

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **704 283 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B** **13/02** (2006.01)
G04B **17/34** (2006.01)
G04D **3/00** (2006.01)
F16B **17/00** (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: 01872/11

(22) Date de dépôt: 23.11.2011

(43) Demande publiée: 29.06.2012

(30) Priorité: 22.12.2010 CH 2152/10

(24) Brevet délivré: 30.09.2016

(45) Fascicule du brevet publié: 30.09.2016

(73) Titulaire(s):
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
CH-2400 Le Locle (CH)

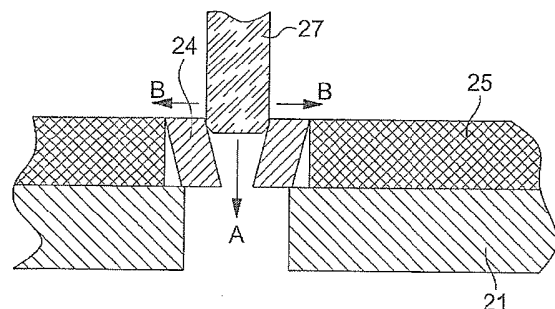
(72) Inventeur(s):
Marco Verardo, 2336 Les Bois (CH)

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

(54) **Assemblage d'une pièce ne comportant pas de domaine plastique.**

(57) L'invention se rapporte à un assemblage par chassage axial (A) d'un organe (27) en un premier matériau dans l'ouverture d'une pièce (25) en un deuxième matériau ne comportant pas de domaine plastique à l'aide d'une partie intermédiaire (24) en un troisième matériau montée entre ledit organe et ladite pièce. Selon l'invention, la partie intermédiaire (24) comporte une lumière destinée à recevoir ledit organe afin que la partie intermédiaire (24) absorbe radialement (B) par déformation élastique et plastique une partie de l'effort de chassage axial (A) dudit organe et contraigne la pièce (25) élastiquement afin de solidariser l'assemblage de manière non destructive pour ladite pièce.

L'invention concerne notamment le domaine des pièces d'horlogerie.



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un assemblage d'une pièce dont le matériau ne comporte pas de domaine plastique avec un organe comportant un autre type de matériau.

Arrière plan de l'invention

[0002] Les assemblages actuels comportant une pièce à base de silicium sont généralement solidarisés par collage. Une telle opération nécessite une extrême finesse d'application ce qui la rend coûteuse.

[0003] Le document EP 1 850 193 divulgue une première pièce faite à base silicium qui est assemblée sur un axe en métal à l'aide d'une pièce intermédiaire métallique. Toutefois, les variantes de forme proposées dans ce document ne sont pas satisfaisantes et, soit, entraînent le bris de la pièce à base de silicium lors de son assemblage, soit, solidarisent insuffisamment les pièces entre elles.

Résumé de l'invention

[0004] Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant un assemblage sans colle capable de solidariser une pièce dont le matériau ne comporte pas de domaine plastique avec un organe comportant un matériau ductile comme, par exemple, un métal ou un alliage métallique.

[0005] A cet effet, l'invention se rapporte à un assemblage obtenu par chassage axial d'un organe en un premier matériau dans l'ouverture d'une pièce en un deuxième matériau ne comportant pas de domaine plastique à l'aide d'une partie intermédiaire en un troisième matériau montée entre ledit organe et ladite pièce caractérisé en ce que la partie intermédiaire comporte une lumière destinée à recevoir ledit organe afin que la partie intermédiaire absorbe radialement par déformation élastique et plastique une partie de l'effort de chassage axial dudit organe et contraigne la pièce élastiquement afin de solidariser l'assemblage de manière non destructive pour ladite pièce.

[0006] Cette configuration permet avantageusement de solidariser l'ensemble pièce – partie intermédiaire – organe sans collage avec un organe habituel à la précision maîtrisée tout en garantissant que la pièce ne subisse pas d'efforts destructifs même si elle est formée, par exemple, à partir de silicium.

[0007] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention:

- La paroi externe de la partie intermédiaire est sensiblement de forme correspondante à l'ouverture de la pièce afin d'exercer une contrainte radiale sensiblement uniforme sur la paroi de la pièce entourant ladite ouverture;
- l'ouverture de la pièce est circulaire;
- la paroi de la pièce entourant l'ouverture comporte des cannelures afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- la surface externe de l'organe comporte des cannelures afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- l'ouverture de la pièce est asymétrique afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- le deuxième matériau est à base de silicium monocristallin;
- l'ouverture de la pièce comporte une section comprise entre 0,5 et 2 mm.

[0008] De plus, l'invention se rapporte à une pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte un assemblage selon l'une des variantes précédentes.

[0009] Enfin, l'invention se rapporte à un procédé d'assemblage par chassage axial d'un organe en un premier matériau dans une pièce en un deuxième matériau ne comportant pas de domaine plastique comportant les étapes suivantes:

- a) former la pièce avec une ouverture;
- b) introduire sans contrainte dans l'ouverture une partie intermédiaire en un troisième matériau comportant une lumière;
- c) dudgeonner élastiquement et plastiquement la partie intermédiaire par sa lumière à l'aide dudit organe afin d'exercer une contrainte radiale (B) contre la paroi de la pièce autour de ladite ouverture en sollicitant la déformation élastique de la pièce.

[0010] Ce procédé permet avantageusement de chasser l'organe axialement sans qu'aucun effort axial ne soit appliqué sur la pièce. En effet, de manière avantageuse selon l'invention, seule une déformation élastique radiale est appliquée sur la pièce. Enfin, un tel procédé permet de solidariser l'ensemble pièce – partie intermédiaire – organe en s'adaptant aux dispersions de fabrication des différents éléments.

[0011] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention:

- La paroi externe de la partie intermédiaire est sensiblement de forme correspondante à l'ouverture de la pièce afin d'exercer une contrainte radiale sensiblement uniforme sur la paroi de ladite ouverture;
- l'ouverture de la pièce est circulaire;
- la paroi de la pièce entourant l'ouverture comporte des cannelures qui, lors de l'étape c), vont former des micro-rainures sur la surface externe de la pièce intermédiaire afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- la surface externe de l'organe comporte des cannelures qui, lors de l'étape c), vont former des micro-rainures sur la surface interne de la pièce intermédiaire afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- l'ouverture de la pièce est asymétrique afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage;
- lors de l'étape b), la différence entre la section de l'ouverture et la section externe de la partie intermédiaire est d'environ 10 μm ;
- lors de l'étape c), le dudgeonnage exerce un serrage compris entre 8 et 20 μm ;
- lors des étapes b) et c), la partie intermédiaire est maintenue dans l'ouverture à l'aide d'une portée;
- le deuxième matériau est formé à base de silicium monocristallin;
- le troisième matériau est formé à base de métal ou d'alliage métallique;
- la pièce peut être, par exemple, un mobile d'horlogerie, une ancre d'horlogerie, un spiral d'horlogerie, un résonateur ou encore un MEMS.

Description sommaire des dessins

[0012] D'autres particularités et avantages ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

Les fig. 1 à 3 sont des représentations schématiques d'étapes successives du procédé d'assemblage selon l'invention;

la fig. 4 est une représentation d'une alternative d'ouverture pour la pièce en matériau fragile.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0013] Comme expliqué ci-dessus, l'invention se rapporte à un assemblage et son procédé destinés à solidariser un matériau fragile, c'est-à-dire ne comportant pas de domaine plastique comme un matériau à base de silicium monocristallin, avec un matériau ductile comme un métal ou un alliage métallique.

[0014] Cet assemblage a été imaginé pour des applications dans le domaine horloger. Toutefois, d'autres domaines peuvent parfaitement être imaginés comme notamment l'aéronautique, la bijouterie, l'automobile ou les arts de la table.

[0015] Dans le domaine horloger, cet assemblage est rendu nécessaire par la part croissante que tiennent les matériaux fragiles comme ceux à base de silicium, de quartz, de corindon ou plus généralement de céramique. On peut, à titre d'exemple, envisager de former le spiral, le balancier, l'ancre, les ponts ou même les mobiles comme les roues d'échappement totalement ou partiellement à base de matériaux fragiles.

[0016] Toutefois, le fait de toujours pouvoir utiliser des axes habituels en acier dont la fabrication est maîtrisée, est une contrainte qui est difficile à concilier avec l'utilisation de pièces ne comportant pas de domaine plastique. En effet, lors de tests effectués, le chassage d'un axe en acier est impossible et brise systématiquement les pièces fragiles, c'est-à-dire ne comportant pas de domaine plastique. Il est apparu ainsi que le cisaillement généré par l'entrée de l'axe métallique dans l'ouverture d'une pièce en silicium brise systématiquement cette dernière.

[0017] Dans le domaine de l'horlogerie, un préjugé technique tend ainsi à considérer qu'il ne faut pas dépasser une contrainte comprise entre 300 et 450 MPa sur une pièce en silicium sous peine de briser cette dernière. Cette échelle de valeur est estimée théoriquement à partir du module d'Young caractérisant le domaine élastique du silicium.

[0018] Par conséquent, pour les cas où les contraintes estimées dépassent cette plage entre 300 et 450 MPa, des moyens de déformation élastique formés par des ajourages du silicium ont alors été développés comme ceux divulgués dans les documents EP 1445 670, WO 2006/122 873 et WO 2007/099 068.

[0019] Lors de tests supplémentaires effectués en déformant une partie intermédiaire et en augmentant au fur et à mesure la contrainte appliquée sur la partie en silicium, il est apparu, de manière étonnante, que la pièce en silicium pouvait supporter en fait une contrainte bien supérieure avant qu'une amorce de rupture soit détectée. Ainsi, de manière inattendue, les tests ont été prolongés jusqu'à une plage de contrainte comprise entre 1,5 et 2 GPa sans rupture, c'est-à-dire bien au-delà du préjugé technique s'étendant entre 300 à 450 MPa. Par conséquent, de manière étendue, les matériaux fragiles tels que le silicium, le quartz, le corindon ou plus généralement la céramique ne suivent pas nécessairement les modèles statistiques de pièces fragiles habituellement utilisés.

[0020] C'est pourquoi, l'invention se rapporte à un assemblage obtenu par chassage axial d'un organe en un premier matériau, par exemple ductile comme l'acier, dans l'ouverture d'une pièce en un deuxième matériau ne comportant pas

de domaine plastique, comme un matériau à base de silicium, à l'aide d'une partie intermédiaire, en un troisième matériau plus ductile que le premier matériau, qui est montée entre ledit organe et ladite pièce.

[0021] Selon l'invention, la partie intermédiaire comporte une lumière destinée à recevoir ledit organe afin que la partie intermédiaire absorbe radialement par déformation élastique et plastique au moins une partie de l'effort de chassage axial dudit organe et contraigne la pièce élastiquement afin de solidariser l'assemblage de manière non destructive pour ladite pièce.

[0022] De plus, de manière préférée, la paroi externe de la partie intermédiaire est sensiblement de forme correspondante à l'ouverture de la pièce afin d'exercer une contrainte radiale sensiblement uniforme sur la paroi de ladite ouverture. En effet, lors des recherches effectuées, il est apparu préférable que la partie intermédiaire répartisse de manière uniforme les contraintes radiales induites par son dudgeonnage sur la paroi de l'ouverture.

[0023] Par conséquent, si l'ouverture dans la pièce fragile est circulaire, il est préférable que la paroi externe de la partie intermédiaire soit en forme sensiblement de cylindre continu, c'est-à-dire sans fente radiale ou ajourage axial autre que la lumière destinée à recevoir l'organe, pour éviter les contraintes localisées sur une faible surface de la paroi de l'ouverture de la pièce fragile qui sont propres à briser cette dernière.

[0024] Cette interprétation justifie également la non-utilisation d'une collerette sur la partie supérieure ou inférieure de la partie intermédiaire. En effet, lors du dudgeonnage, une telle collerette transmet une partie de l'effort axial de l'organe sur le dessus (ou le dessous) de la pièce fragile. Dès lors, le cisaillement exercé notamment par les coins de la collerette sur le dessus (ou le dessous) de la pièce fragile engendre de la même manière des contraintes localisées propres à briser la pièce fragile.

[0025] Bien entendu, la forme de l'ouverture dans la pièce fragile peut différer en étant, par exemple, asymétrique afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments de l'assemblage. Ainsi, selon une première alternative, une telle ouverture asymétrique peut ainsi être par exemple sensiblement elliptique.

[0026] Selon une autre alternative destinée à éviter les déplacements relatifs, comme visible à la fig. 4, la paroi de la pièce 25 peut être munie de cannelures 1 faisant saillie dans l'ouverture 28. Préférentiellement, les cannelures 1 courent sur toute l'épaisseur de la pièce 25 et comportent une surface externe bombée de hauteur maximale h . Bien entendu, les cannelures 1 peuvent être sensiblement rectilignes ou non.

[0027] On comprend donc que ces cannelures 1 de hauteur h beaucoup plus petites par rapport au diamètre e_4 de l'ouverture 28 vont former des micro-rainures sur la surface externe de la pièce intermédiaire lorsqu'elle sera déformée afin de former des liaisons de type tenon-mortaise permettant de solidariser en rotation la paroi de l'ouverture 28 et la surface externe de la pièce intermédiaire.

[0028] On comprend également que de telles cannelures pourraient également être présentes sur la surface externe de l'organe pour obtenir le même effet et parfaire encore plus la solidarisation en rotation du futur assemblage.

[0029] Par conséquent, la partie intermédiaire avec une forme correspondante à l'ouverture comportant une lumière peut s'interpréter, si la section de l'ouverture est circulaire, comme un anneau plein dont les parois interne et externe sont continues, c'est-à-dire sans rainure ou plus généralement de discontinuité de matière. La forme correspondante de la partie intermédiaire permet donc, par déformation élastique et plastique, de générer uniquement une contrainte radiale sensiblement uniforme sur une surface maximisée de la paroi autour de l'ouverture sans qu'un sens de chassage axial de l'organe soit obligatoirement respecté.

[0030] L'assemblage selon l'invention sera mieux compris en relation avec les fig. 1 à 3 présentant un exemple d'assemblage. Selon l'invention, une première étape consiste à former la pièce 25 en un matériau n'ayant pas de domaine plastique avec une ouverture 28, par exemple, circulaire. Comme visible à la fig. 1, l'ouverture 28 comporte une section e_4 , préférentiellement, comprise entre 0,5 et 2 mm et, éventuellement, les cannelures 1 de la fig. 4 faisant saillies dans l'ouverture 28 comportent une hauteur h comprise entre 5 et 25 μm .

[0031] Une telle étape peut être réalisée par gravage sous forme sèche ou humide comme, par exemple, un gravage ionique réactif profond (également connu sous l'abréviation anglaise «DRIE»).

[0032] De plus, dans une deuxième étape, le procédé consiste à former l'organe 27 en un deuxième matériau avec une section principale e_6 . Comme expliqué ci-dessus, la deuxième étape peut être réalisée selon les processus habituels de fabrication d'axes. L'organe 27 est préférentiellement métallique et peut par exemple être formé en acier.

[0033] Le procédé, dans une troisième étape, consiste à former la partie intermédiaire 24 de section interne e_2 et de section externe e_3 , en un troisième matériau, comportant une paroi externe de forme sensiblement correspondante à l'ouverture 28, et une lumière 23. La troisième étape peut ainsi être réalisée à partir d'un usinage habituel ou d'un électroformage. La partie intermédiaire 24 peut ainsi comporter une épaisseur comprise entre 100 et 300 μm et une largeur l , c'est-à-dire la section externe e_3 moins la section interne e_2 divisées par deux ($l = (e_3 - e_2)/2$), également comprise entre 100 et 300 μm .

[0034] Préférentiellement, le troisième matériau est plus ductile que le deuxième matériau de l'organe 27 afin que ce dernier ne se déforme pas lors du dudgeonnage. La partie intermédiaire 24 est préférentiellement métallique et peut ainsi comporter du nickel et/ou de l'or. Toutefois, tout autre matériau ductile peut avantageusement être ajouté au troisième matériau ou remplacer ce dernier.

[0035] Bien entendu, les trois premières étapes n'ont pas de consécutivité à respecter et peuvent même être réalisées en même temps.

[0036] Dans une quatrième étape, la partie intermédiaire 24 est introduite sans contact dans l'ouverture 28. Cela signifie comme visible à la fig. 1 que la section e_4 de l'ouverture 28 est plus grande ou égale à la section externe e_3 de la partie intermédiaire 24.

[0037] De manière préférée, la différence entre la section e_4 de l'ouverture 28, ou éventuellement les cannelures 1, et la section externe e_3 de la partie intermédiaire 24 est d'environ 10 μm , c'est-à-dire une épaisseur d'environ 5 μm qui sépare la pièce 25 par rapport à la partie intermédiaire 24.

[0038] De plus, préférentiellement selon l'invention, la partie intermédiaire 24 est maintenue dans l'ouverture 28 à l'aide d'une portée 21 munie d'un perçage de section e_1 .

[0039] Enfin, le procédé comporte une cinquième étape consistant à dudgeonner élastiquement et plastiquement la partie intermédiaire 24 à travers sa lumière 23 par emmanchement de l'organe 27 selon la direction axiale A afin d'exercer une contrainte radiale B uniforme contre la paroi de l'ouverture 28 en sollicitant la déformation élastique de la pièce 25.

[0040] En effet, de manière inattendue, il n'est pas nécessaire de prévoir d'ajourages traversant l'épaisseur de la pièce 25 autour de l'ouverture 28 comme ceux divulgués dans les documents EP 1 445 670, WO 2006/122 873 et WO 2007/099 068 pour éviter le bris de cette dernière. Ainsi, la pièce 25 va se déformer élastiquement même sous forte contrainte, c'est-à-dire supérieur à 450 MPa pour le silicium, sans amorce de rupture.

[0041] Ainsi, dans un premier temps, comme visible à la fig. 2, du fait que la section e_6 de l'organe 27 est supérieure à la section e_2 de la partie intermédiaire 24, le passage de l'organe 27 (sa représentation est schématique) dans la lumière 23 selon la direction A va induire une déformation élastiquement et plastique de la partie intermédiaire 24, laquelle se déforme exclusivement radialement selon la direction B par butée contre la portée 21. Une fois la contrainte relâchée, la pièce 25 exerce un retour élastique propre à définitivement solidariser l'ensemble organe 27 – partie intermédiaire 24 – pièce 25.

[0042] On comprend donc que, de manière préférée selon l'invention, le dudgeonnage est paramétré afin que le serrage soit supérieur à l'interstice entre la partie intermédiaire 24 non déformée et la paroi de la pièce 25 autour de l'ouverture 28. Préférentiellement, le serrage est compris entre 8 et 20 μm .

[0043] Par conséquent, il est voulu que le dudgeonnage, après la déformation élastique et plastique de la partie intermédiaire 24 dans le premier temps, exerce, dans un deuxième temps, la déformation élastique de la pièce 25 autour de l'ouverture 28 afin de solidariser ensemble l'organe 27, la partie intermédiaire 24 et la pièce 25 comme visible à la fig. 3. Cette déformation élastique autorise notamment un centrage automatique de l'ensemble organe 27 – partie intermédiaire 24.

[0044] Avantagusement selon l'invention, il est possible de chasser l'organe 27 de n'importe quel côté de la pièce 25. De plus, aucun effort axial n'est appliqué sur la pièce 25 pendant le procédé. Seule une déformation élastique radiale est appliquée. Il est également à noter que l'utilisation de la partie intermédiaire 24 dont la paroi externe est de forme sensiblement correspondante à l'ouverture 28 permet, lors de la déformation radiale B de la partie intermédiaire 24, d'exercer une contrainte sensiblement uniforme sur une surface maximisée de la pièce 25 autour de l'ouverture 28 afin d'éviter tout bris de la pièce 25 en matériau fragile et s'adapter aux dispersions de fabrication des différents éléments comme par exemple les cannelures 1.

[0045] Bien entendu, la présente invention ne se limite pas à l'exemple illustré, mais est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, il est possible d'utiliser l'assemblage divulgué ci-dessus en remplacement des moyens élastiques 48 ou des cylindres 63, 66 du document WO 2009/115 463 (lequel est incorporé par référence à la présente description) afin de fixer un résonateur du type balancier – spiral monobloc sur un axe de pivotement.

[0046] Bien entendu, deux organes tels que décrit ci-dessus peuvent également être assujettis sur le même axe à l'aide de deux assemblages distincts afin de solidariser leur mouvement respectif.

[0047] Enfin, les assemblages selon l'invention peuvent également permettre la solidarisation de tout type d'organe horloger ou non dont le corps est formé d'un matériau ne comportant pas de domaine plastique (silicium, quartz, etc.) avec un axe comme, par exemple, un résonateur du type diapason ou plus généralement un MEMS (acronyme provenant des termes anglais «Micro-Electro-Mechanical System»).

Revendications

1. Assemblage obtenu par chassage axial (A) d'un organe (27) en un premier matériau dans l'ouverture (28) d'une pièce (25) en un deuxième matériau ne comportant pas de domaine plastique à l'aide d'une partie intermédiaire (24) en un troisième matériau montée entre ledit organe et ladite pièce caractérisé en ce que la partie intermédiaire (24) comporte une lumière (23) destinée à recevoir ledit organe afin que la partie intermédiaire (24) absorbe radialement (B) par déformation élastique et plastique une partie de l'effort de chassage axial (A) dudit organe et contraigne la pièce (25) élastiquement afin de solidariser l'assemblage de manière non destructive pour ladite pièce.

2. Assemblage selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la paroi externe de la partie intermédiaire (24) est sensiblement de forme correspondante à l'ouverture (28) de la pièce (25) afin d'exercer une contrainte radiale (B) sensiblement uniforme sur la paroi de la pièce (25) entourant ladite ouverture (28).
3. Assemblage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'ouverture (28) de la pièce (25) est circulaire.
4. Assemblage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la paroi de la pièce (25) entourant l'ouverture (28) comporte des cannelures (1) afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
5. Assemblage selon la revendication 1, 2 ou 4, caractérisé en ce que l'ouverture (28) de la pièce (25) est asymétrique afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
6. Assemblage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la surface externe de l'organe (27) comporte des cannelures afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
7. Assemblage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le deuxième matériau est à base de silicium monocristallin.
8. Assemblage selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ouverture (28) de la pièce (25) comporte une section comprise entre 0,5 et 2 mm.
9. Pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un assemblage selon l'une des revendications précédentes.
10. Procédé d'assemblage par chassage axial (A) d'un organe (27) en un premier matériau dans une pièce (25) en un deuxième matériau ne comportant pas de domaine plastique comportant les étapes suivantes:
 - a) former la pièce (25) avec une ouverture (28);
 - b) introduire sans contrainte dans l'ouverture (28) une partie intermédiaire (24) en un troisième matériau comportant une lumière (23);
 - c) dudgeonner élastiquement et plastiquement la partie intermédiaire (24) par sa lumière (23) à l'aide dudit organe afin d'exercer une contrainte radiale (B) contre la paroi de la pièce (25) autour de ladite ouverture en sollicitant la déformation élastique de la pièce (25).
11. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la paroi externe de la partie intermédiaire (24) est sensiblement de forme correspondante à l'ouverture (28) de la pièce (25) afin d'exercer une contrainte radiale sensiblement uniforme sur la paroi de ladite ouverture (28).
12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce que l'ouverture (28) de la pièce (25) est circulaire.
13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que la paroi de la pièce (25) entourant l'ouverture (28) comporte des cannelures (1) qui, lors de l'étape c), vont former des micro-rainures sur la surface externe de la pièce intermédiaire (24) afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que la surface externe de l'organe (27) comporte des cannelures qui, lors de l'étape c), vont former des micro-rainures sur la surface interne de la pièce intermédiaire (24) afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
15. Procédé selon la revendication 10, 11, 13 ou 14, caractérisé en ce que l'ouverture (28) de la pièce (25) est asymétrique afin d'éviter les déplacements relatifs entre les éléments dudit assemblage.
16. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 15, caractérisé en ce que, lors de l'étape b), la différence entre la section (e_4) de l'ouverture (28) et la section externe (e_3) de la partie intermédiaire (24) est d'environ 10 μm .
17. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 16, caractérisé en ce que, lors de l'étape c), le dudgeonnage exerce un serrage compris entre 8 et 20 μm .
18. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 17, caractérisé en ce que, lors des étapes b) et c), la partie intermédiaire (24) est maintenue dans l'ouverture à l'aide d'une portée (21).
19. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 18, caractérisé en ce que le deuxième matériau est formé à base de silicium monocristallin.
20. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 19, caractérisé en ce que le troisième matériau est formé à base de métal ou d'alliage métallique.
21. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en ce que la pièce (25) est un mobile d'horlogerie.
22. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en ce que la pièce (25) est une ancre d'horlogerie.
23. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en ce que la pièce (25) est un spiral d'horlogerie.

CH 704 283 B1

24. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en ce que la pièce (25) est un résonateur.
25. Procédé d'assemblage selon l'une des revendications 10 à 20, caractérisé en ce que la pièce (25) est un microsystème électromécanique.

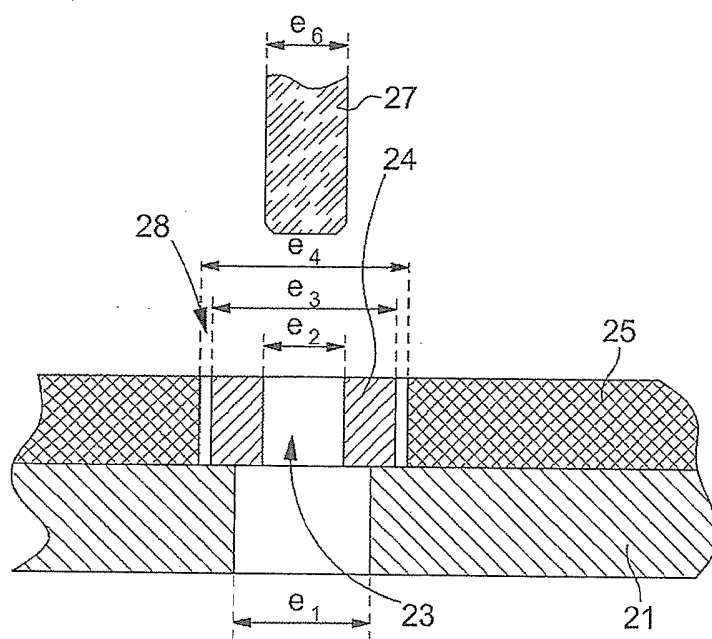


Fig. 1

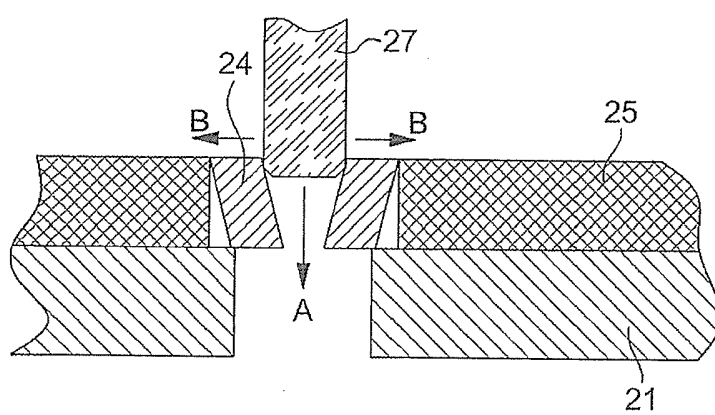


Fig. 2

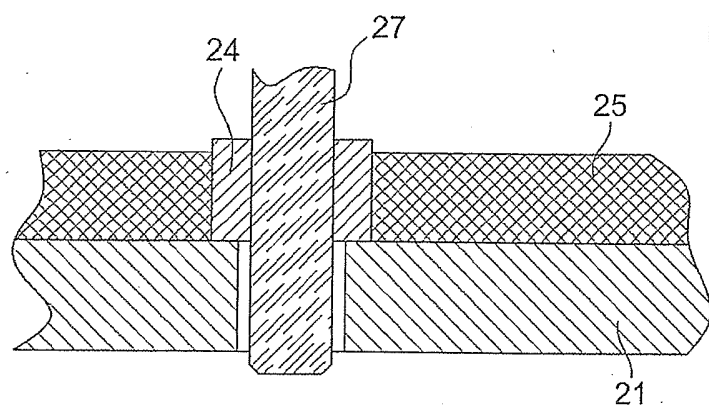


Fig. 3

Fig. 4

