

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **714 514 B1**

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(51) Int. Cl.: **B22D** **21/00** (2006.01)
B22D **19/16** (2006.01)
G04B **17/06** (2006.01)
G04B **17/32** (2006.01)
G04B **45/00** (2006.01)
C22C **16/00** (2006.01)
C22C **5/04** (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01617/17

(22) Date de dépôt: 22.12.2017

(43) Demande publiée: 28.06.2019

(24) Brevet délivré: 28.02.2023

(45) Fascicule du brevet publié: 28.02.2023

(73) Titulaire(s):
The Swatch Group Research and Development Ltd.,
Rue des Sors 3
2074 Marin (CH)

(72) Inventeur(s):
Alexandre Haemmerli, 2072 St. Blaise (CH)
François Gueissaz, 2036 Cormondrèche (CH)
Jean-Claude Martin, 2037 Montmollin (CH)
Lionel Paratte, 2000 Neuchâtel (CH)
Jean-Luc Helfer, 2525 Le Landeron (CH)
Lionel Tombez, 2022 Bevaix (CH)
Baptiste Hinaux, 1005 Lausanne (CH)
Donald William Corson, 1400 Yverdon-les-Bains (CH)
Michel Willemin, 2515 Prêles (CH)
Yves Winkler, 3185 Schmitten (CH)
Pascal Wiinkler, 2072 St-Blaise (CH)
Gianni di Domenico, 2000 Neuchâtel (CH)

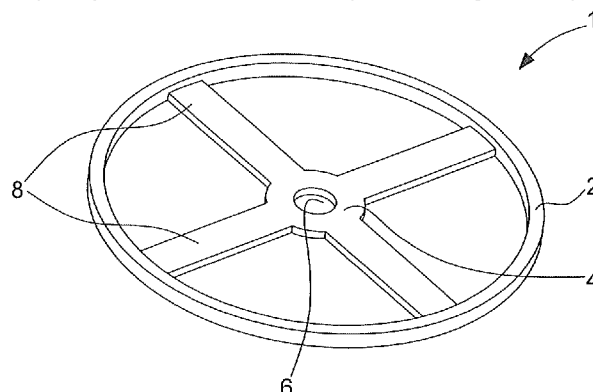
(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie.**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie en alliage métallique par moulage, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:

- réaliser un moule ayant la forme négative du balancier (1)
- se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
- introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et pour former un balancier
- refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier (1) dans ledit alliage métallique
- libérer le balancier (1) obtenu à l'étape d) de son moule

de serge réalisés dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique.



L'invention concerne également un autre procédé de fabrication où sont insérés dans le moule une serge ou des éléments

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie comprenant une serge, un moyeu et au moins un bras reliant le moyeu à ladite serge.

Arrière-plan de l'invention

[0002] L'oscillateur ou résonateur d'une montre mécanique est constitué d'un ressort spiral et d'un volant d'inertie appelé balancier. Les variations thermiques font varier la rigidité du spiral, ainsi que les géométries du spiral et du balancier, ce qui modifie la constante de ressort et l'inertie, et donc la fréquence d'oscillation. Les horlogers ont beaucoup travaillé pour avoir des oscillateurs stables en température et plusieurs voies ont été explorées/exploitées dont une qui a valu un Prix Nobel à Charles-Edouard Guillaume pour le développement de l'alliage Elinvar dont le module d'élasticité augmente avec la température et compense l'augmentation d'inertie du balancier. Par la suite, le développement du silicium oxydé, donc compensé thermiquement, a surpassé les performances de l'Elinvar et a pour avantage d'être moins sensible aux champs magnétiques. De même le spiral en quartz monocristallin permet une compensation thermique du changement d'inertie du balancier. Mais contrairement au silicium oxydé dont l'épaisseur d'oxyde peut être variée suivant le matériau de balancier utilisé, le quartz est limité aux matériaux ayant un coefficient de dilatation thermique de l'ordre de 10 ppm/°C, ce qui correspond par exemple au titane et au platine. Le problème principal de ces matériaux est l'usinabilité et la maîtrise de structure fine et/ou d'une finition parfaite (poli miroir par exemple). Dans le cas du titane, sa relativement faible densité limite son utilisation pour des grands balanciers et dans le cas du platine son prix élevé limite son utilisation à des produits de prestige et de luxe.

Résumé de l'invention

[0003] La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé de fabrication d'un balancier réalisé dans de nouveaux matériaux permettant une fabrication plus simple et plus précise, de manière à réduire par exemple la dispersion d'inertie et/ou de balourd au sein d'un même lot de production.

[0004] A cet effet, l'invention se rapporte tout d'abord à un procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie comprenant une serge, un moyeu et au moins un bras reliant le moyeu à ladite serge, la serge, le moyeu et les bras étant réalisés dans un alliage métallique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:

- a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier
- b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
- c) introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et former un balancier
- d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier dans ledit alliage métallique
- e) libérer le balancier obtenu à l'étape d) de son moule.

[0005] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie comprenant une serge, un moyeu et au moins un bras reliant le moyeu à ladite serge, le moyeu et le bras étant réalisés dans un alliage métallique, et la serge étant réalisée dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique dans lequel le moyeu et le bras sont réalisés, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:

- a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier
- a') insérer dans le moule une serge ou des éléments de serge réalisés dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique
- b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
- c)

introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et sur-mouler la serge ou les éléments de serge pour former un balancier avec inserts

- d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier avec inserts
- e) libérer le balancier obtenu à l'étape d) de son moule.

[0006] Grâce aux propriétés des métaux amorphes, un balancier en alliage métallique peut être réalisé en utilisant un procédé de fabrication simplifié tel qu'un procédé de coulée ou un procédé de formage à chaud. En outre, l'alliage métallique sous sa forme au moins partiellement amorphe a pour propriété d'avoir une plage élastique bien plus grande que son équivalent cristallin, grâce à l'absence de dislocation. Cette propriété permet de surmouler ou d'intégrer au balancier des éléments permettant d'améliorer le centrage ainsi que de régler l'inertie et/ou le balourd.

Description sommaire des dessins

[0007] D'autres particularités et avantages ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un balancier fabriqué selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue de dessus partielle d'une variante de balancier réalisé selon l'invention ;
- la figure 3 est une vue de dessus partielle d'une autre variante de balancier réalisé selon l'invention ;
- la figure 4 est une vue en coupe selon l'axe A-A de la figure 3 ; et
- les figures 5 à 10 sont des vues de dessus partielles d'autres variantes de balancier réalisé selon l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0008] En référence à la figure 1, il est représenté un balancier 1 pour pièce d'horlogerie. Un tel balancier 1 comprend d'une manière traditionnelle une serge 2, continue ou non, définissant le diamètre extérieur du balancier 1, un moyeu 4, formant sa partie centrale et muni d'un trou 6 destiné à recevoir un arbre (non représenté) définissant l'axe de pivotement du balancier 1. Le moyeu 4 est relié solidairement à la serge 2 par des bras 8. Les bras 8 sont ici au nombre de quatre et sont disposés à 90°. On trouve aussi usuellement des balanciers avec deux ou trois bras, disposés respectivement à 180° ou 120°.

[0009] Selon un premier mode de réalisation, la serge 2, le moyeu 4 et les bras 8 sont réalisés dans un même alliage métallique. D'une manière avantageuse, le balancier 1 est monobloc, c'est-à-dire réalisé d'une seule pièce.

[0010] Le balancier 1 peut par exemple être réalisé entièrement dans un alliage à base de platine ou de palladium qui sera décrit en détail ci-après. Le platine notamment présentant une grande masse volumique (21 000 kg/m³), l'alliage en platine utilisé dans l'invention présente également une masse volumique élevée (15.5 g/cm³), de sorte que l'ajout d'éléments en matériau dense pour augmenter l'inertie du balancier ne sera pas forcément nécessaire.

[0011] A cet effet, conformément à un premier mode de réalisation de l'invention, le procédé de fabrication d'un balancier 1, dans lequel la serge 2, le moyeu 4 et le bras 8 sont réalisés dans un même alliage métallique, comprend les étapes suivantes:

- a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier 1, y compris d'éventuelles structures décoratives de surface
- b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique typiquement inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
- c) introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et former un balancier
- d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier 1 dans ledit alliage métallique
- e) libérer le balancier 1 obtenu à l'étape d) de son moule.

[0012] L'étape d) de refroidissement peut se faire à une vitesse de refroidissement choisie pour obtenir un alliage cristallin, partiellement amorphe ou totalement amorphe.

[0013] Le balancier 1 peut également être réalisé entièrement par exemple dans un alliage à base de titane ou de zirconium qui sera décrit en détails ci-après. Le zirconium par exemple présentant une masse volumique plus faible, l'alliage

en zirconium utilisé dans l'invention présente également une masse volumique plus faible (6.5 g/cm^3), de sorte que l'ajout d'éléments en matériau plus dense pour augmenter l'inertie du balancier est recommandé, notamment si l'on souhaite réaliser un balancier de petite taille pour de petits mouvements. Ces éléments permettent d'augmenter l'inertie du balancier tout en gardant une géométrie de serge esthétique et avec de bonnes propriétés aérodynamiques.

[0014] Ainsi, selon une première variante représentée sur la figure 2, la serge 2 peut comprendre des premiers éléments de réglage de l'inertie 10 surmoulés, lesdits premiers éléments de réglage de l'inertie 10 étant réalisés dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique de l'alliage métallique. Ces premiers éléments de réglage de l'inertie 10 peuvent par exemple être en tungstène ou carbure de tungstène, et sont obtenus par surmoulage.

[0015] A cet effet, le procédé selon l'invention comprend une étape de surmoulage desdits premiers éléments de réglage de l'inertie 10 dans la serge 2, au moyen d'inserts placés dans le moule avant l'introduction de l'alliage métallique, et surmoulés, lesdits premiers éléments de réglage de l'inertie 10 étant réalisés dans un premier matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique.

[0016] Selon un second mode de réalisation, les bras et le moyeu du balancier sont réalisés dans un alliage métallique, la serge étant réalisée dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique utilisé pour les bras et le moyeu. Ce matériau peut être lui-même l'alliage métallique à base de platine ou de palladium tel que défini ci-dessous ou un autre matériau. Par exemple, les bras et le moyeu du balancier sont réalisés dans l'alliage métallique amorphe à base de zirconium tel que défini ci-dessous pour permettre d'appairer le balancier avec un spiral de préférence en quartz monocristallin, et la serge est réalisée dans un autre matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique de l'alliage métallique à base de zirconium utilisé pour les bras et le moyeu afin d'améliorer l'inertie du balancier.

[0017] A cet effet, conformément à un second mode de réalisation de l'invention, le procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie dans lequel le moyeu 4 et les bras 8 sont réalisés dans un alliage métallique, et la serge 2 est réalisée dans un second matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique dans lequel le moyeu 4 et les bras 8 sont réalisés, comprend les étapes suivantes:

- a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier, y compris d'éventuelles structures décoratives de surface
- a') insérer dans le moule une serge ou des éléments de serge réalisés dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique
- b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique typiquement inférieur à $25 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$ et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
- c) introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et surmouler la serge ou les éléments de serge pour former un balancier avec inserts
- d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier avec ses inserts
- e) libérer le balancier obtenu à l'étape d) de son moule.

[0018] L'étape d) de refroidissement peut se faire à une vitesse de refroidissement choisie pour obtenir un alliage cristallin, partiellement amorphe ou totalement amorphe.

[0019] Les procédés de l'invention selon le premier ou deuxième modes de réalisation utilisent de manière avantageuse les propriétés d'un alliage métallique capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé pour le mettre facilement en forme afin de réaliser un balancier en alliage métallique.

[0020] En effet, un alliage métallique capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé permet une grande facilité dans la mise en forme permettant la fabrication de pièces aux formes compliquées avec une plus grande précision. Cela est dû aux caractéristiques particulières des „métaux amorphes“ qui peuvent se ramollir tout en restant amorphes durant un certain temps dans un intervalle de température $[T_g - T_x]$ donné propre à chaque alliage (par exemple pour l'alliage à base de Zr : $T_g=440^\circ\text{C}$ et $T_x=520^\circ\text{C}$). Il est ainsi possible de les mettre en forme sous une contrainte relativement faible et à une température peu élevée permettant alors l'utilisation d'un procédé simplifié tel que le formage à chaud. L'utilisation d'un tel matériau permet en outre de reproduire très précisément des géométries fines car la viscosité de l'alliage diminue fortement en fonction de la température dans l'intervalle de température $[T_g - T_x]$ et l'alliage épouse ainsi tous les détails du négatif. Par exemple, pour un matériau à base de platine tel que défini ci-dessous, la mise en forme se fait aux alentours de 300°C pour une viscosité atteignant 10^3 Pa.s pour une contrainte de 1 MPa, au lieu d'une viscosité de 10^{12} Pa.s à la température T_g . L'utilisation de matrices a pour avantage la création de pièces en trois dimensions de grande précision, ce que le découpage ou l'éclamage ne permettent pas d'obtenir.

[0021] Un procédé utilisé avantageusement est le formage à chaud d'une préforme amorphe. Cette préforme est obtenue par fusion dans un four des éléments métalliques destinés à constituer l'alliage métallique. Cette fusion est faite sous atmosphère contrôlée avec pour but d'obtenir une contamination de l'alliage en oxygène aussi faible que possible. Une fois ces éléments fondus, ils sont coulés sous forme de produit semi-fini, puis refroidis rapidement afin de conserver l'état partiellement ou totalement amorphe. Une fois la préforme réalisée, le formage à chaud est effectué dans le but d'obtenir une pièce définitive. Ce formage à chaud est réalisé par pressage dans une gamme de température comprise entre la température de transition vitreuse T_g et la température de cristallisation T_x de l'alliage métallique durant un temps déterminé pour conserver une structure au moins partiellement amorphe. Ceci est fait dans le but de conserver les propriétés élastiques caractéristiques des métaux amorphes.

[0022] Typiquement pour l'alliage à base de Zr et pour une température de 440°C, le temps de pressage ne devra pas dépasser 120 secondes environ. Ainsi, le formage à chaud permet de conserver l'état amorphe initial de la préforme. Les différentes étapes de mise en forme définitive du balancier monobloc selon l'invention sont alors :

- 1) chauffage des matrices ayant la forme négative du balancier jusqu'à une température choisie
- 2) introduction de la préforme en métal amorphe entre les matrices chaudes,
- 3) application d'une force de fermeture sur les matrices afin de répliquer la géométrie de ces dernières sur la préforme en métal amorphe,
- 4) attente durant un temps maximal choisi,
- 5) ouverture des matrices,
- 6) refroidissement du balancier, et
- 7) sortie du balancier des matrices.

[0023] Bien entendu, le balancier peut être aussi réalisé par coulée ou par injection. Ce procédé consiste à couler ou injecter l'alliage métallique chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être au moins partiellement amorphe dans un moule possédant la forme de la pièce définitive.

[0024] Le moule peut être réutilisé ou dissout pour libérer les pièces. Le procédé par moulage présente l'avantage de répliquer parfaitement la géométrie du balancier, y compris d'éventuels décors ou structuration de surface. On obtient une moins grande dispersion d'inertie et un meilleur centrage sur un lot de production de balanciers. Le procédé par moulage permet d'obtenir un balancier à la géométrie esthétique, avec des angles intérieurs vifs, un profil de serge et/ou de bras bombé, et une finition parfaite. Il est également possible de prévoir une serge non continue. Pour une qualité maximale, le moule sera réalisé dans du silicium par un procédé DRIE. Il est bien évident que le moule peut également être réalisé par usinage par fraisage, laser, électroérosion ou tout autre type d'usinage.

[0025] Les propriétés élastiques caractéristiques des métaux amorphes sont utilisées pour surmouler ou intégrer des éléments fonctionnels et/ou décoratifs dans la serge et/ou au niveau des bras et/ou au niveau du moyeu par exemple au moyen d'inserts correspondants placés dans le moule avant l'introduction de l'alliage métallique chauffé entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être au moins partiellement amorphe.

[0026] Indépendamment du premier ou second modes de réalisation des procédés de l'invention, la serge 2 peut comprendre des logements 12 destinés à recevoir des deuxième éléments de réglage de l'inertie et/ou de balourd 14, 15 comme représenté sur la figure 3. Ces logements 12 peuvent avantageusement être prévus lors de la fabrication du balancier 1 par moulage, conformément aux procédés de l'invention. Les deuxième éléments de réglage de l'inertie et/ou de balourd 14, 15 peuvent être par exemple des masselottes, des masselottes fendues, des goupilles 14, des goupilles fendues, ou des goupilles avec balourd 15, qui font office de masselottes. Ces éléments sont chassés ou clippés dans les logements correspondants 12. Sur la figure 3 sont représentées une goupille 14 insérée dans son logement 12, ainsi qu'une goupille avec balourd 15 insérée dans son logement 12. La figure 4 montre une vue en coupe selon la ligne A-A de la figure 3 représentant la goupille avec balourd 15 insérée dans le logement 12 prévu dans la serge 2.

[0027] Il est bien évident que ces éléments pour augmenter l'inertie du balancier sont utilisés préférentiellement avec une serge réalisée dans un matériau de faible densité, tel que le titane ou le zirconium mais peuvent être aussi utilisés avec une serge dans un autre matériau.

[0028] Pour augmenter l'inertie du balancier, il est également possible de prévoir une serge plus épaisse ou plus large, notamment dans le cas de balanciers plus grands.

[0029] Les logements 12 représentés sur la figure 3 peuvent également constituer des logements destinés à recevoir des éléments esthétiques et/ ou luminescents, tels que des tubes de tritium (non représentés), ou des capsules de matériaux phosphorescents (du type Superluminova, par exemple) ou fluorescents.

[0030] Selon une autre variante de l'invention, l'un ou l'autre des procédés comprend une étape de surmoulage d'éléments de centrage flexibles 16, 17 sur le moyeu 4, sur son pourtour intérieur ou à sa surface. Ainsi, le moyeu 4 peut comprendre des éléments de centrage flexibles intégrés, qui permettent un auto-centrage du balancier lors de son montage sur un axe grâce à la déformation élastique desdits éléments de centrage flexibles.

[0031] Selon la figure 5, lesdits éléments de centrage flexibles intégrés 16 sont des lames élastiques prévues sur le pourtour intérieur du moyeu 4 de manière à être positionnées dans le trou 6. Selon la figure 6, lesdits éléments de centrage flexibles intégrés 17 sont prévus sur la surface du moyeu 4 et sont répartis autour du trou 6. Les éléments de centrage flexibles 16 et 17 peuvent avantageusement être mis en place lors de la fabrication du balancier 1 par moulage, conformément aux procédés de l'invention.

[0032] Selon une autre variante de l'invention, l'un ou l'autre des procédés comprend une étape de surmoulage de troisièmes éléments de réglage de l'inertie 19, 20, 22a, 22b flexibles dans le bras 8. Ainsi, au moins l'un des bras 8 porte des troisièmes éléments de réglage de l'inertie flexibles intégrés.

[0033] Selon la figure 7, l'extrémité du bras 8 du côté de la serge 2 se termine en deux branches 8a, 8b formant entre elles un logement 18 dans lequel est intégré un troisième élément de réglage de l'inertie 19 flexible bistable en „V“ pour le réglage de la fréquence.

[0034] Selon la figure 8, il est prévu dans le logement 18 un troisième élément de réglage de l'inertie 20 flexible en flambage pour le réglage de la fréquence. A cet effet, le troisième élément de réglage de l'inertie 20 est réalisé dans un matériau présentant des propriétés de dilatation différentes de l'alliage métallique du balancier de l'invention, tel que le silicium ou l'oxyde de silicium.

[0035] Selon la figure 9, l'extrémité du bras 8 du côté de la serge 2 se termine en trois branches 8a, 8b, 8c formant entre elles deux logements 18a, 18b dans lesquels sont intégrés des troisièmes éléments de réglage de l'inertie 22a, 22b flexibles multi-stables à cliquet pour le réglage de la fréquence.

[0036] Ces troisièmes éléments de réglage de l'inertie flexibles 19, 20, 22a, 22b pour le réglage de la fréquence peuvent avantageusement être mis en place lors de la fabrication du balancier 1 par moulage, conformément aux procédés de l'invention.

[0037] Ces troisièmes éléments de réglage de l'inertie flexibles 19, 20, 22a, 22b pour le réglage de la fréquence peuvent être aussi bien utilisés lorsque l'ensemble du balancier est dans un même alliage métallique que lorsque les bras sont en alliage métallique, le reste du balancier, et notamment la serge, étant dans un autre matériau.

[0038] Selon une autre variante de l'invention, on utilise dans l'un ou l'autre des procédés de l'invention un moule présentant des microstructures formant un décor ou un réseau photonique. Ainsi, l'un du bras 8, de la serge 2 et du moyeu 4 présente un état de surface structuré. Seul l'un des éléments peut présenter un état de surface structuré ou tous les éléments du balancier peuvent présenter un état de surface structuré, cet état de surface structuré pouvant être identique ou différent. La figure 10 représente un balancier de l'invention pour lequel la serge 2 présente un état de surface structuré différent de l'état de surface structuré présenté par le bras 8. Cet état de surface structuré peut être un état poli, satiné, sablé, perlé, ensoleillé, etc. Il est possible de prévoir également dans le moule pour la fabrication du balancier des microstructures formant un réseau photonique afin de répliquer ces microstructures à la surface du balancier. Ces microstructures peuvent permettre de créer un cristal photonique donnant à la pièce une certaine couleur, un hologramme, ou un réseau de diffraction pouvant constituer un élément anti-contrefaçon. Les structures sont directement introduites dans le moule, et sont répliquées lors de la fabrication des balanciers par formage à chaud, ce qui ne nécessite plus d'opérations de terminaison. Il est également possible d'ajouter un logo au moule.

[0039] L'alliage métallique utilisé dans les procédés de l'invention présente un coefficient de dilatation thermique typiquement inférieur à 25 ppm/°C et supérieur à 7 ppm/°C, et est capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation.

[0040] De préférence, l'alliage métallique utilisé dans les procédés de l'invention est à base d'un élément choisi parmi le groupe constitué du platine, du zirconium, du titane, du palladium, du nickel, de l'aluminium et du fer.

[0041] Dans la présente description, l'expression „à base d'un élément“ signifie que ledit alliage métallique contient au moins 50% en poids dudit élément.

[0042] Ledit alliage métallique utilisé dans la présente invention peut être à base de platine et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur 12 ppm/°C, de préférence compris entre 8 ppm/°C et 12 ppm/°C.

[0043] Un tel alliage métallique à base de platine peut être constitué, en valeurs en % atomique, de

- une base de platine dont la teneur constitue la balance,
- 13 à 17% de cuivre
- 3 à 7% de nickel
- 20 à 25% de phosphore.

[0044] L'alliage métallique utilisé dans la présente invention peut aussi être à base de zirconium et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur 12 ppm/°C, de préférence compris entre 8 ppm/°C et 11 ppm/°C.

[0045] Un tel alliage métallique à base de zirconium peut être constitué, en valeurs en % atomique, de

- une base de zirconium dont la teneur constitue la balance,
- 14 à 20% de cuivre
- 12 à 13% de nickel
- 9 à 11% d'aluminium
- 2 à 4 % de niobium.

[0046] L'alliage métallique utilisé dans la présente invention peut aussi être à base de palladium et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur à 20 ppm/°C, de préférence compris entre 13 ppm/°C et 18 ppm/°C.

[0047] Un tel alliage métallique à base de palladium peut être constitué, en valeurs en % atomique, de

- une base de palladium, dont la teneur constitue la balance,
- 25 à 30% de cuivre
- 8 à 12% de nickel
- 18 à 22% de phosphore.

[0048] Idéalement, les alliages utilisés dans l'invention ne contiennent aucune impureté. Toutefois, ils peuvent comprendre des traces d'impuretés qui peuvent résulter, de manière souvent inévitable, de l'élaboration desdits alliages.

[0049] Lorsque les alliages utilisés dans la présente invention présentent un coefficient de dilatation thermique inférieur à 12 ppm/°C et supérieur à 8 ppm/°C, ils peuvent être utilisés pour réaliser au moins une partie d'un balancier qui sera appairé à un spiral de préférence en quartz monocristallin. Les alliages utilisés dans la présente invention présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 20 ppm/°C et supérieur à 13 ppm/°C peuvent être utilisés pour réaliser au moins une partie d'un balancier qui sera appairé à un spiral en métal ou en silicium.

[0050] Plus préférentiellement, ledit alliage métallique utilisé dans la présente invention à base de platine est constitué, en valeurs en % atomique, de :

57.5% Pt, 14.7% Cu, 5.3% Ni, 22.5% P

[0051] Un tel alliage présente un coefficient de dilatation thermique compris entre 11 et 12 ppm/°C.

[0052] Plus préférentiellement, ledit alliage métallique utilisé dans la présente invention à base de zirconium est constitué, en valeurs en % atomique, de :

58.5% Zr, 15.6% Cu, 12.8% Ni, 10.3% Al, 2.8% Nb

[0053] Un tel alliage présente un coefficient de dilatation thermique compris entre 10.5 et 11 ppm/°C.

[0054] Plus préférentiellement, ledit alliage métallique utilisé dans la présente invention à base de palladium est constitué, en valeurs en % atomique, de :

43% Pd, 27% Cu, 10% Ni, 20% P

[0055] Un tel alliage présente un coefficient de dilatation thermique compris entre 15 et 16 ppm/°C.

[0056] Ainsi, le balancier selon l'invention est réalisé dans un matériau permettant d'utiliser un procédé de fabrication simple tout en présentant un coefficient de dilatation thermique permettant de l'appairer à un spiral en quartz monocristallin, et/ou en métal ou en silicium, de préférence en quartz monocristallin. Le balancier selon l'invention permet également d'avoir au moins des bras présentant un coefficient de dilatation thermique permettant de l'appairer à un spiral en quartz monocristallin, et/ou en métal ou en silicium, tout en ayant une grande inertie en gardant une géométrie de serge compacte et esthétique, de petit volume, à l'aide d'une serge adéquate, soit comprenant des éléments réalisés dans un matériau de plus grande densité, soit étant elle-même réalisée dans un matériau de plus grande densité.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un balancier (1) pour pièce d'horlogerie comprenant une serge (2), un moyeu (4) et au moins un bras (8) reliant le moyeu (4) à ladite serge (2), la serge (2), le moyeu (4) et le bras (8) étant réalisés dans un alliage métallique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:
 - a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier (1)

- b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
 - c) introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé au chaud et former un balancier
 - d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier (1) dans ledit alliage métallique
 - e) libérer le balancier (1) obtenu à l'étape d) de son moule.
2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de surmoulage de premiers éléments de réglage de l'inertie (10) dans la serge (2), lesdits premiers éléments de réglage de l'inertie (10) étant réalisés dans un premier matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique.
 3. Procédé de fabrication d'un balancier pour pièce d'horlogerie comprenant une serge (2), un moyeu (4) et au moins un bras (8) reliant le moyeu (4) à ladite serge (2), le moyeu (4) et le bras (8) étant réalisés dans un alliage métallique, et la serge (2) étant réalisée dans un second matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique dans lequel le moyeu (4) et le bras (8) sont réalisés, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:
 - a) réaliser un moule ayant la forme négative du balancier
 - a') insérer dans le moule une serge ou des éléments de serge réalisés dans un matériau présentant une masse volumique supérieure à la masse volumique dudit alliage métallique
 - b) se munir d'un alliage métallique présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à 25 ppm/°C et capable d'être sous une forme au moins partiellement amorphe lorsqu'il est chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation
 - c) introduire dans le moule l'alliage métallique, ledit alliage métallique étant chauffé à une température comprise entre sa température de transition vitreuse et sa température de cristallisation pour être formé à chaud et surmouler la serge ou les éléments de serge pour former un balancier avec inserts
 - d) refroidir ledit alliage métallique pour obtenir un balancier avec inserts
 - e) libérer le balancier obtenu à l'étape d) de son moule.
 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la serge (2) comprend des logements (12) destinés à recevoir des deuxièmes éléments de réglage de l'inertie et/ou de balourd (14, 15).
 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la serge (2) comprend des logements (12) destinés à recevoir des éléments décoratifs et/ou luminescents.
 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de surmoulage d'éléments de centrage flexibles (16, 17) sur le moyeu (4).
 7. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que lesdits éléments de centrage flexibles (16) intégrés sont prévus sur le pourtour intérieur du moyeu (4).
 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de surmoulage de troisièmes éléments de réglage de l'inertie (19, 20, 22a, 22b) flexibles dans le bras (8).
 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moule présente des microstructures formant un décor ou un réseau photonique.
 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit alliage métallique est à base d'un élément choisi parmi le groupe constitué du platine, du zirconium, du titane, du palladium, du nickel, de l'aluminium et du fer.
 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit alliage métallique est à base de platine et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur 12 ppm/°C, de préférence compris entre 8 ppm/°C et 12 ppm/°C.
 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'alliage métallique à base de platine est constitué, en valeurs en % atomique, de
 - une base de platine dont la teneur constitue la balance,
 - 13 à 17% de cuivre
 - 3 à 7% de nickel
 - 20 à 25% de phosphore.
 13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit alliage métallique est à base de zirconium et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur 12 ppm/°C, de préférence compris entre 8 ppm/°C et 11 ppm/°C.
 14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'alliage métallique à base de zirconium est constitué, en valeurs en % atomique, de

- une base de zirconium dont la teneur constitue la balance,
 - 14 à 20% de cuivre
 - 12 à 13% de nickel
 - 9 à 11% d'aluminium
 - 2 à 4 % de niobium.
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit alliage métallique est à base de palladium et présente un coefficient de dilatation thermique inférieur à 20 ppm/°C, de préférence compris entre 13 ppm/°C et 18 ppm/°C.
16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'alliage métallique à base de palladium est constitué, en valeurs en % atomique, de
- une base de palladium, dont la teneur constitue la balance,
 - 25 à 30% de cuivre
 - 8 à 12% de nickel
 - 18 à 22% de phosphore.

Fig. 1

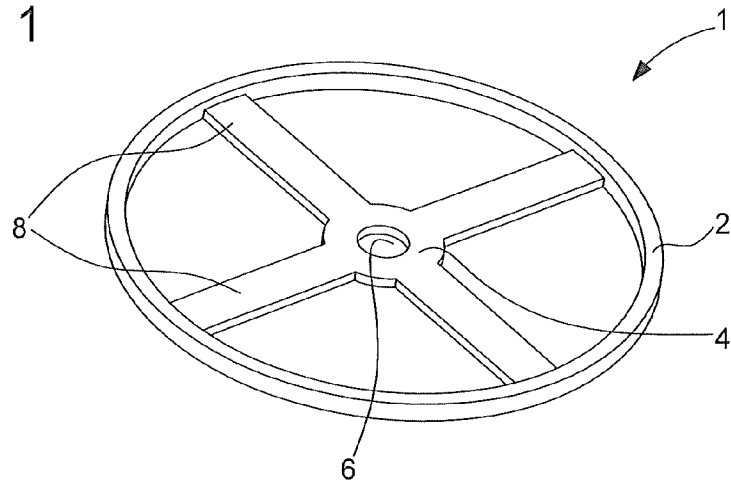


Fig. 2

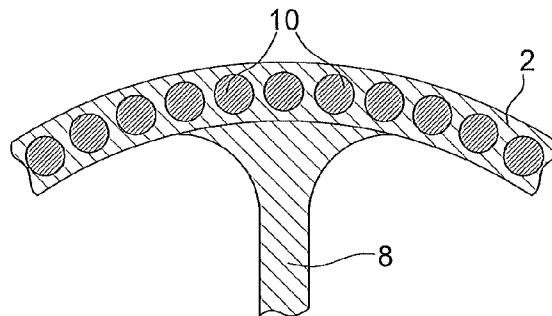


Fig. 3

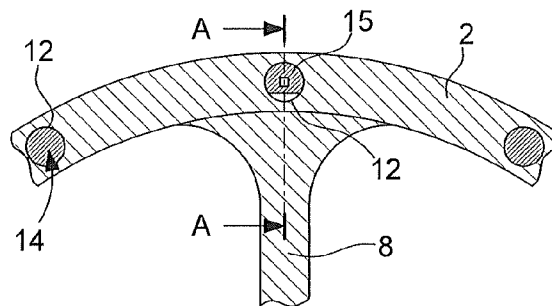


Fig. 4

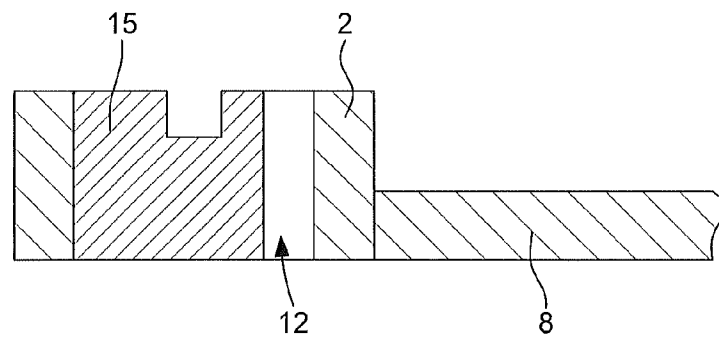


Fig. 5

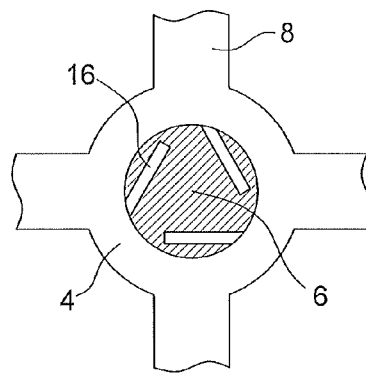


Fig. 6

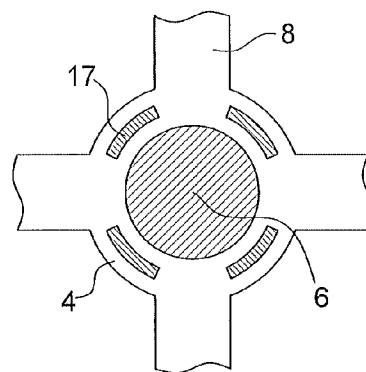


Fig. 7

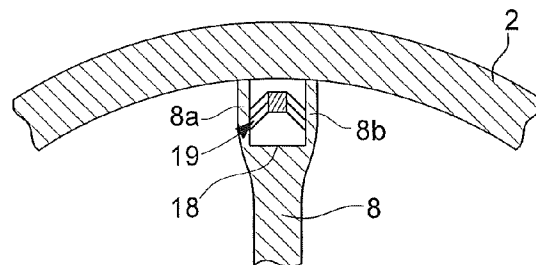


Fig. 8

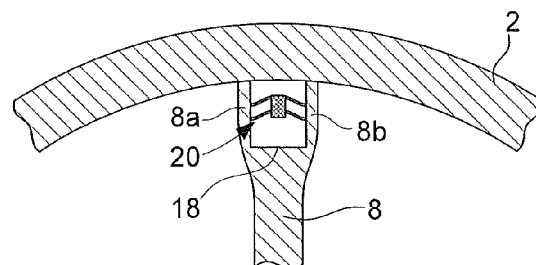


Fig. 9

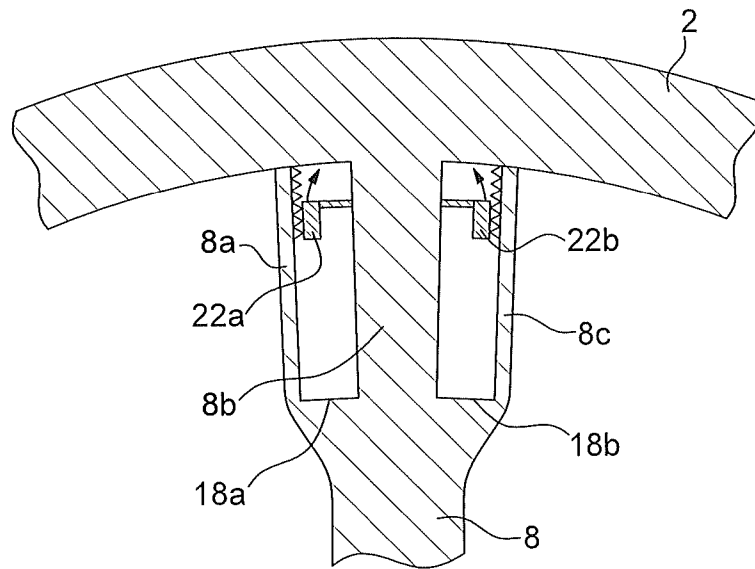


Fig. 10

