

CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **713 935 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.: **G04D** **3/00** (2006.01)  
**G04B** **17/06** (2006.01)  
**C21D** **8/06** (2006.01)  
**C22C** **14/00** (2006.01)  
**C22C** **27/02** (2006.01)  
**G04B** **1/14** (2006.01)  
**C21D** **9/02** (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00861/17

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

(22) Date de dépôt: 03.07.2017

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

(43) Demande publiée: 28.12.2018

(30) Priorité: 26.06.2017 EP 17177906.9

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

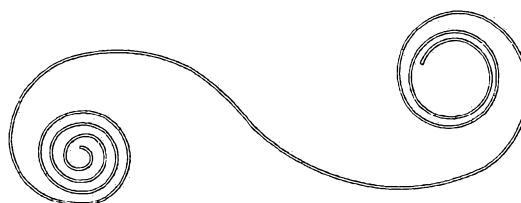
(54) **Ressort spiralé d'horlogerie.**

(57) L'invention concerne un ressort spiralé d'horlogerie à structure bi-phasée, en alliage de niobium et titane, et un procédé de fabrication de ce ressort. Le matériau dudit ressort est un alliage binaire comportant du niobium et du titane, avec:

- niobium: balance à 100%;
- titane entre 40.0% et 60.0% en masse du total,
- des traces de composants parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, entre 0 et 1600 ppm du total en masse en individuel, avec cumul inférieur à 0.3% en masse.

Le procédé de fabrication comprend:

- l'application de déformations alternées à des traitements thermiques pour l'obtention d'une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, de limite élastique supérieure à 1000 MPa, de module d'élasticité inférieur à 80 GPa;
- le tréfilage pour obtenir du fil calandrablé;
- le calandrage ou mise en bague pour former un ressort de barillet, en clé de sol avant son premier armage, ou l'estrapadage pour former un ressort-spiral.



## Description

### Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un ressort spirale d'horlogerie, notamment un ressort de barillet ou un ressort-spiral, à structure bi-phasée.

[0002] L'invention concerne encore un procédé de fabrication d'un ressort spirale d'horlogerie.

[0003] L'invention concerne le domaine de la fabrication des ressorts d'horlogerie, en particulier des ressorts de stockage d'énergie, tels que ressorts de barillet ou ressorts-spiraux moteur ou de sonnerie, ou des ressorts d'oscillateur, tels que spiraux.

### Arrière-plan de l'invention

[0004] La fabrication de ressorts de stockage d'énergie pour l'horlogerie doit faire face à des contraintes souvent à première vue incompatibles:

- nécessité d'obtention d'une limite élastique très élevée,
- nécessité d'obtention d'un module d'élasticité bas,
- facilité d'élaboration, notamment de tréfilage,
- excellente tenue en fatigue,
- tenue dans le temps,
- faibles sections,
- agencement des extrémités: crochet de bonde et bride glissante, avec des fragilités locales et une difficulté d'élaboration.

[0005] La réalisation de ressorts-spiraux est quant à elle 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.

[0006] 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.

### Résumé de l'invention

[0007] L'invention se propose de définir un nouveau type de ressort spirale d'horlogerie, basé sur la sélection d'un matériau particulier, et de mettre au point le procédé de fabrication adéquat.

[0008] A cet effet, l'invention concerne un ressort spirale d'horlogerie à structure biphasée, selon la revendication 1.

[0009] L'invention concerne encore un procédé de fabrication d'un tel ressort spirale d'horlogerie, selon la revendication 9.

### Description sommaire des dessins

[0010] 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 fig. 1 représente, de façon schématisée et en vue en plan avant son premier armage, un ressort de barillet qui est un ressort spirale selon l'invention;
- la fig. 2 représente, de façon schématisée, un ressort spiral qui est un ressort spirale selon l'invention;
- la fig. 3 représente la séquence des opérations principales du procédé selon l'invention.

### Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0011] L'invention concerne un ressort spirale d'horlogerie à structure bi-phasée.

[0012] Selon l'invention, le matériau de ce ressort spirale est un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane.

[0013] Dans une variante avantageuse de réalisation, cet alliage comporte:

- niobium: balance à 100%;
- une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 40.0% du total et inférieure ou égale à 60.0% du total,
- des traces d'autres composants parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, chacun desdits composants de traces étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en masse, et la somme de ces traces étant inférieure ou égale à 0.3% en masse.

[0014] Plus particulièrement, cet alliage comporte une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 45.0% du total et inférieure ou égale à 48.0% du total.

**[0015]** De façon avantageuse, ce ressort spiralé a une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta cubique centré et du titane alpha hexagonal compact.

**[0016]** Pour obtenir une telle structure, et convenant à l'élaboration d'un ressort, il est nécessaire de précipiter une partie de la phase alpha par traitement thermique.

**[0017]** 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 intersections des joints de grains. L'apparition de 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 spirale, et il convient alors de ne pas incorporer trop de titane dans l'alliage. La mise au point de l'invention a permis de déterminer un compromis, avec un optimum entre ces deux caractéristiques voisin de 47% de titane en masse.

**[0018]** Aussi, plus particulièrement, la proportion en masse de titane est supérieure ou égale à 46.5% du total.

**[0019]** Plus particulièrement, la proportion en masse de titane est inférieure ou égale à 47.5% du total.

**[0020]** Dans une alternative, la balance à 100% du total en masse est faite par le titane, et la proportion en masse de niobium est supérieure ou égale à 51.7% du total et inférieure ou égale à 55.0% du total.

**[0021]** Dans une autre variante de composition, la proportion en masse de titane est supérieure ou égale à 46.0% du total et inférieure ou égale à 50.0% du total.

**[0022]** Dans une autre variante encore de composition, la proportion en masse de titane est supérieure ou égale à 53.5% du total et inférieure ou égale à 56.5% du total, et la proportion en masse de niobium est supérieure ou égale à 43.5% du total et inférieure ou égale à 46.5% du total.

**[0023]** Plus particulièrement, dans chaque variante, le total des proportions en masse du titane et du niobium est compris entre 99.7% et 100% du total.

**[0024]** Plus particulièrement, la proportion en masse d'oxygène est inférieure ou égale à 0.10% du total, voire encore inférieure ou égale à 0.085% du total.

**[0025]** Plus particulièrement, la proportion en masse de tantale est inférieure ou égale à 0.10% du total.

**[0026]** Plus particulièrement, la proportion en masse de carbone est inférieure ou égale à 0.04% du total, notamment inférieure ou égale à 0.020% du total, voire encore inférieure ou égale à 0.0175% du total.

**[0027]** Plus particulièrement, la proportion en masse de fer est inférieure ou égale à 0.03% du total, notamment inférieure ou égale à 0.025% du total, voire encore inférieure ou égale à 0.020% du total.

**[0028]** Plus particulièrement, la proportion en masse d'azote est inférieure ou égale à 0.02% du total, notamment inférieure ou égale à 0.015% du total, voire encore inférieure ou égale à 0.0075% du total.

**[0029]** Plus particulièrement, la proportion en masse d'hydrogène est inférieure ou égale à 0.01% du total, notamment inférieure ou égale à 0.0035% du total, voire encore inférieure ou égale à 0.0005% du total.

**[0030]** Plus particulièrement, la proportion en masse de nickel est inférieure ou égale à 0.01% du total.

**[0031]** Plus particulièrement, la proportion en masse de silicium est inférieure ou égale à 0.01% du total.

**[0032]** Plus particulièrement, la proportion en masse de nickel est inférieure ou égale à 0.01% du total, notamment inférieure ou égale à 0.16% du total.

**[0033]** Plus particulièrement, la proportion en masse de matériau ductile ou cuivre est inférieure ou égale à 0.01% du total, notamment inférieure ou égale à 0.005% du total.

**[0034]** Plus particulièrement, la proportion en masse d'aluminium est inférieure ou égale à 0.01% du total.

**[0035]** Ce ressort spirale a une limite élastique supérieure ou égale à 1000 MPa.

**[0036]** Plus particulièrement, le ressort spirale a une limite élastique supérieure ou égale à 1500 MPa.

**[0037]** Plus particulièrement encore, le ressort spirale a une limite élastique supérieure ou égale à 2000 MPa.

**[0038]** De façon avantageuse, ce ressort spirale a un module d'élasticité supérieur à 60 GPa et inférieur ou égal à 80 GPa.

**[0039]** L'alliage ainsi déterminé permet, selon le traitement appliqué en cours d'élaboration, la confection de ressorts spirales qui sont des ressorts-spiraux avec une limite élastique supérieure ou égale à 1000 MPa, ou des ressorts de barillet, notamment lorsque la limite élastique supérieure ou égale à 1500 MPa.

**[0040]** L'application 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 importance. 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. Pour former un oscillateur chronométrique

avec un balancier en CuBe ou en maillechort, un CTE de  $\pm 10$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  doit être atteint. La formule qui lie le CTE de l'alliage et les coefficients de dilatation du spiral est la suivante:

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

**[0041]** 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  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

**[0042]** CT est le coefficient thermique de l'oscillateur,  $(1/E) \cdot dE/dT$  est le CTE de l'alliage spiral,  $\beta$  est le coefficient de dilatation du balancier et  $\alpha$  celui du spiral.

**[0043]** L'invention concerne encore un procédé de fabrication d'un ressort spirale d'horlogerie, caractérisé en ce qu'on met en œuvre successivement les étapes suivantes:

- (10) élaboration d'une ébauche dans un alliage comportant du niobium et du titane, qui est un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane, et qui comporte:
  - niobium: balance à 100%;
  - une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 45.0% du total et inférieure ou égale à 48.0% du total,
  - des traces d'autres composants parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, chacun desdits composants de traces étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en masse, et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en masse;
- (20) application audit alliage de séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, comportant l'application de déformations alternées à des traitements thermiques, jusqu'à l'obtention d'une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, avec une limite élastique supérieure ou égale à 1000 MPa, et un module d'élasticité supérieur à 60 GPa et inférieur ou égal à 80 GPa;
- (30) tréfilage jusqu'à l'obtention d'un fil de section ronde, et laminage à profil rectangulaire compatible avec la section d'entrée d'une calandre ou d'une broche d'estrapadage ou avec une mise en bague dans le cas d'un ressort de barillet;
- (40) calandrage en clé de sol des spires pour former un ressort de barillet avant son premier armage, ou estrapadage pour former un ressort-spiral, ou mise en bague et traitement thermique pour un ressort de barillet.

**[0044]** De façon particulière, on effectue l'application à cet alliage de séquences couplées 20 de déformation-traitement thermique de précipitation, comportant l'application de déformations (21) alternées à des traitements thermiques (22), jusqu'à l'obtention d'une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, avec une limite élastique supérieure ou égale à 2000 MPa. Plus particulièrement, le cycle de traitement comporte alors préalablement une trempe bêta (15) à un diamètre donné, de façon à ce que toute la structure de l'alliage soit bêta, puis une succession de ces séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation.

**[0045]** Dans ces séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, chaque déformation est effectuée avec un taux de déformation donné compris entre 1 et 5, ce taux de déformation répondant à la formule classique  $2\ln(d0/d)$ , où d0 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 phases amène un taux total de déformation compris entre 1 et 14. Chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte, à chaque fois, un traitement thermique de précipitation de la phase alpha Ti (300–700  $^{\circ}\text{C}$ , 1h–30h).

**[0046]** Cette variante de procédé comportant une trempe bêta est particulièrement adaptée à la fabrication de ressorts de barillet. Plus particulièrement, cette trempe bêta est un traitement de mise en solution, avec une durée comprise entre 5 minutes et 2 heures à une température comprise entre 700  $^{\circ}\text{C}$  et 1000  $^{\circ}\text{C}$ , sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

**[0047]** Plus particulièrement encore, cette trempe bêta est un traitement de mise en solution, avec 1 heure à 800  $^{\circ}\text{C}$  sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

**[0048]** Pour revenir aux séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, plus particulièrement chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte un traitement de précipitation d'une durée un traitement de précipitation d'une durée comprise entre 1 heure et 80 heures à une température comprise entre 350  $^{\circ}\text{C}$  et 700  $^{\circ}\text{C}$ . Plus particulièrement, la durée est comprise entre 1 heure et 10 heures à une température comprise entre 380  $^{\circ}\text{C}$  et 650  $^{\circ}\text{C}$ . Plus particulièrement encore, la durée est de 1 heure à 12 heures, à une température de 380  $^{\circ}\text{C}$ .

**[0049]** Plus particulièrement, le procédé comporte entre une et cinq séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation.

**[0050]** Plus particulièrement, la première séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte une première déformation avec au moins 30% de réduction de section.

**[0051]** Plus particulièrement, chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation, autre que la première, comporte une déformation entre deux traitements thermiques de précipitation avec au moins 25% de réduction de section.

**[0052]** Plus particulièrement, après cette élaboration de ladite ébauche en alliage, et avant le tréfilage, dans une étape supplémentaire 25, 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 de fil par étirage et tréfilage et laminage. Et, après le tréfilage, ou après le laminage, ou après une opération ultérieure de calandrage ou estrapadage, ou encore de mise en bague et traitement thermique dans le cas d'un ressort de barillet, on débarrasse le fil de sa couche du matériau ductile, notamment par attaque chimique, dans une étape 50.

**[0053]** Pour le ressort de barillet, il est en effet possible d'effectuer la fabrication par mise en bague et traitement thermique, où la mise en bague remplace le calandrage. Le ressort de barillet est encore généralement traité thermiquement après mise en bague ou après calandrage.

**[0054]** Un ressort spiral est, quant à lui, généralement, encore traité thermiquement après estrapadage.

**[0055]** Plus particulièrement, on effectue la dernière phase de déformation sous la forme d'un laminage à plat, et on pratique le dernier traitement thermique sur le ressort calandre ou mis en bague ou estrapade. Plus particulièrement, après le tréfilage, on lamine le fil à plat, avant la fabrication du ressort proprement dit par calandrage ou estrapadage ou mise en bague.

**[0056]** 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.

**[0057]** Dans une application horlogère particulière, du matériau ductile ou cuivre est ainsi ajouté à un moment donné pour faciliter la mise en forme du fil par étirage et tréfilage, 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.

**[0058]** 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.

**[0059]** 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.

**[0060]** L'invention permet, ainsi, notamment la réalisation d'un ressort spirale de barillet en alliage de type niobium-titane, typiquement à 47% en masse de titane (46–50%). Par une combinaison adéquate d'étapes 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 1000 MPa, ou supérieure à 1500 MPa, voire à 2000 MPa sur du fil, et un module d'élasticité très bas, de l'ordre de 60 GPa à 80 GPa. Cette combinaison de propriétés convient bien pour un ressort de barillet ou ressort-spiral. Cet alliage de type niobium-titane se laisse facilement recouvrir de matériau ductile ou cuivre, ce qui facilite grandement sa déformation par tréfilage.

**[0061]** Un tel alliage est connu et utilisé pour la fabrication de supraconducteurs, tels qu'appareils d'imagerie par résonance magnétique, ou accélérateurs de particules), mais n'est pas utilisé en horlogerie. Sa microstructure fine et bi-phasée est recherchée dans le cas des supraconducteurs pour des raisons physiques et a comme effet collatéral bienvenu une amélioration des propriétés mécaniques de l'alliage.

**[0062]** Un alliage de type NbTi47 convient particulièrement bien pour la réalisation d'un ressort de barillet, et aussi pour la réalisation de ressorts-spiraux.

**[0063]** Un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane, du type sélectionné ci-dessus pour la mise en œuvre de l'invention, est également susceptible d'être utilisé comme fil spiral, il présente 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, en particulier pour des alliages niobium-titane avec une proportion en masse de titane de 40%, 50%, ou 65%.

**[0064]** La sélection de composition selon l'invention s'est imposée aussi par ailleurs pour l'application supraconducteur, et est favorable en raison de la teneur en titane, qui évite les inconvénients:

- des alliages trop chargés en titane, où apparaît une phase martensitique, et où l'on se heurte à des difficultés de mise en forme;
- des alliages trop faibles en titane, qui se traduisent par moins de phase alpha lors du ou des traitements thermiques de précipitation.

**[0065]** La mise en forme du lacet d'un ressort-spiral implique d'éviter les alliages à fort titane, et la nécessité de l'atteinte de la compensation thermique spiral implique d'éviter les alliages à bas titane.

## Revendications

1. Ressort spirale d'horlogerie à structure bi-phasée, caractérisé en ce que le matériau dudit ressort spirale est un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane, et qui comporte:
  - niobium: balance à 100%;
  - une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 40.0% du total et inférieure ou égale à 60.0% du total,

- des traces d'autres composants parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, chacun desdits composants de traces étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en masse, et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en masse.
- 2. Ressort spiralé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit alliage comporte une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 45.0% du total et inférieure ou égale à 48.0% du total.
- 3. Ressort spiralé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le total des proportions en masse du titane et du niobium est compris entre 99.7% et 100% du total.
- 4. Ressort spiralé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit ressort spirale a une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha.
- 5. Ressort spiralé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la proportion en masse de titane est supérieure ou égale à 46.5% du total.
- 6. Ressort spiralé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la proportion en masse de titane est inférieure ou égale à 47.5% du total.
- 7. Ressort spiralé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit ressort spirale est un ressort de barillet.
- 8. Ressort spiralé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit ressort spirale est un ressort spiral.
- 9. Procédé de fabrication d'un ressort spirale d'horlogerie, caractérisé en ce qu'on met en œuvre successivement les étapes suivantes:
  - élaboration d'une ébauche dans un alliage de type binaire comportant du niobium et du titane, et qui comporte:
    - niobium: balance à 100%;
  - une proportion en masse de titane supérieure ou égale à 45.0% du total et inférieure ou égale à 48.0% du total,
  - des traces d'autres composants parmi O, H, C, Fe, Ta, N, Ni, Si, Cu, Al, chacun desdits composants de traces étant compris entre 0 et 1600 ppm du total en masse, et la somme desdites traces étant inférieure ou égale à 0.3% en masse;
  - exécution d'un cycle de traitement comportant préalablement une trempe bêta à un diamètre donné, de façon à ce que toute la structure de l'alliage soit bêta, puis application audit alliage d'une succession de séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, comportant l'application de déformations alternées à des traitements thermiques, jusqu'à l'obtention d'une microstructure biphasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, avec une limite élastique supérieure ou égale à 1000 MPa, et un module d'élasticité supérieur à 60 GPa et inférieur ou égal à 80 GPa;
  - tréfilage jusqu'à l'obtention d'un fil de section ronde, et laminage à profil rectangulaire compatible avec la section d'entrée d'une calandre ou d'une broche d'estrapadage ou avec une mise en bague;
  - calandrage en clé de sol des spires pour former un ressort de barillet avant son premier armage, ou estrapadage pour former un ressort-spiral, ou mise en bague et traitement thermique pour un ressort de barillet.
- 10. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on effectue la dernière phase de déformation sous la forme d'un laminage à plat, et en ce qu'on pratique le dernier traitement thermique sur le ressort calandre ou mis en bague ou estrapade.
- 11. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce qu'on effectue l'application audit alliage de séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, comportant l'application de déformations alternées à des traitements thermiques, jusqu'à l'obtention d'une microstructure bi-phasée comportant du niobium bêta et du titane alpha, avec une limite élastique supérieure ou égale à 2000 MPa, le cycle de traitement comportant préalablement une trempe bêta à un diamètre donné, de façon à ce que toute la structure de l'alliage soit bêta, puis une succession desdites séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation, où chaque déformation 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 phases amenant un taux total de déformation compris entre 1 et 14, et qui comporte à chaque fois un traitement thermique de précipitation de la phase alpha Ti.
- 12. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 11, caractérisé en ce que ladite trempe 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.
- 13. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 12, caractérisé en ce que ladite trempe bêta est un traitement de mise en solution, avec 1 heure à 800 °C sous vide, suivie d'un refroidissement sous gaz.

14. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon l'une des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte un traitement de précipitation d'une durée comprise entre 1 heure et 80 heures à une température comprise entre 350 °C et 700 °C.
15. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 14, caractérisé en ce que chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte un traitement de précipitation d'une durée comprise entre 1 heure et 10 heures à une température comprise entre 380 °C et 650 °C.
16. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 15, caractérisé en ce que chaque séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte un traitement de précipitation d'une durée de 1 heure à 12 heures à 450 °C.
17. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon l'une des revendications 9 à 16, caractérisé en ce que ledit procédé comporte entre une et cinq dites séquences couplées de déformation-traitement thermique de précipitation.
18. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon l'une des revendications 9 à 17, caractérisé en ce que la première dite séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation comporte une première déformation avec au moins 30% de réduction de section.
19. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 18, caractérisé en ce que chaque dite séquence couplée de déformation-traitement thermique de précipitation, autre que la première, comporte une déformation entre deux traitements thermiques de précipitation avec au moins 25% de réduction de section.
20. Procédé de fabrication d'un ressort spiral selon l'une des revendications 9 à 19, caractérisé en ce que, après ladite élaboration de ladite ébauche en alliage, et avant ledit tréfilage, 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 de fil par étirage et tréfilage et laminage, et en ce que, après ledit tréfilage, ou après ledit laminage, ou après une opération ultérieure de calandrage ou estrapadage ou de mise en bague, on débarrasse ledit fil de sa couche dudit matériau ductile par attaque chimique.
21. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 20, caractérisé en ce que, après ledit tréfilage, on lamine ledit fil à plat, avant la fabrication du ressort proprement dit par calandrage ou estrapadage ou mise en bague.
22. Procédé de fabrication d'un ressort spirale selon la revendication 20 ou 21, caractérisé en ce qu'on dépose ladite couche superficielle de matériau ductile de façon à constituer un ressort dont le pas est constant et n'est pas un multiple de l'épaisseur de lame.

Fig. 1

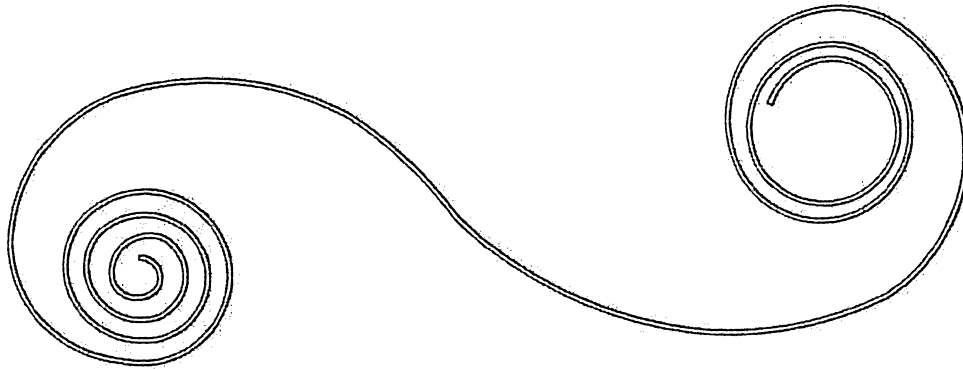


Fig. 2

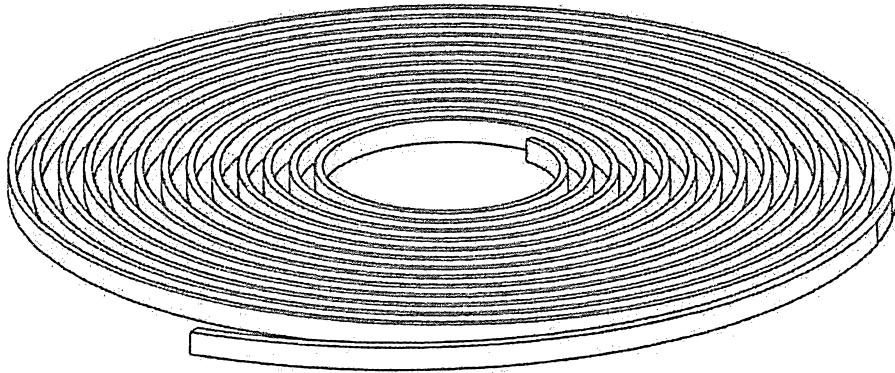


Fig. 3

