

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 090 424

②1 N° d'enregistrement national : **18 73395**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 21 D 3/16** (2019.01)

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Procédé de redressage d'un arbre par application d'un effort variable radial d'écrouissage sur l'arbre en rotation.

②2 Date de dépôt : 19.12.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 26.06.20 Bulletin 20/26.

④5 Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 09.04.21 Bulletin 21/14.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *RENAULT SAS SAS — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : *MODARD Baptiste, SERPIN Kevin, PERSEVAL Romain et BONHOMME Vianney.*

⑦3 Titulaire(s) : *RENAULT SAS SAS.*

⑦4 Mandataire(s) : *RENAULT TECHNOCENTRE.*

FR 3 090 424 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de redressage d'un arbre par application d'un effort variable radial d'écroutissage sur l'arbre en rotation

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne un procédé de redressage d'un arbre métallique d'axe longitudinal, notamment d'un arbre de boîte de vitesses de véhicule automobile ou d'un arbre de moteur électrique de véhicule automobile, qui comporte une étape de redressage qui consiste à déformer plastiquement l'arbre sous l'action d'un effort radial d'écroutissage pour réduire la flèche.

Arrière-plan technique

[0002] Les arbres d'une boîte de vitesses de véhicule automobile sont très sollicités, notamment en frottement et en fatigue. Pour les rendre plus résistants, ils sont soumis, au cours de leur production, à un traitement thermique pour durcir leur surface. Ce traitement thermique est généralement réalisé sur l'arbre lorsqu'il présente globalement sa forme finale.

[0003] Il s'agit par exemple d'un traitement thermique par carbonituration ou par cémentation. Lors d'un tel traitement thermique, l'arbre est soumis à une température très élevée, par exemple aux alentours de 900°C, dans une atmosphère riche en carbone, en propane, en azote. Puis, l'arbre ainsi chauffé est refroidi brutalement par une opération de trempe.

[0004] Un tel traitement thermique permet d'obtenir un arbre dont le matériau métallique présente une couche superficielle dure et un cœur tendre et ductile.

[0005] Cependant, on a constaté que les amplitudes thermiques auxquelles l'arbre était soumis avaient tendance à créer des contraintes mécaniques internes résiduelles. Ces dernières provoquent des déformations significatives de l'arbre, notamment en flexion. L'arbre ainsi traité présente une flèche qui, bien souvent, ne respecte pas les tolérances de fabrication. L'arbre présente ainsi un côté concave et un côté convexe.

[0006] Il est donc préconisé de réaliser une étape de redressage de l'arbre suite à cette étape de traitement thermique. Traditionnellement, le redressage est réalisé en posant l'arbre sur des enclumes de support dans une position angulaire déterminée dans laquelle le côté convexe de l'arbre est orienté vers des actionneurs, par exemple des vérins hydrauliques. L'arbre est bloqué dans cette position et les actionneurs appliquent un effort de flexion ponctuel en un ou plusieurs points fixes du côté convexe de l'arbre pour provoquer sa flexion, dans un sens opposé à la flèche, dans le domaine plastique afin de redonner à l'arbre un axe principale globalement rectiligne de façon permanente.

- [0007] Les actionneurs sont commandés pour se déplacer sur une course suffisante pour permettre la déformation plastique de l'arbre. Ce faisant, l'actionneur est susceptible d'appliquer à l'arbre un effort de flexion extrêmement élevé, par exemple de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de Newton, de manière prolongée.
- [0008] On a observé que pour certaines géométries d'arbre, l'intensité de l'effort de flexion appliqué pendant l'opération de redressage créait, sur certains tronçons de l'arbre, des concentrations de contraintes mécaniques supérieures à la résistance à la rupture du matériau constituant l'arbre. Il en résulte la formation de fissures, voire une rupture totale de l'arbre au niveau de ces tronçons favorisant les concentrations de contraintes.
- [0009] Le taux d'arbres mis au rebut pour cette cause peut être assez élevé, ce qui a des conséquences financières importantes pour le fabricant.

Résumé de l'invention

- [0010] L'invention propose un procédé de redressage d'un arbre métallique d'axe longitudinal, notamment d'un arbre de boîte de vitesses de véhicule automobile ou d'un arbre de moteur électrique de véhicule automobile, qui comporte :
- [0011] - une étape initiale de repérage de la position angulaire d'une flèche de l'arbre sur au moins un tronçon déterminé, la flèche étant déterminée comme étant la distance radiale de décalage de l'axe réel de l'arbre par rapport à un axe rectiligne nominal ;
- [0012] - une étape de redressage qui consiste à déformer plastiquement l'arbre sous l'action d'un effort radial d'écrouissage pour réduire la flèche ;
- [0013] caractérisé en ce que l'étape de redressage consiste à mettre en rotation l'arbre autour de son axe nominal par rapport à un bâti fixe et à appliquer continuellement un effort radial d'écrouissage, selon une direction d'application fixe par rapport au bâti fixe, sur le tronçon déterminé, l'intensité de l'effort radial d'écrouissage variant progressivement entre une valeur maximale, appliquée en coïncidence avec l'amplitude maximale de la flèche, et une valeur minimale, appliquée en coïncidence avec l'amplitude minimale de la flèche.
- [0014] Selon d'autres caractéristiques du procédé réalisé selon les enseignements de l'invention :
- [0015] - l'effort radial est appliqué avec l'intensité de valeur minimale sur un secteur angulaire de la surface du tronçon déterminé s'étendant symétriquement de part et d'autre de la direction de la flèche, ledit secteur angulaire déterminé s'étendant par exemple sur un angle total d'environ 180° ;
- [0016] - l'effort radial d'écrouissage est appliqué lors de l'étape de redressage par l'intermédiaire d'un galet d'action roulant sur la surface cylindrique du tronçon déterminé de l'arbre sans interruption pendant toute la durée de l'étape de redressage ;
- [0017] - l'étape de redressage est précédée d'une étape de galetage au cours de laquelle

l'arbre est mis en rotation autour de son axe nominal avec application d'un effort radial de galetage sensiblement constant sur le tronçon déterminé pendant plusieurs tours afin de durcir la surface cylindrique du tronçon déterminé ;

- [0018] - l'intensité de l'effort radial de galetage est inférieure ou égale à la valeur maximale d'intensité de l'effort radial d'érouissage ;
- [0019] - durant l'étape de redressage, l'arbre fait plusieurs tours, par exemple 4 tours, la valeur de l'intensité de l'effort radial d'érouissage variant cycliquement entre sa valeur minimale et sa valeur maximale ;
- [0020] - la valeur minimale d'intensité de l'effort radial d'érouissage appliqué pendant l'étape de redressage est comprise entre 0 et 2000 N, par exemple 1500 N ;
- [0021] - la valeur maximale d'intensité de l'effort radial d'érouissage appliqué pendant l'étape de redressage est comprise entre 5000 N et 20000 N, par exemple 9000 N ;
- [0022] - le tronçon déterminé présente une face cylindrique non fonctionnelle, notamment un rayon de raccordement ou un fond de gorge.
- [0023] L'invention concerne aussi une station de redressage d'un arbre de véhicule automobile d'axe longitudinal, notamment d'un arbre de boîte de vitesses de véhicule automobile ou d'un arbre de moteur électrique d'un véhicule automobile, qui comporte :
 - [0024] - un support de réception de l'arbre, le support comportant des moyens de guidage permettant la rotation de l'arbre autour de son axe nominal ;
 - [0025] - des moyens de mise en rotation de l'arbre autour de son axe nominal ;
 - [0026] - un dispositif hydraulique d'application d'effort comportant une tige dont une extrémité libre est destinée à appliquer un effort d'érouissage sur l'arbre, le dispositif hydraulique d'application d'effort étant dimensionné pour appliquer un effort de plusieurs milliers de Newton, par exemple jusqu'à 10000 N ;
- [0027] caractérisée en ce que le dispositif hydraulique d'application d'effort comporte un galet d'action monté rotatif à l'extrémité libre de la tige.

Brève description des figures

- [0028] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
 - [0029] [fig.1A] La figure 1A est une vue de côté qui représente un arbre avant traitement thermique ;
 - [0030] [fig.1B] La figure 1B est une vue en section de l'arbre de la figure 1A selon le plan de coupe 1B-1B de la figure 1A ;
 - [0031] [fig.2A] La figure 2A est une vue de côté de l'arbre de la figure 1A après traitement thermique, l'arbre étant courbé par rapport à celui de la figure 1A et présentant une flèche ;

- [0032] [fig.2B] La figure 2B est une vue en section de l'arbre de la figure 2A selon le plan de coupe 2B-2B de la figure 2A ;
- [0033] [fig.3A] La figure 3A est une vue de côté qui représente l'arbre de la figure 2A monté sur une station de redressage et subissant une étape de repérage de la flèche ;
- [0034] [fig.3B] La figure 3B est une vue en section de l'arbre de la figure 3A selon le plan de coupe 3B-3B de la figure 3A ;
- [0035] [fig.4A] La figure 4A est une vue similaire à celle de la figure 3A qui représente l'arbre subissant une étape de redressage sur la station de redressage ;
- [0036] [fig.4B] La figure 4B est une vue en section de l'arbre de la figure 4A selon le plan de coupe 4B-4B de la figure 4A, les flèches représentant l'intensité de l'effort radial d'écroutissage exercé par le galet d'action lors du passage de chacun des points au droit du galet d'action ;
- [0037] [fig.4C] La figure 4C est une vue en section de l'arbre de la figure 4A selon le plan de coupe 4C-4C de la figure 4A qui représente un tronçon déterminé de l'arbre sur lequel roulent un galet d'action et un galet de réaction opposé ;
- [0038] [fig.5] La figure 5 est un diagramme représentant l'intensité de l'effort radial d'écroutissage, en kilo Newton, exercé par le galet d'action en fonction du temps pendant l'étape de de redressage ;
- [0039] [fig.6A] La figure 6A est une vue similaire à celle de la figure 4A qui représente l'arbre de la figure 4A à l'issue de l'étape de redressage ;
- [0040] [fig.6B] La figure 6B est une vue en section de l'arbre de la figure 6A selon le plan de coupe 6B-6B de la figure 6A ;
- [0041] [fig.7] La figure 7 est une vue similaire à celle de la figure 4A qui représente l'arbre subissant une opération préalable de galetage.

Description détaillée de l'invention

- [0042] Dans la suite de la description, des éléments présentant une structure identique ou des fonctions analogues seront désignés par des mêmes références.
- [0043] Dans la suite de la description, on adoptera à titre non limitatif une direction longitudinale, dirigée selon l'axe nominal de l'arbre, verticale et transversale, qui est indiquée par la flèche "L" des figures.
- [0044] Sans autre précision, le terme "radial" est utilisé en référence à l'axe nominal de l'arbre.
- [0045] On a représenté schématiquement à la figure 1 un arbre 10 de boîte de vitesses d'axe "X0" nominal longitudinal. Cet arbre 10 est destiné à recevoir divers éléments tels que des pignons fixes et/ou mobiles. L'arbre 10 est réalisé en un matériau métallique tel que de l'acier.
- [0046] En variante, il s'agit d'un arbre de moteur électrique pour un véhicule automobile, par

exemple d'un moteur électrique de traction du véhicule automobile.

- [0047] L'arbre 10 représenté aux figures 1A et 1B présente un axe principal rectiligne orienté longitudinalement qui est sensiblement coaxial à un axe "X0" nominal de l'arbre. Pour la suite de la description, l'axe "X0" est défini comme étant une droite qui relie le centre des deux faces d'extrémité de l'arbre 10.
- [0048] Cet arbre 10 est destiné à subir un traitement thermique pour en durcir la surface. Un tel traitement thermique comporte une opération de chauffage durant laquelle l'arbre 10 est exposé à une température "Tt" de traitement élevée suivie d'une opération de trempe. Il s'agit par exemple d'un traitement par carbonituration ou d'un traitement par cémentation.
- [0049] Durant un tel traitement, la température "Tt" de traitement est très élevée, par exemple d'environ 900°C. Pour finir le traitement, l'arbre 10 subit directement une opération de trempe qui fait baisser brutalement sa température, par exemple à une température d'environ 140°C.
- [0050] Lors du traitement thermique, la variation importante de températures en un laps de temps aussi court provoque une déformation en flexion de l'arbre 10. Comme cela est représenté à aux figures 2A et 2B, sur au moins un tronçon 14 déterminé, l'arbre 10 présente ainsi une flèche 12 permanente.
- [0051] La flèche 12 est déterminée comme étant la distance radiale de décalage de l'axe "X1" réel de l'arbre 10 par rapport à l'axe "X0" rectiligne nominal de l'arbre 10 dans un plan "P" axial de flexion passant par ces deux axes "X1" et "X0". Pour simplifier la suite de la description, on définit une droite 16 longitudinale distale formée par l'intersection du plan "P" de flexion avec la surface cylindrique externe du tronçon 14 déterminé, la droite 16 distale étant la plus éloignée de l'axe "X0" nominale, comme cela est représenté au haut de la figure 2B. On définit aussi une droite 18 longitudinale proximale formée par l'intersection du plan "P" de flexion avec la surface externe du tronçon 14 déterminé, la droite 18 proximale étant plus proche de l'axe "X0" nominal que la droite 16 distale, comme cela est illustré au bas de la figure 2B.
- [0052] Pour redresser l'arbre 10, ce dernier est installé dans une station 20 de redressement qui comporte un bâti 22 fixe portant un support de réception de l'arbre 10. Comme cela est représenté à la figure 3A, le support comporte une pointe 24A et une contre-pointe 24B qui sont alignées selon l'axe "X0" nominal de l'arbre 10.
- [0053] La pointe 24A et la contre-pointe 24B sont susceptibles d'être appliquées au centre de chacune des extrémités de l'arbre 10. La pointe 24A et la contre-pointe 24B prennent plus particulièrement l'arbre 10 longitudinalement en étau, la pointe 24A et la contre-pointe 24B étant alignées en coïncidence avec l'axe "X0" nominal de l'arbre 10. A cet effet, la pointe 24A est montée réglable longitudinalement en position pour permettre le serrage longitudinal de l'arbre 10. Après serrage, la pointe 24A demeure fixe longi-

tudinalement pendant tout le procédé.

- [0054] La pointe 24A et la contre-pointe 24B sont montées rotatives autour de leur axe "X0". La pointe 24A est entraînée en rotation par des moyens non représentés, tel qu'un moteur électrique, le mouvement de rotation étant transmis sans glissement à l'arbre 10, comme cela est indiqué par la flèche "F" de la figure 3A.
- [0055] Lorsque la flèche de l'arbre 10 diminue, la longueur entre ses deux extrémités tend à augmenter. Pour permettre d'accompagner ce mouvement d'allongement de l'arbre 10, la contre-pointe 24B est montée coulissante axialement par rapport au bâti 22.
- [0056] Pour permettre un serrage axial suffisant de l'arbre 10 entre la pointe 24A et la contre-pointe 24B tout en autorisant l'allongement de l'arbre 10, la contre-pointe 24B est ici élastiquement contrainte en direction de l'arbre 10, par exemple au moyen d'un organe 25 élastique qui est monté précontraint en compression entre un élément fixe axialement par rapport au bâti 22 et la contre-pointe 24B.
- [0057] Comme cela est représenté aux figures 3A et 3B, lors d'une étape "E1" initiale de repérage, la position angulaire de la flèche 12 de l'arbre 10 est repérée sur au moins un tronçon 14 déterminé de l'arbre 10. Ce repérage est par exemple effectué au moyen d'un palpeur 26 radial qui est agencé au contact de la paroi cylindrique externe du tronçon 14 déterminé de l'arbre 10.
- [0058] Lors de la rotation de l'arbre 10 autour de son axe "X0" nominal, le palpeur permet de repérer la position angulaire de la flèche 12 sur l'arbre 10. La position angulaire et l'amplitude de la flèche 12 sont mémorisées dans une unité 28 électronique de commande. Il est ainsi possible de connaître à tout moment la position angulaire de la flèche 12 par rapport au bâti 22 fixe.
- [0059] Après l'étape "E1" de repérage, une étape "E3" de redressage est déclenchée lorsque la flèche 12 est supérieure à un seuil de tolérance prédéterminé. L'étape "E3" a pour but de déformer plastiquement l'arbre 10 sous l'action d'un effort "Br" radial d'écroutissage pour réduire la flèche 12 du tronçon 14 déterminé au-dessous du seuil de tolérance, idéalement pour faire correspondre l'axe "X1" réel avec l'axe "X0" nominal.
- [0060] L'étape "E3" de redressage est réalisée sur la station 20 de redressage. Elle consiste à mettre en rotation l'arbre 10 autour de l'axe "X0" nominal par rapport au bâti 22 fixe. Pendant la rotation de l'arbre 10, un effort "Br" radial d'écroutissage est appliqué continuellement sur le tronçon 14 déterminé, selon une direction d'application radiale fixe par rapport au bâti 22 fixe.
- [0061] Dans le mode de réalisation représenté à la figure 4A, l'effort "Br" radial d'écroutissage est appliqué par l'extrémité libre de la tige 30 d'un dispositif 31 hydraulique d'application d'effort coulissant selon une direction fixe par rapport au bâti 22. La tige 31 est montée coulissante dans un corps 33 du dispositif 31 hydraulique d'application d'effort. Il s'agit ici, à titre non limitatif d'un vérin hydraulique. La tige 31

est montée coulissante dans un corps 33 du dispositif 31 hydraulique d'application d'effort. Le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort est dimensionné pour appliquer un effort de plusieurs milliers de Newton, par exemple jusqu'à 20000 N.

- [0062] Pour éviter que l'extrémité libre du dispositif 31 hydraulique d'application d'effort ne frotte contre l'arbre 10, l'extrémité libre du dispositif 31 hydraulique d'application d'effort comporte un galet 32 d'action monté rotatif autour d'un axe "Y" qui peut être longitudinal ou incliné par rapport à la direction longitudinale. Ainsi, l'effort "Br" radial d'écroutissage est appliqué par l'intermédiaire du galet 32 d'action. Le galet 32 d'action roule ainsi sans interruption sur la surface cylindrique externe du tronçon 14 déterminé pendant sa rotation sur toute la durée de l'étape "E3" de redressage.
- [0063] Dans le mode de réalisation représenté à la figure 4A, l'effort "B" appliqué par le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort est légèrement incliné dans le plan axial par rapport à une direction purement radiale car l'effort est appliqué dans un angle formé entre une face cylindrique de l'arbre et une face d'épaule de l'arbre. Dans ce cas, l'effort "Br" radial d'écroutissage est déterminé comme étant la composante radiale de l'effort "B" d'écroutissage appliqué par le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort.
- [0064] En variante non représentée de l'invention, le dispositif hydraulique d'application d'effort est agencé de manière à exercer un effort purement radial sur l'arbre.
- [0065] La station 22 de redressage comporte avantageusement un galet 34 de réaction qui est agencé diamétralement en vis-à-vis du galet 32 d'action. Ce galet 34 de réaction roule ainsi sur la face cylindrique du tronçon 14 déterminé à l'opposé du galet 32 d'action, comme cela est particulièrement visible à la figure 4C. Le galet 34 de réaction permet notamment de garantir que l'arbre 10 demeure en position entre la pointe 24A et la contre-pointe 24B et il permet aussi de limiter la déformation en flexion de l'arbre 10 sous l'effet de l'effort "Br" d'écroutissage.
- [0066] Le galet 34 de réaction est par exemple monté coulissant radialement par rapport au bâti 22 et il est contraint contre le tronçon 14 déterminé (non représenté) pour pouvoir être en contact permanent avec l'arbre 10. Le galet 35 de réaction applique une réaction "Rb" sur l'arbre 10 qui est opposée à l'effort "Br" d'écroutissage.
- [0067] Comme représenté à la figure 4C, le galet 34 de réaction est par exemple monté sur un portique 35 qui est solidaire du corps 33 du dispositif 31 hydraulique d'application d'effort. Le portique 35 est monté coulissant librement parallèlement à l'effort "Br" d'écroutissage sur le bâti 22 sur une course limitée. Ceci permet ainsi de pincer le tronçon 14 déterminé entre le galet 32 d'action et le galet 34 de réaction lorsque l'effort "Br" d'écroutissage est appliqué.
- [0068] L'intensité de l'effort "Br" radial d'écroutissage est commandé de manière à alterner progressivement entre :

- [0069] - une valeur maximale "Bmax", appliquée en coïncidence avec le passage de la droite 16 distale au droit de la direction d'application, c'est-à-dire lorsque le galet 32 d'action roule sur ladite droite 16 distale ; et
- [0070] - une valeur minimale "Bmin", appliquée en coïncidence avec le passage de la droite 18 proximale, au droit de la direction d'application, c'est-à-dire lorsque le galet 32 d'action roule sur ladite droite 18 proximale.
- [0071] En d'autres termes, la valeur maximale "Bmax" est appliquée en coïncidence avec l'amplitude maximale de la flèche, tandis que l'amplitude minimale "Bmin" est appliquée en coïncidence avec l'amplitude minimale de la flèche.
- [0072] L'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage est ainsi commandée par l'unité 28 électronique de commande en fonction de la position angulaire de la flèche 12 et de la vitesse angulaire de l'arbre 10. L'intensité varie cycliquement à chaque tour d'arbre 10 comme cela est représenté à la figure 5.
- [0073] La valeur minimale "Bmin" de l'effort "Br" radial d'écrouissage appliqué pendant l'étape "E3" de redressage est par exemple comprise entre 0 et 2000 N, par exemple 1500 N.
- [0074] La valeur maximale "Bmax" de l'effort "Br" radial d'écrouissage appliqué pendant l'étape "E3" de redressage est par exemple comprise entre 5000 N et 20000 N, par exemple 9000 N.
- [0075] Dans l'exemple représenté à la figure 4B, on a représenté l'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage subit par chaque point du contour du tronçon 14 déterminé lors de leur passage au droit de la direction d'application, c'est-à-dire lors de leur contact avec le galet 32 d'action.
- [0076] La valeur minimale "Bmin" de l'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage est ici appliquée sur un premier secteur "A1" angulaire déterminé de la surface du tronçon 14 déterminé, s'étendant symétriquement de part et d'autre de la ligne 18 proximale, c'est-à-dire de part et d'autre de la direction de la flèche. Le premier secteur "A1" angulaire s'étend ici sur un angle total d'environ 180°, par exemple légèrement supérieur à 180°.
- [0077] De même, la valeur maximale "Bmax" de l'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage est ici appliquée sur un deuxième secteur "A2" angulaire déterminé de la surface du tronçon 14 déterminé, s'étendant symétriquement de part et d'autre de la ligne 16 distale. Le deuxième secteur "A2" angulaire s'étend ici sur un angle très petit par rapport à celui du premier secteur "A1" angulaire, par exemple d'environ 20°.
- [0078] Le premier secteur angulaire "A1" et le deuxième secteur "A2" angulaire sont séparés des deux côtés par deux secteurs "A3" angulaire intermédiaire qui permettent de faire croître progressivement la valeur de l'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage depuis sa valeur minimale "Bmin" jusqu'à sa valeur maximale "Bmax" après le passage

du premier secteur "A1" angulaire au droit de la direction d'application, puis de faire décroître progressivement la valeur de l'intensité de l'effort "Br" radial d'érouissage depuis sa valeur maximale "Bmax" jusqu'à sa valeur minimale "Bmin" après le passage du deuxième secteur "A2" angulaire au droit de la direction d'application.

[0079] On a représenté à la figure 5 un diagramme représentant la valeur de l'intensité de l'effort "Br" radial d'érouissage en fonction du temps. On observe que durant l'étape "E3" de redressage, l'arbre effectue ici plusieurs tours, par exemple 4 tours indiqués respectivement par les intervalles T1, T2, T3 et T4. Le premier et le dernier tours "T1, T4" constituent respectivement des étapes de montée et de baisse en intensité de l'effort "Br" radial d'érouissage appliqué par le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort. Ainsi, lors de ces deux tours "T1, T4", le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort applique un effort "Br" radial d'érouissage maximal qui est ici sensiblement la moitié de la valeur maximale "Bmax" lors du passage du deuxième secteur "A2" angulaire. Le procédé n'est pleinement appliqué que pendant les deux tours "T2, T3" intermédiaires.

[0080] A l'issue du procédé, l'arbre 10 présente un axe "X1" réel sensiblement coaxial avec son axe "X0" nominal, la flèche 12 étant alors réduite en deçà du seuil de tolérance, comme cela est représenté aux figures 6A et 6B.

[0081] L'étape de redressage ainsi réalisée permet de redresser l'arbre 10 par déformation plastique sans endommager l'arbre 10. Ceci est dû au fait que, contrairement à ce qui est pratiqué dans l'état de la technique, l'effort "Br" radial d'érouissage est appliqué sur le contour de l'arbre en mouvement. Ainsi, les contraintes provoquées par l'application de la valeur maximale "Bmax" de l'effort apparaissent de manière transitoire et elles disparaissent cycliquement avant d'avoir pu causer des dommages à la structure du matériau constituant l'arbre 10. De plus, le fait d'augmenter progressivement la valeur de l'intensité permet d'éviter l'apparition subite de contraintes élevées, protégeant ainsi la structure du matériau.

[0082] Contrairement aux procédés de l'état de la technique qui impliquent de faire fléchir l'arbre dans le domaine plastique à l'encontre de sa flèche, le procédé de l'invention propose de redresser par un effet d'érouissage de la matière qui tend à réduire la flèche en allongeant de l'arbre 10 dans son axe longitudinal. La valeur "A11 + A12" d'allongement de l'arbre 10 est, par exemple une valeur de 0.09 mm environ, qui est répartie longitudinalement dans les deux sens à partir du tronçon 14 déterminé sur lequel l'effort de redressage est appliqué, comme indiqué par les références "A11" et "A12" de la figure 6A. La valeur de cet allongement dépend de la forme, de la taille et de la matière de l'arbre 10, ainsi que des efforts "Br" radiaux d'érouissage.

[0083] De plus, pour certains arbres 10, ce procédé permet de réduire la valeur maximale "Bmax" de l'intensité de l'effort appliqué par rapport à l'effort de flexion appliqué dans

les procédés de l'état de la technique.

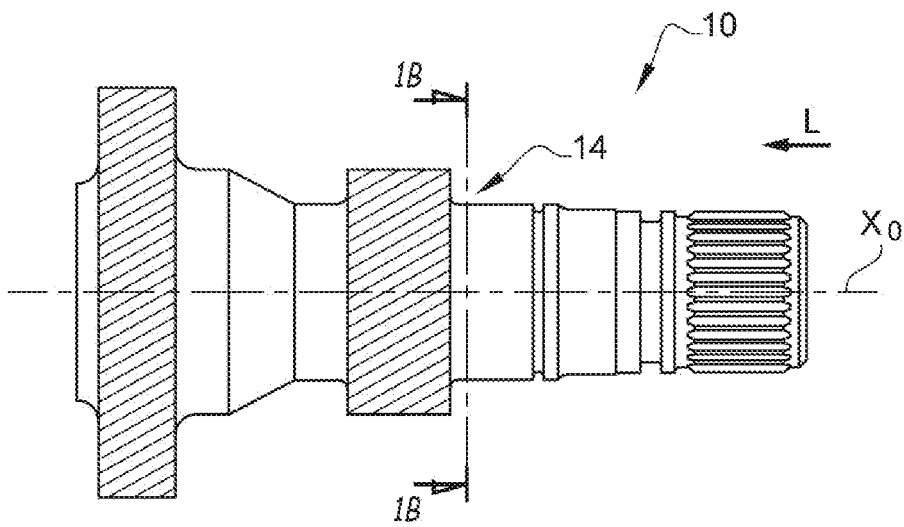
- [0084] Pour certains arbres 10, on a observé que le roulage du galet 32 d'action sur le contour du tronçon 14 déterminé de l'arbre 10 pouvait provoquer la formation d'un chemin creux sur le trajet du galet 32 d'action par écrasement local de la matière. Pour éviter que ce chemin creux n'interfère avec certaines faces fonctionnelles de l'arbre 10, par exemple des faces de réception de pignons, le tronçon 14 déterminé est sélectionné de manière à présenter une surface cylindrique non fonctionnelle, c'est-à-dire une surface qui ne nécessite pas un état de surface spécifique ou une forme géométrie de faible tolérance.
- [0085] Il s'agit par exemple d'un rayon de raccordement avec un épaulement, comme cela est représenté aux figures, ou un fond de gorge annulaire (non représenté). En outre, le choix d'un tel tronçon 14 déterminé permet de garantir un guidage du roulement du galet 32 d'action par contact avec la face d'épaulement ou avec l'une des faces latérales de la gorge.
- [0086] Lorsque la surface cylindrique de l'arbre 10 est susceptible d'être entamée par le roulage du galet 32 d'action, le procédé présente avantageusement une étape "E2" de galetage qui précède l'étape "E3" de redressage. C'est par exemple le cas lorsque l'arbre 10 est constitué d'un matériau tendre.
- [0087] Au cours de l'étape "E2" de galetage, l'arbre 10 est mis en rotation autour de son axe "X0" nominal sans quitter la station 20 de redressage. Un effort "E" radial de galetage sensiblement constant est appliqué sur le tronçon 14 déterminé pendant plusieurs tours, par exemple 4 tours, afin de durcir la surface cylindrique du tronçon 14 déterminé par galetage.
- [0088] L'intensité de l'effort "E" radial de galetage est ici inférieure ou égale à la valeur maximale "Bmax" de l'intensité de l'effort "Br" radial d'écrouissage.
- [0089] L'effort "E" de galetage est appliqué par le dispositif 31 hydraulique d'application d'effort par l'intermédiaire du galet 32 d'action. Pour éviter que l'application de l'effort "E" de galetage ne provoque une augmentation de la flèche 12 de l'arbre 10, l'effort "E" de galetage est constant durant la rotation de l'arbre 10.
- [0090] Le procédé de redressage réalisé selon les enseignements de l'invention permet de redresser des arbres 10 par écrouissage provoquant un allongement par déformation plastique en réduisant fortement les risques d'endommagement de l'arbre 10, même lorsque l'arbre est court et/ou présente une géométrie complexe.
- [0091] De plus, ce procédé augmente la résistance à la fatigue de du tronçon 14 déterminé.

Revendications

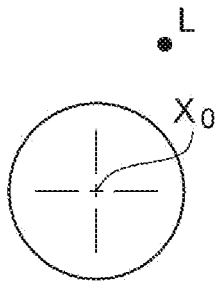
- [Revendication 1] Procédé de redressage d'un arbre (10) métallique d'axe longitudinal, notamment d'un arbre de boîte de vitesses de véhicule automobile ou d'un arbre de moteur électrique de véhicule automobile, l'arbre (10) ayant subi un traitement thermique pour en durcir la surface, un tel traitement thermique comportant une opération de chauffage durant laquelle l'arbre (10) est exposé à une température (T_t) de traitement élevée suivie d'une opération de trempé, le procédé comportant :
- une étape (E1) initiale de repérage de la position angulaire d'une flèche (12) de l'arbre (10) sur au moins un tronçon (14) déterminé, la flèche (12) étant déterminée comme étant la distance radiale de décalage de l'axe (X_1) réel de l'arbre (10) par rapport à un axe (X_0) rectiligne nominal ;
 - une étape (E3) de redressage qui consiste à déformer plastiquement l'arbre (10) sous l'action d'un effort (Br) radial d'écrouissage pour réduire la flèche (12) ;
- caractérisé en ce que l'étape (E3) de redressage consiste à mettre en rotation l'arbre (10) autour de son axe (X_0) nominal par rapport à un bâti (22) fixe et à appliquer continuellement un effort (Br) radial d'écrouissage, selon une direction d'application fixe par rapport au bâti (22) fixe, sur le tronçon (14) déterminé, l'intensité de l'effort (Br) radial d'écrouissage variant progressivement entre une valeur maximale (B_{max}), appliquée en coïncidence avec l'amplitude maximale de la flèche, et une valeur minimale (B_{min}), appliquée en coïncidence avec l'amplitude minimale de la flèche.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'effort (Br) radial est appliqué avec l'intensité de valeur minimale (B_{min}) sur un secteur (A_1) angulaire de la surface du tronçon (14) déterminé s'étendant symétriquement de part et d'autre de la direction de la flèche, ledit secteur (A_1) angulaire déterminé s'étendant par exemple sur un angle total d'environ 180° .
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'effort (Br) radial d'écrouissage est appliqué lors de l'étape (E3) de redressage par l'intermédiaire d'un galet (32) d'action roulant sur la surface cylindrique du tronçon (14) déterminé de l'arbre (10) sans interruption pendant toute la durée de l'étape (E3) de redressage.

- [Revendication 4] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (E3) de redressage est précédée d'une étape (E2) de galetage au cours de laquelle l'arbre (10) est mis en rotation autour de son axe (X0) nominal avec application d'un effort (E) radial de galetage sensiblement constant sur le tronçon (14) déterminé pendant plusieurs tours afin de durcir la surface cylindrique du tronçon (14) déterminé.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'intensité de l'effort (E) radial de galetage est inférieure ou égale à la valeur maximale (Bmax) d'intensité de l'effort (Br) radial d'écrouissage.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que durant l'étape (E3) de redressage, l'arbre (10) fait plusieurs tours, par exemple 4 tours, la valeur de l'intensité de l'effort (Br) radial d'écrouissage variant cycliquement entre sa valeur minimale (Bmin) et sa valeur maximale (Bmax).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la valeur minimale (Bmin) d'intensité de l'effort (Br) radial d'écrouissage appliqué pendant l'étape de redressage est comprise entre 0 et 2000 N, par exemple 1500 N.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la valeur maximale (Bmax) d'intensité de l'effort (Br) radial d'écrouissage appliqué pendant l'étape de redressage est comprise entre 5000 N et 20000 N, par exemple 9000 N.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le tronçon (14) déterminé présente une face cylindrique non fonctionnelle, notamment un rayon de raccordement ou un fond de gorge.

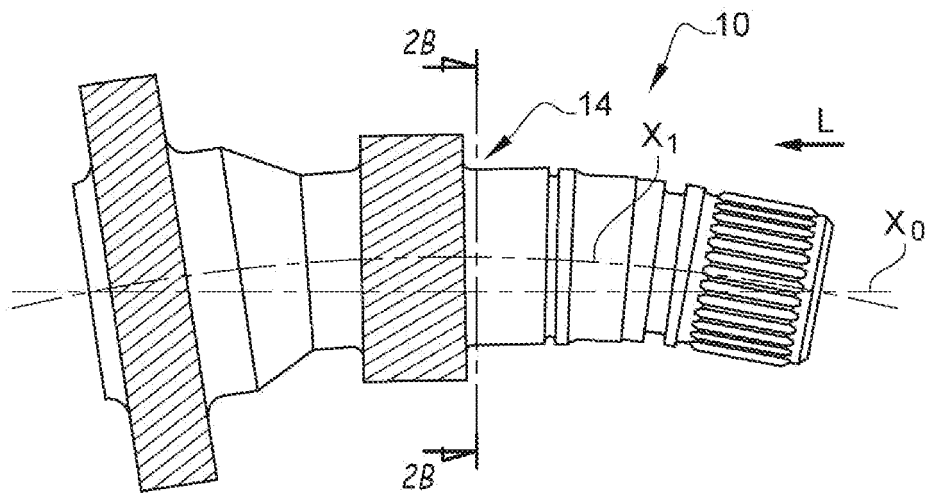
[Fig. 1A]



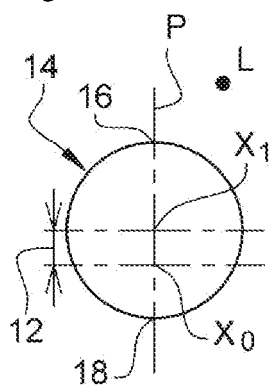
[Fig. 1B]



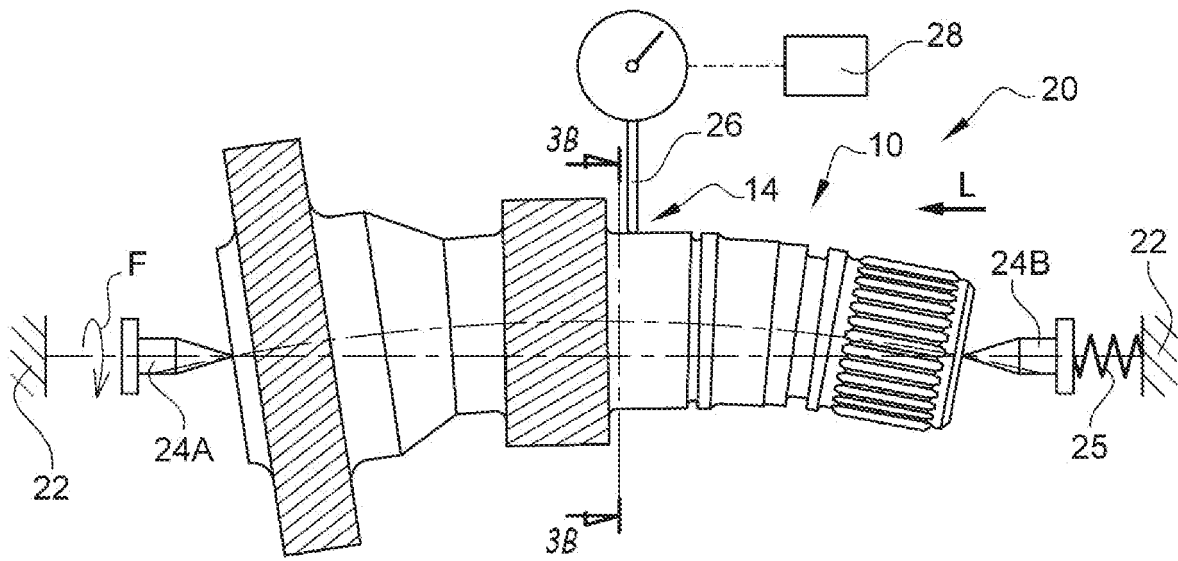
[Fig. 2A]



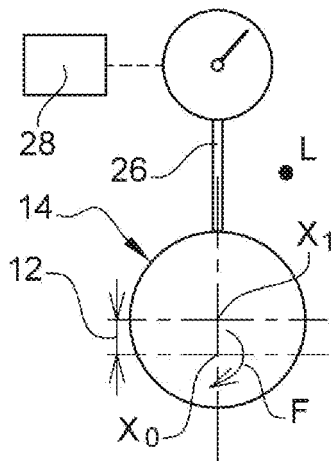
[Fig. 2B]



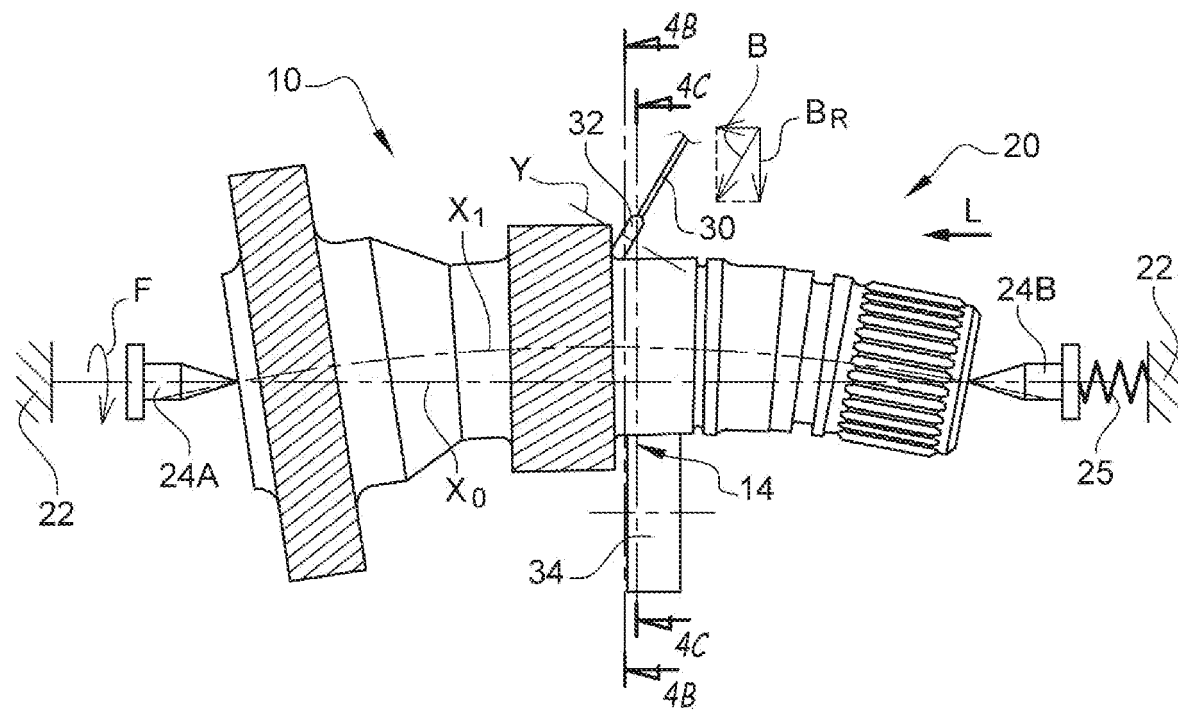
[Fig. 3A]



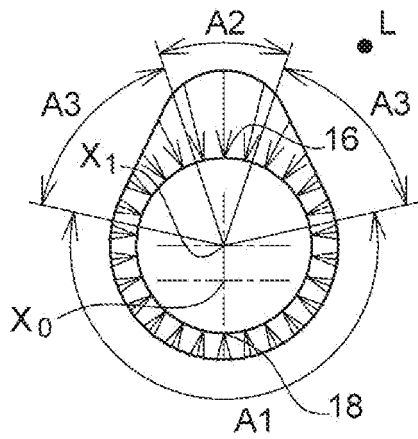
[Fig. 3B]



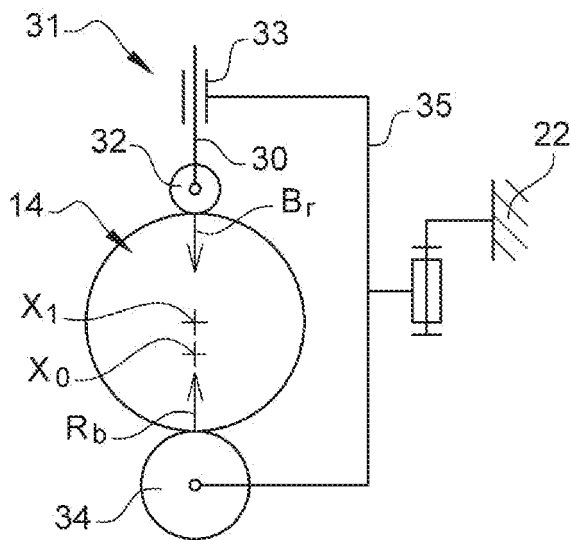
[Fig. 4A]



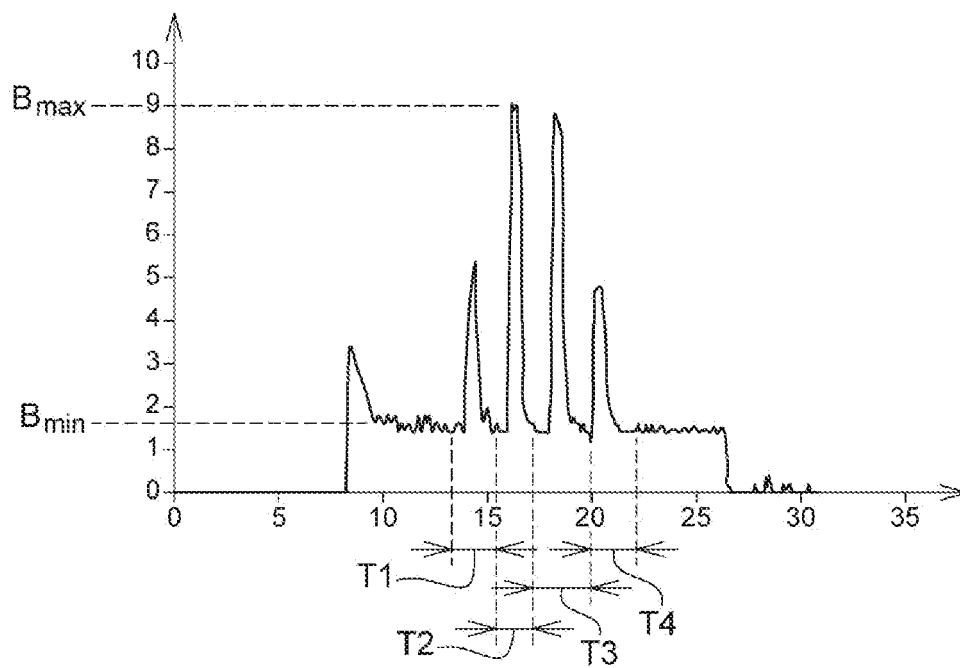
[Fig. 4B]



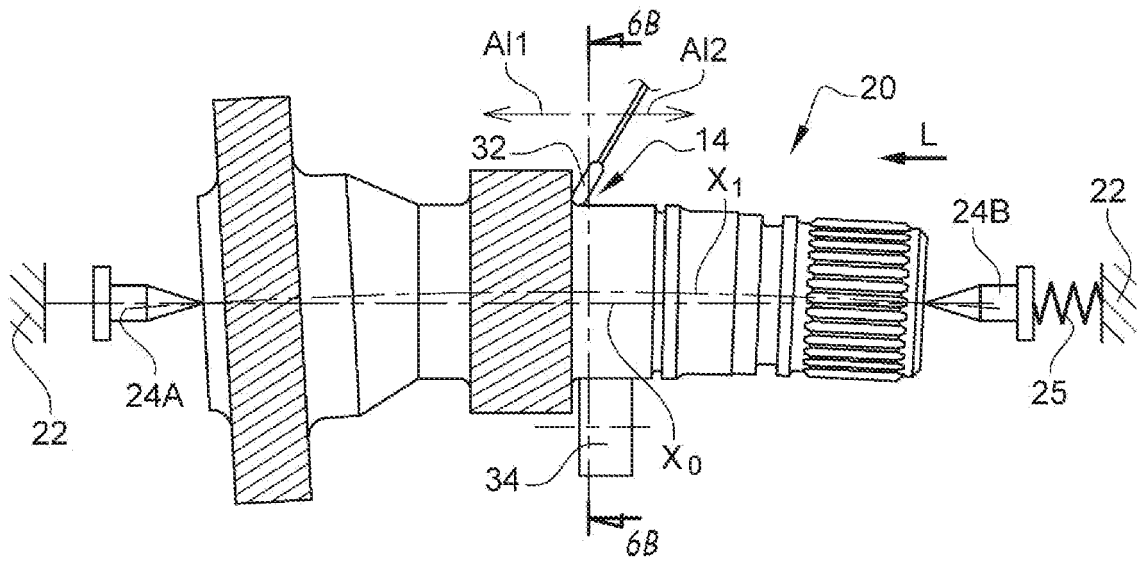
[Fig. 4C]



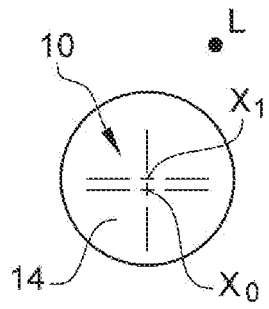
[Fig. 5]



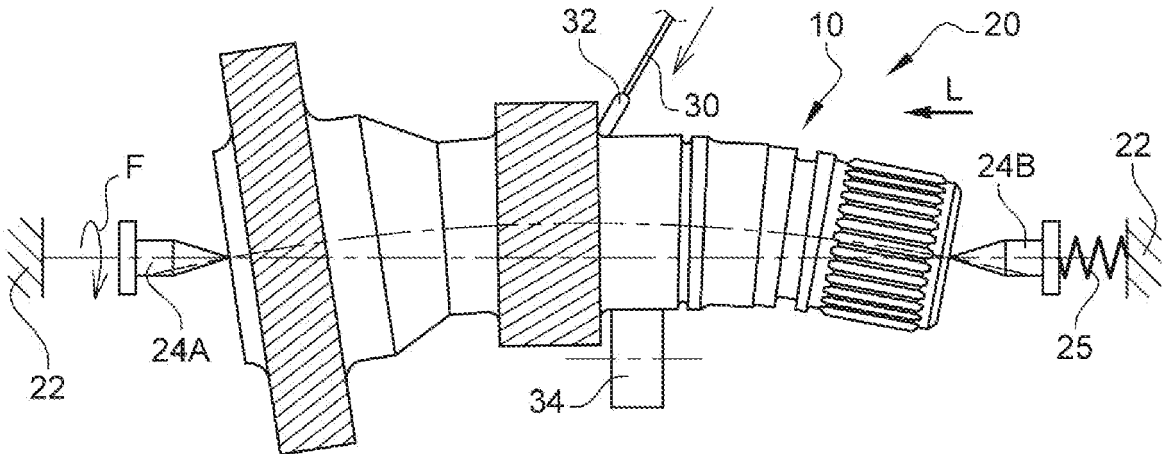
[Fig. 6A]



[Fig. 6B]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 2 654 987 A1 (HEGENSCHEIDT MFD GMBH &
CO KG [DE]) 30 octobre 2013 (2013-10-30)

US 5 001 917 A (BERSTEIN GARRI [DE])
26 mars 1991 (1991-03-26)

US 4 860 566 A (AUGUSTIN KARL-HEINZ [DE])
29 août 1989 (1989-08-29)

DE 10 2014 007396 A1 (DAIMLER AG [DE])
4 décembre 2014 (2014-12-04)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT