

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **718 939 B1**

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **G04B 13/02** (2006.01)
G04B 17/32 (2006.01)
G04B 43/00 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)
C22C 5/04 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 070228/2021

(22) Date de dépôt: 01.09.2021

(43) Demande publiée: 15.03.2023

(24) Brevet délivré: 31.07.2024

(45) Fascicule du brevet publié: 31.07.2024

(73) Titulaire(s):
Richemont International SA, Route des Biches 10
1752 Villars-sur-Glâne (CH)

(72) Inventeur(s):
Damien Giraud, 90100 Joncherey (FR)
Frédéric Diologent, 2000 Neuchâtel (CH)

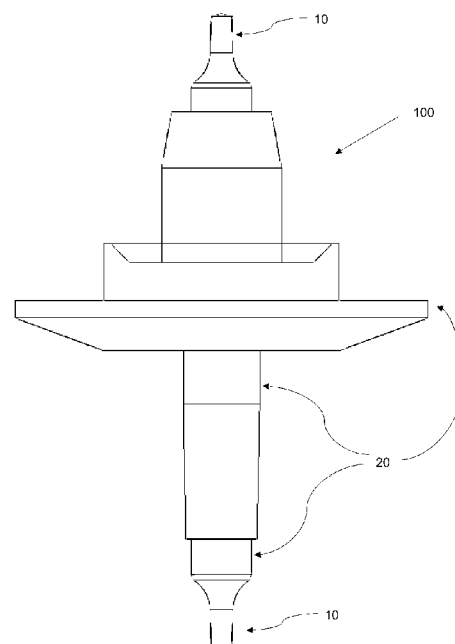
(74) Mandataire:
e-Patent SA, Rue Saint-Maurice 12 Case postale
2001 Neuchâtel 1 (CH)

(54) **Axe de pivotement pour un composant pivotant d'un mouvement horloger.**

(57) L'invention concerne un axe de pivotement (100) pour un composant pivotant pour un mouvement mécanique horloger, ledit axe de pivotement étant réalisé en un matériau constitué essentiellement en poids :

- de 50% à 95% de platine
- de 5% à 40% de nickel et/ou de tungstène
- de 0% à 10% en total de l'un ou plusieurs de rhénium, d'iridium ou de ruthénium.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel axe.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie. Elle concerne, plus particulièrement, un axe de pivotement pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique d'horlogerie et plus particulièrement encore un axe de balancier, d'ancre ou de mobile d'échappement réalisé dans un matériau amagnétique.

Etat de la technique

[0002] La fabrication des axes de pivotement horloger type axe de balancier, tige d'ancre ou pignon d'échappement consiste à réaliser une succession d'opérations permettant, à partir d'une barre de matière brute, de former un axe ayant des caractéristiques dimensionnelles précises ainsi qu'une résistance mécanique suffisante au regard de l'application envisagée.

[0003] Du fait de leur forme générale de révolution, les axes de pivotement horlogers sont typiquement réalisés de manière connue par des opérations de décolletage ou tournage de précision, à partir d'une barre en acier martensitique au carbone. Ces opérations d'usinage permettent de définir des surfaces fonctionnelles nécessaires au bon fonctionnement de l'axe (dégagements, butées, pivots...) et à l'assemblage des différents composants (assise de balancier, portée du plateau, portée de la virole, etc.). L'axe décolleté subit ensuite une opération d'ébavurage puis, une ou plusieurs opérations de traitement thermique comprenant au moins une trempe pour améliorer la dureté de l'axe et un revenu pour en améliorer la ténacité. Une opération de roulage des pivots, destinée à améliorer l'état de surface, la dureté et la précision géométrique, est généralement réalisée en cours ou en fin de fabrication. L'opération de roulage peut être comparée à une opération de meulage et/ou polissage des pivots.

[0004] De manière plus spécifique, les axes de pivotement, par exemple les axes de balancier, utilisés de manière traditionnelle dans les mouvements d'horlogerie mécanique sont le plus souvent réalisés à partir de barres en acier martensitique au carbone présentant des éléments d'addition de type plomb et/ou manganèse. Le manganèse est généralement présent dans les aciers sous forme de sulfures de manganèse et permet une fragmentation régulière du copeau de coupe. Le plomb tend à se lier aux inclusions non-métalliques présentes dans l'acier, ou se trouve sous forme de particules élémentaires. Il agit comme lubrifiant, réduit le coefficient de frottement au niveau de l'interface outil/zone de coupe et limite la formation d'un dépôt de matière sur le tranchant de l'outil. Ces éléments d'addition ont donc pour objectif commun l'amélioration de l'usinabilité de l'acier. Un acier de ce type est largement disponible sur le marché sous la dénomination 20AP ou 1.1268+Pb.

[0005] Outre une bonne usinabilité, l'acier martensitique au plomb présente, après des traitements de trempe et de revenu, des propriétés mécaniques élevées en adéquation avec les sollicitations rencontrées par les axes de pivotement lors de leur fonctionnement. Typiquement, les pivots d'un axe réalisé en acier martensitique au plomb présentent une dureté Vickers dépassant les 600 HV1 après traitement thermique et roulage. De telles valeurs de dureté garantissent une résistance à l'usure optimale pour le bon fonctionnement de l'oscillateur dans le temps.

[0006] Malgré les avantages d'usinabilité et de résistance mécanique, l'acier martensitique au plomb présente un inconvénient majeur : sa sensibilité au magnétisme. L'environnement dans lequel évoluent les montres, a fortement évolué au cours de dernières décennies. Les appareils électroniques et les accessoires intégrant des aimants permanents se sont multipliés, exposant ainsi les montres, et donc les organes réglant de ces dernières, à des champs magnétiques de plus en plus élevés et de manière de plus en plus fréquente. L'acier martensitique au plomb couramment utilisé pour la réalisation d'axes de balancier présente un champ rémanent non négligeable après exposition à un champ magnétique extérieur. La proximité de l'axe avec le spiral, généralement réalisé en matériau ferromagnétique, en fait un composant particulièrement stratégique lorsque l'on souhaite améliorer la résistance au magnétisme des montres.

[0007] On notera que les aciers martensitiques au carbone sont également sensibles à la corrosion. Cet inconvénient pose problème principalement lors des étapes de fabrication et de stockage des axes.

[0008] Le document CH707503 décrit un axe de pivotement formé d'un matériau composite ayant une matrice métallique comprenant au moins un métal choisi parmi le nickel, le titane, le chrome, le zirconium, l'argent, l'or, le platine, le silicium, le molybdène, l'aluminium ou un alliage de ces derniers, ladite matrice étant chargée de particules dures choisies parmi WC, TiC, TaC, TiN, TiCN, Al₂O₃, ZrO₂, Cr₂O₃, SiC, MoSi₂, AlN ou une combinaison de ces derniers, afin de limiter la sensibilité de l'axe aux champs magnétiques. La dureté Vickers dudit matériau composite est supérieure ou égale à 1000 HV1. La solution ici décrite n'est pas optimale. L'usinage par outil coupant de matrices métalliques chargées en particules dures génère une usure prématurée des outils. En fonctionnement, le pivotement d'un tel axe dans un palier en rubis génère également de l'usure prématurée au niveau du palier.

[0009] Le document EP3273303 décrit un axe de balancier réalisé dans un alliage amagnétique de cuivre. Lors de la fabrication de l'axe, les pivots sont roulés ou polis afin d'enlever une surépaisseur de matériau et ainsi d'atteindre les dimensions et l'état de surface finaux. Par ailleurs, la surface est durcie par l'intermédiaire d'un traitement thermique et/ou thermo-chimique de diffusion ou une implantation ionique d'autres atomes, jusqu'à une profondeur prédéterminée. Cet alliage, après traitement, peut présenter une dureté Vickers intéressante, supérieure à 600 HV, mais les procédés de

traitement utilisés sont compliqués, nécessite des équipements spécialisés et sont difficile à maîtriser, notamment en ce qui concerne la diffusion ionique. Le document EP3273304 décrit également un axe fait en un alliage similaire, qui est muni d'une couche de matériau dur déposée sur sa surface. Idéalement, on vise à éviter un dépôt supplémentaire de surface, ce qui est à nouveau compliqué à effectuer et nécessite des équipements spécialisés.

[0010] Le document EP3115852 décrit un composant horloger comportant une pièce ajustée et soudée sur un organe. En particulier, ce document divulgue de manière très générale le fait que l'organe peut être un arbre de balancier réalisé en un alliage de fer, un alliage de cuivre, du nickel ou un de ses alliages, du titane ou un de ses alliages, de l'or ou un de ses alliages, de l'argent ou un de ses alliages, du platine ou un de ses alliages, du ruthénium ou un de ses alliages, du rhodium ou un de ses alliages ou du palladium ou un de ses alliages. La très grande diversité des métaux ou alliages divulgués dans cette liste ne permet pas d'identifier des compositions utiles pour la réalisation d'un axe horloger. De nombreuses compositions ne remplissent pas les critères de résistance à l'oxydation, résistance mécanique, dureté, comportement au magnétisme ou usinabilité nécessaires à la réalisation d'un axe de pivotement de mouvement horloger.

[0011] Le but de la présente invention est de proposer un axe réalisé dans une matière amagnétique en alternative aux différentes solutions de l'art antérieur et remédiant, au moins partiellement, à leurs inconvénients.

Divulguation de l'invention

[0012] De façon plus précise, l'invention concerne un axe de pivotement pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique horloger réalisé dans un alliage constitué essentiellement en poids :

- de 50% à 95% de platine
- de 5% à 40% de nickel et/ou de tungstène
- de 0% à 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium, c'est-à-dire jusqu'à 10% en total de l'un ou plusieurs de ces trois éléments.

[0013] L'invention se rapporte également à un procédé de fabrication d'un axe de pivotement pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique d'horlogerie comportant les étapes suivantes :

- Obtenir une barre d'alliage constitué essentiellement de 50% à 95% de platine, de préférence de 60% à 80% de platine, de 5% à 40% de nickel et/ou de tungstène, de préférence de 5% à 30% de nickel et/ou de tungstène, et de 0% à 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium (c'est-à-dire jusqu'à 10% en total de l'un ou plusieurs de ces trois éléments), de préférence de 1% à 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium ;
- Décolleter l'axe avec une surépaisseur par rapport à une dimension prédéterminée ;
- Réaliser une opération de traitement de l'état de surface et/ou de roulage de l'axe avec enlèvement de la surépaisseur pour atteindre la dimension prédéterminée.

[0014] Le procédé de fabrication peut comprendre en outre une étape de traitement thermique de durcissement entre les étapes de décolletage et de traitement de l'état de surface et/ou de roulage.

Brève description des dessins

[0015] D'autres détails de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en référence au dessin annexé dans lequel :

- La fig. 1 est une représentation d'un axe de pivotement selon l'invention, au stade décolleté ;
- La fig. 2 est une représentation d'un axe de pivotement selon l'invention, au stade roulé ;
- La fig. 3 est une représentation d'un axe de pivotement selon l'invention, au stade terminé ;
- La fig. 4 est une représentation d'un axe de pivotement selon l'invention, montrant les différentes surépaisseurs susceptibles d'intervenir dans le processus.

Mode de réalisation de l'invention

[0016] L'invention se rapporte à un axe de pivotement 100 pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique d'horlogerie, et plus particulièrement encore à un axe de balancier, d'ancre ou de mobile d'échappement.

[0017] La demanderesse a identifié une famille d'alliage présentant des propriétés particulièrement intéressantes pour une application à des axes de mouvement mécanique, notamment en termes de magnétisme et de résistance à l'oxydation.

[0018] Selon l'invention, un axe de pivotement 100 pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique horloger est réalisé en un matériau constitué essentiellement en poids :

- de 50% à 95% de platine, de préférence de 60% à 80% de platine,
- de 5% à 40% de nickel et/ou de tungstène, de préférence de 5% à 30% de nickel et/ou de tungstène,
- de 0% à 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium, de préférence de 1% à 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium, c'est-à-dire jusqu'à 10% en total de l'un ou plusieurs de ces trois éléments.

[0019] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, l'axe de pivotement 100 est réalisé en un matériau constitué essentiellement en poids :

- de 60% à 80% de platine,
- de 10% à 30% de nickel,
- de 1% à 10% de rhénium.

[0020] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, l'axe de pivotement 100 est réalisé en un matériau constitué essentiellement en poids :

- de 80% à 95% de platine,
- de 5% à 20% de tungstène

[0021] Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, l'axe de pivotement 100 est réalisé en un matériau constitué essentiellement en poids :

- de 60% à 80% de platine,
- de 10% à 30% de nickel,
- de 1% à 12% de tungstène.

[0022] L'alliage peut également comprendre des impuretés ou traces d'impuretés dans des proportions variables. Les impuretés sont notamment des éléments ou composés chimiques n'ayant pas pour but de modifier les propriétés de l'alliage mais dont la présence et les proportions dépendent de la pureté initiale des métaux utilisés pour former l'alliage et des procédés mis en oeuvre pour l'obtention de l'axe de pivotement 100.

[0023] La demanderesse a identifié que les alliages à base de platine présentent une excellente résistance à l'oxydation, bien plus élevée que celle des aciers martensitiques au carbone, grâce au caractère noble et à la faible réactivité chimique du platine. Ces caractéristiques sont particulièrement intéressantes dans le cas d'une utilisation pour un axe de pivotement.

[0024] Également, les alliages selon l'invention ne présentent pas d'action attractive décelable lorsqu'ils sont exposés à un aimant permanent. Ils ne présentent pas non plus d'aimantation rémanente mesurable après exposition à l'aimant.

[0025] Une autre caractéristique importante pour la réalisation d'un axe horloger, en particulier un axe de balancier, est la résistance mécanique et la dureté de la matière. Le platine ou les alliages de platine couramment utilisés dans le domaine horloger, principalement pour des applications d'habillage et pour la réalisation de carrure de montre par exemple, présentent des duretés incompatibles avec une utilisation comme axe mouvement. Par exemple, l'alliage Pt900Ir100 présente une dureté Vickers de 190HV1 au stade écroui 75% ; l'alliage Pt850Ir150 présente une dureté Vickers de 230HV1 au stade écroui 50% ; l'alliage Pt950Ru50 présente une dureté Vickers de 220HV1 au stade écroui 75% ; l'alliage Pt950Co50, principalement utilisé en fonderie, présente une dureté Vickers de 130HV1 à l'état recuit.

[0026] Pour la réalisation d'axes horlogers, une dureté Vickers supérieure à 400HV1, préférentiellement supérieure à 450HV1, encore plus préférentiellement supérieure à 500HV1 est souhaitable afin de garantir une durée de vie satisfaisante à l'axe.

[0027] Un axe de pivotement 100 horloger réalisé selon l'invention dans un alliage Pt730Ni210Re60, c'est à dire constitué essentiellement en poids de 73% de platine, 21% de nickel et 6% de rhénium, présente une dureté Vickers de 490HV1 à l'état écroui 75%.

[0028] Un axe de pivotement horloger 100 réalisé selon un autre aspect de l'invention dans un alliage Pt900Ni100, c'est à dire constitué essentiellement en poids de 90% de platine et 10% de nickel, présente une dureté Vickers de 400HV1 à l'état écroui 75%.

[0029] Un axe de pivotement 100 horloger réalisé selon un autre aspect de l'invention dans un alliage Pt900W100, c'est à dire constitué essentiellement en poids de 90% de platine et 10% de tungstène, présente une dureté Vickers de 410HV1 à l'état écroui 75%.

[0030] Un autre aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un axe de pivotement 100 d'un composant pivotant d'un mouvement horloger dont nous allons maintenant décrire les étapes.

[0031] La première étape du processus d'obtention d'un axe selon l'invention consiste à se doter d'une barre de décolletage d'alliage de platine présentant une composition appartenant à la famille d'alliage telle que définie ci-dessus. Différentes nuances sont disponibles chez divers fournisseurs, qui réalisent les étapes de mise en alliage et les étapes de mise en forme de la barre (tréfilage, étirage...) afin de proposer une barre de décolletage. Généralement, ces barres présentent des dimensions de 2-3mm de diamètre sur 2000-3000mm de long. Il va sans dire que la composition chimique de la barre sera identique à celle de l'axe fabriqué à partir de cette barre.

[0032] La dureté Vickers de la matière étirée servant à réaliser l'axe selon l'invention est comprise entre 300 et 600 HV1 en fonction du taux d'écrouissage appliqué lors de la mise en forme de la barre (tréfilage, étirage...). Avec un écrouissage de l'ordre de 70%, la dureté Vickers de la barre se situe entre 470 et 500 HV1. Une étape supplémentaire, optionnelle, de durcissement thermique peut être réalisé entre 300 et 500°C, préférentiellement entre 350 et 450°C suivi d'un refroidissement rapide, par exemple à l'eau, la valeur de dureté Vickers monte entre 500 et 600 HV1, préférentiellement entre 510 et 570 HV1. Ce traitement thermique peut durer entre 30 minutes et 2 heures, plus particulièrement pendant entre 45 minutes et 1 heure 30 minutes, encore plus particulièrement pendant 1 heure.

[0033] Le traitement thermique de durcissement peut être réalisé à tout moment du processus d'obtention de l'axe. Ce durcissement peut être réalisé sur la barre à réception si l'usinage nécessite une dureté élevée. Préférentiellement, le durcissement est réalisé après usinage et avant la ou les étapes de traitement de l'état de surface de l'axe.

[0034] L'étape suivante du processus d'obtention d'un axe selon l'invention, consiste à le mettre en forme par une étape de décolletage. Celle-ci est préférentiellement réalisée de manière traditionnelle sur les mêmes équipements que ceux servant à usiner des axes en acier martensitique au carbone selon l'art antérieur. Une adaptation des paramètres de coupe est nécessaire afin d'optimiser la qualité et le rendement de l'étape de décolletage. Dans le cas de l'axe du balancier, son rayon étant très petit, même à forte vitesse de broche, les vitesses de coupe atteintes lors de l'usinage sont limitées. En se référant à la figure 1, l'axe de balancier y illustré à titre d'exemple présente deux zones de faible diamètre, notamment des pivots 10, situées aux extrémités de l'axe ainsi que plusieurs zones de diamètre plus important formant le corps de l'axe 20.

[0035] Un décolletage réalisé au moyen d'un laser, ou de tout autre moyen d'ablation de matière, peut également être envisagé.

[0036] Lors de l'étape de décolletage, il est nécessaire de prévoir une ou plusieurs surépaisseurs en fonction des opérations de traitement de l'état de surface de l'axe envisagées. Si l'étape de décolletage est suffisamment répétable et permet d'obtenir une tolérance géométrique suffisante pour l'application envisagée, un simple polissage des zones fonctionnelles devra être effectué. Une surépaisseur (e1) correspondant à la quantité de matière retirée lors du polissage devra être ajoutée sur la pièce par rapport aux dimensions finales. La figure 2 illustre, à titre d'exemple, un axe de balancier après l'étape de décolletage. La figure 3 illustre, à titre d'exemple, un axe de balancier après l'étape de polissage. En se référant à la figure 4, l'étape de décolletage permettra d'obtenir le profil 2 au niveau du pivot avec une surépaisseur (e1) par rapport au profil 1. L'étape de polissage amènera le profil du pivot au niveau de son profil final 1. La surépaisseur (e1) est typiquement de l'ordre de 2µm au diamètre mais peut être adaptée en fonction du polissage envisagé (durée, type de particules abrasives utilisées...).

[0037] Selon une autre variante du procédé, si on envisage une étape de meulage ou de roulage des pivots pour un contrôle fin des dimensions et des états de surface, une surépaisseur (e2) correspondant à la quantité de matière retirée lors de cette étape de meulage ou de roulage devra être ajoutée sur la pièce ou sur les pivots au stade décolletage. La surépaisseur (e2) est typiquement de l'ordre de 20µm sur la longueur et 5 µm sur le diamètre mais peut être adaptée en fonction roulage ou meulage envisagé. Le décolletage devra donc se faire au niveau du profil 3, tel que représenté à la figure 4. Le roulage amènera le pivot au niveau du profil 2 tel que représenté à la figure 4 et un traitement de l'état de surface sera ajouté en fin de processus pour obtenir le profil 1. Selon une autre variante du procédé, le roulage pourra directement amener le pivot au niveau du profil 1 si un traitement de l'état de surface s'avère superflu.

[0038] En fonction du type de traitement de l'état de surface choisi, en vrac ou localisé au niveau des pivots, l'homme du métier considérera une surépaisseur sur la totalité de l'axe si le traitement est réalisé en vrac ou uniquement sur les zones concernées par l'enlèvement de matière s'il s'agit d'un traitement localisé.

[0039] D'autres étapes de traitement de l'état de surface du corps de l'axe 20 ou des pivots 10 avec enlèvement de matière peuvent être envisagées sans sortir du cadre de l'invention : polissage électrolytique ou polissage laser par exemple. L'homme du métier adaptera la surépaisseur à prendre en compte à l'étape de décolletage.

[0040] Des étapes intermédiaires de lavage et de contrôle dimensionnel peuvent être intégrées au processus.

[0041] D'autres types de pièces intégrées à un mouvement horloger mécanique ou quartz, et susceptibles de venir perturber le fonctionnement du mouvement en cas d'aimantation, peuvent être réalisées dans un alliage du type décrit ci-dessus sans faire partie du périmètre de protection revendiqué. Ce type de pièce peut être notamment de type goupille, visserie, etc. sans toutefois présenter des problématiques similaires à celles rencontrées pour l'axe de pivotement pour un composant pivotant d'un mouvement horloger.

Revendications

1. Axe de pivotement (100) pour un composant pivotant pour un mouvement mécanique horloger, ledit axe de pivotement (100) étant réalisé en un alliage constitué essentiellement en poids :
 - de 50% à 95% de platine
 - de 5% à 40% de nickel et/ou de tungstène
 - jusqu'à 10% en total de l'un ou plusieurs de rhénium, d'iridium ou de ruthénium.
2. Axe de pivotement (100) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit matériau comporte en poids entre 60% et 80% de platine.
3. Axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit matériau comporte en poids entre 5% et 30% de nickel et/ou de tungstène.
4. Axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit matériau comporte en poids entre 1% et 10% de rhénium et/ou d'iridium et/ou de ruthénium.
5. Axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes, réalisé en un matériau constitué essentiellement, en poids, de 60% à 80% de platine, de 10% à 30% de nickel, et de 1% à 10% de rhénium.
6. Axe de pivotement (100) selon la revendication 1 réalisé en un matériau constitué essentiellement, en poids, de 80% à 95% de platine et de 5% à 20% de tungstène.
7. Axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit axe est un axe de balancier, un axe d'ancre ou un axe de mobile d'échappement.
8. Axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il présente une dureté Vickers supérieure à 400HV1, préférentiellement supérieure à 450HV1, encore plus préférentiellement supérieure à 500HV1.
9. Mouvement mécanique pour une pièce d'horlogerie, caractérisé en ce qu'il comprend un composant pivotant comprenant un axe de pivotement (100) selon l'une des revendications précédentes.
10. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement (100) pour un composant pivotant d'un mouvement mécanique horloger comportant les étapes suivantes :
 - Obtenir une barre d'alliage constitué essentiellement de 50% à 95%, de préférence de 60% à 80% de platine ; de 5% à 40%, de préférence de 5% à 30% de nickel et/ou de tungstène ; jusqu'à 10% en total de l'un ou plusieurs de rhénium, d'iridium ou de ruthénium ;
 - Découper l'axe avec une surépaisseur par rapport à une dimension prédéterminée ;
 - Réaliser une opération de traitement de l'état de surface et/ou de roulage de l'axe avec enlèvement de la surépaisseur pour atteindre la dimension prédéterminée.
11. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel ladite barre présente une dureté Vickers supérieure à 400HV1, préférentiellement supérieure à 450HV1, encore plus préférentiellement supérieure à 500HV1.
12. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 10 et 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de traitement thermique de durcissement.
13. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape de traitement thermique de durcissement comprend un traitement thermique à une température de 350°C à 450°C.
14. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, dans lequel ladite étape de traitement thermique de durcissement dure entre 30 minutes et 2 heures, plus particulièrement pendant entre 45 minutes et 1 heure 30 minutes.

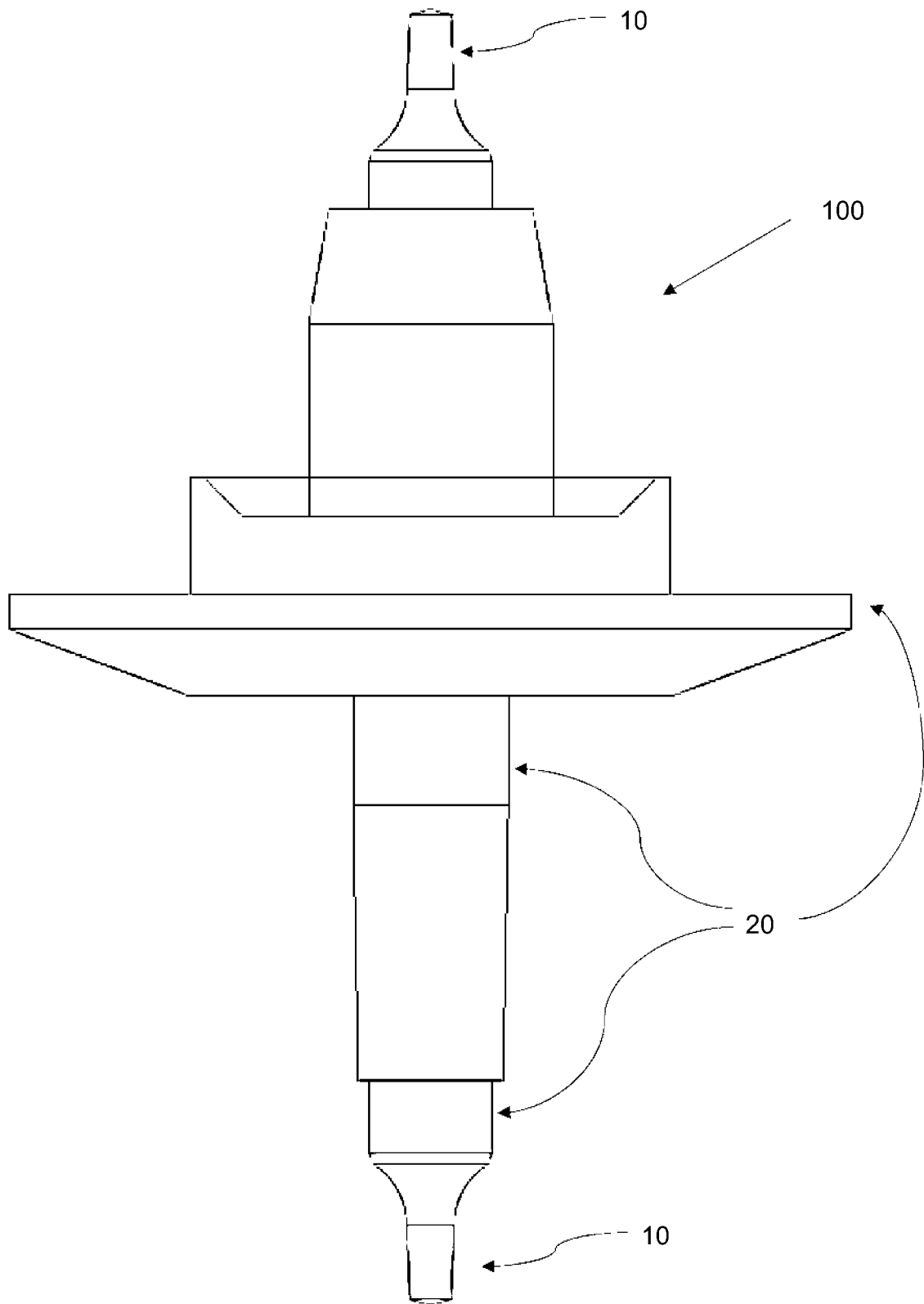


Fig. 1

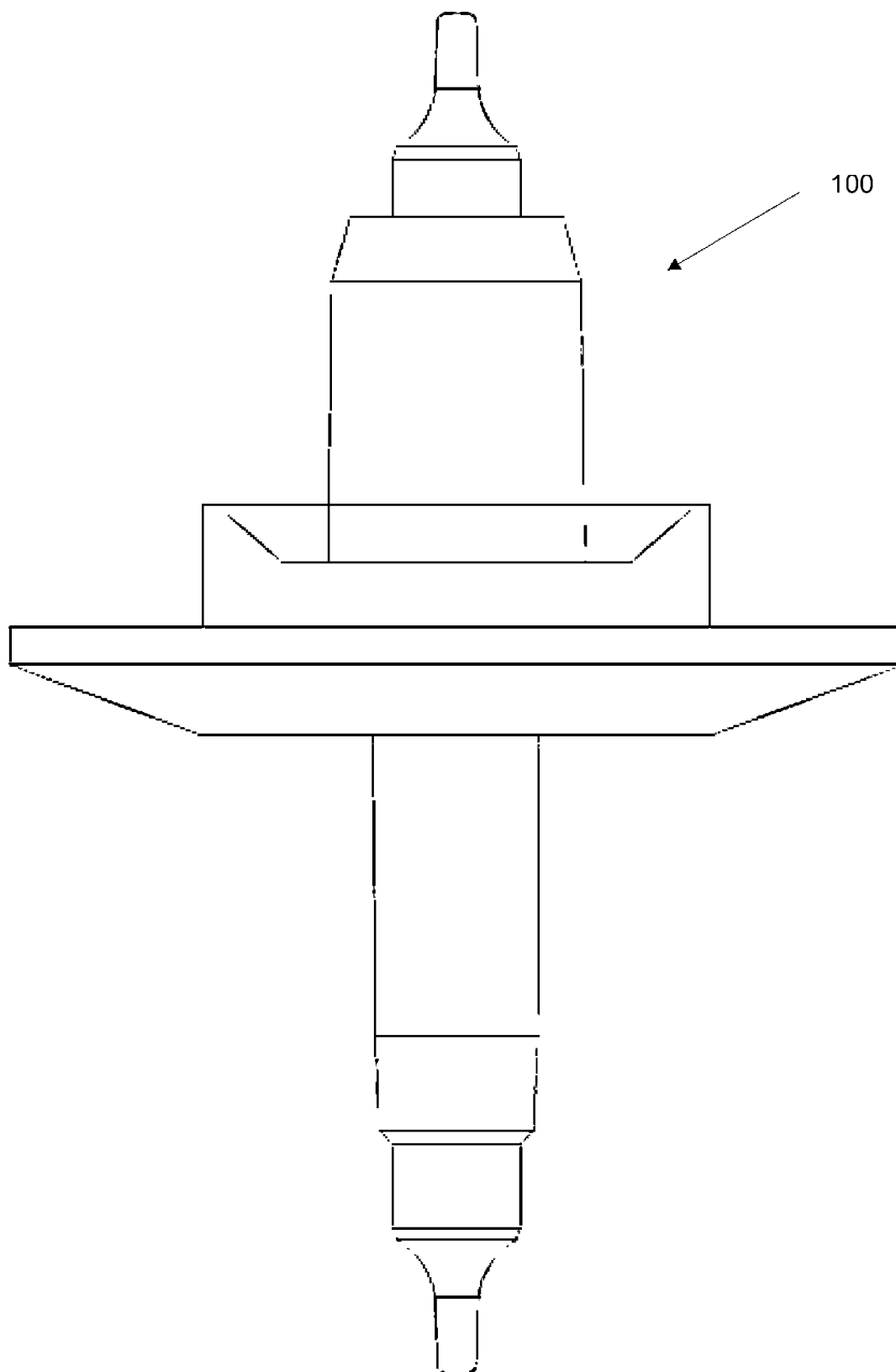


Fig. 2

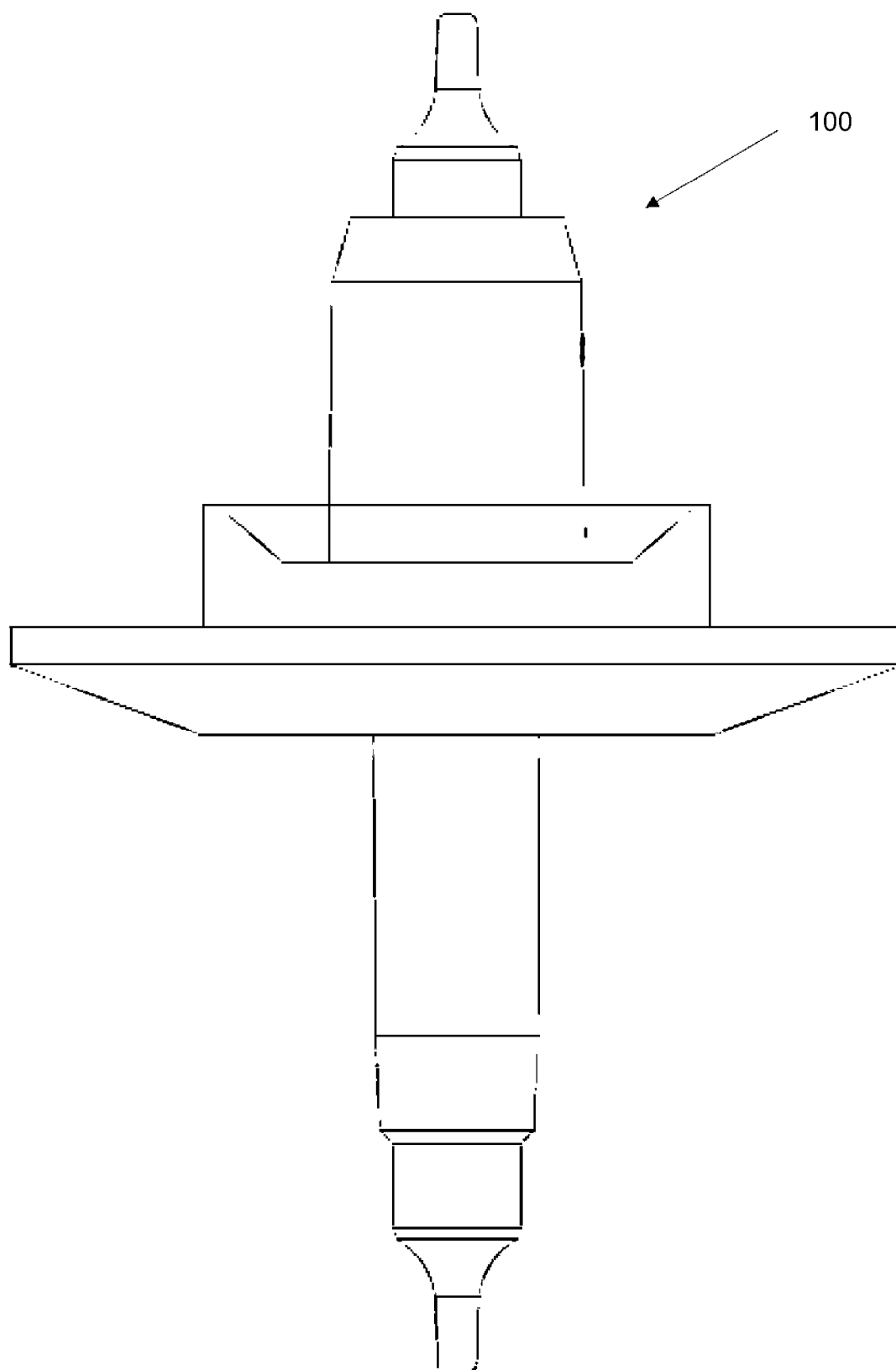


Fig. 3

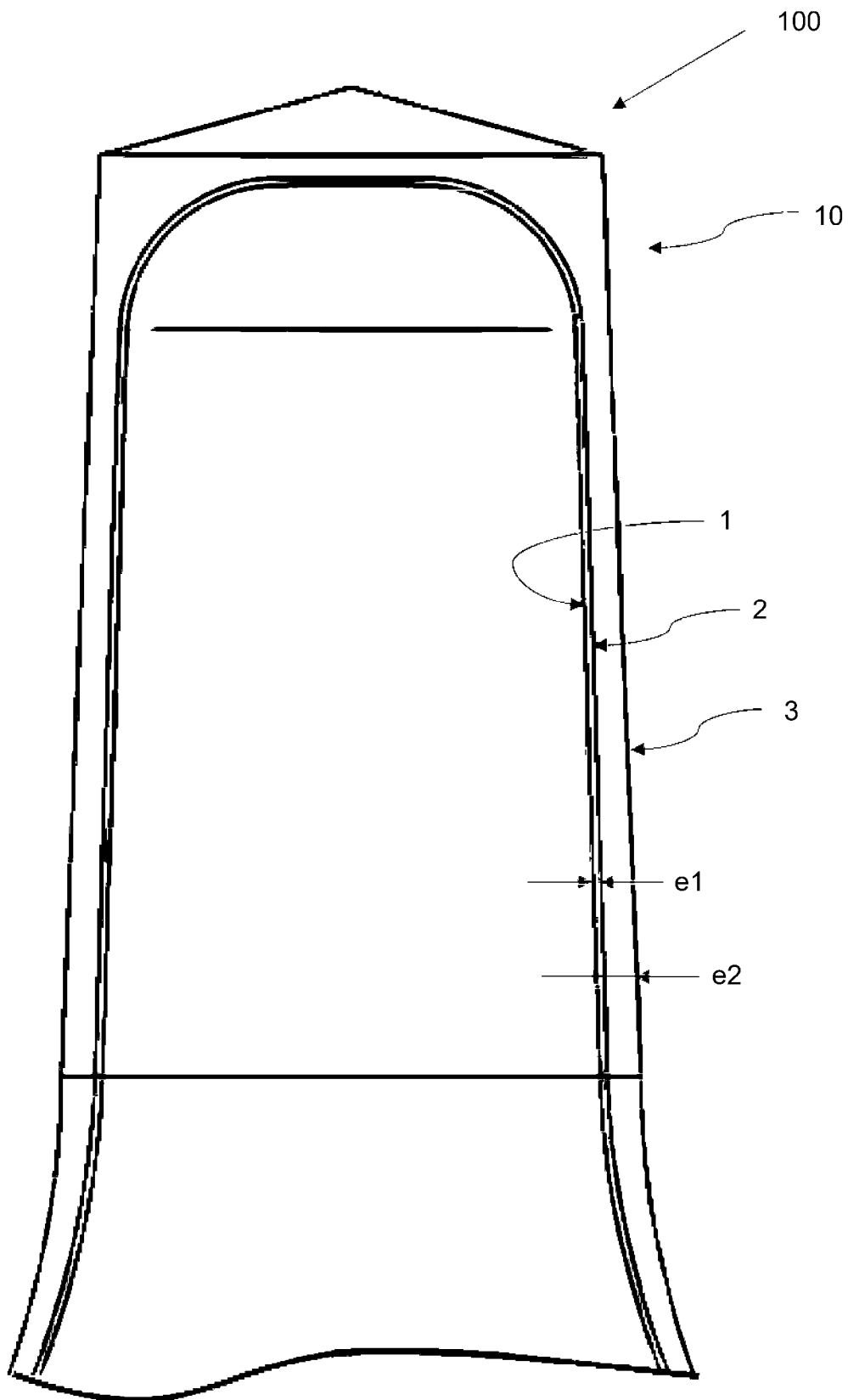


Fig. 4