



Description

Titre de l'invention : Procédé amélioré de fabrication d'une pièce annulaire métallique

Domaine technique

- [0001] Le présent exposé concerne le domaine de la production industrielle, notamment le forgeage et l'usinage de pièces aéronautiques. Plus précisément, le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une pièce annulaire, pour moteurs aéronautiques mais pas uniquement.

Technique antérieure

- [0002] Dans le domaine de la production industrielle, la fabrication de pièces métalliques comprend de manière connue une gamme de forge et une gamme d'usinage, ces gammes provenant généralement de sources différentes et indépendantes (source forgeron et source usineur).
- [0003] Lors du forgeage de la pièce, un bloc métallique, ou ébauche présentant grossièrement la forme de la pièce finale à réaliser, est fabriqué(e) en utilisant un four à hautes températures (entre 900 et 1000°C), pour mettre en forme l'ébauche. L'ébauche chauffée et mise en forme est ensuite trempée dans un liquide de refroidissement afin de figer la forme et d'obtenir la métallurgie souhaitée. Un ou plusieurs traitement(s) thermique(s) peuvent en outre être effectué(s).
- [0004] L'ébauche brute ainsi obtenue est ensuite usinée afin d'obtenir la pièce finale aux cotes et dimensions souhaitées. Lors de l'usinage, une partie de la matière formant l'ébauche est enlevée par tournage de la pièce afin d'ajuster les cotes de la pièce (diamètres, dimensions...) aux valeurs souhaitées. Les parties dites trois dimensions (« 3D ») de la pièce, notamment les trous, gorges ou festons le cas échéant sont également réalisées, par exemple par fraisage.
- [0005] Toutefois, lors de la fabrication de pièce annulaire de grand diamètre, par exemple supérieur à 50 cm, par l'intermédiaire de l'usinage décrit ci-dessus, des défauts géométriques dans la pièce finale peuvent apparaître. C'est par exemple le cas pour les viroles permettant l'accouplement de deux modules de turbomachine, par exemple la turbine haute pression et la turbine basse pression. De telles viroles impliquent des tolérances serrées, avec un intervalle de tolérance par exemple de 0,05 mm maximum notamment au niveau des interfaces de frettage entre la virole et les modules de turbomachine qu'elle assemble. Le non-respect de cet intervalle de tolérance entraîne des défauts dans l'assemblage final, voire le rebut des viroles fabriquées.
- [0006] Cependant, ces viroles de grand diamètre, par exemple environ 1 m, présentent la caractéristique d'être souple, compte tenu de leurs dimensions et de leur matériau, géné-

ralement un alliage métallique réfractaire tel qu'un alliage de nickel de type Waspaloy® , par exemple. Or, les procédés décrits ci-dessus (forgeage et usinage) pour fabriquer cette virole entraînent fréquemment des défauts géométriques dans la pièce finale, ne permettant pas de respecter les intervalles de tolérance précités.

[0007] Ces défauts peuvent notamment être dus aux contraintes résiduelles demeurant dans l'ébauche à l'issue des traitements thermiques, notamment la trempe, réalisés après le forgeage, et libérées lors de l'usinage. Ces défauts concernent la circularité et le diamètre moyen de la virole au niveau des interfaces de frettage. En d'autres termes, ces pièces sont souvent produites avec un défaut d'ovalisation et d'affaissement des diamètres, entraînant des possibles non-conformités lors de l'assemblage et un taux de rebut important.

[0008] Il existe donc un besoin pour palier au moins en partie aux inconvénients précités.

Exposé de l'invention

[0009] Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une pièce annulaire métallique comprenant au moins un diamètre présentant une valeur prédéterminée, le procédé comprenant :

- une étape de forgeage dans laquelle une ébauche brute de la pièce annulaire est fabriquée,
- au moins une étape de traitement thermique,
- une étape d'usinage comprenant d'une part le tournage d'ajustement de l'ébauche pour ajuster le diamètre de l'ébauche à la valeur prédéterminée de la pièce à fabriquer, et d'autre part l'enlèvement de matière de l'ébauche dans lequel au moins 50% de la masse de l'ébauche brute est enlevée et comprenant au moins le perçage d'orifices et/ou d'une gorge dans l'ébauche brute, l'enlèvement de matière de l'ébauche étant réalisé avant le tournage d'ajustement.

[0010] On comprend que la pièce à fabriquer est annulaire, par exemple un anneau, et comprend donc nécessairement au moins un diamètre, par exemple au moins un diamètre interne et un diamètre externe par rapport à la direction radiale de la pièce, la pièce pouvant notamment présenter une symétrie de révolution. Toutefois, la pièce annulaire peut présenter une forme plus complexe qu'un anneau, et comprendre une ou plusieurs bride(s), des gorges ou épaulements. Une telle géométrie plus complexe implique plusieurs diamètres internes et externes.

[0011] On comprend par ailleurs par « valeur prédéterminée » de diamètre, la valeur du diamètre que la pièce annulaire doit respecter à la fin du procédé de fabrication pour être conforme aux exigences de qualité, moyennant un intervalle de tolérance également prédéfini.

[0012] On comprend en outre que l'ébauche brute est un bloc métallique annulaire brut

obtenu à la fin de l'étape de forgeage, par exemple un anneau, présentant grossièrement la forme et les dimensions de la pièce finale, avant les étapes de finition par usinage.

- [0013] A cet effet, de manière connue en soi, l'ébauche brute est habituellement usinée par tournage dans un premier temps. Pour cela, l'ébauche est mise en rotation de manière à usiner son diamètre interne et/ou son diamètre externe, afin d'ajuster ces diamètres aux cotes souhaitées, c'est-à-dire aux dimensions prédéterminées. Une fois cette étape terminée, l'ébauche est ensuite habituellement usinée notamment par fraisage de manière à réaliser les parties dites « 3D », notamment les orifices et/ou les gorges.
- [0014] Ce mode de fabrication comprenant ces différentes étapes réalisées dans cet ordre constitue les pratiques habituelles rencontrées dans la production industrielle, et repose sur l'optimisation de la mise en œuvre de la fabrication, pour diminuer le nombre d'étapes et les coûts.
- [0015] Toutefois, les inventeurs ont constaté par l'intermédiaire d'expériences et de simulations réalisées à chaque étape du procédé, une libération importante des contraintes résiduelles présentes dans l'ébauche à l'issue du traitement thermique, au moment de l'enlèvement de matière de l'ébauche notamment le perçage et le fraisage d'orifices, constituant habituellement la dernière étape de l'opération d'usinage et donc la finition de la pièce. La déformation de la pièce, entraînant une irrégularité de circularité de celle-ci, a donc lieu pour une part importante lors du fraisage.
- [0016] A l'inverse, les inventeurs ont constaté, de manière surprenante, qu'en enlevant un maximum de matière, notamment au moins 50% de la masse de l'ébauche et en réalisant notamment les orifices et/ou gorges dans un premier temps, puis en réalisant dans un deuxième temps les géométries de révolution (diamètres, faces) pour ajuster la pièce aux cotes souhaitées par l'étape de tournage d'ajustement usuellement réalisée en premier, les défauts observés dans la pièce résultante diminuaient de manière significative.
- [0017] Ainsi, le fait d'inverser l'étape d'enlèvement de matière, dans laquelle une quantité importante de matière est enlevée et au moins des orifices et/ou des gorges sont formés dans l'ébauche dans un premier temps, et l'étape de tournage d'ajustement dans laquelle au moins un diamètre de l'ébauche est ajusté à la valeur prédéterminée de la pièce à fabriquer, permet d'améliorer considérablement la circularité de la pièce annulaire ainsi fabriquée, diminuant par conséquent le taux de rebuts. En particulier, cette solution, pourtant contraire aux stratégies de coupe traditionnellement employées, permet de passer d'un taux de rebuts de 90% environ à 10%.
- [0018] Dans certains modes de réalisation, lors de l'enlèvement de matière de l'ébauche, au moins 90% d'une masse initiale de l'ébauche brute est enlevée. Cela permet d'enlever un maximum de matière en début d'usinage, et ainsi de limiter au maximum les effets

de libération des contraintes résiduelles lors de l'étape de tournage d'ajustement.

- [0019] Dans certains modes de réalisation, l'enlèvement de matière comprend la formation de festons destinés à être répartis circonférentiellement le long d'une face externe de la pièce annulaire.
- [0020] Les festons peuvent être des crans, ou créneaux répartis circonférentiellement autour de la pièce annulaire, de préférence percés d'orifice permettant la fixation de la pièce, par exemple une virole, à une autre pièce, par exemple un module de turbine. Les inventeurs ont constaté que l'usinage de festons était responsables d'une part importante des libérations de contraintes, et donc de déformations dans la pièce finale. Par conséquent, le fait de réaliser l'enlèvement de matière, comprenant la formation de festons, avant le tournage d'ajustement et de finition de la pièce, permet d'améliorer davantage la qualité de la pièce obtenue.
- [0021] Dans certains modes de réalisation, le diamètre de la pièce annulaire est supérieur ou égal à 50 cm. On comprend que plus le diamètre de la pièce annulaire est important, plus celle-ci est souple et relativement fine, et par conséquent exposée aux déformations. Par conséquent, cette solution appliquée aux pièces de grand diamètre, supérieur ou égal à 50 cm, permet d'améliorer de manière significative la circularité, et donc la qualité de la pièce obtenue.
- [0022] Dans certains modes de réalisation, le procédé comprend, après l'étape de forgeage de l'ébauche brute, puis de traitement thermique de l'ébauche brute par trempe dans un liquide de refroidissement, une étape d'expansion, pendant laquelle un diamètre de l'ébauche brute est augmenté par rapport à son diamètre initial après la trempe.
- [0023] Les inventeurs ont constaté que, en particulier sur les pièces annulaires souples de grand diamètre (≥ 50 cm) et en particulier en alliage de nickel qui autorise uniquement des trempes rapides figeant de forts gradients de contraintes, les traitements thermiques de détentionnement réalisés habituellement ne permettent pas de revenir à une situation sans contraintes résiduelles.
- [0024] A l'inverse, les inventeurs ont constaté que le fait d'étirer l'ébauche brute en augmentant son diamètre initial, par exemple son diamètre interne initial, lors de l'étape d'expansion après la trempe, permet de redistribuer les contraintes au sein de l'ébauche brute. En effet, le fait d'augmenter le diamètre initial de l'ébauche entraîne une plastification permettant d'uniformiser les contraintes au sein de l'ébauche, et donc de diminuer les concentrations locales importantes de contraintes. Cette étape d'expansion permet ainsi, en plus de l'inversion des étapes décrites ci-dessus lors de l'usinage, d'améliorer encore davantage la circularité et la qualité des pièces annulaires obtenues.
- [0025] Dans certains modes de réalisation, lors de l'étape d'expansion, le diamètre de l'ébauche brute est augmenté d'une valeur comprise entre 0,1% et 0,8% de son

diamètre initial.

- [0026] Ces valeurs d'expansions du diamètre, par exemple du diamètre interne de l'ébauche brute, suffisent à diminuer considérablement les contraintes résiduelles, et améliorer la qualité des pièces obtenues.
- [0027] Dans certains modes de réalisation, l'étape d'expansion est effectuée par l'intermédiaire d'un vérin poussant l'ébauche brute radialement vers l'extérieur de manière à élargir ladite ébauche brute.
- [0028] Il est par exemple possible d'utiliser un vérin à patins disposés contre la face radialement interne de la pièce annulaire à plusieurs endroits équidistants le long de cette face, poussant ainsi uniformément la pièce annulaire vers l'extérieur de manière à étirer et élargir celle-ci, et ainsi augmenter sensiblement le diamètre de la pièce annulaire.
- [0029] Dans certains modes de réalisation, la pièce annulaire est une virole permettant l'accouplement de deux modules de moteur aéronautique. Les modules de moteur aéronautique peuvent être les turbines haute et basse pression du moteur par exemple. Les intervalles de tolérance pour une telle virole étant très serrés, la mise en œuvre d'un procédé selon le présent exposé est par conséquent particulièrement avantageuse, en ce qu'elle permet plus efficacement d'être en conformité avec ces intervalles de tolérance en améliorant significativement la circularité et donc la qualité des pièces.

Brève description des dessins

- [0030] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée faite ci-après de différents modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description fait référence aux pages de figures annexées, sur lesquelles :
- [0031] [Fig.1] La [Fig.1] représente une vue en perspective d'une virole annulaire d'accouplement fabriquée par un procédé selon le présent exposé ;
- [0032] [Fig.2] La [Fig.2] représente une section de la virole de la [Fig.1] dans un plan parallèle à l'axe central de la virole ;
- [0033] [Fig.3] La [Fig.3] est un diagramme représentant schématiquement les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une pièce annulaire selon l'art antérieur ;
- [0034] [Fig.4] La [Fig.4] est un graphique représentant l'évolution du nombre de pièces annulaires fabriquées par le procédé de la [Fig.3], en fonction des écarts entre un diamètre mesuré sur ces échantillons et la valeur prédéterminée théorique de ce diamètre ;
- [0035] [Fig.5] La [Fig.5] est un diagramme représentant schématiquement les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une pièce annulaire selon un premier mode de réalisation du présent exposé ;

- [0036] [Fig.6] La [Fig.6] est un graphique (entier à gauche, et détaillé à droite) représentant l'évolution du nombre de pièces annulaires fabriquées par le procédé de la [Fig.5], en fonction des écarts entre un diamètre mesuré sur ces échantillons et la valeur prédéterminée théorique de ce diamètre ;
- [0037] [Fig.7] La [Fig.7] est un diagramme représentant schématiquement les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une pièce annulaire selon un deuxième mode de réalisation du présent exposé ;
- [0038] [Fig.8] La [Fig.8] est un graphique (entier à gauche, et détaillé à droite) représentant l'évolution du nombre de pièces annulaires fabriquées par le procédé de la [Fig.7], en fonction des écarts entre un diamètre mesuré sur ces échantillons et la valeur prédéterminée théorique de ce diamètre.

Description des modes de réalisation

- [0039] Dans la suite de la description, un procédé de fabrication d'une virole d'accouplement 10 de deux modules de moteur aéronautique (non représentés), va être décrit en référence aux figures 1 à 8. L'invention n'est cependant pas limitée à la fabrication d'une telle virole, mais peut s'appliquer à toutes pièces annulaires métalliques souple et présentant un diamètre supérieur ou égal à 50 cm.
- [0040] Une telle virole 10, représentée en perspective sur la [Fig.1], mesure par exemple 1 m de diamètre interne, et comprend un alliage réfractaire de nickel, par exemple du Waspaloy®. La virole 10 s'étend autour d'une direction axiale X, correspondant au centre de la virole 10, une direction radiale R de la virole 10 étant perpendiculaire à la direction axiale X. Les termes « interne », « externe » et leurs dérivés sont donc considérés selon cette direction radiale R, « interne » étant compris comme plus près de l'axe X, et « externe » étant compris comme plus éloigné de l'axe X.
- [0041] La virole 10 comprend une pluralité de festons 12, c'est-à-dire des crans répartis circonférentiellement autour de la virole 10, le long de sa face radialement externe. Ces festons 12 sont chacun traversés par un orifice 14. La virole 10 présente par ailleurs une forme complexe, bien visible sur la section représentée sur la [Fig.2].
- [0042] La virole 10 comprend notamment, sur une première face axiale, une première bride annulaire 15, et une première gorge annulaire 17. Sur une deuxième face axiale, la virole 10 comprend notamment un épaulement 18 et une deuxième gorge annulaire 19. Une deuxième bride annulaire 16 est en outre formée à l'extrémité radialement interne de la virole.
- [0043] Chacune de ces structures géométriques que comprend la virole 10 implique des cotes devant respecter des valeurs prédéterminées. En particulier, les diamètres interne et externe de ces différentes portions, notamment de première bride annulaire 15 constituant une interface de fretage avec un module aéronautique, doivent présenter

des valeurs prédéterminées, devant respecter un intervalle de tolérance restreint.

- [0044] L'exemple qui suit s'intéresse au diamètre externe De de la première bride annulaire 15 (ci-après nommée plus simplement « bride 15 »). Toutefois, la description pourrait s'appliquer également à d'autres portions de la pièce. On comprend que le diamètre externe De est la distance entre l'axe X et la surface externe de la première bride annulaire 15, repérée par la ligne en pointillés sur la [Fig.2].
- [0045] La [Fig.3] est un diagramme représentant les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une telle virole 10 selon l'art antérieur. Un tel procédé comprend dans un premier temps une étape de fabrication (étape S100) dans laquelle une ébauche brute de la pièce est fabriquée par forgeage, et dans un deuxième temps une étape d'usinage (étape S200), dans laquelle l'ébauche brute obtenue à l'étape S100 est usinée de manière à obtenir la forme et les dimensions souhaitées de la virole 10.
- [0046] L'étape S100 de fabrication comprend le forgeage comprenant dans un premier temps la mise en forme d'un bloc métallique brute dans laquelle, de manière connue en soi, le bloc est disposé dans un four à 900-1000°C, puis une force importante est appliquée sur le bloc à chaud pour lui donner la forme souhaitée (étape S110). Le bloc ainsi mis en forme est de nouveau disposé dans le four à 1000°C environ et est ensuite trempé dans un liquide de refroidissement (étape S120), qui peut être de l'eau, de l'huile, ou un liquide polymère. Au cours de cette étape, du fait de la vitesse élevée de refroidissement, la trempe fige des gradients de contraintes importants au sein de la pièce. En particulier, les bords du bloc métallique refroidissent plus vite que le cœur, impliquant de forts gradients de contraintes. Un traitement thermique supplémentaire de détentionnement est ensuite réalisé pour tenter de diminuer ces contraintes résiduelles (étape S130).
- [0047] Un tel traitement thermique de détentionnement peut comprendre, de manière connue en soi, des traitements par revenus, notamment en soumettant la pièce pendant 4h à une température de 850°C±10 et pendant 16h à 760°C±10, en laissant refroidir la pièce à l'air libre.
- [0048] A l'issue de l'étape S100 de fabrication incluant le forgeage et les traitements thermiques, une ébauche brute de la virole est obtenue. Cette ébauche brute présente par exemple la forme d'un anneau métallique de section rectangulaire. Au cours de l'étape d'usinage S200, cette ébauche métallique est dans un premier temps disposée sur un outil permettant sa mise en rotation, de manière à ajuster les diamètres, notamment le diamètre externe De , aux valeurs prédéterminées (étape S210 de tournage d'ajustement).
- [0049] Une fois les diamètres ajustés aux cotes souhaitées, l'ébauche est ensuite usinée de manière à former les parties fortement 3D de la virole 10, notamment les gorges 17, 19, les orifices 14 et les festons 12 (étape S220 d'enlèvement de matière), par

l'intermédiaire d'une fraise par exemple.

- [0050] La [Fig.4] est un graphique représentant la répartition des résultats de mesure du diamètre D_e , à un emplacement donné, sur 67 échantillons, et notamment l'écart E en mm (millimètre) entre le diamètre D_e mesuré et la valeur prédéterminée que ce diamètre D_e doit respecter, par exemple 958,1 mm. L'intervalle I entre les deux lignes pointillées représente l'intervalle de tolérance que le diamètre D_e doit respecter à l'issu du procédé de fabrication décrit plus haut, cet intervalle I étant de 0,05 mm. La courbe en trait plein représente les variations moyennes du nombre d'échantillons en fonction de l'écart E .
- [0051] Le graphique de la [Fig.4] montre un nombre important d'échantillons présentant des écarts E différents, indiquant une dispersion importante des valeurs de diamètre D_e mesurés, et donc une non répétabilité des résultats obtenus par ce procédé, et montre en outre que la grande majorité des écarts E mesurés sont au-delà de l'intervalle I de tolérance.
- [0052] La [Fig.5] est un diagramme représentant les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une virole 10 selon un premier mode de réalisation du présent exposé. L'étape S100 de fabrication dans ce premier mode de réalisation est identique à l'étape S100 du procédé selon l'art antérieur. En revanche, l'étape d'usinage S200 diffère de l'étape S200 du procédé selon l'art antérieur en ce que les étapes S210 et S220 sont inversées.
- [0053] Plus précisément, au cours de l'étape d'usinage S200, l'ébauche métallique est dans un premier temps usinée de manière à former les parties fortement 3D de la virole 10, notamment les gorges 17, 19, les orifices 14 et les festons 12 (étape S210' d'enlèvement de matière), et de manière à enlever une grande partie de la masse de l'ébauche, notamment au moins 50% de sa masse, de préférence au moins 90%.
- [0054] Ensuite, l'ébauche métallique est disposée sur un outil permettant sa mise en rotation, de manière à ajuster les diamètres, notamment le diamètre externe D_e , aux valeurs prédéterminées (étape S220' de tournage d'ajustement). Ainsi, l'étape S210' constitue un dégrossissement de la pièce dans laquelle la majeure partie de la masse de l'ébauche est enlevée et permettant d'obtenir une virole 10 ayant globalement la forme finale souhaitée, incluant notamment les orifices 14, festons 12 et gorges 17, 19, et l'étape S220' constitue une étape de finition dans laquelle les diamètres sont ajustés par un outil adapté.
- [0055] On notera que l'étape S210' d'enlèvement de matière peut également comprendre un tournage de l'ébauche, ce dernier constituant cependant un tournage de dégrossissement (en plus du fraisage d'orifices et/ou de gorges) permettant d'enlever de la matière pour se rapprocher de la forme et des dimensions finales de la virole 10, mais qui est différent du tournage d'ajustement (étape S220'), permettant d'ajuster les

diamètres aux cotes précises souhaitées et prédéterminées.

[0056] La [Fig.6] est un graphique représentant la répartition des résultats de mesure du diamètre D_e , à un emplacement donné, sur 18 échantillons, notamment de l'écart E en mm (millimètre) entre le diamètre D_e mesuré et la valeur prédéterminée de ce diamètre. En particulier, le graphique de droite représente celui de gauche de manière plus détaillée, l'échelle des abscisses étant agrandie.

[0057] Le graphique de la [Fig.6] montre une dispersion plus faible des valeurs de diamètre D_e mesurées par rapport au résultat du procédé selon l'art antérieur ([Fig.4]) montrant une meilleure répétabilité des résultats, et montre une part plus importante des écarts E mesurés inférieurs à l'intervalle I de tolérance de 0,05 mm. On notera en outre que l'inversion des étapes S210 et S220 permet d'obtenir un taux de viroles présentant, après l'étape d'usinage S200, une circularité conforme aux exigences de qualité, de 64,5%, contre 1% en l'absence d'une telle inversion avec le procédé selon l'art antérieur. Ainsi, le fait de libérer une grande partie des contraintes résiduelles en réalisant l'étape S210' d'enlèvement de matière et de dégrossissement dans un premier temps, avant l'étape de finition d'ajustement des diamètres, permet d'améliorer la circularité des viroles 10.

[0058] La [Fig.7] est un diagramme représentant les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'une virole 10 selon un deuxième mode de réalisation du présent exposé. L'étape S200 d'usinage dans ce deuxième mode de réalisation est identique à l'étape S200 du procédé selon le premier mode de réalisation. En revanche, l'étape de fabrication S100 diffère de l'étape S100 du procédé selon l'art antérieur et selon le premier mode de réalisation en ce qu'elle comprend, après l'étape S120 de trempe de l'ébauche brute dans un liquide de refroidissement, une étape d'expansion S140, pendant laquelle un diamètre initial de l'ébauche brute après l'étape de trempe S120, est augmenté.

[0059] Ainsi, selon ce deuxième mode de réalisation, le procédé comprend d'une part l'étape d'expansion S140 au cours de la fabrication de l'ébauche, et d'autre part le fait de réaliser l'étape d'enlèvement de matière S210' de l'ébauche avant l'étape de tournage d'ajustement S220'.

[0060] L'étape d'expansion S140 est effectuée par l'intermédiaire d'un vérin (non représenté), par exemple un vérin à patins disposés contre la face radialement interne de l'ébauche annulaire à plusieurs endroits équidistants le long de cette face, poussant ainsi uniformément l'ébauche vers l'extérieur de manière à étirer et élargir celle-ci, et ainsi augmenter sensiblement le diamètre de la pièce annulaire. Le diamètre interne de l'ébauche brute peut être augmenté d'une valeur comprise entre 0,1% et 0,8% de son diamètre initial, par exemple de 0,71%.

[0061] La [Fig.8] est un graphique représentant la répartition des résultats de mesure du

diamètre D_e , à un emplacement donné, sur 18 échantillons, notamment de l'écart E en mm (millimètre) entre le diamètre D_e mesuré et la valeur prédéterminée de ce diamètre. En particulier, le graphique de droite représente celui de gauche de manière plus détaillée, l'échelle des abscisses étant agrandie.

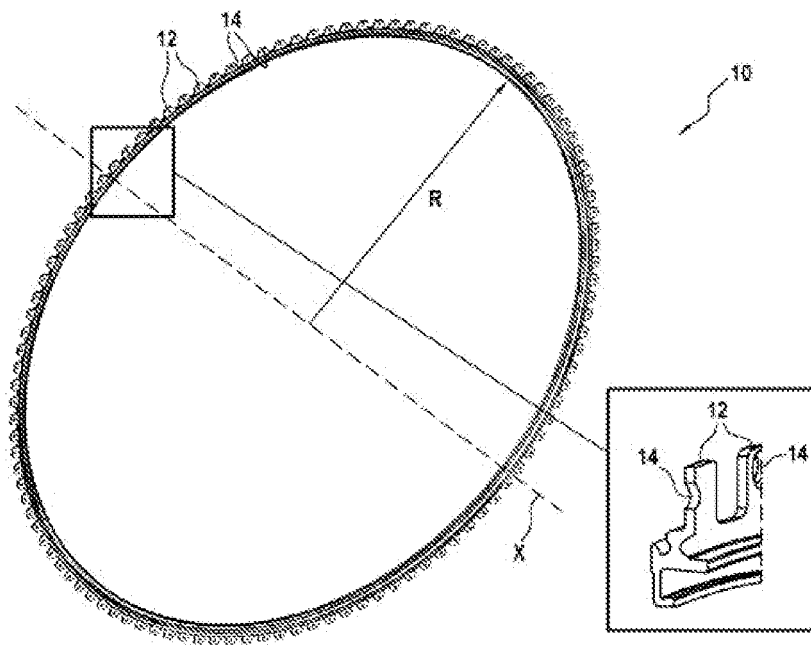
- [0062] Le graphique de la [Fig.8] indique une dispersion plus faible des valeurs de diamètre D_e mesurées par rapport au résultat du procédé selon l'art antérieur ([Fig.4]) et selon le premier mode de réalisation ([Fig.6]) et montre une part encore plus importante des écarts E mesurés inférieurs à l'intervalle I de tolérance de 0,05 mm, la totalité des échantillons testés respectant cet intervalle dans cet exemple. On notera en outre que l'ajout de l'étape S140, en plus de l'inversion des étapes S210 et S220, permet d'obtenir un taux de viroles présentant, après l'étape d'usinage S200, une circularité conforme aux exigences de qualité de 96%.
- [0063] Par ailleurs, une étape S150 de traitement thermique de détentionnement peut être réalisée après l'étape d'expansion S140, l'étape S150 étant identique à l'étape S130 décrite précédemment en référence au procédé selon l'art antérieur.
- [0064] Bien que la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réalisation spécifiques, il est évident que des modifications et des changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En particulier, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation illustrés/mentionnés peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

Revendications

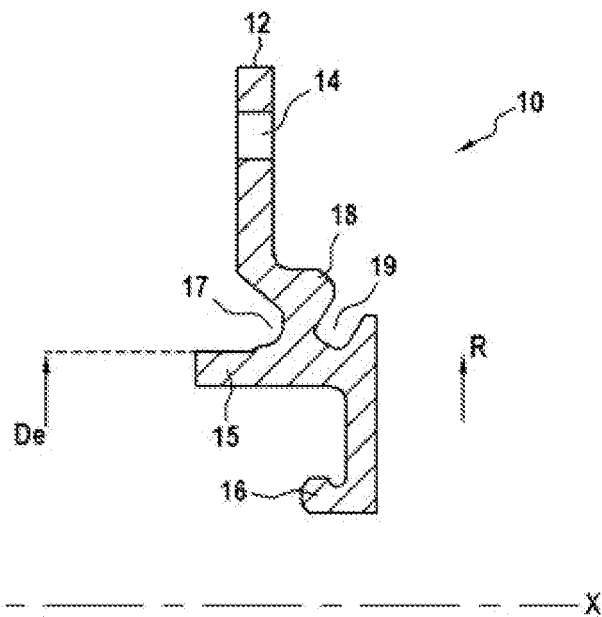
- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce annulaire (10) métallique comprenant au moins un diamètre (De) présentant une valeur prédéterminée, le procédé comprenant :
- une étape de forgeage (S110) dans laquelle une ébauche brute de la pièce annulaire (10) est fabriquée,
 - au moins une étape de traitement thermique (S120, S130),
 - une étape d'usinage (S200) comprenant d'une part le tournage d'ajustement (S220') de l'ébauche pour ajuster le diamètre (De) de l'ébauche à la valeur prédéterminée de la pièce à fabriquer, et d'autre part l'enlèvement de matière (S210') de l'ébauche dans lequel au moins 50% de la masse de l'ébauche brute est enlevée et comprenant au moins le perçage d'orifices (14) et/ou d'une gorge (17, 19) dans l'ébauche brute, l'enlèvement de matière (S210') de l'ébauche étant réalisé avant le tournage d'ajustement (S220').
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel, lors de l'enlèvement de matière (S210') de l'ébauche, au moins 90% d'une masse initiale de l'ébauche brute est enlevée.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'enlèvement de matière (S210') comprend la formation de festons (12) destinés à être répartis circonférentiellement le long d'une face externe de la pièce annulaire (10).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le diamètre de la pièce annulaire (10) est supérieur ou égal à 50 cm.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant, après l'étape de forgeage (S110) de l'ébauche brute, puis de traitement thermique (S120) de l'ébauche brute par trempe dans un liquide de refroidissement, une étape d'expansion (S140), pendant laquelle un diamètre de l'ébauche brute est augmenté par rapport à son diamètre initial après la trempe.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, dans lequel, lors de l'étape d'expansion (S140), le diamètre de l'ébauche brute est augmenté d'une valeur comprise entre 0,1% et 0,8% de son diamètre initial.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel l'étape d'expansion (S140) est effectuée par l'intermédiaire d'un vérin poussant l'ébauche brute radialement vers l'extérieur de manière à élargir ladite ébauche brute.

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la pièce annulaire (10) est une virole permettant l'accouplement de deux modules de moteur aéronautique.

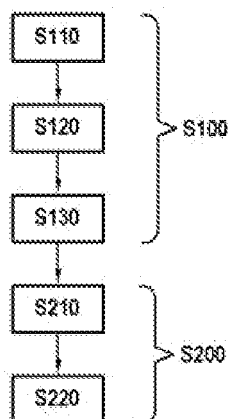
[Fig. 1]



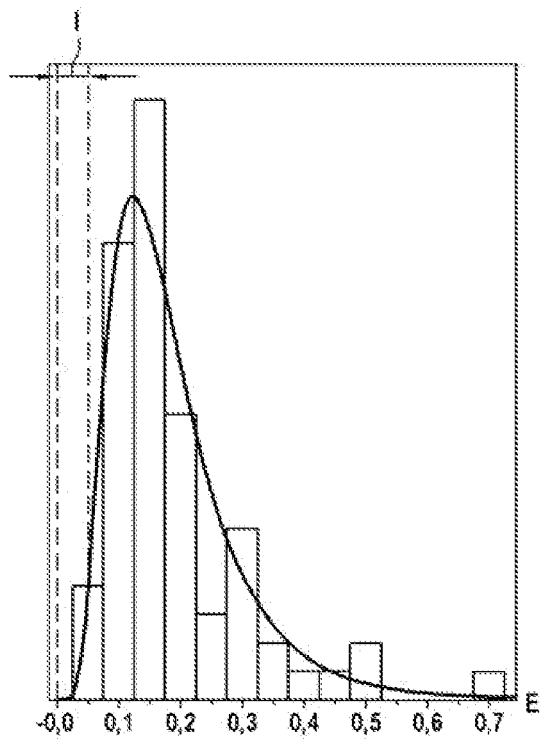
[Fig. 2]



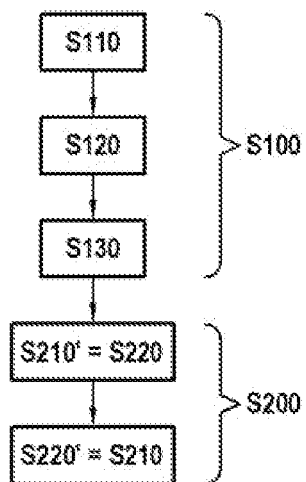
[Fig. 3]



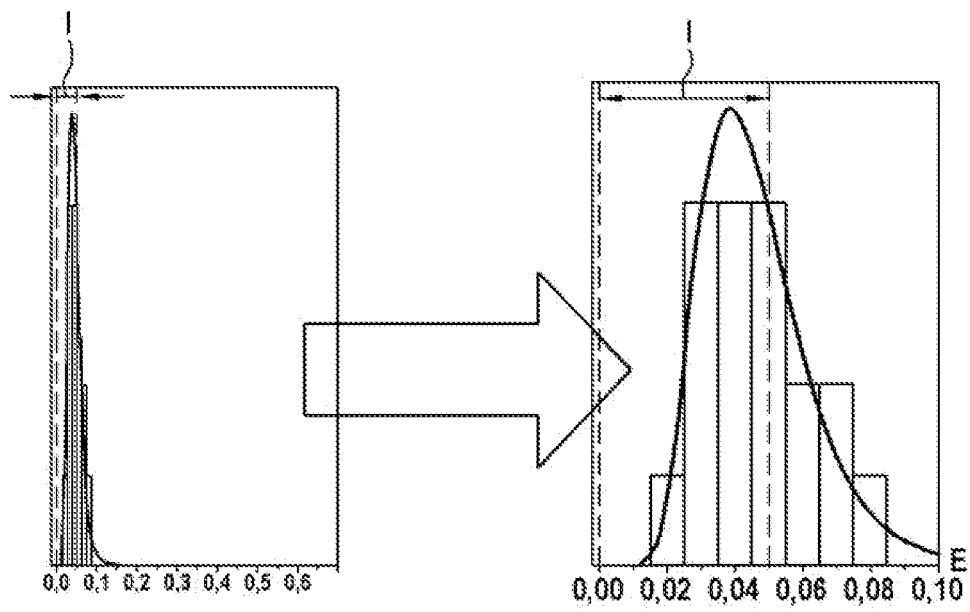
[Fig. 4]



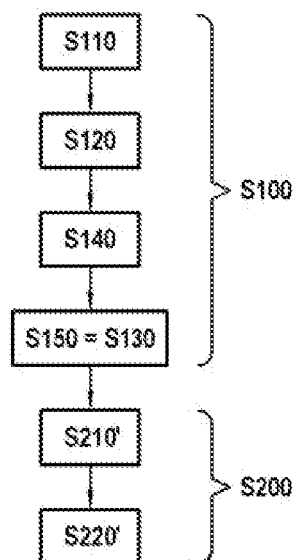
[Fig. 5]



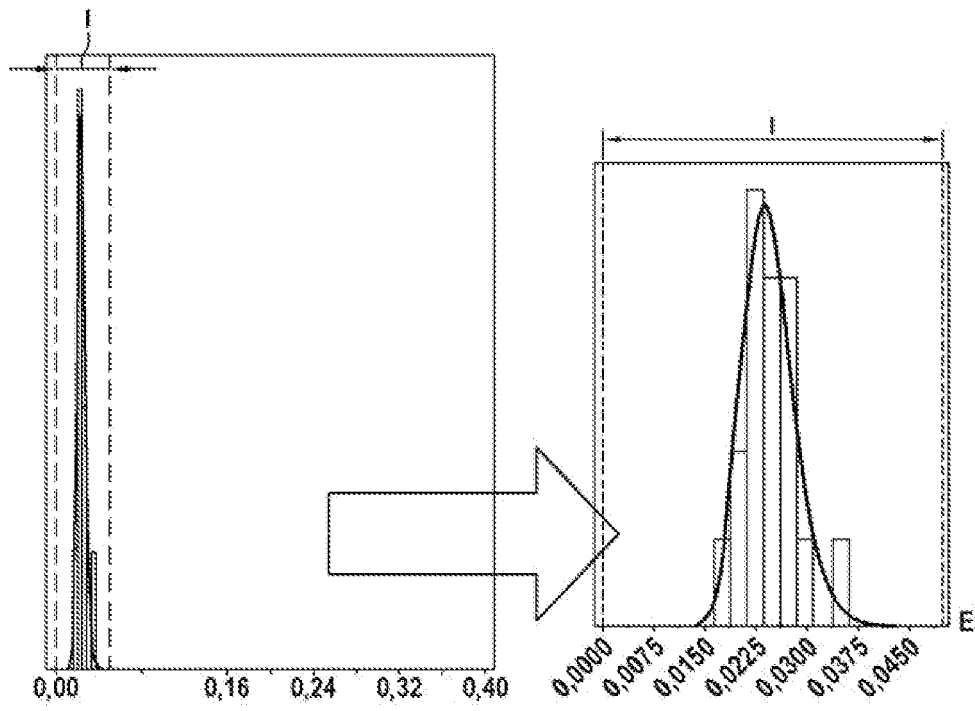
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 920096
FR 2304865

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CN 113 059 318 A (XIAN COAL MINING MACH CO LTD) 2 juillet 2021 (2021-07-02)	1-3	B23B 1/00
Y	* alinéas [0010], [0011], [0012], [0015], [0019]; figures 2,3 *	4-8	B23B 35/00
	-----		B23C 3/02
Y	CN 107 931 997 B (ZHUSHOU FENGFA PREC INDUSTRIAL CO LTD) 14 juin 2019 (2019-06-14)	4, 8	B23P 15/00
	* alinéas [0002], [0004] *		B23P 17/00

Y	FR 2 956 601 A1 (SNECMA [FR]) 26 août 2011 (2011-08-26)	5-7	
	* page 3, lignes 10 - 20; page 5, lignes 3 - 6; page 5, lignes 16 - 19; figures 2-3 *		

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B23P
			F01D
			B21J
			B21K
			C21D
			B21H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 janvier 2024		Habermann, Philippe	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite			
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2304865 FA 920096**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du**10-01-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 113059318	A	02-07-2021	AUCUN	
CN 107931997	B	14-06-2019	AUCUN	
FR 2956601	A1	26-08-2011	AUCUN	