuse, les portions fonctionnelles comprenant le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention, présentent à l'état fini, prêt à l'emploi, une dureté de surface supérieure à 750 HV, et de préférence supérieure ou égale à 780 HV, et plus préférentiellement supérieure ou égale à 800 HV. Les méthodes d'essais de dureté Vickers sont définies dans les normes suivantes ASTM C1327 et ISO 6507.

[0052] Selon l'invention, les portions fonctionnelles comprenant le pivot 2, et de préférence tout l'axe de pivotement horloger 1, présentent à l'état fini, prêt à l'emploi, une rugosité Ra uniforme inférieure ou égale à 50 nm $\pm$ 20%, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 20 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.

[0053] Outre le fait d'être amagnétique, ledit alliage à base de CoNiCr est résistant à la corrosion.

[0054] Ainsi, outre le fait d'être amagnétique, les portions fonctionnelles comprenant au moins le pivot 2, et de préférence l'axe de pivotement horloger 1, selon l'invention présentent 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 (Ra < 0.5 μ 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 Rm élevées (haute limite élastique).

[0055] L'invention se rapporte également au procédé de fabrication d'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 dans l'alliage à base de CoNiCr tel que défini 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 dudit alliage à base de CoNiCr et destinée à constituer un pivot ; et

- b) une dernière étape consistant en un usinage de finition de précision sans force au moins de la partie constituée intégralement dudit alliage de l'ébauche obtenue à l'étape a) afin d'obtenir au moins un pivot fini entièrement réalisé dans ledit alliage, 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, telle que les traditionnelles étapes de terminaison ou de finition.

[0056] Le matériau à base de CoNiCr sans béryllium utilisé dans la présente invention peut être livré par exemple sous forme de bandes de largeur de 60 mm, avec des épaisseurs disponibles entre 50 μ m et 800 mm. L'alliage peut avoir subi les traitements thermiques appropriés pour présenter la dureté élevée désirée, telle que définie ci-dessus. La composition de l'alliage à base de CoNiCr sans béryllium de la bande fournie est identique à celle de l'alliage de l'axe de pivotement obtenu selon le procédé de l'invention.

[0057] L'ébauche d'axe réalisée lors de l'étape a) peut être réalisée par exemple par faisceau laser à guidage par jet d'eau ou par électroérosion (par exemple EDM par fil).

[0058] Si nécessaire, les ébauches fabriquées lors de l'étape a) sont produites avec des cotes prévues pour la reprise.

[0059] Après l'étape a), la dernière étape du procédé de l'invention est l'étape b) qui consiste en un usinage de finition de précision sans force de l'axe de pivotement horloger, ou au moins de sa partie constituée intégralement dudit alliage CoNiCr destinée à constituer un pivot. Aucune opération de finition ultérieure, comme une reprise, sur une autre machine pour terminer les axes de pivotement n'est nécessaire. Dans le procédé de l'invention, l'axe de pivotement est obtenu sans interruption du processus par un traitement continu, en une seule étape et sur une seule machine d'usinage de finition une fois l'ébauche d'axe réalisée. Le procédé de l'invention permet d'utiliser une seule machine d'usinage de finition en continu, sans nécessiter d'interrompre le processus pour utiliser une autre machine pour mettre en œuvre une autre étape de terminaison quelconque.

[0060] 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.

[0061] 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).

[0062] 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 μ J et 4000 μ J, fréquence entre 100 kHz et 1000 kHz, durée d'impulsion entre 100 fs et 2 ps. Le femto laser permet une ablation de matière sans transfert de chaleur au reste de la matière et non une fusion de surface qui est utilisée lors du polissage par laser dans les opérations de finition traditionnelles.

[0063] Les méthodes d'usinage ECM (electrochemical machining) et EDM (electrical discharge machining) peuvent aussi être utilisées pour l'étape de finition.

[0064] Grâce à l'usinage de précision sans force, notamment par femto laser, l'étape b) finale permet d'atteindre des états de surface avec une rugosité Ra uniforme de préférence inférieure ou égale à 500 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 un pivot fini en alliage à base de CoNiCr tel que défini ci-dessus, ledit pivot fini présentant une rugosité Ra uniforme inférieure ou égale à 50 nm $\pm$ 20%, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 20 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.

[0065] Notamment, pour un usinage de précision sans force par femto laser, on utilise de préférence un spot de diamètre inférieur ou égal à 8 μ m, le faisceau laser attaquant l'axe de pivotement en rotation radialement. L'angle du cône du faisceau est de préférence inférieur à 4° et plus préférentiellement inférieur à 2°. D'une manière avantageuse, le système de pilotage du femto laser permet d'amener l'ébauche d'axe de façon extrêmement précise à 1 ou 2 μ m de la cote finale, le dernier passage du femto laser étant prévu pour atteindre en même temps la cote et la rugosité Ra recherchées.

[0066] De plus, l'étape b) est avantageusement mise en œuvre sous soufflage permanent d'air ou d'azote afin d'évacuer la poussière générée par l'usinage. Une aspiration de cette même poussière est localisée face au soufflage.

[0067] Les pivots 2 obtenus présentant une telle rugosité Ra, il n'est plus nécessaire de prévoir, après l'étape b) une autre étape de finition, notamment une finition tribologique, telles qu'un roulage ou une tribofinition.

[0068] Ainsi, de manière particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention ne comprend, après l'étape b), aucune étape de terminaison ou finition sur une autre machine, notamment aucune étape de traitement tribologique, telles qu'un roulage ou une tribofinition, puisque le pivot intégralement réalisé dans l'alliage à base de CoNiCr tel que défini ci-dessus, fini, 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 et/ou de tribofinition.

[0069] Dans un mode de réalisation préféré, l'axe de pivotement horloger 1 est intégralement réalisé dans ledit alliage à base de CoNiCr tel que défini ci-dessus, ledit axe de pivotement fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution et comprenant au moins ledit pivot 2. Dans ce cas, l'ébauche d'axe obtenue à l'étape a) correspond 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. L'étape b) est mise en œuvre au moins sur les parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement 1 fini, lesdites portions fonctionnelles comprenant le pivot 2 obtenues selon l'étape b) présentant alors 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, telle que les traditionnelles étapes de terminaison ou de finition. Notamment les portions fonctionnelles comprenant le pivot 2, fini, présentent une rugosité Ra inférieure ou égale à 500 nm, uniforme à $\pm 20\%$, 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 20 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.

[0070] 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 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. En effet, le traitement de l'ébauche d'axe, une fois l'ébauche réalisée, ne nécessite qu'une seule opération, et donc un seul serrage, pour obtenir un axe de pivotement fini. La dernière étape dudit procédé est une étape d'usinage de finition qui permet d'obtenir un axe fini avec une certaine précision de rugosité Ra, sans nécessiter une opération de finition ultérieure en tant que telle, comme une reprise, sur une autre machine pour terminer les pièces. L'axe de pivotement est obtenu sans interruption du processus par un traitement continu, en une seule étape et sur une seule machine d'usinage à partir de l'ébauche. Ainsi, contrairement aux procédés de fabrication traditionnels, le procédé de l'invention ne comprend aucune étape de terminaison dans une phase de finition qui signifie une interruption du processus après l'étape d'usinage afin de positionner la pièce sur une autre machine et réaliser une opération différente d'un usinage.

Revendications

1. Axe de pivotement horloger (1) comprenant au moins un pivot (2) à au moins une de ses extrémités, caractérisé en ce que ledit pivot (2) est entièrement réalisé dans un alliage à base de CoNiCr sans béryllium et comprenant en poids :
 - au moins 42% de cobalt
 - entre 20% et 30% de nickel
 - entre 10% et 18% de chrome
 - entre 2% et 5% de molybdène
 - entre 2% et 5% de tungstène
 - entre 2% et 10% de fer
 - entre 0% et 3% de titane
 - entre 0% et 2% d'aluminium
 - impuretés éventuelles ayant chacune une teneur inférieure ou égale à 0.5%, la somme des différents éléments étant égale à 100% en poids.
2. Axe de pivotement horloger selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit alliage comprend entre 42% et 45% de cobalt.

3. Axe de pivotement horloger selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit alliage comprend entre 21% et 26% de nickel.
4. Axe de pivotement horloger selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit alliage comprend entre 12% et 18% de chrome.
5. Axe de pivotement horloger selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) présente une rugosité Ra uniforme inférieure ou égale à 50 nm $\pm$ 20%, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 20 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.
6. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est intégralement réalisé dans ledit alliage.
7. 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 à 750 HV, et de préférence supérieure ou égale à 780 HV.
8. Axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour former un axe de balancier.
9. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 8, 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 dudit alliage à base de CoNiCr et destinée à constituer un pivot (2); et
 - b) une dernière étape consistant en un usinage de précision sans force au moins de la partie constituée dudit alliage de l'ébauche obtenue à l'étape a) afin d'obtenir au moins un pivot (2) fini entièrement réalisé dans ledit alliage.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'étape a) est réalisée au moyen d'un faisceau laser à guidage par jet d'eau ou par électroérosion.
11. Procédé selon l'une des revendications 9 à 10, 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.
12. Procédé selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce qu'au moins le pivot (2) fini entièrement réalisé dans ledit alliage obtenu à l'étape b) présente une rugosité Ra uniforme inférieure ou égale à 50 nm $\pm$ 20%, de préférence inférieure ou égale à 25 nm, de préférence inférieure ou égale à 20 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.
13. Procédé selon l'une des revendications 9 à 12, dans lequel l'axe de pivotement horloger est intégralement réalisé dans ledit alliage, ledit axe de pivotement (1) fini comprenant des portions fonctionnelles présentant une surface de révolution et comprenant au moins ledit pivot, caractérisé en ce que l'ébauche d'axe obtenue à l'étape a) correspond à la configuration fonctionnelle de l'axe de pivotement (1) fini, à l'exception des parties destinées à constituer les portions fonctionnelles et en ce que l'étape b) est mise en œuvre au moins sur les parties destinées à constituer lesdites portions fonctionnelles afin d'obtenir ledit axe de pivotement (1) fini.
14. Mouvement horloger comprenant un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 8.
15. Pièce d'horlogerie comprenant un mouvement horloger selon la revendication 14 ou un axe de pivotement horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 8.

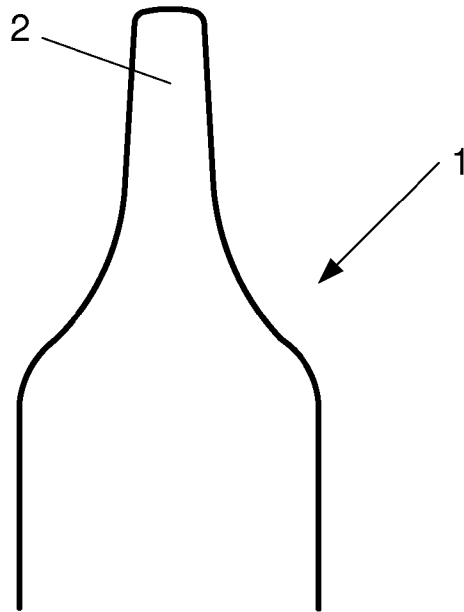


Fig. 1

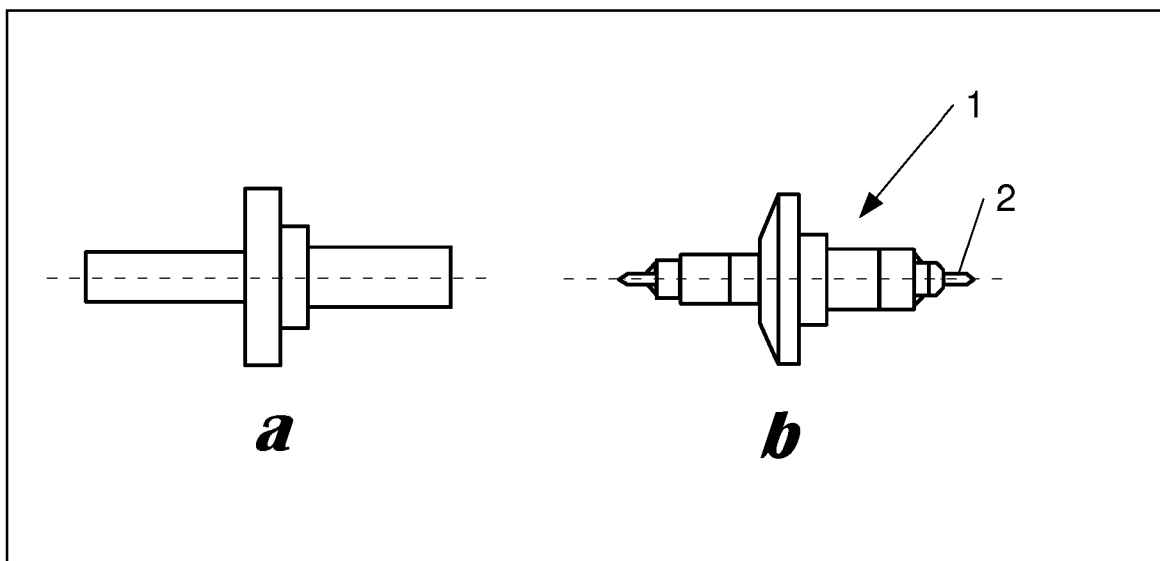


Fig. 2