

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 714 594 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.: **G04D 3/02 (2006.01)**
G04B 43/00 (2006.01)
C22C 5/04 (2006.01)
C22C 5/06 (2006.01)
C22C 30/02 (2006.01)
G04B 13/02 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 000093/2018

(22) Date de dépôt: 26.01.2018

(43) Demande publiée: 31.07.2019

(24) Brevet délivré: 30.09.2024

(45) Fascicule du brevet publié: 30.09.2024

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

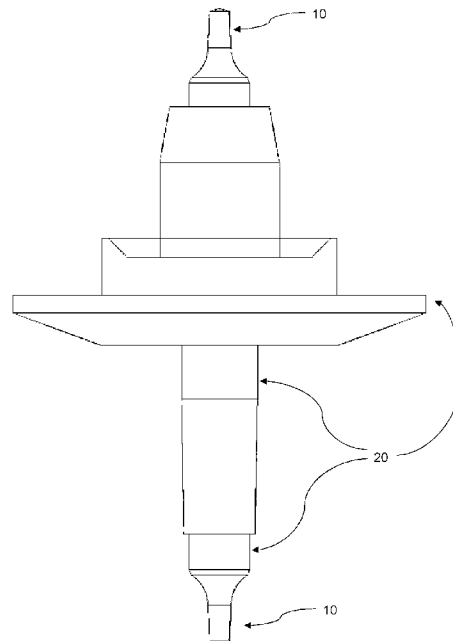
(72) Inventeur(s):
Maxime Danielou, 1260 Nyon (CH)

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

(54) **Procédés de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant**

(57) L'invention concerne des procédés de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant comportant les étapes suivantes:

- obtenir une barre d'alliage comprenant entre 25% et 55% de Palladium, entre 25% et 55% d'Argent, entre 10% et 30% de Cuivre, entre 0% et 5% de zinc, entre 0% et 2% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi rhénium, ruthénium, or et platine, et entre 0% et 1% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi bore et nickel ;
- décolleter l'axe avec une ou deux surépaisseurs par rapport à une dimension prédéterminée respective;
- réaliser une opération de traitement de l'état de surface de l'axe avec enlèvement de la surépaisseur pour atteindre la dimension prédéterminée.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie. Elle concerne, plus particulièrement, un procédé de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant d'un mouvement mécanique d'horlogerie et plus particulièrement encore d'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] De par leur forme générale de révolution, les axes de pivotement horlogers sont 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 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 peut être approvisionné chez un grand nombre de fournisseurs 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 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. A l'usage, les axes de pivotement du mouvement mécanique restent normalement confinés à l'intérieur de la zone étanche de la montre, ce qui ne représente pas un milieu particulièrement contraignant pour une matière, même oxydable.

[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, Cr₂O₃, SiC, MoSi₂, AlN ou une combinaison de ces derniers, afin de limiter la sensibilité de l'axe aux champs magnétiques. La dureté 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 CH707504 décrit un axe de pivotement en titane ou en alliage de titane afin de limiter sa sensibilité aux champs magnétiques. Au moins la surface externe des pivots est en partie ou en totalité durcie par rapport au cœur de l'axe selon une profondeur prédéterminée, la surface externe comporte une dureté supérieure à 800 HV1. La solution

ici décrite n'est pas optimale. Le durcissement superficiel des pivots ajoute une étape dans le processus déjà complexe d'obtention d'un axe de balancier. De plus, les alliages de titane nécessitent des précautions particulières lors de l'usinage en particulier au regard des risques d'incendie.

[0010] Le document CH707505 décrit un axe de pivotement en acier du type austénitique, en alliage de cobalt du type austénitique ou en alliage de nickel du type austénitique afin de limiter sa sensibilité aux champs magnétiques. Au moins la surface externe des pivots est durcie par rapport au cœur de l'axe selon une profondeur prédéterminée, la surface externe comporte une dureté supérieure à 1000 HV1. La solution ici décrite ne semble pas optimale. Le durcissement superficiel des pivots ajoute une étape dans le processus déjà complexe d'obtention d'un axe de balancier. Ce durcissement intervenant après le ou les étapes de terminaison des pivots, les précautions de manipulation prises lors de cette étape de traitement doivent être importantes pour ne pas risquer de marquer ou tordre les pivots.

[0011] Le but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication d'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] L'invention se rapporte à des procédés de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant d'un mouvement mécanique d'horlogerie comportant les étapes suivantes :

- obtenir une barre d'alliage comprenant entre 25% et 55% de Palladium, entre 25% et 55% d'Argent, entre 10% et 30% de Cuivre, entre 0% et 5% de zinc, entre 0% et 2% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi rhénium, ruthénium, or et platine, et entre 0% et 1% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi bore et nickel;
- décoller l'axe avec une ou deux surépaisseurs par rapport à une dimension prédéterminée respective;
- réaliser une opération de traitement de l'état de surface de l'axe avec enlèvement de la surépaisseur pour atteindre la dimension prédéterminée.

[0013] Les procédés de fabrication peuvent comprendre en outre une étape de traitement thermique de durcissement entre les étapes de décolletage et de traitement de surface.

Brève description des dessins

[0014] 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 fabriqué par un procédé selon l'invention, au stade décollé;
- La fig. 2 est une représentation d'un axe de pivotement fabriqué par un procédé selon l'invention, au stade roulé;
- La fig. 3 est une représentation d'un axe de pivotement fabriqué par un procédé selon l'invention, au stade terminé;
- La fig. 4 est une représentation d'un axe de pivotement fabriqué par un procédé selon l'invention, montrant les différentes surépaisseurs susceptibles d'intervenir dans le processus.

Mode de réalisation de l'invention

[0015] L'invention se rapporte à la fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant d'un mouvement mécanique d'horlogerie, et plus particulièrement encore à un axe de balancier, d'ancre ou de mobile d'échappement.

[0016] La demanderesse a identifié une famille d'alliage (telle que définie dans la R1) présentant des propriétés particulièrement intéressantes pour une application à des axes d'organe réglant de mouvement mécanique, notamment en termes de magnétisme et de résistance à l'oxydation.

[0017] Plus particulièrement parmi cette famille d'alliage, un alliage du type constitué de 41% de palladium, 37.5% d'argent, 20% de cuivre, 1% de zinc et 0.5% de platine ne présente pas d'action attractive décelable lorsqu'il est exposé à un aimant permanent. Il ne présente pas non plus d'aimantation rémanente mesurable après exposition à l'aimant.

[0018] La demanderesse a également identifié que les alliages Palladium-Argent-Cuivre présentent une résistance à l'oxydation plus élevée que celle des aciers martensitiques au carbone grâce notamment à la présence de palladium, un élément chimique du groupe du platine. Le palladium permet d'améliorer les caractéristiques suivantes de l'alliage, qui sont particulièrement intéressantes dans le cas d'une utilisation pour un axe de pivotement : inertie chimique, résistance à la corrosion et à l'oxydation, faible coefficient d'expansion thermique et durabilité mécanique.

[0019] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant dont nous allons maintenant décrire les étapes.

[0020] La première étape du processus d'obtention d'un axe, selon le procédé de l'invention, consiste à se doter d'une barre de décolletage de l'alliage Palladium-Argent-Cuivre dans la composition définie. Différentes nuances sont disponibles chez divers fournisseurs. Ces derniers réalisent les étapes de mise en alliage et les étapes de mise en forme de la barre (tréfilage, étirage...) afin de proposer une barre dans les dimensions standards de décolletage. Généralement 2-3mm de diamètre sur 2000-3000mm de long.

[0021] La dureté Vickers de la matière étirée servant à réaliser l'axe selon l'invention est de l'ordre de 260-310 HV1. Après durcissement thermique à 380-420°C pendant 1h, la valeur de dureté monte à 460-500HV1. Cette valeur après durcissement reste inférieure à ce qu'on peut rencontrer sur un acier 20AP après roulage, typiquement plus de 700HV1.

[0022] 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.

[0023] Lorsqu'on quantifie la pression d'Hertz au niveau du pivotement de l'axe, on remarque que le faible module d'Young de l'alliage Palladium-Argent-Cuivre permet d'abaisser la pression maximale observée au niveau du contact de l'axe avec la pierre de pivotement. Lors d'un contact entre deux matériaux de module d'Young E_1 et E_2 , le module d'élasticité équivalent E servant à déterminer la rigidité du contact est calculé comme suit :

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \quad (1)$$

[0024] La pression maximum observée au niveau du contact est donnée par la formule suivante :

$$P_{max} = 0.418 \sqrt{\frac{F \cdot E}{rr \cdot l}}$$

[0025]

F = effort normal sur le contact

E = module d'élasticité équivalent précédemment défini

rr et l = sont des paramètres géométriques du contact.

[0026] Pour un effort normal F donné, et à géométrie de contact équivalente, nous observons que la pression maximum est proportionnelle à \sqrt{E} .

[0027] Avec une application numérique, nous nous apercevons que \sqrt{E} est en baisse de plus de 20% lorsque nous passons d'un contact Acier (220GPa) sur rubis (350GPa) à un contact alliage PdAgCu (100GPa) sur rubis (350GPa) à géométrie équivalente.

	Cas n°1 Acier - Rubis	Cas n°2 PdAgCu - Rubis
E1	220 GPa	100 GPa
E2	350 GPa	350 GPa
E calculé avec (1)	270.2 GPa	155.6 GPa
\sqrt{E}	16.4	12.5

[0028] Ainsi, malgré une dureté plus faible, on constate que la résistance à l'usure du contact est toujours satisfaisante. Cela s'explique par la baisse de la pression de contact, permettant ainsi d'utiliser un axe avec une dureté plus faible sans compromettre la résistance à l'usure du contact, typiquement 460-500HV1 pour l'axe réalisé en alliage Palladium-Argent-Cuivre contre 600-700HV1 pour un axe standard en Acier Martensitique au carbone. L'utilisation d'un alliage de dureté plus faible facilite les opérations d'enlèvement de matière et de mise en forme.

[0029] L'étape suivante du processus d'obtention d'un axe, selon le procédé de l'invention, consiste à le mettre en forme par une étape de décolletage. Celle-ci est 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 présente deux zones de faible diamètre, les pivots 10, situées aux extrémités de l'axe ainsi que plusieurs zones de diamètre plus important formant le corps de l'axe 20.

[0030] A titre d'exemple, au niveau des pivots, il est possible d'utiliser une vitesse de coupe de 20 à 23 m/min avec une avance de 0.0015 mm/tr. Au niveau du corps de l'axe, une vitesse de coupe de 20 à 23 m/min et une avance 0.002 mm/tr à 0.005 mm/tr peuvent être utilisées.

[0031] Lors de cette 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...).

[0032] 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. Un traitement de l'état de surface, pourra être ajouté en fin de processus pour obtenir le profil 1.

[0033] En fonction du type de traitement de l'état de surface choisi, en vrac ou localisé au niveau des pivots, l'homme du métier considèrera 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 si il s'agit d'un traitement localisé.

[0034] D'autres étapes de traitement de l'état de surface de l'axe ou des pivots 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.

[0035] Des étapes intermédiaires de lavage et de contrôle dimensionnel peuvent être intégrées au processus.

[0036] 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, axes du rouage de finissage etc. sans toutefois présenter des problématiques similaires à celles rencontrées pour l'axe de pivotement d'un organe réglant.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant comportant les étapes suivantes :
 - obtenir une barre d'un alliage comprenant entre 25% et 55% de Palladium, entre 25% et 55% d'Argent, entre 10% et 30% de Cuivre, entre 0% et 5% de zinc, entre 0% et 2% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi rhénium, ruthénium, or et platine, et entre 0% et 1% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi bore et nickel ;
 - décolleter l'axe avec une surépaisseur par rapport à une dimension prédéterminée;
 - réaliser une opération de traitement de l'état de surface de l'axe avec enlèvement de la surépaisseur pour atteindre la dimension prédéterminée.
2. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de traitement thermique de durcissement.
3. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de traitement thermique de durcissement est réalisée entre les étapes d'obtention de ladite barre d'alliage et de décolletage ou entre les étapes de décolletage et de traitement de surface.
4. Procédé de fabrication d'un axe de pivotement d'un organe réglant comportant un corps doté à ses extrémités de pivots, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
 - obtenir une barre d'un alliage comprenant entre 25% et 55% de Palladium, entre 25% et 55% d'Argent, entre 10% et 30% de Cuivre, entre 0% et 5% de zinc, entre 0% et 2% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi rhénium, ruthénium, or et platine, et entre 0% et 1% d'un ou plusieurs éléments choisis parmi bore et nickel ;

CH 714 594 B1

- décoller le corps de l'axe avec une première surépaisseur par rapport à une première dimension prédéterminée, et les pivots de l'axe avec une deuxième surépaisseur par rapport à une deuxième dimension prédéterminée, ladite deuxième surépaisseur étant supérieure à la première surépaisseur ;
 - procéder à un roulage des pivots pour les amener à la première surépaisseur par rapport à la deuxième dimension prédéterminée ;
 - réaliser une opération de traitement de l'état de surface du corps et des pivots avec enlèvement de la première surépaisseur pour atteindre respectivement les première et deuxième dimensions prédéterminées.
5. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de traitement thermique de durcissement.
 6. Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de traitement thermique de durcissement est réalisée entre les étapes d'obtention de ladite barre d'alliage et de décolletage ou entre les étapes de décolletage et de traitement de surface.

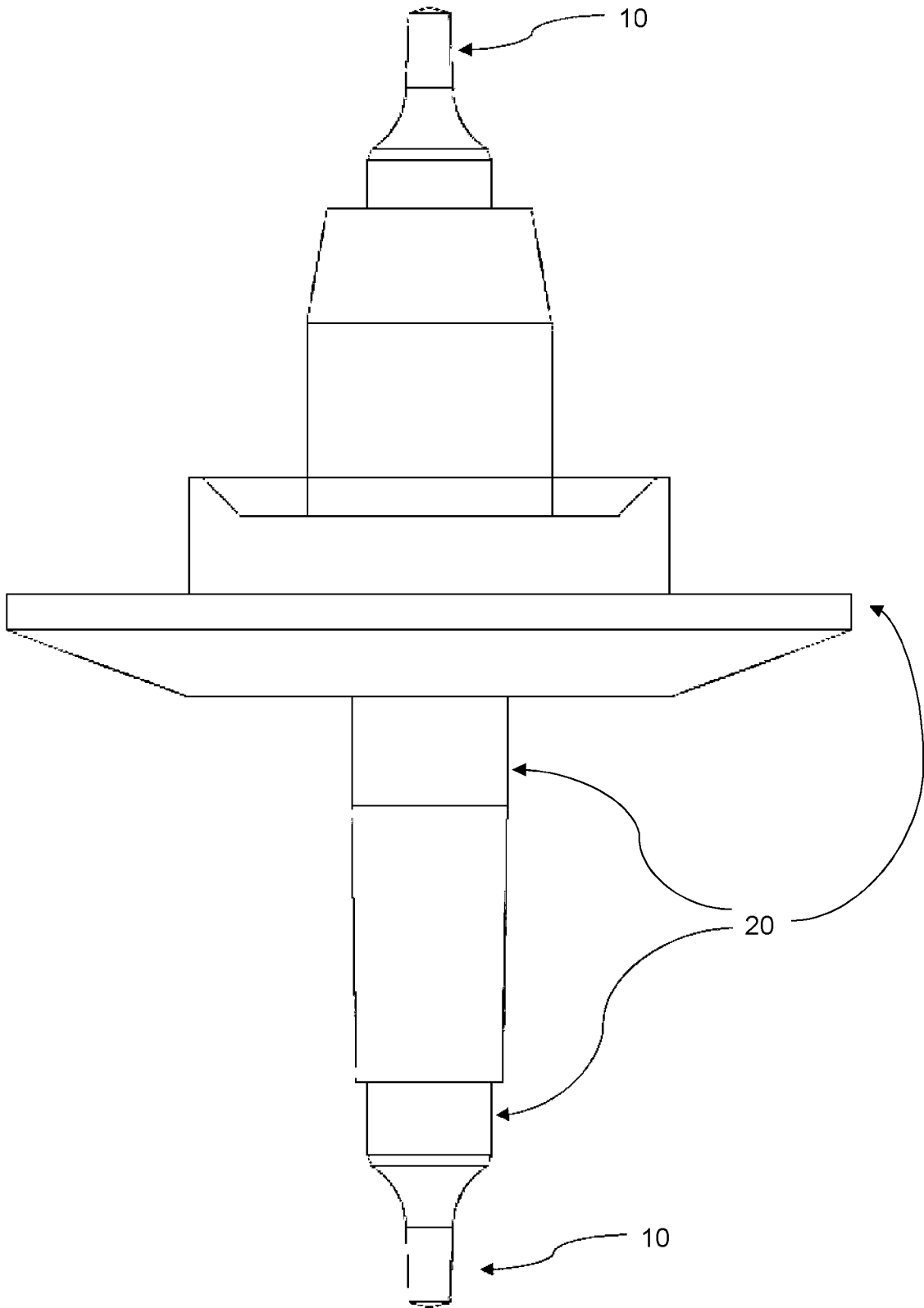


Fig. 1

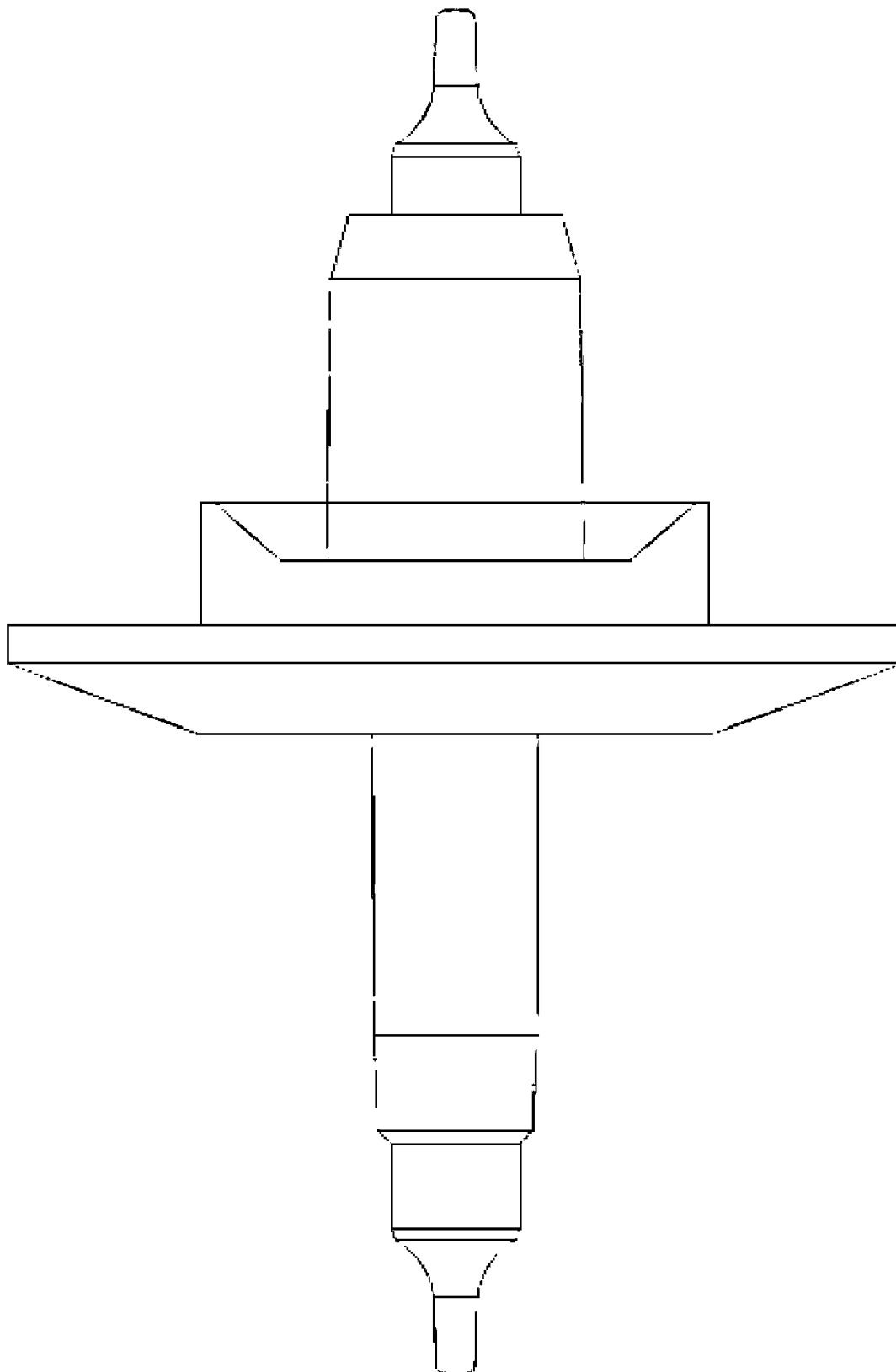


Fig. 2

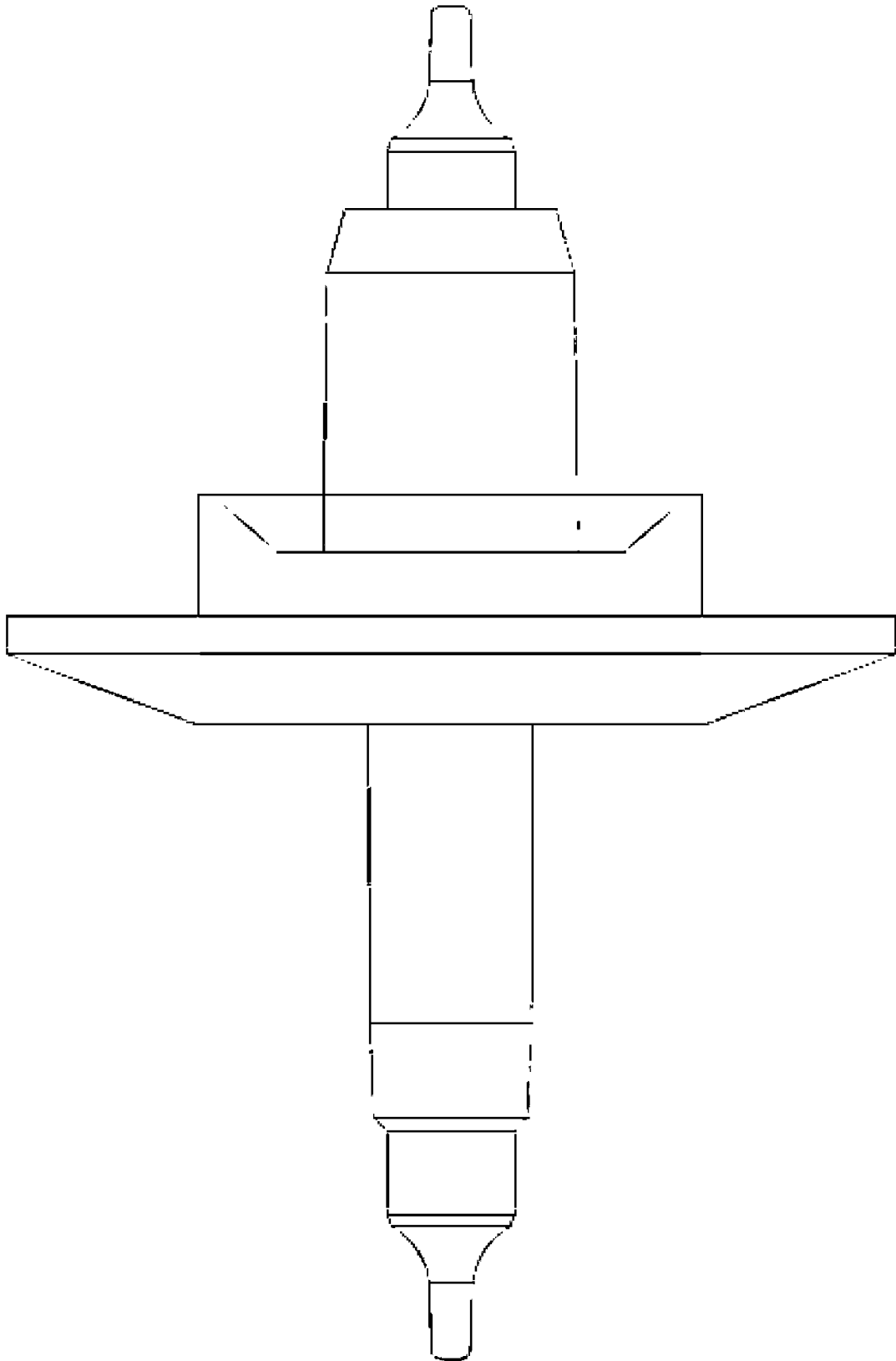


Fig. 3

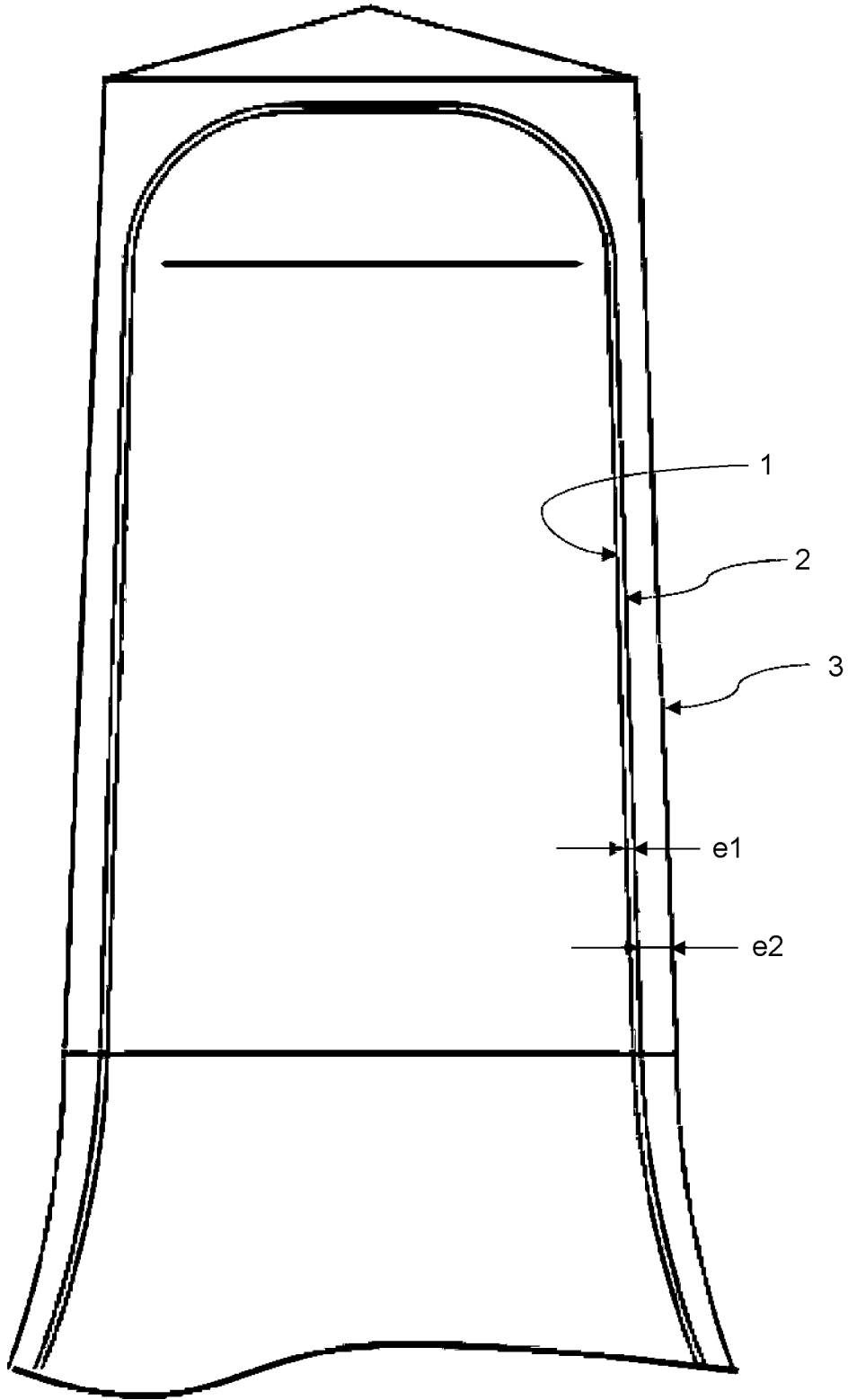


Fig. 4