



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **705 292 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/06** (2006.01)  
**G04B 17/26** (2006.01)  
**G04B 31/00** (2006.01)

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

|   |  |
|---|--|
| (21) Numéro de la demande: 01125/12         | (73) Titulaire(s):<br>ROLEX S.A., 3-5-7, rue François-Dussaud<br>1211 Genève 26 (CH)             |
| (22) Date de dépôt: 25.07.2012              |  |
| (43) Demande publiée: 31.01.2013            | (72) Inventeur(s):<br>Raphaël Cettour-Baron, 74140 Messery (FR)<br>Denis Rudaz, 01170 Segny (FR) |
| (30) Priorité: 29.07.2011 EP 11405295.4     |  |
| (24) Brevet délivré: 15.12.2016             |  |
| (45) Fascicule du brevet publié: 15.12.2016 | (74) Mandataire:<br>MOINAS & SAVOYE SA, 42, rue Plantamour<br>1201 Genève (CH)                   |

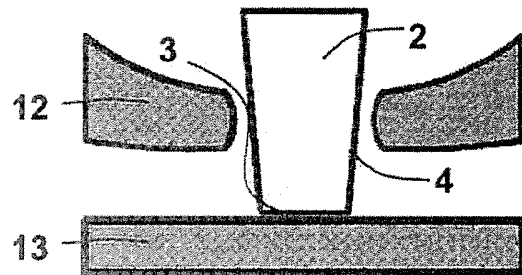
(54) **Ensemble balancier-spiral à pivotement.**

(57) Ensemble balancier-spiral pour mouvement d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il respecte la condition suivante:

$$D^5 \cdot f / I \leq 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$$

où D est le diamètre du balancier, f la fréquence, et I l'inertie.

L'invention concerne également un oscillateur comprenant un tel ensemble balancier-spiral, ainsi qu'un agencement pour le pivotement d'un tel ensemble balancier-spiral ou d'un tel oscillateur comprenant une géométrie du pivot (2) de l'axe de l'ensemble balancier-spiral et/ou du palier (12, 13) apte à un frottement relatif entre le pivot et le palier en position horizontale dudit mouvement d'horlogerie proche de celui obtenu entre le pivot et le palier en position verticale dudit mouvement d'horlogerie.



## Description

### Introduction

[0001] La présente invention concerne un ensemble balancier-spiral pour mouvement d'horlogerie, un oscillateur pour mouvement d'horlogerie intégrant un tel balancier, et l'ensemble formé par un tel balancier et son agencement de pivotement. Enfin, elle concerne aussi un mouvement d'horlogerie ou une montre-bracelet en tant que tel équipé d'un tel balancier-spiral.

### Etat de l'Art

[0002] Dans un mouvement d'horlogerie mécanique, l'axe du balancier comprend à ses extrémités des pivots qui tournent dans des paliers. Les solutions existantes cherchent à minimiser le frottement entre un pivot et le palier pour limiter les pertes d'énergie lors de la rotation de l'axe considéré.

[0003] Les fig. 1 et 2 représentent schématiquement le pivotement d'un axe de balancier d'un mouvement d'horlogerie selon une solution standard de l'état de la technique. Un pivot 2, disposé à l'extrémité d'un axe 1, comprend une surface 3 arrondie à son extrémité. Ce pivot 2 coopère avec un palier comprenant une pierre plate appelée contre-pivot 13 et une pierre comprenant un trou olivé appelée pierre olivée 12.

[0004] La fig. 1 représente une première configuration dans laquelle le mouvement d'horlogerie se trouve en position horizontale (par rapport au sol), souvent appelée position «plat», et dans laquelle l'axe du balancier est dans une position verticale de sorte que la surface 3 du pivot 2 vient en appui sur le contre-pivot 13. Dans cette première configuration, la surface de frottement entre le pivot 2 et le palier est faible et le frottement résultant est bas.

[0005] La fig. 2 représente une seconde configuration dans laquelle le mouvement d'horlogerie se trouve dans une position verticale, souvent appelée position «pendu», et dans laquelle l'axe 1 du balancier est dans une position horizontale. Dans cette configuration, le pivot 2 vient en appui sur le bord 14 du trou de la pierre olivée 12, et le frottement résultant devient plus important que dans la première configuration explicitée ci-dessus. L'amplitude d'oscillation de l'ensemble balancier-spiral est alors réduite par rapport à la première configuration.

[0006] De nombreuses solutions de l'état de la technique cherchent à réduire la différence de comportement du pivotement décrit ci-dessus entre les positions «plat» et «pendu», cette différence étant souvent simplement dénommée «plat-pendu». En effet, il est important de garantir un fonctionnement d'une montre-bracelet indépendant de son orientation, qui varie dans le temps de manière aléatoire et imprévisible avec les mouvements du bras du porteur de la montre-bracelet. Pour cela, des solutions existantes visent à rapprocher les frottements existants entre un pivot et un palier dans les deux orientations principales, horizontale et verticale, d'un mouvement d'horlogerie pour réduire le «plat-pendu». A titre d'exemple, les documents CH 239 786, US 2 654 990 ou encore EP 1 986 059 décrivent de telles solutions.

[0007] D'autre part, il est aussi admis, comme cela est par exemple expliqué dans la publication de 1969 de Pierre Chopard, intitulée «Influence de la géométrie du balancier sur les performances chronométriques de la montre», publiée dans les actes du Colloque International de Chronométrie, que les balanciers de grand diamètre et de faible masse présentent les meilleures performances pour une inertie donnée.

[0008] Toutefois, toutes les solutions existantes restent insatisfaisantes et il existe un besoin d'amélioration du comportement du pivotement d'un balancier d'un mouvement d'horlogerie.

[0009] Ainsi, l'objet de l'invention consiste à chercher une solution de pivotement d'un balancier de mouvement d'horlogerie qui réduit le «plat-pendu», tout en optimisant les pertes d'énergie et la performance globale du balancier.

### Brève description de l'invention

[0010] A cet effet, l'invention repose sur un ensemble balancier-spiral ou un oscillateur pour mouvement d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il respecte la condition suivante:

$$D^5 \cdot f / I \leq 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$$

où D est le diamètre du balancier, f la fréquence, et I l'inertie.

[0011] L'invention est précisément définie par les revendications.

### Brève description des figures

[0012] Ces objets, caractéristiques et avantages de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faits à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles:

- La fig. 1 représente une vue en position horizontale ou «plat» d'un agencement de pivotement d'un balancier selon un état de la technique.
- La fig. 2 représente la vue en position verticale ou «pendu» de l'agencement de pivotement d'un balancier selon l'état de la technique.

## CH 705 292 B1

Les fig. 3 à 9 représentent schématiquement des agencements de pivotement d'un balancier utilisés selon différents modes de réalisation de la présente invention.

Les fig. 10 et 11 illustrent les facteurs de qualité en fonction de l'amplitude obtenus respectivement avec un ensemble balancier-pivotement standard et un ensemble balancier-pivotement selon l'invention.

**[0013]** Pour la suite de la description, nous utiliserons pour une raison de simplicité les mêmes références sur les différentes figures pour désigner des mêmes éléments, même si leurs formes et propriétés varient selon les modes de réalisation.

**[0014]** L'invention repose d'abord sur l'utilisation d'un balancier qui se caractérise par un petit diamètre et/ou une inertie importante, soit un balancier lourd, par rapport à tous ceux utilisés habituellement. Un tel choix va ainsi à l'encontre des idées préconçues qui considèrent qu'un balancier est plus performant s'il présente au contraire un grand diamètre et s'il est léger.

**[0015]** Cette caractérisation d'un balancier de mouvement d'horlogerie est quantifiée par le facteur  $D^5 \cdot f / I$ , qui s'exprime en unité  $10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ , où  $D$  est le diamètre du balancier en mètre,  $f$  la fréquence de l'ensemble balancier/spiral (formant un oscillateur balancier-spiral) en Hz,  $I$  son inertie en  $10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ .

**[0016]** En remarque, le diamètre  $D$  du balancier est plus précisément celui du pourtour externe de la serge du balancier. Si cette serge présente des protubérances, comme des écrous de réglage par exemple, le diamètre à considérer sera un diamètre externe équivalent, obtenu en considérant un balancier virtuel de même inertie mais sans les protubérances sur la serge et qui génère les mêmes frottements aérodynamiques.

**[0017]** Il est admis dans l'état de la technique qu'un balancier doit répondre à la condition  $D^5 \cdot f / I > 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ , voire même  $> 30 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ . Par exemple, le livre «Construction horlogère» (PPUR, 2011) donne l'exemple d'un balancier avec  $I = 10 \cdot 10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $D = 9,5 \text{ mm}$  et  $f = 4 \text{ Hz}$ , soit  $D^5 \cdot f / I = 31,0 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

**[0018]** Au contraire, l'invention repose sur un balancier ou un oscillateur qui répond à la condition  $D^5 \cdot f / I \leq 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

**[0019]** Il s'avère même que des solutions très avantageuses sont obtenues en choisissant  $D^5 \cdot f / I \leq 16$ , voire  $D^5 \cdot f / I \leq 13$ , voire même  $D^5 \cdot f / I \leq 10$  ou même  $D^5 \cdot f / I \leq 8$ , ces valeurs du facteur  $D^5 \cdot f / I$  étant exprimées en  $10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

**[0020]** A titre d'exemple, le tableau suivant donne quelques valeurs possibles pour un balancier selon l'invention.

| Inertie<br>[ $10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ] | Diamètre<br>[mm] | Fréquence<br>[Hz] | $D^5 \cdot f / I$<br>[ $10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ] |
|--|------------------|-------------------|--|
| 40,7   | 9,89             | 3                 | 7  |
| 12   | 8,6              | 4                 | 15,7   |
| 14   | 8,6              | 4                 | 13,4   |
| 16,2   | 7,78             | 4                 | 7  |
| 12,1   | 7,36             | 4                 | 7,1  |
| 7,1  | 6,53             | 4                 | 6,7  |
| 1,7  | 4,3              | 10                | 8,6  |
| 7,3  | 5,62             | 10                | 7,7  |

**[0021]** Plus généralement, le balancier peut comprendre un diamètre compris entre 7 et 10 mm et une inertie supérieure ou égale à  $12 \cdot 10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$  quand il est destiné à équiper un mouvement d'horlogerie de diamètre supérieur à 20 mm et fonctionnant à une fréquence d'oscillation du balancier-spiral de 4 Hz. Un tel balancier sera particulièrement adapté pour un mouvement disposant d'une puissance réglante élevée et permettra d'atteindre de bonnes performances chronométriques.

**[0022]** En variante, le balancier peut comprendre un diamètre inférieur ou égal à 7 mm, en particulier pour un balancier d'inertie inférieure à  $10 \cdot 10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$  destiné à équiper un mouvement d'horlogerie de diamètre inférieur à 20 mm et fonctionnant à une fréquence d'oscillation du balancier-spiral de 4 Hz, ou encore pour un balancier d'inertie inférieure à  $10 \cdot 10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$  destiné à équiper un mouvement d'horlogerie fonctionnant à une fréquence d'oscillation du balancier-spiral de 10 Hz.

**[0023]** Il a en effet été démontré que l'utilisation d'un tel balancier lourd et/ou de petit diamètre permet de manière inattendue de minimiser la dégradation de l'amplitude du balancier en position horizontale (plat) d'un mouvement d'horlogerie,

notamment dans tous les agencements de pivotement qui utilisent une géométrie particulière du pivot et/ou du palier pour obtenir un frottement relatif en position horizontale qui se rapproche du frottement obtenu dans sa position verticale (pendu).

**[0024]** Ainsi, il ressort que la combinaison particulière d'un balancier lourd et/ou de petit diamètre, tel que défini ci-dessus, avec une géométrie particulière entre son pivot et un palier pour obtenir un frottement relatif en position horizontale qui se rapproche du frottement obtenu dans la position verticale (pendu), forme un agencement particulièrement avantageux puisqu'il permet d'obtenir un mouvement d'horlogerie au plat-pendu fortement réduit, sans toutefois trop dégrader l'amplitude du balancier du fait de cette géométrie particulière.

**[0025]** Les fig. 3 à 9 illustrent ainsi des géométries particulières qui sont avantageusement combinées au balancier décrit ci-dessus, selon différents modes de réalisation de l'invention.

**[0026]** La fig. 3 représente ainsi une première réalisation, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est plate et vient en appui sur un contre-pivot 13 plat en position horizontale.

**[0027]** La fig. 4 représente une seconde réalisation, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est creuse, de forme concave, sensiblement hémisphérique, et vient en appui en sa périphérie sur un contre-pivot 13 plat en position horizontale.

**[0028]** La fig. 5 représente une troisième réalisation, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est plate et vient en appui sur une cuvette hémisphérique du contre-pivot 13 en position horizontale.

**[0029]** La fig. 6 représente une quatrième réalisation, dans laquelle l'extrémité du pivot 2 est conique et vient en appui sur un trou 15 du contre-pivot 13 en position horizontale. Le diamètre du trou 15 du contre-pivot 13 est inférieur au diamètre de base du cône du pivot, de sorte que ce dernier vient en appui sur les bords du trou 15 du contre-pivot 13, définissant une zone de contact linéique bien contrôlée. Avec cette réalisation, il est possible de définir précisément la zone de frottement et le facteur de qualité horizontal en jouant sur le diamètre du trou.

**[0030]** La fig. 7 représente une cinquième réalisation, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est arrondie, sensiblement hémisphérique, et vient en appui sur un trou 15 du contre-pivot 13 en position horizontale.

**[0031]** La fig. 8 représente une sixième réalisation, proche de la précédente, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est arrondie et vient en appui sur un trou 15 borgne du contre-pivot 13 en position horizontale.

**[0032]** La fig. 9 représente une septième réalisation, qui est une variante de la précédente, dans laquelle la surface 3 à l'extrémité du pivot 2 est arrondie et vient en appui sur un trou 15 borgne du contre-pivot 13 en position horizontale, ce contre-pivot 13 étant formé de deux parties distinctes.

**[0033]** Dans toutes les solutions utilisant un contre-pivot 13 avec un trou 15, le diamètre du trou est choisi de sorte que le pivot ne se coince pas dans le trou. De plus, l'axe coopérant avec le contre-pivot peut être de forme arrondie, hémisphérique ou conique, cette forme pouvant être adaptée à la forme du trou du contre-pivot.

**[0034]** Dans toutes les solutions présentées, la portion 4 de l'axe 1 qui coopère avec la pierre olivée 12, notamment quand la montre-bracelet est dans une position verticale, peut être de section cylindrique ou conique.

**[0035]** Naturellement, l'invention ne se limite pas aux géométries décrites et il pourrait être par exemple choisi un contre-pivot avec un trou dont la section selon un plan perpendiculaire à la surface d'appui du contre-pivot soit triangulaire ou trapézoïdale, et/ou dont la section selon un plan parallèle à la surface d'appui du contre-pivot soit circulaire ou polygonale. D'autre part, d'autres modes de réalisation peuvent simplement être obtenus par la simple combinaison des modes de réalisation décrits ci-dessus.

**[0036]** Les fig. 10 et 11 représentent les facteurs de qualité en fonction de l'amplitude obtenus respectivement avec un balancier et un agencement de pivotement standard, tel que décrit sur les fig. 1 et 2, et un balancier combiné à un dispositif de pivotement selon un mode de réalisation de l'invention.

**[0037]** La courbe 20 de la fig. 10 montre le facteur de qualité en fonction de l'amplitude en position horizontale du mouvement d'horlogerie et la courbe 21 le facteur de qualité en position verticale. Il apparaît que le facteur de qualité en position horizontale reste relativement constant alors que le facteur de qualité en position verticale est nettement inférieur et diminue rapidement avec l'amplitude.

**[0038]** La courbe 22 de la fig. 11 montre le facteur de qualité en fonction de l'amplitude en position horizontale et la courbe 23 le facteur de qualité en position verticale, dans le cas d'un mouvement d'horlogerie selon un mode de réalisation de l'invention. De manière surprenante, le plat-pendu est fortement réduit, comme l'illustre le rapprochement des deux courbes 22, 23, sur toute la plage d'amplitude. Cette diminution du plat-pendu est d'autant plus marquée que le paramètre  $D^5 \cdot f/l$  qui caractérise le balancier est faible, en particulier pour la condition  $D^5 \cdot f/l \leq 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ , plus avantageusement pour  $D^5 \cdot f/l \leq 16$ , voire même  $D^5 \cdot f/l \leq 10$  ou même  $D^5 \cdot f/l \leq 8$ . Cela implique que l'utilisation d'un balancier lourd et de petit diamètre devient hautement avantageuse, à l'encontre des préjugés existants.

**[0039]** Des mesures ont été réalisées sur mouvement, avec un balancier représenté par un paramètre  $D^5 \cdot f/l = 16$  et un pivotement modifié selon la fig. 5, équipé d'un spiral standard permettant d'obtenir un organe réglant cadencé à 4 Hz. Le plat-pendu amplitude mesuré, soit la différence d'amplitude entre la position horizontale et la position verticale, était de  $10.3 \pm 4.5^\circ$  en moyenne sur dix mouvements avec un barillet chargé. En comparaison, le plat-pendu typique pour une solution

## CH 705 292 B1

standard de l'état de la technique ( $D^5 \cdot f/l = 25$ , pivotement standard selon la fig. 1, même spirale que pour les mesures ci-dessus) est typiquement de  $40^\circ$ . De façon avantageuse, la géométrie du pivot de l'axe du balancier et/ou du palier est donc apte à un frottement relatif entre le pivot et le palier en position horizontale du mouvement d'horlogerie proche de celui obtenu entre le pivot et le palier en position verticale, résultant en une différence d'amplitude entre les positions horizontale et verticale préférentiellement inférieure ou égale à  $20^\circ$ , inférieure ou égale à  $15^\circ$ , voire même inférieure ou égale à  $10^\circ$ . Ceci permet d'obtenir un écart de marche dans le cadre de l'invention nettement inférieur à celui obtenu avec la solution standard.

### Revendications

1. Ensemble balancier-spirale pour mouvement d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il respecte la condition suivante:  $D^5 \cdot f/l \leq 20 \cdot 10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$   
où  $D$  est le diamètre du balancier,  $f$  la fréquence, et  $l$  l'inertie.
2. Ensemble balancier-spirale pour mouvement d'horlogerie selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le facteur  $D^5 \cdot f/l$  du balancier, exprimé en  $10^{-2} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ , respecte la relation suivante:  
 $D^5 \cdot f/l \leq 16$ , voire  $D^5 \cdot f/l \leq 13$ , même  $D^5 \cdot f/l \leq 10$ , ou même  $D^5 \cdot f/l \leq 8$ .
3. Ensemble balancier-spirale pour mouvement d'horlogerie selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un diamètre compris entre 7 et 10 mm et une inertie supérieure ou égale à  $12 \cdot 10^{-10} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ .
4. Ensemble balancier-spirale pour mouvement d'horlogerie selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend un diamètre inférieur ou égal à 7 mm.
5. Ensemble balancier-spirale pour mouvement d'horlogerie selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que sa fréquence d'oscillation est de sensiblement 4 Hz.
6. Oscillateur pour mouvement d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble balancier-spirale selon l'une des revendications précédentes.
7. Agencement pour le pivotement d'un balancier de mouvement d'horlogerie, comprenant un palier pour le pivotement du balancier, caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble balancier-spirale selon l'une des revendications 1 à 5 ou un oscillateur selon la revendication 6 et une géométrie du pivot de l'axe du balancier et/ou du palier apte à un frottement relatif entre le pivot et le palier en position horizontale dudit mouvement d'horlogerie proche de celui obtenu entre le pivot et le palier en position verticale dudit mouvement d'horlogerie et caractérisé en ce que
  - la surface (3) à l'extrémité du pivot (2) de l'axe (1) du balancier est plate et vient en appui sur une surface du contre-pivot (13) plate en position horizontale, ou en ce que
  - la surface (3) à l'extrémité du pivot (2) est concave et vient en appui sur une surface du contre-pivot (13) plate en position horizontale, ou en ce que
  - la surface (3) à l'extrémité du pivot (2) de l'axe (1) du balancier est plate et vient en appui sur une cuvette concave, notamment hémisphérique, du contre-pivot (13) en position horizontale, ou en ce que
  - l'extrémité du pivot (2) vient en appui sur les bords d'un trou (15) du contre-pivot (13) en position horizontale.
8. Agencement pour le pivotement d'un balancier selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'extrémité du pivot (2) vient en appui sur les bords d'un trou (15) du contre-pivot (13) en position horizontale et en ce que l'extrémité du pivot (2) est arrondie convexe, hémisphérique ou conique.
9. Agencement pour le pivotement d'un balancier selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que l'extrémité du pivot (2) vient en appui sur les bords d'un trou (15) du contre-pivot (13) en position horizontale qui est un trou borgne.
10. Agencement pour le pivotement d'un balancier selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le contre-pivot (13) est en deux parties distinctes.
11. Agencement pour le pivotement d'un balancier selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que la portion (4) de l'axe (1) du balancier en contact avec une pierre olivée (12) est de section cylindrique ou conique.
12. Mouvement d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble balancier-spirale selon l'une des revendications 1 à 5 ou un oscillateur selon la revendication 6.
13. Mouvement d'horlogerie selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend un agencement selon l'une des revendications 7 à 11.
14. Montre-bracelet, caractérisée en ce qu'elle comprend un mouvement d'horlogerie selon l'une des revendications 12 ou 13.

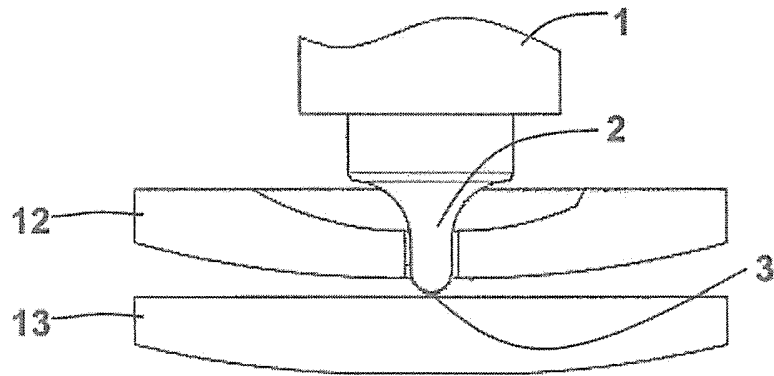


Fig. 1

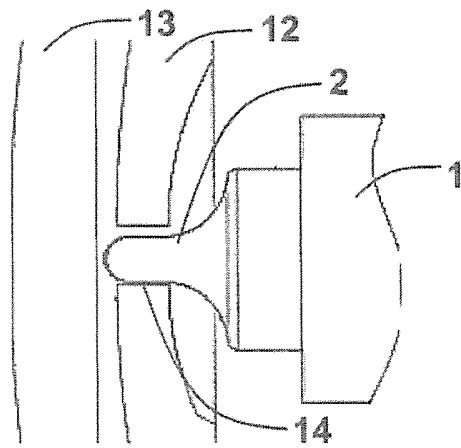


Fig. 2

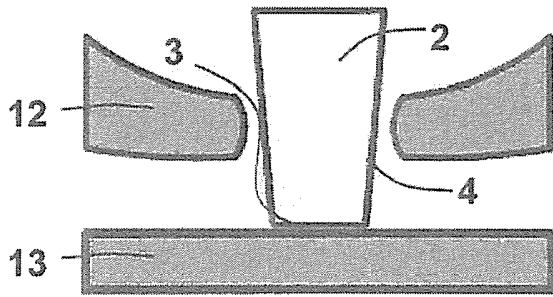


Fig. 3

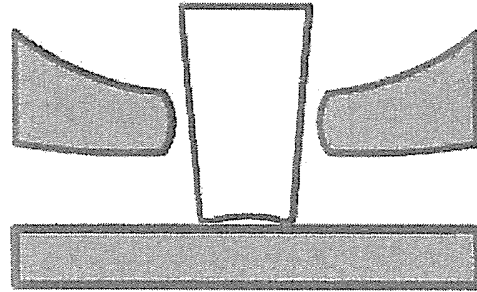


Fig. 4

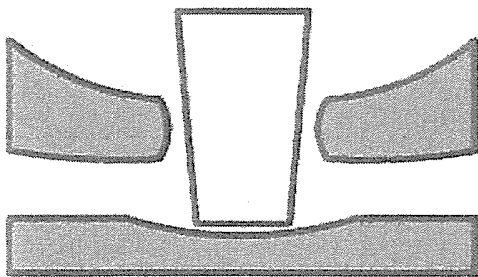


Fig. 5

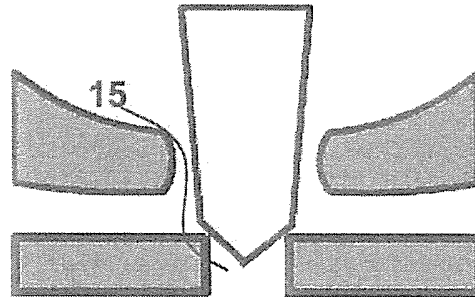


Fig. 6

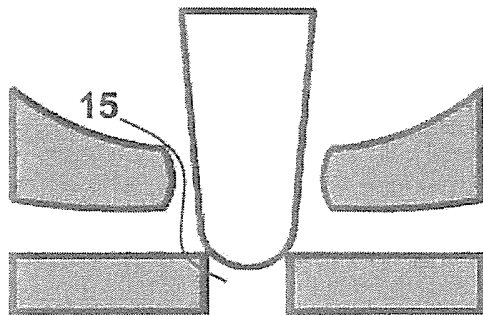


Fig. 7

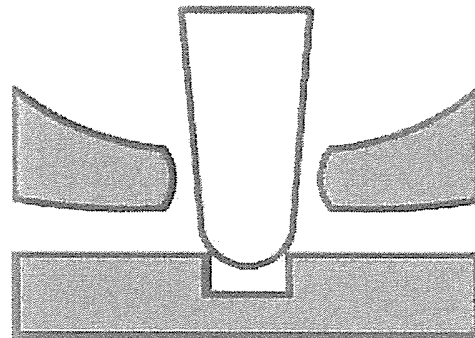


Fig. 8

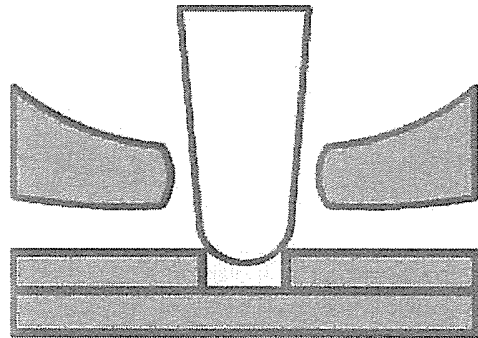


Fig. 9

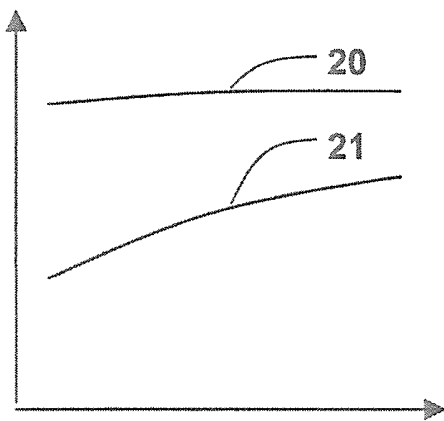


Fig. 10

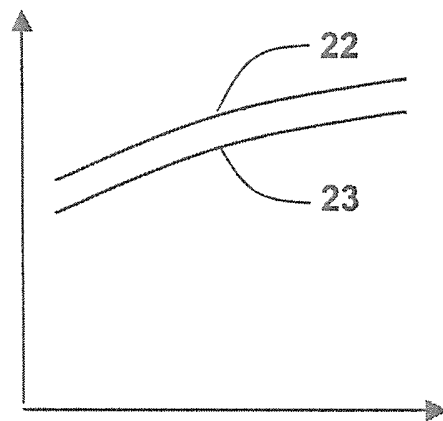


Fig. 11