

(19)



(11)

EP 2 154 581 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

17.02.2010 Bulletin 2010/07

(51) Int Cl.:

G04B 1/14 (2006.01)

G04D 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **08405192.9**

(22) Date de dépôt: **04.08.2008**

(84) Etats contractants désignés:

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

Etats d'extension désignés:

AL BA MK RS

(71) Demandeur: **ROLEX SA**

1211 Genève 26 (CH)

(72) Inventeurs:

- **Gritti, Dominique**
2016 Cortaillod (CH)

• **Gyger, Thomas**

2712 Le Fuet (CH)

• **Von Niederhäusern, Vincent**

2830 Courrendlin (CH)

(74) Mandataire: **Savoye, Jean-Paul et al**

Moinas & Savoye S.A.,

42, rue Plantamour

1201 Genève (CH)

(54) **Ressort de barillet et procede pour sa mise en forme**

(57) Ressort de barillet pour mécanisme entraîné par un ressort moteur, notamment pour pièce d'horlogerie, formé d'un ruban de matériau en verre métallique. Ce ruban est monolithique.

EP 2 154 581 A1

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un ressort de barillet pour mécanisme entraîné par un ressort moteur, notamment pour pièce d'horlogerie, formé d'un matériau en verre métallique, ainsi qu'à un procédé pour la mise en forme de ce ressort de barillet.

[0002] On a déjà proposé dans le EP 0 942 337 une montre comprenant un ressort moteur en métal amorphe. En réalité, seul une lame formée d'un stratifié en métal amorphe assemblé avec de la résine époxy est décrite dans ce document. En variante, un assemblage de lames par soudage par points des deux extrémités et du point d'inflexion de la forme libre du ressort a été proposé.

[0003] Le problème majeur d'une telle lame est le risque élevé de délaminage du stratifié lors de sa mise en forme et suite aux armages et aux désarmages répétés auquel un tel ressort est soumis. Ce risque est d'autant plus accentué que la résine vieillit mal et perd ses propriétés.

[0004] Cette solution ne permet pas de garantir la fonctionnalité et le comportement en fatigue du ressort. En outre, la modélisation de la forme théorique du ressort proposée ne prend pas en compte le comportement d'un matériau stratifié.

[0005] La raison du choix d'utiliser plusieurs lames minces assemblées est due à la difficulté d'obtenir des lames en verre métallique plus épaisses, alors que l'on connaissait des procédés de fabrication de rubans d'une dizaine à une trentaine de microns par trempe rapide, développés dans les années 1970 pour des rubans amorphes utilisés pour leurs propriétés magnétiques.

[0006] Il est évident qu'une telle solution ne permet pas de répondre aux exigences de couple, de fiabilité et d'autonomie qu'un ressort de barillet doit satisfaire.

[0007] Quant aux ressorts traditionnels en alliage Nivaflex® notamment, la bande initiale d'alliage est formée en un ressort de barillet en deux étapes:

- La bande est enroulée sur elle-même pour former une spirale serrée (déformation élastique) et ensuite traitée dans un four pour fixer cette forme. Ce traitement thermique est également essentiel pour les propriétés mécaniques car il permet d'augmenter la limite élastique du matériau, par une modification de sa structure cristalline (durcissement structurel par précipitation);
- le ressort en forme de spirale est estrapadé, donc déformé plastiquement à froid pour prendre sa forme définitive. Ceci permet aussi d'augmenter le niveau de contrainte à disposition.

[0008] Les propriétés mécaniques de l'alliage et la forme finale sont le résultat de la combinaison de ces deux étapes. Un traitement thermique unique ne permettrait pas d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées pour les alliages traditionnels.

[0009] Le fixage d'alliages métalliques cristallins im-

plique une durée de traitement relativement longue (plusieurs heures) à une température assez élevée pour induire la modification recherchée de la structure cristalline.

[0010] Dans le cas des verres métalliques, les propriétés mécaniques du matériau sont intrinsèquement liées à sa structure amorphe et sont obtenues immédiatement après solidification contrairement aux propriétés mécaniques des ressorts traditionnels en alliage Nivaflex® qui sont obtenues par une suite de traitements thermiques à des étapes différentes de leur procédé de fabrication. Par conséquent, et contrairement à l'alliage Nivaflex®, un durcissement ultérieur par traitement thermique n'est pas nécessaire.

[0011] Traditionnellement, seul l'estrapadage permet de donner au ressort une forme optimale qui permet une contrainte maximale de la bande sur toute sa longueur une fois le ressort armé. Au contraire, pour un ressort en verre métallique, la forme optimale finale est uniquement fixée par un seul traitement thermique, tandis que les hautes propriétés mécaniques sont uniquement liées à la structure amorphe. Les propriétés mécaniques des verres métalliques ne sont pas changées par le traitement thermique ou par la déformation plastique, car les mécanismes sont totalement différents de ceux rencontrés dans un matériau cristallin.

[0012] Le but de la présente invention est de remédier, au moins en partie, aux inconvénients sus-mentionnés.

[0013] A cet effet, la présente invention a tout d'abord pour objet un ressort de barillet pour mécanisme entraîné par un ressort moteur selon la revendication 1. Elle a ensuite pour objet un procédé pour la mise en forme du ressort de barillet.

[0014] Le fait de réaliser un ressort de barillet en un ruban monolithique en verre métallique permet de tirer tous les avantages de cette classe de matériaux, en particulier de son aptitude à stocker une grande densité d'énergie élastique et à la restituer avec un couple remarquablement constant. Les valeurs de la contrainte maximale et du module de Young de ces matériaux permettent en effet d'augmenter le ratio σ^2/E par rapport aux alliages traditionnels, tel le Nivaflex®.

[0015] Les dessins annexés illustrent, schématiquement et à titre d'exemple, une forme d'exécution du ressort de barillet objet de l'invention.

La figure 1 est une vue en plan du ressort armé dans le barillet;

la figure 2 est une vue en plan du ressort désarmé dans le barillet;

la figure 3 est une vue en plan du ressort dans son état libre;

la figure 4 est un diagramme armage-désarmage d'un ressort de barillet en verre métallique.

[0016] Dans l'exemple exposé ci-dessous, les rubans destinés à former les ressorts de barillet sont réalisés par la technique de la trempe sur roue (ou Planar Flow

Casting) qui est une technique de production de rubans métalliques par refroidissement rapide. Un jet de métal en fusion est propulsé sur une roue froide qui tourne à grande vitesse. La vitesse de la roue, la largeur de la fente d'injection, la pression d'injection sont autant de paramètres qui vont définir la largeur et l'épaisseur du ruban produit. D'autres techniques de réalisation de rubans peuvent également être utilisées, comme par exemple le Twin Roll Casting.

[0017] L'alliage utilisé est $\text{Ni}_{53}\text{Nb}_{20}\text{Zr}_8\text{Ti}_{10}\text{Co}_6\text{Cu}_3$ dans cet exemple. De 10 à 20g d'alliage sont placés dans une buse de distribution chauffée entre 1050 et 1150°C. La largeur de fente de la buse se situe entre 0,2 et 0,8mm. La distance entre la buse et la roue est entre 0,1 et 0,3mm. La roue sur laquelle l'alliage en fusion est déposé est une roue en alliage de cuivre et entraînée à une vitesse de 5 à 20m/s. La pression exercée pour faire sortir l'alliage en fusion à travers la buse se situe entre 10 et 50kPa.

[0018] Seule une bonne combinaison de ces paramètres a permis de former des rubans d'une épaisseur de 40 à 150µm et d'une longueur de plus d'un mètre.

[0019] Pour une bande soumise en flexion pure le moment élastique maximal est donné par la relation suivante :

$$M_{\max} = \frac{e^2 h}{6} \sigma_{\max} \quad (1)$$

e : Epaisseur de la bande [mm]

h : Hauteur de la bande [mm]

σ_{\max} : Contrainte maximale en flexion [N/mm²]

[0020] Le ressort de barillet libère son énergie lorsqu'il passe de l'état armé à l'état désarmé. Le but est de calculer la forme que le ressort doit avoir dans son état libre afin que chaque tronçon soit soumis au moment de flexion maximum dans son état armé. Les figures 1 à 3 ci-dessous décrivent respectivement les trois configurations du ressort de barillet à savoir armé, désarmé et libre.

[0021] Pour les calculs, le ressort dans son état armé (voir figure 1) est considéré comme une spirale d'Archimède avec les spires serrées les unes contre les autres.

[0022] Dans ce cas un point quelconque sur l'abscisse curviligne peut être écrit par :

$$r_n = r_{\text{bonde}} + ne \quad (2)$$

r_n : Rayon à l'état armé du nième tour [mm]

r_{bonde} : Rayon de la bonde [mm]

n : Nb de tours d'armage

e : Epaisseur de la bande [mm]

[0023] De plus la longueur de l'abscisse curviligne de chaque tour est donnée par :

$$L_n = r_n \theta \quad (3)$$

L_n : Longueur de l'abscisse curviligne du nième tour [mm]

r_n : Rayon à l'état armé du nième tour [mm]

θ : Angle parcouru [rad]. Dans le cas d'un tour $\theta=2\pi$

[0024] La forme du ressort dans son état libre est calculée en tenant compte des différences de rayons de courbure afin que le ressort soit contraint au σ_{\max} sur toute la longueur.

$$\frac{1}{r_n} - \frac{1}{R_{\text{libre}}^n} = \frac{M_{\max}}{EI} = \frac{2\sigma_{\max}}{eE} \quad (4)$$

R_{libre}^n : Rayon à l'état libre du nième tour [mm]

M_{\max} : Moment max [N mm]

E : Module de Young [N/mm²]

I : Moment d'inertie [mm⁴]

[0025] Par conséquent, pour calculer la forme théorique du ressort à l'état libre il nous suffit de calculer les éléments suivants :

1. Calculer le rayon à l'état armé du nième tour par la relation (2) avec $n=1,2, \dots$

2. Calculer la longueur de l'abscisse curviligne du nième tour par la relation (3).

3. Calculer le rayon à l'état libre du nième tour par la relation (4).

4. Pour finir calculer l'angle du segment du nième tour par la relation (3) mais en remplaçant r_n par

R_{libre}^n et en conservant la longueur de segment L_n calculée au point 2.

[0026] Avec ces paramètres, il est maintenant possible de construire le ressort à l'état libre de manière à ce que chaque élément du ressort soit contraint au σ_{\max} (figure 3).

[0027] Le ruban de verre métallique est obtenu par solidification rapide du métal liquide sur une roue en cuivre ou alliage à haute conductivité thermique tournant à grande vitesse. Une vitesse de refroidissement critique minimale est requise pour vitrifier le métal liquide. Si le refroidissement est trop lent, le métal se solidifie par cristallisation et perd ses propriétés mécaniques. Il est important, pour une épaisseur donnée, de garantir le taux de refroidissement maximum. Plus celui-ci sera élevé,

moins les atomes auront le temps de relaxer et plus la concentration de volume libre sera importante. La ductilité de la bande est alors améliorée.

[0028] La déformation plastique des verres métalliques, en-dessous d'environ $0.7 \times$ la température de transition vitreuse T_g [K], se fait de manière hétérogène par l'intermédiaire de l'initiation puis de la propagation de bandes de glissement. Les volumes libres agissent comme sites de germination des bandes de glissement et plus leur nombre est élevé, moins la déformation est localisée et plus la déformation avant rupture est importante.

[0029] L'étape de Planar Flow Casting est donc déterminante pour les propriétés mécaniques et thermodynamiques du ruban.

[0030] Entre la température de transition vitreuse T_g -100K et T_g , la viscosité diminue fortement avec la température, soit environ un ordre de grandeur par élévation de 10K. La viscosité à T_g est généralement égale à 10^{12} Pa·s, indépendamment de l'alliage considéré. Il est alors possible de modeler le corps visqueux, en l'occurrence la bande, pour lui donner sa forme désirée, puis la refroidir pour figer durablement la forme.

[0031] Aux environs de T_g , l'activation thermique va permettre la diffusion des volumes libres et des atomes au sein de la matière. Les atomes vont localement former des domaines plus denses, proche d'une structure cristalline aux dépens des volumes libres, qui vont être annihilés. Ce phénomène est appelé relaxation. La diminution du volume libre s'accompagne d'une augmentation du module de Young et d'une diminution de la ductilité ultérieure.

[0032] A plus hautes températures (au-dessus de T_g), le phénomène de relaxation peut s'apparenter à un recuit. Par l'agitation thermique, la diffusion des atomes est facilitée : la relaxation est ainsi accélérée et provoque une fragilisation drastique du verre par annihilation du volume libre. Si le temps de traitement est trop long, le matériau amorphe va cristalliser et perdre ainsi ses propriétés exceptionnelles.

[0033] La mise en forme à chaud est donc un équilibre entre une relaxation suffisante pour retenir la forme voulue et une diminution aussi faible que possible de la ductilité.

[0034] Pour y arriver, il faut chauffer et refroidir le plus rapidement possible, et maintenir la bande à la température voulue durant un temps bien maîtrisé.

[0035] L'alliage utilisé $\text{Ni}_{53}\text{Nb}_{20}\text{Zr}_{10}\text{Co}_6\text{Cu}_3$ a été sélectionné pour son excellent compromis entre la résistance mécanique (3 GPa) et sa faculté à vitrifier (diamètre critique de 3mm et $\Delta T (=T_g - T_x)$ de 50°C , T_x désignant la température de cristallisation). Son module élastique est de 130 GPa, mesuré en traction et flexion.

Propriétés mécaniques :

[0036]

Résistance maximale $\sigma_{\max} = 3000 \text{ MPa}$

Déformation élastique $\varepsilon_{\max} = 0.02$

Module élastique $E = 130 \text{ GPa}$

5 Propriétés thermodynamiques :

[0037]

Transition vitreuse $T_g = 593^\circ\text{C}$

10 Température de cristallisation $T_x = 624^\circ\text{C}$

Température de fusion $T_m = 992^\circ\text{C}$

[0038] Les bandes produites par la technique du Planar Flow Casting (PFC) ont une largeur de plusieurs millimètres et une épaisseur comprise entre 40 et $150\mu\text{m}$. On a usiné, par la technique d'électroérosion au fil, des rubans à la largeur et longueur typique d'un ressort de barillet. Un meulage des flancs a été effectué, après quoi on a procédé à la mise en forme du ressort, à partir de la forme théorique telle que calculée précédemment.

[0039] Pour procéder à la mise en forme, on utilise un posage du type de ceux utilisés généralement, sur lequel on enroule le ressort pour lui donner sa forme libre, après quoi on a introduit le tout dans un four chauffé aux environs de T_g (590°C) pour une durée de 3 à 5 minutes, dépendant du posage utilisé.

[0040] D'autres modes de chauffage peuvent être utilisés, tel que le chauffage par effet Joule ou un jet de gaz inerte chaud par exemple.

[0041] Une fois le ressort ainsi formé, on a rivé à son extrémité externe une bride glissante pour ressort de montre à remontage automatique en alliage Nivaflex®, pour permettre d'effectuer des tests d'armage et de désarmage. La bride glissante est nécessaire pour assurer la fonction d'un tel ressort, cependant sa méthode d'assemblage à la lame ainsi que la matière de la bride peuvent varier.

[0042] La figure 4 montre la variation de couple en fonction du nombre de tours obtenue avec le ressort calculé et mis en forme selon la méthode décrite dans ce document. Cette courbe d'armage-désarmage est tout à fait caractéristique du comportement d'un ressort de barillet. De plus, le couple, le nombre de tours de développement et le rendement global sont pleinement satisfaisants compte tenu des dimensions de la lame.

Revendications

- 50 1. Ressort de barillet pour mécanisme entraîné par un ressort moteur, notamment pour pièce d'horlogerie, formé d'un ruban en verre métallique, **caractérisé en ce que** ce ruban est monolithique.
- 55 2. Ressort de barillet selon la revendication 1, dont l'épaisseur est comprise entre 40 et $150\mu\text{m}$.
3. Ressort de barillet selon l'une des revendications

précédentes, dont la forme à l'état libre permet à chaque segment, dans sa position armée dans le barillet, d'être soumis au moment de flexion maximum.

5

4. Procédé pour la mise en forme du ressort de barillet selon la revendication 3, **caractérisé en ce que**

- on calcule la forme théorique à donner à une lame monolithique en verre métallique pour que chaque segment, une fois le ressort armé dans le barillet, soit soumis au moment de flexion maximum,
- on donne à cette lame une forme proche de cette forme théorique,
- on effectue la relaxation de la lame pour fixer sa forme en la chauffant
- on refroidit cette lame.

10

15

5. Procédé selon la revendication 4, selon lequel, on impose la forme libre théorique du ressort de barillet à la lame monolithique en la disposant sur un posage approprié.

20

6. Procédé selon l'une des revendications 4 et 5, selon lequel on effectue le fixage de la lame monolithique mise en forme en la chauffant dans une plage comprise entre -50K de la température de transition vitreuse et +50K de la température de cristallisation.

25

30

7. Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, selon lequel on effectue le fixage de la lame mise en forme en la chauffant puis en la refroidissant dans un intervalle de temps inférieur à 6 minutes.

35

40

45

50

55

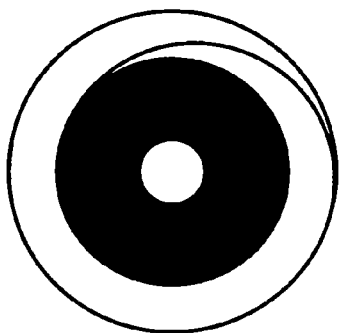


Figure 1

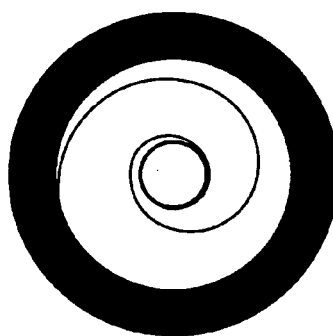


Figure 2

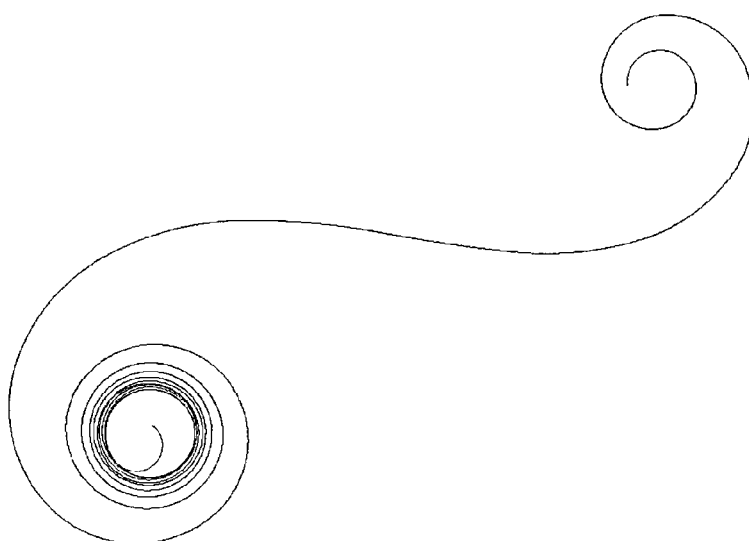


Figure 3

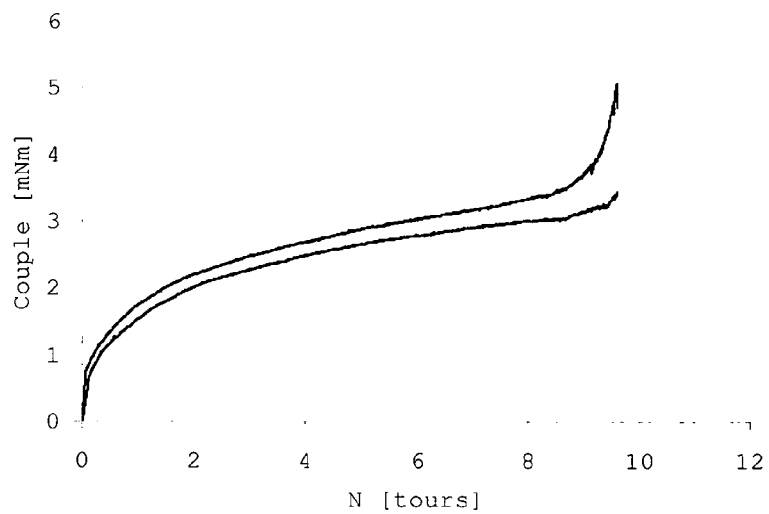


Figure 4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 08 40 5192

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X,D	EP 0 942 337 A (SEIKO EPSON CORP [JP]) 15 septembre 1999 (1999-09-15)	1-3	INV.
A	* alinéas [0001], [0012] - [0063] *	4-7	G04B1/14 G04D3/00
A	DE 31 36 303 A1 (VACUUMSCHMELZE GMBH [DE]) 14 avril 1983 (1983-04-14) * page 4, ligne 9-32 * * abrégé *	2,4	
A	US 3 187 416 A (PAUL TUETEV ET AL) 8 juin 1965 (1965-06-08) * revendication 1 *	4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 12 mars 2009	Examineur Burns, Mike
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 40 5192

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

12-03-2009

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0942337 A	15-09-1999	CN 1237250 A	01-12-1999
		DE 69836411 T2	27-09-2007
		HK 1020617 A1	04-05-2007
		WO 9912080 A1	11-03-1999
		JP 3498315 B2	16-02-2004
		US 6843594 B1	18-01-2005
DE 3136303 A1	14-04-1983	AUCUN	
US 3187416 A	08-06-1965	CH 375685 A	15-10-1963

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- EP 0942337 A [0002]