

(19)



(11)

**EP 3 796 101 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:

**19.02.2025 Bulletin 2025/08**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**G04B 17/06 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**G04B 17/066**

(21) Numéro de dépôt: **19198759.3**

(22) Date de dépôt: **20.09.2019**

(54) **RESSORT SPIRAL POUR MOUVEMENT D'HORLOGERIE**

**SPIRALFEDER FÜR UHRWERK**

**HAIRSPRING FOR CLOCK MOVEMENT**

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

• **VERARDO, Marco**  
**2336 Les Bois (CH)**

• **MICHELET, Lionel**  
**1450 Sainte-Croix (CH)**

(43) Date de publication de la demande:  
**24.03.2021 Bulletin 2021/12**

(74) Mandataire: **ICB SA**  
**Faubourg de l'Hôpital, 3**  
**2001 Neuchâtel (CH)**

(73) Titulaire: **Nivarox-FAR S.A.**  
**2400 Le Locle (CH)**

(56) Documents cités:  
**CN-A- 107 710 081 US-A1- 2007 133 355**

(72) Inventeurs:

• **CHARBON, Christian**  
**2054 Chézard-St-Martin (CH)**

**EP 3 796 101 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

### Domaine de l'invention

- 5   **[0001]** L'invention concerne un ressort spiral destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie. Elle se rapporte également au procédé de fabrication de ce ressort spiral.

### Arrière-plan de l'invention

- 10   **[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,
- 15   - facilité d'élaboration, notamment de tréfilage et de laminage,
- excellente tenue en fatigue,
- stabilité des performances dans le temps,
- 20   - faibles sections.

- 25   **[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.

**[0004]** Toute amélioration sur au moins l'un des points, et en particulier sur la tenue mécanique de l'alliage utilisé, représente donc une avancée significative.

- 30   **[0005]** On connaît du document US 2007/0133355 un ressort spiral réalisé dans un alliage de niobium et de titane constitué de 20 à 80% en poids de niobium et 80 à 20% en poids de titane avec des traces d'autres éléments choisis parmi O, C, N, Fe, B, Cr, Mo, Co, Mn et Al.

### Résumé de l'invention

- 35   **[0006]** L'invention se propose de définir un nouveau type de ressort spiral d'horlogerie, basé sur la sélection d'un matériau particulier, et de mettre au point le procédé de fabrication adéquat.

**[0007]** A cet effet, l'invention concerne un ressort spiral d'horlogerie réalisé dans un alliage de niobium et de titane défini par le revendication 1 du brevet.

- 40   **[0008]** L'invention concerne également le procédé de fabrication de ce ressort spiral d'horlogerie tel que revendiqué en annexe.

### Description sommaire des dessins

- 45   **[0009]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 représente, de façon schématisée, un ressort spiral réalisé avec un alliage Nb-Ti selon l'invention ;
- la figure 2 représente les courbes d'évolution du module de Young en fonction de la température rapporté sur le module de Young à 20°C pour respectivement le Nb pur et un alliage Nb-Ti selon l'invention avec 30% en poids de Ti.

### Description détaillée des modes de réalisation préférés

- 55   **[0010]** L'invention concerne un ressort spiral d'horlogerie réalisé dans un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane.

**[0011]** Selon l'invention, cet alliage comporte en poids:

- du niobium : balance à 100% ;
- du titane dans un pourcentage entre 27 et 33% ;

- des traces d'autres éléments choisis parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu et/ou Al, chacun desdits éléments étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en poids, et la somme de ces traces étant inférieure ou égale à 0.3%. En d'autres mots, le total des pourcentages en poids du titane et du niobium est compris entre 99.7% et 100% du total.

- 5 **[0012]** Le pourcentage en poids d'oxygène est inférieur ou égal à 0.10% du total, voire encore inférieur ou égal à 0.085% du total.
- [0013]** Le pourcentage en poids de tantale est inférieur ou égal à 0.10% du total.
- [0014]** Le pourcentage en poids de carbone est inférieur ou égal à 0.04% du total, notamment inférieur ou égal à 0.020% du total, voire encore inférieur ou égal à 0.0175% du total.
- 10 **[0015]** Le pourcentage en poids de fer est inférieur ou égal à 0.03% du total, notamment inférieur ou égal à 0.025% du total, voire encore inférieur ou égal à 0.020% du total.
- [0016]** Le pourcentage en poids d'azote est inférieur ou égal à 0.02% du total, notamment inférieur ou égal à 0.015% du total, voire encore inférieur ou égal à 0.0075% du total.
- [0017]** Le pourcentage en poids d'hydrogène est inférieur ou égal à 0.01% du total, notamment inférieur ou égal à 0.0035% du total, voire encore inférieur ou égal à 0.0005% du total.
- 15 **[0018]** Le pourcentage en poids de nickel est inférieur ou égal à 0.01% du total.
- [0019]** Le pourcentage en poids de silicium est inférieur ou égal à 0.01% du total.
- [0020]** Le pourcentage en poids de nickel est inférieur ou égal à 0.01% du total, notamment inférieur ou égal à 0.16% du total.
- 20 **[0021]** Le pourcentage en poids de cuivre est inférieur ou égal à 0.01% du total, notamment inférieur ou égal à 0.005% du total.
- [0022]** Le pourcentage en poids d'aluminium est inférieur ou égal à 0.01% du total.
- [0023]** De façon avantageuse, ce ressort spiral a une microstructure bi-phasée comportant du niobium en phase bêta cubique centré et du titane en phase alpha hexagonal compact.
- 25 **[0024]** Pour obtenir une telle microstructure, et convenant à l'élaboration d'un ressort, il est nécessaire de précipiter une partie de la phase alpha par traitement thermique.
- [0025]** Plus le taux de titane est élevé, plus la proportion maximale de phase alpha qui peut être précipitée par traitement thermique est élevée, ce qui incite à rechercher une forte proportion de titane. Mais a contrario, plus le taux de titane est élevé, plus il est difficile d'obtenir uniquement une précipitation de la phase alpha aux joints de grains. L'apparition de
- 30 précipités de type Widmstätten alpha-Ti intragranulaire ou la phase  $\omega$  intragranulaire rend la déformation du matériau difficile, voire impossible, ce qui ne convient alors pas à la réalisation d'un ressort spiral, et il convient alors de ne pas incorporer trop de titane dans l'alliage. En outre, l'application de cet alliage à un ressort spiral nécessite des propriétés aptes à garantir le maintien des performances chronométriques malgré la variation des températures d'utilisation d'une montre incorporant un tel ressort spiral. Le coefficient thermoélastique, dit aussi CTE de l'alliage, a alors une grande
- 35 importance. Pour former un oscillateur chronométrique avec un balancier en CuBe ou en maillechort, un CTE de +/- 10 ppm/°C doit être atteint. La formule qui lie le CTE de l'alliage et les coefficients de dilatation du spiral et du balancier est la suivante :

40 
$$CT = \frac{dM}{dT} = \left( \frac{1}{2E} \frac{dE}{dT} - \beta + \frac{3}{2} \alpha \right) \times 86400 \frac{s}{j^{\circ}C}$$

- [0026]** Les variables M et T sont respectivement la marche et la température. E est le module de Young du ressort spiral, et, dans cette formule, E,  $\beta$  et  $\alpha$  s'expriment en °C<sup>-1</sup>.
- 45 **[0027]** CT est le coefficient thermique de l'oscillateur, (1/E. dE/dT) est le CTE de l'alliage spiral,  $\beta$  est le coefficient de dilatation du balancier et  $\alpha$  celui du spiral. L'alliage en phase bêta écroui présente un CTE fortement positif, et la précipitation de la phase alpha qui possède un CTE fortement négatif permet de ramener l'alliage biphasé à un CTE proche de zéro, ce qui est particulièrement favorable. Cependant, comme mentionné plus haut, un pourcentage trop élevé de titane mène à la formation de phases fragiles. Un pourcentage de titane inférieur à 40% en poids permet d'obtenir un
- 50 bon compromis entre les différentes propriétés recherchées. Il est par ailleurs supposé que l'interaction entre les dislocations et les interstitiels C, H, N, O présents dans l'alliage de même que l'interaction entre les dislocations et les précipités de titane alpha jouent également un rôle favorable sur le CTE. La mise en mouvement des dislocations en fonction de la température provoque une diminution du module de Young du ressort spiral qui contrecarre l'anomalie positive de la phase bêta.
- 55 **[0028]** Le ressort spiral élaboré avec cet alliage a une limite élastique supérieure ou égale à 500 MPa et plus précisément comprise entre 500 et 1000 MPa. De façon avantageuse, il a un module d'élasticité inférieur ou égal à 120 GPa et de préférence inférieur ou égal à 110 GPa.
- [0029]** L'invention concerne également le procédé de fabrication du ressort spiral d'horlogerie, caractérisé en ce qu'on

met en œuvre successivement les étapes suivantes :

- élaboration d'une ébauche dans un alliage comportant du niobium et du titane et plus précisément :

- 5        - du niobium : balance à 100% ;
- un pourcentage en poids de titane entre 27% et 33% ;
- des traces d'autres éléments choisis parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, chacun desdits éléments étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en poids, et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en poids;
- 10       - une trempe de type bêta de ladite ébauche, de façon à ce que le titane dudit alliage soit essentiellement sous forme de solution solide avec le niobium en phase bêta ;
- application audit alliage de séquences de déformation suivie d'un traitement thermique. On entend par déformation une déformation par tréfilage et/ou laminage. Le tréfilage peut nécessiter l'utilisation d'une ou plusieurs filières lors d'une même séquence ou lors de différentes séquences 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 séquence de déformation que le tréfilage ou dans une autre séquence. Avantageusement, la dernière séquence appliquée à l'alliage est un laminage de préférence à profil rectangulaire compatible avec la section d'entrée d'une broche d'estrapadage. Ces séquences mènent à l'obtention d'une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, avec une limite élastique supérieure ou égale à 500 MPa et un module d'élasticité inférieur ou égal à 120 GPa et de préférence à 110 GPa.
- 20       - estrapadage pour former un ressort spiral, suivi d'un traitement thermique final.

[0030] Dans ces séquences couplées de déformation-traitement thermique, chaque déformation est effectuée avec un taux de déformation donné compris entre 1 et 5, ce taux de déformation répondant à la formule classique  $2\ln(d_0/d)$ , où  $d_0$  est le diamètre de la dernière trempe bêta, et où  $d$  est le diamètre du fil écroui. Le cumul global des déformations sur l'ensemble de cette succession de séquences amène un taux total de déformation compris entre 1 et 14. Chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique comporte, à chaque fois, un traitement thermique de précipitation de la phase alpha Ti.

[0031] La trempe bêta préalable aux séquences de déformation et de traitement thermique 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 1000°C, sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

[0032] Plus particulièrement encore, cette trempe bêta est un traitement de mise en solution, d'1 heure à 800°C sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

[0033] Pour revenir aux séquences couplées de déformation-traitement thermique, le traitement thermique est un traitement de précipitation d'une durée comprise entre 1 heure et 200 heures à une température comprise entre 300°C et 700°C. Plus particulièrement, la durée est comprise entre 5 heures et 30 heures à une température comprise entre 400°C et 600°C.

[0034] Plus particulièrement, le procédé comporte entre une et cinq séquences couplées de déformation-traitement thermique.

[0035] Plus particulièrement, la première séquence couplée de déformation-traitement thermique comporte une première déformation avec au moins 30 % de réduction de section.

[0036] Plus particulièrement, chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique, autre que la première, comporte une déformation entre deux traitements thermiques avec au moins 25 % de réduction de section.

[0037] Plus particulièrement, après cette élaboration de ladite ébauche en alliage, et avant les séquences de déformation-traitement thermique, dans une étape supplémentaire, on ajoute à l'ébauche une couche superficielle de matériau ductile pris parmi le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-magnanèse, l'or, l'argent, le nickel-phosphore Ni-P et le nickel-bore Ni-B, ou similaire, pour faciliter la mise en forme sous forme de fil lors de la déformation. Et, après les séquences de déformation-traitement thermique ou après l'étape d'estrapadage, on débarrasse le fil de sa couche du matériau ductile, notamment par attaque chimique.

[0038] Dans une variante, on dépose la couche superficielle de matériau ductile de façon à constituer un ressort spiral dont le pas n'est pas un multiple de l'épaisseur de la lame. Dans une autre variante, on dépose la couche superficielle de matériau ductile de façon à constituer un ressort dont le pas est variable.

[0039] Dans une application horlogère particulière, du matériau ductile ou du cuivre est ainsi ajouté à un moment donné pour faciliter la mise en forme sous forme de fil, de telle manière à ce qu'il en reste une épaisseur de 10 à 500 micromètres sur le fil au diamètre final de 0.3 à 1 millimètres. Le fil est débarrassé de sa couche de matériau ductile ou cuivre notamment par attaque chimique, puis est laminé à plat avant la fabrication du ressort proprement dit par estrapadage.

[0040] L'apport de matériau ductile ou cuivre peut être galvanique, ou bien mécanique, c'est alors une chemise ou un tube de matériau ductile ou cuivre qui est ajusté sur une barre d'alliage niobium-titane à un gros diamètre, puis qui est

amincie au cours des étapes de déformation du barreau composite.

**[0041]** Une couche barrière de diffusion, par exemple du nb, peut être ajoutée entre le nb-Ti et le Cu afin d'éviter la formation d'intermétalliques néfastes à la déformabilité du matériau. L'épaisseur de cette couche est choisie de manière à correspondre à une épaisseur de 100 nm à 1  $\mu\text{m}$  sur le fil à diamètre 0.1 mm.

**[0042]** L'enlèvement de la couche est notamment réalisable par attaque chimique, avec une solution à base de cyanures ou à base d'acides, par exemple d'acide nitrique.

**[0043]** Par une combinaison adéquate de séquences de déformation et de traitement thermique, il est possible d'obtenir une microstructure bi-phasée lamellaire très fine, en particulier nanométrique, comportant ou composée de niobium bêta et de titane alpha. Cet alliage combine une limite élastique très élevée, supérieure au moins à 500 MPa et un module d'élasticité très bas, de l'ordre de 80 GPa à 120 GPa. Cette combinaison de propriétés convient bien pour un ressort spiral. L'alliage après les séquences de déformation-traitement thermique présente une texture <110>. En outre, cet alliage niobium-titane selon l'invention se laisse facilement recouvrir de matériau ductile ou cuivre, ce qui facilite grandement sa déformation par tréfilage.

**[0044]** Un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane, du type sélectionné ci-dessus pour la mise en œuvre 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.

**[0045]** Plus précisément, si on compare à la figure 2, l'évolution du module de Young ( $E(T)/E_{20^\circ\text{C}}$ ) en fonction de la température pour du Nb pur et un alliage de Nb-Ti selon l'invention avec 30% en poids de Ti, on observe que les deux courbes sont en S avec pour différence notable que la présence de Ti permet de réduire fortement l'écart entre le minimum et le maximum de la courbe selon aussi bien l'axe des abscisses que l'axe des ordonnées. Plus précisément, la présence de Ti dans l'alliage et le procédé de fabrication selon l'invention tentent à lisser la courbe via la diminution du maximum de la courbe. Cet effet positif sur la réduction du maximum avec l'alliage selon l'invention est attribué à un ensemble de facteurs qui sont :

- la texture cristallographique de l'alliage qui est influencée par le taux de réduction depuis la trempe bêta,
- la densité de dislocations ajustée via les traitements thermiques qui induisent des phénomènes de restauration, voire de recristallisation,
- la concentration en interstitiels qui vont interagir avec les dislocations,
- le pourcentage de Ti en phase alpha
- la densité de précipités dans l'alliage (nombre de précipités Ti en phase alpha par unité de volume) .

## Revendications

1. Ressort spiral (1) destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie, le ressort spiral (1) étant réalisé dans un alliage de niobium et de titane constitué en poids de :

- niobium : balance à 100% ;
- des traces d'autres éléments choisis parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu et/ou Al, chacun desdits éléments étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en poids et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en poids,

**caractérisé en ce que** l'alliage de niobium comprend du titane avec un pourcentage compris entre 27 et 33% en poids.

2. Ressort spiral (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'il** a une microstructure bi-phasée comportant du niobium en phase bêta et du titane en phase alpha.

3. Ressort spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** a une limite élastique supérieure ou égale à 500 MPa, et un module d'élasticité inférieur ou égal à 120 GPa, de préférence inférieur ou égal à 110 GPa.

4. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) destiné à équiper un balancier d'un mouvement d'horlogerie, compre-

nant successivement :

- une étape d'élaboration d'une ébauche dans un alliage de niobium et de titane constitué en poids de :

- niobium : balance à 100% ;
- titane avec un pourcentage compris entre 27 et 33%,
- des traces d'autres éléments choisis parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu et/ou Al, chacun desdits éléments étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en poids et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en poids ;

- une étape de trempe de type bêta de ladite ébauche, de façon à ce que le titane dudit alliage soit essentiellement sous forme de solution solide avec le niobium en phase bêta,

- une étape d'application audit alliage d'une succession de séquences de déformation suivie d'un traitement thermique intermédiaire,

- une étape estrapadage pour former le ressort spiral (1),

- une étape de traitement thermique final.

5. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la déformation durant chaque séquence est réalisée par tréfilage et/ou laminage.

6. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'on** effectue la déformation de la dernière séquence par laminage à plat.

7. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** la déformation de chaque séquence est effectuée avec un taux de déformation donné compris entre 1 et 5, le cumul global des déformations sur l'ensemble de ladite succession de séquences amenant un taux total de déformation compris entre 1 et 14.

8. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 7, **caractérisé en ce que** la trempe de type bêta 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 1000°C, sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

9. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 8, **caractérisé en ce que** la trempe de type bêta est un traitement de mise en solution d'1 heure à 800°C sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

10. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 9, **caractérisé en ce que** le traitement thermique final ainsi que le traitement thermique intermédiaire de chaque séquence est un traitement de précipitation du Ti en phase alpha d'une durée comprise entre 1 heure et 200 heures à une température comprise entre 300°C et 700°C.

11. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 10, **caractérisé en ce que** le traitement thermique final ainsi que le traitement thermique intermédiaire de chaque séquence est un traitement de précipitation du Ti en phase alpha d'une durée comprise entre 5 heures et 30 heures à une température comprise entre 400°C et 600°C.

12. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 11, **caractérisé en ce que** ledit procédé comporte entre une et cinq dites séquences de déformation suivie d'un traitement thermique intermédiaire.

13. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 12, **caractérisé en ce que** la première dite séquence de déformation suivie d'un traitement thermique intermédiaire comporte une première déformation avec au moins 30 % de réduction de section.

14. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** chaque dite séquence de déformation suivie d'un traitement thermique intermédiaire, autre que la première, comporte une déformation entre deux traitements thermiques intermédiaires avec au moins 25 % de réduction de section.

15. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) selon l'une des revendications 4 à 14, **caractérisé en ce que**, après l'étape d'élaboration de l'ébauche en alliage, et avant l'étape d'application d'une succession de séquences, on ajoute

à ladite ébauche une couche superficielle de matériau ductile pris parmi le cuivre, le nickel, le cupro-nickel, le cupro-magnanèse, 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 et **en ce que**, avant ou après l'étape d'estrapadage, on débarrasse ledit fil de sa couche dudit matériau ductile par attaque chimique.

5

## Patentansprüche

- 10 1. Spiralfeder (1), die dazu bestimmt ist, eine Unruh eines Uhrwerks auszustatten, wobei die Spiralfeder (1) aus einer Niob- und Titanlegierung hergestellt ist, die aus folgendem Gewicht besteht:

- 15 - Niob: der Rest bis zu 100 %;  
 - Spuren anderer Elemente, die aus O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu und/oder Al ausgewählt werden, wobei jedes der Elemente im Bereich zwischen 0 und 1.600 ppm des Gesamtgewichts liegt und die Summe der Spuren weniger oder gleich 0,3 Gew.-% ist,

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Nioblegierung Titan mit einem Anteil im Bereich zwischen 27 und 33 Gew.-% umfasst.

- 20 2. Spiralfeder (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine zweiphasige Mikrostruktur aufweist, die Niob in der Beta-Phase und Titan in der Alpha-Phase enthält.

- 25 3. Spiralfeder (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Elastizitätsgrenze von größer oder gleich 500 MPa und einen Elastizitätsmodul von kleiner oder gleich 120 GPa, vorzugsweise kleiner oder gleich 110 GPa, aufweist.

4. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1), die dazu bestimmt ist, eine Unruh eines Uhrwerks auszustatten, das nacheinander Folgendes umfasst:

- 30 - einen Schritt des Erstellens eines Rohwerks aus einer Niob- und Titanlegierung, die aus folgendem Gewicht besteht:

- 35 - Niob: der Rest bis zu 100 %;  
 - Titan mit einem Anteil im Bereich zwischen 27 und 33 Gew.-%;  
 - Spuren anderer Elemente, die aus O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu und/oder Al ausgewählt werden, wobei jedes der Elemente im Bereich zwischen 0 und 1.600 ppm des Gesamtgewichts liegt und die Summe der Spuren weniger oder gleich 0,3 Gew.-% ist,

- 40 - einen Schritt des Beta-Abschreckens des Rohwerks, so dass das Titan der Legierung im Wesentlichen in Form einer festen Lösung mit dem Niob in der Beta-Phase vorliegt,  
 - einen Schritt des Anwendens einer Abfolge von Verformungssequenzen auf die Legierung, gefolgt von einer zwischenzeitlichen Wärmebehandlung,  
 - einen Schritt des Aufwindens, um die Spiralfeder (1) zu bilden,  
 - einen Schritt der abschließenden Wärmebehandlung.

- 45 5. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verformung während jeder Sequenz durch Drahtziehen und/oder Walzung durchgeführt wird.

- 50 6. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verformung der letzten Sequenz durch Flachwalzung erfolgt.

7. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verformung jeder Sequenz mit einer gegebenen Verformungsrate im Bereich zwischen 1 und 5 durchgeführt wird, wobei die Gesamtkumulation der Verformungen über die gesamte Abfolge von Sequenzen zu einer Gesamtverformungsrate im Bereich zwischen 1 und 14 führt.

- 55 8. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich beim Beta-Abschrecken um ein Lösungsglühen mit einer Dauer im Bereich zwischen 5 Minuten und 2 Stunden

bei einer Temperatur im Bereich zwischen 700 °C und 1.000 °C unter Vakuumbedingungen handelt, gefolgt von einem Kühlen unter Gas.

9. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich beim Beta-Abschrecken um ein 1-stündiges Lösungsglühen bei 800 °C unter Vakuumbedingungen handelt, gefolgt von einem Kühlen unter Gas.
10. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei der abschließenden Wärmebehandlung sowie der zwischenzeitlichen Wärmebehandlung jeder Sequenz um eine Ausscheidungsbehandlung von Ti in der Alpha-Phase mit einer Dauer im Bereich zwischen 1 Stunde und 200 Stunden bei einer Temperatur im Bereich zwischen 300 °C und 700 °C handelt.
11. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei der abschließenden Wärmebehandlung sowie der zwischenzeitlichen Wärmebehandlung jeder Sequenz um eine Ausscheidungsbehandlung von Ti in der Alpha-Phase mit einer Dauer im Bereich zwischen 5 Stunden und 30 Stunden bei einer Temperatur im Bereich zwischen 400 °C und 600 °C handelt.
12. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren zwischen einer und fünf Verformungssequenzen, gefolgt von einer zwischenzeitlichen Wärmebehandlung, enthält.
13. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Verformungssequenz, gefolgt von einer zwischenzeitlichen Wärmebehandlung, eine erste Verformung mit einer Querschnittsverringerng von mindestens 30 % enthält.
14. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Verformungssequenz, gefolgt von einer zwischenzeitlichen Wärmebehandlung, abgesehen von der ersten, eine Verformung zwischen zwei zwischenzeitlichen Wärmebehandlungen mit einer Querschnittsverringerng von mindestens 25 % enthält.
15. Verfahren zum Herstellen einer Spiralfeder (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Schritt des Erstellens des Rohwerks aus der Legierung und vor dem Schritt des Anwendens einer Abfolge von Sequenzen dem Rohwerk eine Oberflächenschicht aus duktilem Material, das aus Kupfer, Nickel, Kupfernickel, Kupfer-Mangan, Gold, Silber, Nickel-Phosphor (NiP) und Nickel-Bor (NiB) ausgewählt wird, hinzugefügt wird, um das Formen in Drahtform zu erleichtern, und dass vor oder nach dem Schritt des Aufwindens die Schicht aus duktilem Material durch chemische Ätzung von dem Draht entfernt wird.

## Claims

1. Balance spring (1) intended to equip a balance of a horological movement, the balance spring (1) being made of a niobium and titanium alloy containing by weight:
  - niobium: the remainder to 100%;
  - traces of other elements selected from among O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu and/or Al, each of said elements being in the range of 0 to 1,600 ppm of the total weight, and the sum of said trace elements being less than or equal to 0.3 wt. %,**characterised in that** the niobium alloy comprises titanium in a weight percentage of between 27 and 33 wt.%.
2. Balance spring (1) according to the preceding claim, **characterised in that** it has a two-phase microstructure including niobium in the beta phase and titanium in the alpha phase.
3. Balance spring (1) according to one of the preceding claims, **characterised in that** it has a yield strength greater than or equal to 500 MPa and a modulus of elasticity less than or equal to 120 GPa, preferably less than or equal to 110 GPa.
4. Method for manufacturing a balance spring (1) intended to equip a balance of a horological movement, comprising in succession:

- a step of producing a blank made from a niobium and titanium alloy containing by weight:

- niobium: the remainder to 100t%;
- titanium in a weight percentage between 27 and 33%,
- traces of other elements selected from among O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu and/or Al, each of said elements being in the range of 0 to 1,600 ppm of the total weight, and the sum of said trace elements being less than or equal to 0.3 wt%;
- a step of beta-type quenching said blank such that the titanium of said alloy is essentially in the form of a solid solution with beta-phase niobium,
- a step of applying, to said alloy, a succession of deformation sequences followed by an intermediate heat treatment,
- a winding step for forming the balance spring (1),
- a final heat treatment step.

5. Method for manufacturing a balance spring (1) according to claim 4, **characterised in that** the deformation during each sequence is performed by wire drawing and/or rolling.

6. Method for manufacturing a balance spring (1) according to claim 5, **characterised in that** the deformation of the last sequence is performed by flat rolling.

7. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 6, **characterised in that** the deformation of each sequence is performed at a given deformation rate in the range of 1 to 5, the total cumulation of the deformations over the entirety of said succession of sequences producing a total deformation rate in the range of 1 to 14.

8. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 7, **characterised in that** the beta-type quench is a dissolving treatment, the duration of which is in the range of 5 minutes to 2 hours at a temperature of between 700°C and 1,000°C, in a vacuum, followed by gas cooling.

9. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 8, **characterised in that** the beta-type quench is a dissolving treatment, lasting 1 hour at 800°C in a vacuum, followed by gas cooling.

10. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 9, **characterised in that** the final heat treatment in addition to the intermediate heat treatment of each sequence is an alpha-phase Ti precipitation treatment, the duration of which is in the range of between 1 hour to 200 hours at a temperature of between 300°C and 700°C.

11. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 10, **characterised in that** the final heat treatment in addition to the intermediate heat treatment of each sequence is an alpha-phase Ti precipitation treatment, the duration of which is in the range of 5 hours to 30 hours at a temperature of between 400°C and 600°C.

12. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 11, **characterised in that** said method includes between one and five said deformation sequences followed by an intermediate heat treatment.

13. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 12, **characterised in that** the first said deformation sequence followed by an intermediate heat treatment includes a first deformation with at least a 30% section reduction.

14. Method for manufacturing a balance spring (1) according to claim 13, **characterised in that** each said deformation sequence followed by an intermediate heat treatment, aside from the first, includes a deformation between two intermediate heat treatments with at least a 25% section reduction.

15. Method for producing a balance spring (1) according to one of claims 4 to 14, **characterised in that** after the step of producing the alloy blank, and before the step of applying a succession of sequences, a surface layer of ductile material, taken from among copper, nickel, cupronickel, cupromanganese, gold, silver, nickel-phosphorus Ni-P and nickel-boron Ni-B, is added to said blank to ease the wire shaping operation and **in that**, before or after the winding step, the layer of said ductile material is removed from said wire by etching.

Fig. 1

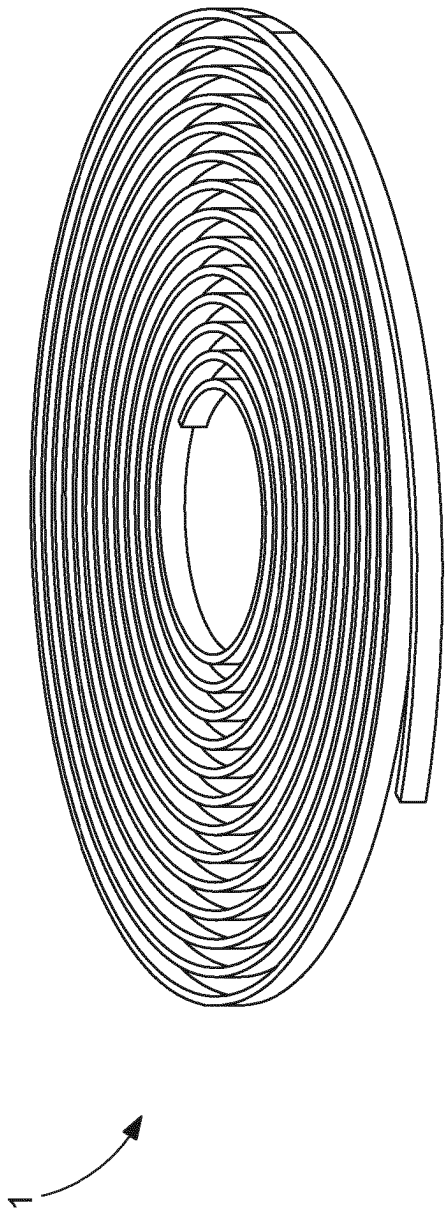
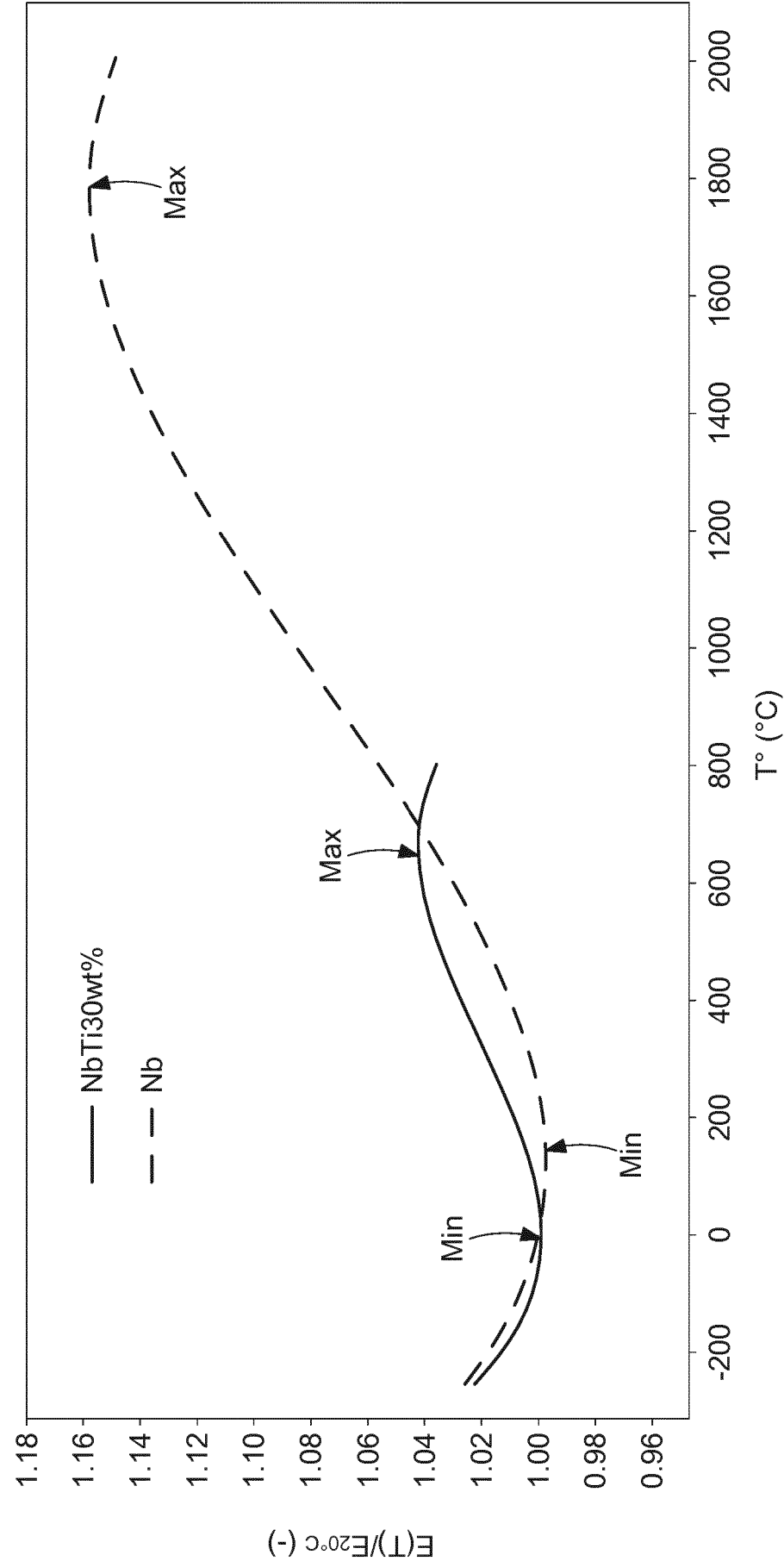


Fig. 2



**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 20070133355 A [0005]