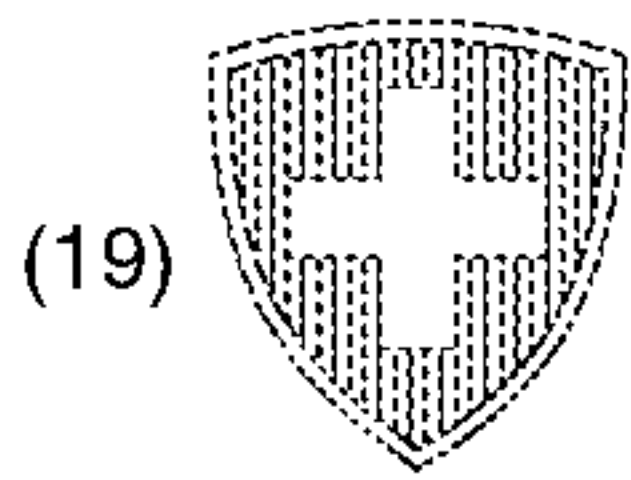




CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **716 156 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** 17/06 (2006.01)
B21F 3/08 (2006.01)
C21D 9/02 (2006.01)
C22C 27/02 (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00604/19

(22) Date de dépôt: 07.05.2019

(43) Demande publiée: 13.11.2020

(71) Requéant:
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

(72) Inventeur(s):
Christian Charbon, 2054 Chézard-St-Martin (CH)

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

(54) **Procédé de fabrication d'un ressort spiral pour mouvement d'horlogerie.**

(57) La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie, comprenant :

- une étape d'élaboration d'une ébauche dans un alliage de Nb-Zr comprenant entre 10 et 30% en poids de Zr,
- une étape de recuit et refroidissement de l'ébauche,
- au moins une étape de déformation de l'ébauche recuite pour former un fil, caractérisé en ce qu'il comprend, avant l'étape de déformation, une étape de dépôt, sur l'ébauche, d'une couche d'un matériau ductile choisi parmi le groupe comprenant le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-manganèse, l'or, l'argent, le nickel-phosphore Ni-P et le nickel-bore Ni-B, pour faciliter la mise en forme sous forme de fil, l'épaisseur de la couche de matériau ductile déposée étant choisie de sorte que le rapport surface de matériau ductile/surface de l'alliage pour une section de fil donnée soit inférieur à 1, de préférence inférieur à 0.5, et plus préférentiellement compris entre 0.01 et 0.4.

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie.

Arrière-plan de l'invention

[0002] La fabrication de ressorts spiraux pour l'horlogerie doit faire face à des contraintes souvent à première vue incompatibles :

- nécessité d'obtention d'une limite élastique élevée,
- facilité d'élaboration, notamment de tréfilage et de laminage,
- excellente tenue en fatigue,
- stabilité des performances dans le temps,
- faibles sections.

[0003] La réalisation de ressorts spiraux est en outre centrée sur le souci de la compensation thermique, de façon à garantir des performances chronométriques régulières. Il faut pour cela obtenir un coefficient thermoélastique proche de zéro. On recherche également à réaliser des ressorts spiraux présentant une sensibilité aux champs magnétiques limitée.

[0004] Des spiraux ont été développés à partir d'alliages de niobium et de zirconium. Toutefois, ces alliages posent des problèmes de collement et de grippage dans les filières d'étrépage ou de tréfilage (diamant ou métal dur) et contre les rouleaux de laminage (métal dur ou acier), ce qui les rend quasiment impossibles à transformer en fils fins par les procédés standards utilisés par exemple pour l'acier.

Résumé de l'invention

[0005] Un objet de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie permettant de faciliter les déformations, et plus particulièrement d'obtenir un laminage aisé.

[0006] A cet effet, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie qui comprend :

- une étape d'élaboration d'une ébauche dans un alliage de niobium et de zirconium constitué de :
 - niobium : balance à 100% en poids,
 - zirconium: entre 10 et 30% en poids,
 - impuretés avec un pourcentage total compris entre 0 et 0.5% en poids.
- une étape de recuit et refroidissement de ladite ébauche suivie d'une étape de déformation de l'ébauche recuite pour former un fil, les étapes de recuit et de déformation pouvant être répétées plusieurs fois,
- une étape d'estrapadage pour former le ressort-spiral,
- une étape finale de traitement thermique.

[0007] Selon l'invention, le procédé comprend avant l'étape de déformation et après l'étape de recuit et refroidissement, une étape de dépôt, sur l'ébauche, d'une couche d'un matériau ductile choisi parmi le groupe comprenant le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-manganèse, l'or, l'argent, le nickel-phosphore Ni-P et le nickel-bore Ni-B, pour faciliter la mise en forme sous forme de fil. L'épaisseur de la couche de matériau ductile déposée est choisie de sorte que le rapport surface de matériau ductile/surface de l'alliage NbZr pour une section de fil donnée est inférieur à 1, de préférence inférieur à 0.5, et plus préférentiellement compris entre 0.01 et 0.4. Seul un rapport surface de matériau ductile/surface de l'alliage NbZr choisi dans ces gammes permet de pouvoir laminier aisément le composite matériau ductile/NbZr. L'épaisseur de matériau ductile est optimisée pour que la pointe, créée par limage ou par étrépage à chaud, nécessaire à l'introduction du fil dans la filière lors de l'étrépage ou du tréfilage soit recouverte du matériau ductile. La couche doit être fine. En effet, une couche épaisse donne lieu à des problèmes de bourrage dans la filière. En outre, il a été observé avec une couche épaisse de matériau ductile que la forme de l'âme du fil est difficile à contrôler, avec une forme qui s'éloigne du cercle.

Description de l'invention

[0008] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie et réalisé dans un alliage comportant du niobium et du zirconium.

[0009] Le procédé comprend les étapes suivantes :

- une étape d'élaboration d'une ébauche dans un alliage de niobium et de zirconium constitué de :
 - niobium : balance à 100% en poids,
 - zirconium : entre 10 et 30% en poids,
 - impuretés avec un pourcentage total de ces dernières compris entre 0 et 0.5% en poids. Plus précisément, les impuretés peuvent être des traces d'éléments sélectionnés parmi le groupe constitué de O, H, C, Fe, N, Ni, Si, Cu, Al, Cr, Mn, V, Sn, Mg, Mo, Pb, Co, B, chacun desdits éléments étant présent dans une quantité comprise entre 0 et 1000 ppm en poids,
- une étape de recuit suivi d'un refroidissement de ladite ébauche,
- une étape de dépôt d'un matériau ductile sur l'ébauche,
- au moins une étape de déformation de l'ébauche pour former un fil, avec une étape de recuit et refroidissement entre les étapes de déformation lorsqu'il y a plusieurs étapes de déformation,
- une étape d'estrapadage pour former le ressort spiral,
- une étape finale de traitement thermique permettant de fixer la forme du ressort spiral et d'ajuster le coefficient thermoélastique.

[0010] Préférentiellement, l'ébauche en alliage NbZr utilisé dans la présente invention ne comprend pas d'autres éléments à l'exception d'éventuelles et inévitables traces. Cela permet d'éviter la formation de phases fragiles.

[0011] Plus particulièrement, la teneur en oxygène est de préférence inférieure ou égale à 0.10% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.03% en poids du total.

[0012] Plus particulièrement, la teneur en carbone est de préférence inférieure ou égale à 0.04% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.02% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.015% en poids du total.

[0013] Plus particulièrement, la teneur en fer est de préférence inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.02% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.005% en poids du total.

[0014] Plus particulièrement, la teneur en azote est de préférence inférieure ou égale à 0.04% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.02% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.015% en poids du total.

[0015] Plus particulièrement, la teneur en hydrogène est de préférence inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.0035% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.001% en poids du total.

[0016] Plus particulièrement, la teneur en silicium est de préférence inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.02% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.005% en poids du total.

[0017] Plus particulièrement, la teneur en nickel est de préférence inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0018] Plus particulièrement, la teneur en élément en solution solide ductile, tel que le cuivre, dans l'alliage, est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.004% en poids du total.

[0019] Plus particulièrement, la teneur en aluminium est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0020] Plus particulièrement, la teneur en chrome est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0021] Plus particulièrement, la teneur en manganèse est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0022] Plus particulièrement, la teneur en vanadium est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0023] Plus particulièrement, la teneur en étain est inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.0035% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.001% en poids du total.

[0024] Plus particulièrement, la teneur en magnésium est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0025] Plus particulièrement, la teneur en molybdène est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0026] Plus particulièrement, la teneur en plomb est inférieure ou égale à 0.05% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.002% en poids du total.

[0027] Plus particulièrement, la teneur en cobalt est inférieure ou égale à 0.01% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.0035% en poids du total, voire encore inférieure ou égale à 0.001% en poids du total.

[0028] Plus particulièrement, la teneur en bore est inférieure ou égale à 0.005% en poids du total, notamment inférieure ou égale à 0.0001% en poids du total.

[0029] L'étape de recuit est un traitement de mise en solution, avec une durée comprise, de préférence, entre 5 minutes et 2 heures, à une température comprise entre 700°C et 1500°C, sous vide, suivie d'une trempe sous gaz ou d'un refroidissement naturel sous vide, pour obtenir le Zr en solution solide sursaturée dans le Nb en phase β .

[0030] L'étape de dépôt qui fait plus particulièrement l'objet de l'invention consiste à déposer une couche d'un matériau ductile choisi parmi le groupe comprenant le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-manganèse, l'or, l'argent, le nickel-phosphore Ni-P et le nickel-bore Ni-B, pour faciliter la mise en forme sous forme de fil. L'épaisseur de la couche de matériau ductile déposée est choisie de sorte que le rapport surface de matériau ductile/surface de l'alliage NbZr pour une section de fil donnée est inférieur à 1, de préférence inférieur à 0.5, et plus préférentiellement compris entre 0.01 et 0.4. A titre d'exemple, pour un diamètre total du fil de 0.1 mm, la couche de matériau ductile peut avoir une épaisseur de 7 μm pour une section en alliage de NbZr de 0.086 mm de diamètre. Cela correspond à un rapport entre la surface de matériau ductile (0.002 mm²) et la surface de NbZr (0.0058 mm²) de 0.35.

[0031] Le matériau ductile, de préférence du cuivre, est ainsi déposé à un moment donné pour faciliter la mise en forme du fil par étirage, tréfilage et laminage, de telle manière à ce qu'il en reste une épaisseur de préférence comprise entre 1 et 500 micromètres sur le fil au diamètre total de 0.2 à 1 millimètre.

[0032] L'apport de matériau ductile peut être galvanique, par PVD ou CVD, ou bien mécanique, c'est alors une chemise ou un tube de matériau ductile tel que le cuivre qui est ajusté sur une barre d'alliage NbZr à un gros diamètre, puis qui est amincie au cours de la ou des étapes de déformation du barreau composite. Ainsi, une possibilité est de former une billette composite par assemblage d'une barre de Nb-Zr et d'une chemise de cuivre qui est ensuite extrudée à chaud.

[0033] L'étape de déformation désigne d'une manière globale un ou plusieurs traitements de déformation, qui peuvent comprendre le tréfilage et/ou le laminage. Le tréfilage peut nécessiter l'utilisation d'une ou plusieurs filières lors de la même étape de déformation ou lors de différentes étapes de déformation si nécessaire. Le tréfilage est réalisé jusqu'à l'obtention d'un fil de section ronde. Le laminage peut être effectué lors de la même étape de déformation que le tréfilage ou dans une autre étape de déformation ultérieure. Avantageusement, le dernier traitement de déformation appliqué à l'alliage est un laminage, de préférence à profil rectangulaire compatible avec la section d'entrée d'une broche d'estrapadage.

[0034] Le procédé peut comporter une étape ou plusieurs étapes de déformation avec un taux de déformation pour chaque étape compris entre 1 et 5, de préférence entre 2 et 5, le taux de déformation répondant à la formule classique $2\ln(d_0/d)$ où d_0 et d sont respectivement le diamètre avant et après déformation. Le taux total de déformation peut être compris entre 1 et 14.

[0035] Le procédé peut comporter des étapes intermédiaires de recuit entre les différentes étapes de déformation. Ces recuits intermédiaires sont également réalisés pendant une durée comprise entre 5 minutes et 2 heures, à une température comprise entre 700°C et 1500°C et suivis d'une trempe. Alternativement ces recuits peuvent être suivis d'un refroidissement lent c'est-à-dire naturelle de préférence sous vide.

[0036] Le procédé de l'invention comprend préférentiellement, après l'étape de déformation, une étape d'élimination de la couche de matériau ductile. De préférence, le matériau ductile est éliminé une fois toutes les opérations de déformation effectuées, c'est-à-dire après le dernier laminage, avant l'estrapadage. Cependant, il n'est pas exclu d'éliminer la couche de matériau ductile avant d'avoir finalisé toutes les opérations de déformation. Il est ainsi envisageable lors d'un laminage en plusieurs passes d'éliminer la couche de matériau ductile avant la dernière passe de laminage. De préférence, le fil est débarrassé de sa couche de matériau ductile, tel que le cuivre, notamment par attaque chimique, avec une solution à base de cyanures ou à base d'acides, par exemple d'acide nitrique.

[0037] Le traitement thermique final après l'estrapadage est réalisé à une température comprise entre 600 et 850°C, de préférence entre 650 et 750°C, pendant un temps compris entre 30 minutes et 80 heures, de préférence entre 30 minutes et 2 heures. Une structure biphasée avec du Nb en phase β et du Zr en phase α est obtenue à l'issue de ce traitement thermique.

[0038] Le procédé de l'invention permet la réalisation, et plus particulièrement la mise en forme, d'un ressort spiral pour balancier en alliage de type niobium-zirconium. Cet alliage présente des propriétés mécaniques élevées, en combinant une limite élastique très élevée, supérieure à 600 MPa, et un module d'élasticité très bas, de l'ordre de 60 GPa à 100 GPa. Cette combinaison de propriétés convient bien pour un ressort spiral. De plus, un tel alliage est paramagnétique.

[0039] Un alliage de type binaire comportant du niobium et du zirconium, du type sélectionné ci-dessus pour la mise en oeuvre de l'invention, présente également un effet similaire à celui de l'„Elinvar“, avec un coefficient thermo-élastique pratiquement nul dans la plage de températures d'utilisation usuelle de montres, et apte à la fabrication de spiraux auto-compensateurs.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie, comprenant :
 - une étape d'élaboration d'une ébauche dans un alliage de niobium et de zirconium constitué de :
 - niobium : balance à 100% en poids,
 - zirconium : entre 10 et 30% en poids,
 - impuretés avec un pourcentage total compris entre 0 et 0.5% en poids.
 - une étape de recuit et refroidissement de l'ébauche,
 - au moins une étape de déformation de l'ébauche recuite pour former un fil,
 - une étape d'estrapadage pour former le ressort spiral,
 - une étape de traitement thermique final du ressort spiral,le procédé est caractérisé en ce qu'il comprend, avant l'étape de déformation, une étape de dépôt, sur l'ébauche, d'une couche d'un matériau ductile choisi parmi le groupe comprenant le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-manganèse, l'or, l'argent, le nickel-phosphore Ni-P et le nickel-bore Ni-B, pour faciliter la mise en forme sous forme de fil, l'épaisseur de la couche de matériau ductile déposée étant choisie de sorte que le rapport surface de matériau ductile/surface de l'alliage pour une section de fil donnée soit inférieur à 1, de préférence inférieur à 0.5, et plus préférentiellement compris entre 0.01 et 0.4.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend, avant l'étape d'estrapadage, une étape d'élimination de ladite couche de matériau ductile.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de déformation est réalisée par tréfilage et/ou laminage.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une ou plusieurs étapes de déformation avec pour chaque étape une déformation effectuée avec un taux de déformation compris entre 1 et 5, le cumul global des déformations sur l'ensemble des étapes amenant un taux total de déformation compris entre 1 et 14.
5. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de recuit et refroidissement entre les étapes de déformation.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque étape de recuit et refroidissement est un traitement de mise en solution, avec une durée comprise entre 5 minutes et 2 heures à une température comprise entre 700°C et 1500°C, sous vide, suivie d'une trempe sous gaz ou d'un refroidissement naturel sous vide, pour obtenir le Zr en solution solide sursaturée dans le Nb.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de traitement thermique final est réalisée pendant une durée comprise entre 30 minutes et 80 heures à une température comprise entre 600°C et 850°C.