

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

①① **N° de publication :** **3 057 795**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① **N° d'enregistrement national :** **16 60361**
⑤① Int Cl⁸ : **B 23 B 35/00** (2017.01), B 23 B 51/02

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **PROCÉDE DE PERÇAGE DE TROUS, DISPOSITIF ET OUTIL PERMETTANT DE LE METTRE EN OEUVRE.**

②② **Date de dépôt :** 25.10.16.

③③ **Priorité :**

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 27.04.18 Bulletin 18/17.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 26.07.19 Bulletin 19/30.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** *SPIE SUD-OUEST Société par
actions simplifiée — FR.*

⑦② **Inventeur(s) :** SOULARD LAURENT et DAVID
FLORIAN.

⑦③ **Titulaire(s) :** ELECTROIMPACT FRANCE SAS.

⑦④ **Mandataire(s) :** ELECTROIMPACT FRANCE.

FR 3 057 795 - B1



PROCÉDÉ DE PERÇAGE DE TROUS, DISPOSITIF ET OUTIL PERMETTANT DE LE
METTRE EN OEUVRE

DOMAINE D'APPLICATION DE L'INVENTION

5 La présente invention a trait au domaine du perçage et notamment aux adaptations permettant de réaliser des trous dans des empilages mono et multi-matériaux dans les meilleures conditions.

DESCRIPTION DE L'ART ANTÉRIEUR

10 Dans le secteur de l'usinage de matériaux en milieu aéronautique et notamment pour la réalisation de trous pour le montage de fixations aéronautiques dans des empilages mono et multi-matériaux constitués de deux tôles ou plus, les constructeurs d'avions sont classiquement contraints, après chaque perçage de trous, de démonter les tôles percées pour les ébavurer.

15 Il est en effet connu qu'en perçage axial, lorsque les forets (ou aléseurs) traversent les empilages d'au moins deux tôles, l'outil génère une pollution inter-tôle (copeaux, bavures, lubrifiant) incompatible avec les normes aéronautiques.

20 Cette opération d'ébavurage est très contraignante en ce qu'elle allonge les temps de cycle de production et oblige à un investissement en moyens matériels et humains sans valeur ajoutée.

Pour éviter cette pollution inter-tôles et ces bavures, il existe des solutions de serrage des tôles pendant le perçage. Néanmoins, ces solutions ne peuvent pas être appliquées pour des assemblages
25 dits en caissons fermés, car une contre-réaction mécanique en arrière de l'assemblage est nécessaire ce qui ne peut être mis en œuvre pour une structure caissonnée. De même, les empilages de matériaux souples ou semi-rigides requièrent également ladite contre réaction sans que cela puisse être mis en œuvre.

30 Un autre inconvénient à la technologie de perçage axial réside dans sa lenteur pour des empilages de type CFRP-Ti (Plastique Renforcé de Fibre de Carbone et Titane appelé également empilage carbone + titane) c'est-à-dire associant d'une manière générale carbone et titane, pour lesquels, le trou est réalisé en plusieurs passes (y
35 compris une passe lente d'alésage) en fonction des diamètres percés.

Une autre technologie connue de perçage est le perçage dit orbital qui consiste à faire tourner un outil sur son axe, à le faire avancer dans le matériau parallèlement à son axe de rotation et à lui faire suivre une trajectoire dite orbitale (ou

d'interpolation hélicoïdale) autour d'un axe. Une telle technologie a pour avantage d'éviter la création de bavures inter-tôles. Néanmoins, une telle technologie, lorsqu'elle est appliquée aux empilages de type CFRP-Ti, présente plusieurs inconvénients :

- 5 - du fait de la traversée de matériaux différents, les revêtements d'outils sont dégradés très rapidement et leur durée de vie est très courte. Dans le cas des empilages carbone + titane, le carbone nécessite des revêtements d'outils en diamant (nécessaire pour la résistance à l'abrasion) qui sont immédiatement détériorés lors de
10 la traversée du titane sur le même trou en raison du travail au choc des dents de l'outils en technologie orbitale ;
- des défauts géométriques de variation de diamètre apparaissent dans les trous en raison de problèmes de flexion radiale de l'outil dus aux différences de rigidité entre les deux matières.

15 Le document WO2012027057 propose une solution en décrivant un outil de coupe combiné de fraisage en bout/perçage/alésage, qui comprend une partie de fraisage en bout, une partie de perçage et une partie d'alésage. L'outil de coupe comprend aussi une partie formant col entre la partie de fraisage en bout et la partie de
20 perçage, et une partie formant col de dégagement entre une tige et la partie d'alésage. Ce document décrit également un procédé d'usinage d'une pièce à l'aide de cet outil de coupe qui propose une opération d'ébauche par perçage orbital sur une première couche de matériau, une opération de perçage d'agrandissement, une opération
25 d'alésage axial et un ébavurage orbital en sortie de trou.

Ce document associe pré-perçage orbital, agrandissement axial et alésage axial de finition. Néanmoins, un tel procédé et sa mise en œuvre présentent des inconvénients, parmi ceux-ci :

- 30 - la longueur de l'outil doit être nécessairement deux fois supérieure à l'épaisseur de l'empilage à percer ce qui conduit à des outils longs à faible rigidité,

- cette longueur d'outil importante est génératrice d'instabilité vibratoire qui impose des vitesses de coupe et des avances réduites,

- 35 - le principe d'ébauche orbitale dans le matériau CFRP seul est une technologie lente qui n'apporte pas d'intérêt pour le délaminage puisqu'il ne réalise pas l'opération de finition,

- l'ébauche orbitale du carbone nécessiterait une débouchure (c'est-à-dire une sortie de l'outil) dans le titane au niveau du

changement de matière ce qui dégraderait fortement les durées de vie des revêtements,

- l'opération d'agrandissement génère des copeaux filants préjudiciables pour l'obtention d'un procédé en « One Way Assembly »
5 c'est-à-dire sans démontage après perçage à des fins d'ébavurage et évacuation des copeaux,

- le perçage axial de la deuxième plaque (trou pilote) qui doit être également réalisé par le premier étage orbital conduit à des géométries d'outils à très faible productivité,

10 - la remontée des copeaux d'alésage métallique dans le carbone sur l'opération de finition avec risque de rayures et d'endommagement,

- coût élevé de l'outil dû à la complexité,

- outil non réaffûtable,

15 -etc...

DESCRIPTION DE L'INVENTION

Partant de cet état de fait et d'un cahier des charges préétabli, la demanderesse a mené des recherches visant à proposer un procédé de perçage de trou dans un empilage en « one way
20 assembly » c'est-à-dire sans démontage après perçage et sans nécessiter le pressage des matériaux.

Pour ce faire, la demanderesse s'est fixée les objectifs suivants :

- dimensions des bavures inter-tôles et en débouchure (en extrémité
25 de sortie) des trous compatibles avec les normes aéronautiques,

- absence de copeaux résiduels entre les tôles percées,

- résidus de lubrifiants d'usinage entre les tôles réduits et compatibles avec les normes aéronautiques,

- temps de cycle réduit,

30 - faible coût au trou.

Ces recherches ont abouti à la conception et à la mise en œuvre d'un procédé de perçage de trous dans une pièce, remarquable en ce qu'il comprend les opérations suivantes :

- réalisation d'un trou d'ébauche par perçage au moyen d'un outil
35 tournant avec avancée axiale dudit outil tournant jusqu'à traversée de la pièce percée et débouchage de l'extrémité,

- finition du trou par contournage par interpolation circulaire au moyen d'une partie différente du même outil tournant sans déplacement de la position de l'outil tournant dans l'axe du trou

entre la fin de l'opération d'ébauche et l'ensemble de l'opération de finition.

Un tel procédé est beaucoup plus rapide que ceux proposés dans l'art antérieur et permet de préserver les outils. Il n'est plus
5 nécessaire de réaliser le trou en plusieurs passes et il n'est plus nécessaire de faire réaliser un usinage orbital pour la réalisation complète du trou pour l'obtention de bavures inter-tôles réduites.

Ce procédé réunit ainsi les avantages des procédés de l'art antérieur. Par exemple, un tel procédé bénéficie de la rapidité de
10 réalisation du perçage d'ébauche axial sans les inconvénients à savoir la réalisation de plusieurs passes avec des outils différents. De même, le contournage de finition par interpolation circulaire va assurer un fraisage sur une faible épaisseur de passe radiale en générant des copeaux de sections réduites similaires au
15 perçage orbital mais sans la lenteur d'un usinage total par perçage orbital. Ce contournage de finition par interpolation circulaire va également ébavurer systématiquement le trou. Cette interpolation circulaire consiste en la mise en oeuvre d'un mouvement d'avance radiale perpendiculaire à l'axe du trou en simultanéité (ou en
20 séquençement) d'une rotation de l'axe outil autour de l'axe du trou. Cette interpolation circulaire n'inclut donc pas de mouvement en translation axiale de l'outil.

Le procédé de l'invention peut être mis en œuvre sans contre appui, les tôles ne sont pas plaquées pendant le perçage donc un jeu
25 existe ce qui permet aux bavures de se former. Ainsi, la première phase va générer une bavure inévitable pendant l'ébauche mais l'étape de finition radiale vient recouper ces bavures radialement jusqu'à les supprimer (la coupe radiale n'étant que très faiblement génératrice de repoussage de la matière dans le sens des bavures).

30 Cette caractéristique présente en outre les avantages suivants :

- elle réduit l'effet des différences de rigidité entre les divers matériaux (en cas de pièce multi-matériaux) pour maîtriser la géométrie finale du diamètre du trou et ce, malgré le principe de coupe radiale,
- 35 - les dents des parties de l'outil vont être en contact permanent avec la matière (pas de chocs alternés et donc faible sollicitation du revêtement de l'outil) permettant une parfaite tenue des revêtements de l'outil, la durée de vie de l'outil étant ainsi prolongée ce qui participe à la réduction du coût par trou,

- la coupe radiale de la matière sur l'opération de finition favorise la réalisation des trous en une seule passe (OWA),
- elle génère des copeaux de petites dimensions facilement aspirables conformes aux normes aéronautiques concernant le perçage
5 en une seule passe (OWA) et sans risque d'endommagement du carbone.
De plus, elle réduit avantageusement le temps de cycle en évitant de changer d'outil et en réalisant l'opération de finition avec une faible épaisseur de passe radiale sur la base d'une coupe simultanée sur la hauteur totale du trou.

10 Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, le perçage par avancée axiale est réalisé selon une trajectoire axiale de l'outil tournant. Une telle opération est plus rapide qu'un perçage orbital. Dans la mesure où une telle opération serait génératrice de bavures, l'opération de contournage assure
15 l'ébavurage. Une telle technologie requiert une plus forte poussée que pour un perçage orbital, forte poussée qui est difficilement mise en œuvre par une machine-outil à faible rigidité tel un robot (notamment pour les grands diamètres). Une telle caractéristique requiert donc la mise en œuvre par une machine-outil à grande
20 rigidité tel un centre d'usinage. Une telle solution présente une productivité accrue.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, le perçage par avancée axiale est réalisé selon une trajectoire orbitale de l'outil tournant ce qui évite la présence de
25 bavures et favorise la production de petits copeaux pour l'ébauche. Le problème technologique du délaminage du carbone est solutionné par une telle caractéristique. Néanmoins, ce problème technique peut être maîtrisé par des outils de perçage axial moderne. Aussi, cette caractéristique est proposée par la demanderesse afin de
30 mettre en œuvre la totalité du procédé de l'invention au moyen de machines-outils à faible rigidité tel un robot (ou bras robotique) car la coupe orbitale génère peu d'effort axial. Aussi, la mise en œuvre de la phase d'ébauche du procédé par une telle technologie peut être considérée comme plus lente mais permet des solutions
35 globales de perçage plus économiques.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, le procédé est remarquable en ce que la pièce sur laquelle il est mis en œuvre est constituée d'un empilement multi-

tôles (deux ou plus) comprenant au moins une des caractéristiques suivantes :

- mono matériau,
- multi matériaux,
- 5 - du type CFRP-Ti,
- du type Ti-CFRP,
- du type CFRP-Ti-Al (aluminium),
- du type Al-Ti-CFRP.

Le procédé de l'invention est ainsi compatible avec des couches
10 inversées de matériaux.

Le procédé de l'invention peut être mis en œuvre notamment pour les pièces aéronautiques qui présentent lesdits empilements, les caissons centraux (pièce de structure entre les deux ailes) ou les voilures.

15 Typiquement, l'invention est particulièrement étudiée pour assurer l'usinage de trous dans un mat de réacteur d'aéronef et notamment constitué par un empilement du type CFRP-Ti.

Un tel procédé peut être exploité pour le perçage de pièce à structure caissonnée ainsi que sur des matières de type nid
20 d'abeille.

Le choix entre une phase d'ébauche orbitale ou axiale, peut dépendre du matériau à usiner.

L'invention concerne également le dispositif permettant de mettre en œuvre ledit procédé. Ce dispositif est remarquable en ce
25 qu'il comprend une broche porte-outil associée à une cinématique mettant en œuvre un mouvement de rotation autour de l'axe de l'outil et/ou orbital autour d'un axe excentré par rapport à l'axe de rotation de l'outil de façon à faire réaliser les opérations de perçage axial ou perçage par mouvement orbital et contournage par
30 interpolation circulaire. Ainsi, les cycles d'ébauche et de finition sont réalisés en automatique avec un effecteur unique.

Un exemple d'une telle broche est proposé dans le document FR2921577 qui décrit un procédé de fabrication d'une machine-outil à mouvement orbital, la machine-outil obtenue et le procédé d'usinage.
35 Cette machine ne se contentera donc pas de réaliser un perçage orbital mais assure, dans le cadre de la mise en œuvre du procédé de l'invention, au moins une opération de contournage par interpolation circulaire c'est-à-dire un usinage orbital à agrandissement continument variable sans avancée axiale.

Un tel dispositif assume l'ensemble des opérations du procédé.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, ledit dispositif est remarquable en ce qu'il comprend une broche associée à un module de génération de vibration. Ces vibrations peuvent être mises en œuvre au niveau de l'électro-broche ou au niveau du porte-outil. Un tel dispositif facilite l'usinage (amélioration de la productivité sans dégradation qualitative de l'usinage) et la production de copeaux de faible section lors de la réalisation du trou dans des empilements multi matériaux. Ces vibrations sont selon un mode de réalisation préféré, axiales basses fréquences.

Il est également possible de faire réaliser des courses aller-retour limitées à l'outil afin de faciliter la production de copeaux de faible section et leur évacuation par pilotage de l'avance de la broche au moyen d'un cycle d'interruption d'avances programmées (procédé connu sous l'anglicisme Peck drilling).

Cette phase vibratoire est mise en œuvre pour la première phase du procédé et non pour la phase de finition.

Un autre objet de l'invention réside dans l'outil permettant de mettre en œuvre ledit procédé. En effet, la succession originale d'opérations par un seul outil requiert la conception et la réalisation d'un outil spécifique dont les caractéristiques sont décrites ci-dessous.

Cet outil est remarquable en ce qu'il comprend un corps présentant plusieurs portions :

- une première portion d'extrémité mettant en œuvre l'opération d'ébauche de perçage,
- une deuxième portion de finition située immédiatement après la première portion et mettant en œuvre l'opération de finition par contournage par interpolation circulaire.

Une fois que la première portion débouche de l'ébauche de trou qu'elle a créée, la deuxième portion peut réaliser l'opération de finition par contournage par interpolation circulaire, et ce sans déplacement axial de l'outil dans l'axe du trou.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, la première portion comporte le même diamètre que la deuxième portion. En présentant des portions de même diamètre ou sensiblement de même diamètre, l'outil est plus simple avec un réaffutage facilité et d'un coût réduit. Cet outil est également court et donc plus rigide.

La première portion est, selon un autre mode de réalisation de l'invention, de diamètre supérieur au diamètre de la deuxième portion. En fonction des matières usinées, un tel outil donne la possibilité d'une trajectoire d'entrée dans la matière sur la phase
5 de finition à plus faible tangence pour limiter les effets de flexion de l'outil (et donc de mieux maîtriser la conicité du trou final).

Une pluralité de diamètres donne la possibilité d'ajout de fonctions complémentaires pour l'outil comme une fonction
10 d'ébavurage en retour pour les bavures en débouchure (c'est-à-dire en sortie du trou). Cette fonction d'ébavurage peut être mise en œuvre par une partie chanfreinée sur l'arrière de la première portion de l'outil qui présente un plus grand diamètre que celui des deuxième et troisième portions.

15 Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, la deuxième portion présente une conicité s'évasant avec la première portion pour contrebalancer les effets de flexion pendant l'usinage de finition.

20 Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, la première portion adopte une des configurations suivantes :

- tête de perçage axial multi-lèvres,
- tête de perçage orbitale,
- tête de perçage étagée axiale et/ou orbitale.

25 Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, l'outil est d'une seule pièce.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, l'outil comporte une première portion démontable interchangeable.

30 Selon les matériaux usinés, le revêtement de l'outil est adapté et compatible avec les matériaux traversés. Le revêtement peut être différent d'une portion à l'autre.

Selon un mode de réalisation, cet outil est préformé de canaux pour proposer une micro-lubrification par le centre de l'outil.
35 Néanmoins, cette lubrification ne peut opérer qu'en pointe d'outil (première portion). Aussi, le procédé de l'invention comprend une phase d'arrêt de l'alimentation en lubrifiant. Ainsi, l'opération de finition en contournage par interpolation circulaire est réalisée sans lubrification et évite le passage du lubrifiant entre les

tôles, conformément au principe d'un usinage en une seule passe (OWA).

La transition entre la première et la deuxième portion est particulièrement importante pour la réalisation d'un usinage dans de
5 bonnes conditions. Néanmoins, la problématique de la continuité des surfaces entre ces deux portions se pose afin d'assurer la remontée des copeaux alors que les première et deuxième portions ne
présentent pas la même géométrie. En effet, le raccordement des lèvres (dents) et des goujures d'évacuation des copeaux entre les
10 deux portions d'outils n'est pas évident alors que, de par leur fonction différente, ces deux portions (perçage, fraisage) peuvent ne pas présenter le même nombre de dents ou de lèvres de coupe.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, l'outil est remarquable en ce qu'il comprend :

15 - pour la première portion, une géométrie avec des arêtes de coupe,

- pour la deuxième portion une géométrie de fraise à nombre d'arêtes de coupe constituant un multiple du nombre d'arêtes de coupe de la première portion de sorte que certaines arêtes de coupe
20 de la première portion se positionnent dans la continuité des arêtes de coupe de la première portion,

les extrémités des arêtes de coupe non exploitées de la fraise de la deuxième portion étant taillées pour ne pas être opérantes pour la première portion tout en autorisant l'évacuation des
25 copeaux.

Pour ce faire, ces extrémités de lèvres sont taillées selon un angle supérieur à celui des lèvres non taillées. L'angle positif est non nul pour la mise en œuvre d'une ébauche axiale. Pour la mise en œuvre d'une ébauche orbitale, les fraises peuvent être à angle
30 positif non nul, à bouts plats, voire à angles négatifs.

Selon un mode de réalisation préférée, la géométrie de la première portion comporte des arêtes de coupe disposées à 180 ou 120 degrés (deux ou trois dents).

Lorsque l'outil comporte une première portion démontable, cette
35 dernière est indexée angulairement par rapport au second étage pour permettre la coïncidence de continuité des lèvres et des goujures entre les deux étages.

Les concepts fondamentaux de l'invention venant d'être exposés ci-dessus dans leur forme la plus élémentaire, d'autres détails et

caractéristiques ressortiront plus clairement à la lecture de la description qui suit et en regard des dessins annexés, donnant à titre d'exemple non limitatif, un mode de réalisation d'un procédé, d'un dispositif et d'un outil conformes à l'invention.

5 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1a est un dessin schématique d'une vue de côté d'un mode de réalisation d'un outil conforme à l'invention ;

La figure 1b est un dessin schématique d'une vue de côté d'un autre mode de réalisation d'un outil conforme à l'invention ;

10 Les figures 2 à 5 sont des dessins schématiques de vues en coupe des différentes phases d'un autre mode de réalisation du procédé conforme à l'invention associant perçage axial et contournage par interpolation circulaire ;

15 Les figures 6 à 10 sont des dessins schématiques de vues en coupe des différentes phases d'un mode de réalisation du procédé conforme à l'invention associant perçage orbital et contournage par interpolation circulaire ;

20 La figure 11a est un dessin schématique d'une vue de côté plus détaillée d'un mode de réalisation d'un outil conforme à l'invention ;

La figure 11b est un dessin schématique d'une vue de face de l'outil de la figure 11a;

25 Les figures 12 à 16 sont des dessins schématiques des vues de dessous de plusieurs modes de réalisation de l'extrémité de travail de l'outil.

DESCRIPTION DES MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

Comme illustré sur le dessin de la figure 1a, l'outil référencé O dans son ensemble comprend un corps 100 présentant plusieurs portions :

30 - une première portion d'extrémité 110 mettant en oeuvre l'opération d'ébauche de perçage,

- une deuxième portion de finition 120 située immédiatement après la première portion et mettant en oeuvre l'opération de finition en contournage par interpolation circulaire,

35 - une troisième portion de saisie 130 située immédiatement après la deuxième portion et permettant la coopération avec une broche porte-outil assurant l'entraînement dudit outil O.

Selon ce premier mode de réalisation non limitatif illustré, la première portion 110 est sensiblement de même diamètre que la

deuxième portion 120. La troisième portion 130 de l'outil peut être d'un diamètre identique ou différent des portions 110 et 120.

Selon le mode de réalisation non limitatif illustré sur le dessin de la figure 1b, la première portion 110' est de diamètre
5 supérieur à la deuxième portion 120'. La troisième portion 130' de l'outil peut être d'un diamètre identique ou différent des portions 110' et 120'.

Un mode de réalisation du procédé de l'invention est illustré par la succession des dessins des figures 2 à 5.

10 Comme illustré sur le dessin de la figure 2, l'outil O est exploité pour réaliser un trou T traversant dans un empilement de pièces P1 et P2 de matériaux différents.

La première phase de perçage d'une ébauche de trou est réalisée par la première portion 110 de l'outil O selon un mouvement de
15 perçage axial c'est-à-dire que l'outil O tourne sur son axe A1. Cet outil O est en outre mu en translation axiale selon la flèche F1. Comme illustré par le dessin de la figure 3, ce mouvement de perçage axial est poursuivi jusqu'à ce que le trou T traverse l'empilement et que la portion 110 débouche complètement dudit trou. Des
20 vibrations axiales peuvent être appliquées à l'outil lors de cette première phase de perçage axial.

Cette première phase peut également être associée à une aspiration de copeaux.

La deuxième phase est illustrée par le dessin de la figure 4
25 qui consiste, une fois la première portion 110 complètement dégagée du trou T, à arrêter la mise en mouvement axiale et à mettre en contact la portion 120 de l'outil O avec la surface du trou T ébauché à des fins de finition de ce dernier. Le mouvement est alors un mouvement de contournage c'est-à-dire que l'outil O tourne sur
30 son axe A1, vient en contact avec la surface ébauchée du trou T selon un mouvement radial et réalise (au moins) une rotation autour de l'axe A2 du trou T sans mouvement axial de translation. Le trou T est alors fini.

L'outil O est ramené en position axiale et est retiré (cf. flèche F2
35 de la figure 5).

Un autre mode de réalisation du procédé est illustré par les dessins des figures 6 à 10. Comme pour le mode de réalisation précédent, l'outil O est exploité pour réaliser un trou T traversant dans un empilement de pièces P1 et P2 de matériaux différents.

La première phase de perçage d'une ébauche de trou est réalisée par la première portion 110 de l'outil O selon un mouvement de perçage orbital c'est-à-dire que l'outil O tourne sur son axe A1 et autour d'un axe excentré correspondant à l'axe du trou A2. Cet outil
5 O est en outre mu en translation axiale selon la flèche F1. Comme illustré par les dessins des figures 7 et 8, ce mouvement orbital est poursuivi jusqu'à ce que le trou T traverse l'empilement et que la portion 110 débouche complètement dudit trou T. Cette première phase orbitale peut être associée à une aspiration de copeaux.

10 La deuxième phase illustrée par les dessins des figures 8 et 9 consiste, une fois la première portion 110 complètement dégagée du trou T, à arrêter la mise en mouvement orbitale et à mettre en contact la portion 120 de l'outil O avec la surface du trou ébauché à des fins de finition de ce dernier. Le mouvement est alors un
15 mouvement de contournage c'est-à-dire que l'outil tourne sur son axe A1, vient en contact avec la surface ébauchée du trou T selon un mouvement radial et réalise (au moins) une rotation autour de l'axe A2 du trou T sans translation. Le trou T est alors fini.

Cette excentration par interpolation circulaire programmable
20 peut être réalisée par un dispositif de type tête orbitale continument variable (ou par interpolation d'axes machine à commande numérique). Une telle phase sollicite très faiblement le revêtement de cette portion d'outil.

L'outil O est ramené en position axiale et est retiré (cf. flèche F2
25 de la figure 10).

Les dessins des figures 11 à 16 illustrent plus en détails les caractéristiques de l'outil O en ce qui concerne la transition entre la première portion 110 de perçage et la deuxième portion 120 de fraisage.

30 Comme illustrées sur les dessins de la figure 11, les goujures et les lèvres doivent pouvoir correspondre d'une portion à l'autre afin de faciliter l'évacuation des copeaux (flèche F3). Pour ce faire, l'outil O est remarquable en ce que, à partir d'une géométrie de fraise, les extrémités de certaines arêtes de coupe sont taillées
35 pour être inopérantes dans la première portion tout en autorisant l'évacuation des copeaux. On comprend que l'agencement des deux fonctions de pré-perçage et de finition sur un même corps d'outil avec des goujures communes permet de concevoir des outils très courts en présentant une longueur active légèrement supérieure à

l'épaisseur de la pièce à percer. L'outil de l'invention est ainsi plus rigide ce qui contribue à la bonne réalisation de l'opération de contournage.

Des exemples de tailles sont illustrés sur les dessins des figures 12 à 16 où les arêtes de coupe 111 de la première portion 110 sont illustrées en gras et où les arêtes de coupe de la deuxième portion 120 se répartissent en arêtes 121 et en arêtes 122. Comme illustré, lorsque le nombre d'arêtes diffère d'une portion à l'autre, le nombre d'arêtes de la portion 120 constitue un multiple de celui des arêtes de la première portion 110. Les arêtes 121 prolongent celles 111 de la première portion 110 et les arêtes 122 sont taillées pour être inopérantes en première portion 110 tout en autorisant le passage des copeaux.

Le mode de réalisation illustré par les dessins des figures 11a et 11b correspond à l'extrémité illustrée par le dessin de la figure 13.

On comprend que le procédé, le dispositif et l'outil, qui viennent d'être ci-dessus décrits et représentés, l'ont été en vue d'une divulgation plutôt que d'une limitation. Bien entendu, divers aménagements, modifications et améliorations pourront être apportés à l'exemple ci-dessus, sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Ainsi, par exemple, un avant-trou peut être réalisé dans l'assemblage sans que le procédé soit modifié.

25

30

35

REVENDICATIONS

1. Procédé de perçage de trous dans une pièce, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QUE la pièce est constituée d'un empilement multi-tôles (P1, P2) comprenant au moins une des caractéristiques suivantes :

- 5
- du type CFRP-Ti,
 - du type Ti-CFRP,
 - du type CFRP-Ti-Al,
 - du type Al-Ti-CFRP

ET PAR LE FAIT QU'

10 il comprend les opérations suivantes :

- réalisation d'un trou d'ébauche par perçage au moyen d'un outil tournant (O, O') avec avancée axiale dudit outil tournant (O, O') jusqu'à traversée de la pièce percée et débouchage de l'extrémité,
 - finition du trou par contournage par interpolation circulaire au
- 15 moyen d'une partie différente du même outil tournant (O, O') sans déplacement de la position de l'outil tournant (O, O') dans l'axe du trou entre la fin de l'opération d'ébauche et l'ensemble de l'opération de finition.

2. Procédé selon la revendication 1, CARACTÉRISÉ EN CE QUE le

20 perçage par avancée axiale est réalisé selon une trajectoire axiale de l'outil tournant (O, O').

3. Procédé selon la revendication 1, CARACTÉRISÉ EN CE QUE le perçage par avancée axiale est réalisé selon une trajectoire orbitale de l'outil tournant (O, O').

25 4. Procédé selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE PAR LE FAIT QUE la pièce est un mat de réacteur d'aéronef.

5. Dispositif permettant de mettre en œuvre ledit procédé de la revendication 1 où la pièce est constituée d'un empilement multi-tôles (P1, P2) comprenant au moins une des caractéristiques

30 suivantes :

- du type CFRP-Ti,
- du type Ti-CFRP,
- du type CFRP-Ti-Al,
- du type Al-Ti-CFRP

35 et comprenant les opérations suivantes :

- réalisation d'un trou d'ébauche par perçage au moyen d'un outil tournant (O, O') avec avancée axiale dudit outil tournant (O, O') jusqu'à traversée de la pièce percée et débouchage de l'extrémité,

- finition du trou par contournage au moyen d'une partie différente du même outil tournant (O, O') sans déplacement de la position de l'outil tournant (O, O') dans l'axe du trou entre la fin de l'opération d'ébauche et l'ensemble de l'opération de finition,

5 CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il comprend une broche porte-outil associée à une cinématique mettant en oeuvre un mouvement de rotation autour de l'axe de l'outil (O, O') et/ou orbital autour d'un axe excentré par rapport à l'axe de rotation de l'outil de façon à faire réaliser les opérations de perçage axial ou perçage
10 par mouvement orbital et contournage par interpolation circulaire.

6. Dispositif permettant de mettre en œuvre ledit procédé des revendications 1 et 2, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il comprend une broche associée à un module de génération de vibration.

7. Outil (O, O') permettant de mettre en œuvre ledit procédé
15 selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, où la pièce est constituée d'un empilement multi-tôles (P1, P2) comprenant au moins une des caractéristiques suivantes :

- du type CFRP-Ti,

- du type Ti-CFRP,

20 - du type CFRP-Ti-Al,

- du type Al-Ti-CFRP

et comprenant les opérations suivantes :

- réalisation d'un trou d'ébauche par perçage au moyen d'un
25 outil tournant (O, O') avec avancée axiale dudit outil tournant (O, O') jusqu'à traversée de la pièce percée et débouchage de l'extrémité,

- finition du trou par contournage par interpolation circulaire au moyen d'une partie différente du même outil tournant (O, O') sans déplacement de la position de l'outil tournant (O, O') dans l'axe du
30 trou entre la fin de l'opération d'ébauche et l'ensemble de l'opération de finition,

CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il comprend un corps (100) présentant plusieurs portions :

- une première portion d'extrémité (110, 110') mettant en
35 oeuvre l'opération d'ébauche par perçage,

- une deuxième portion de finition (120, 120') située immédiatement après la première portion et mettant en œuvre l'opération de finition en contournage par interpolation circulaire.

8. Outil (O) selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QUE la première portion (110) comporte le même diamètre que la deuxième portion (120).

5 9. Outil (O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QUE la première portion (110') est de diamètre supérieur au diamètre de la deuxième portion (120').

10. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QUE la première portion (110, 110') adopte une des configurations suivantes :

- 10
- tête de perçage axial multi-lèvres,
 - tête de perçage orbitale,
 - tête de perçage étagée axiale et/ou orbitale.

11. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il est d'une seule pièce.

15 12. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il comporte une première portion (110, 110') démontable interchangeable.

20 13. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QUE la deuxième portion (120, 120') présente une conicité s'évasant avec la première portion pour contrebalancer les effets de flexion pendant l'usinage de finition.

14. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il comprend :

25 - pour la première portion (110, 110'), une géométrie avec des arêtes de coupe,

30 - pour la deuxième portion (120, 120') une géométrie de fraise à nombre d'arêtes de coupe constituant un multiple du nombre d'arêtes de coupe de la première portion (110, 110') de sorte que certaines arêtes de coupe de la première portion se positionnent dans la continuité des arêtes de coupe de la première portion (110, 110'),

35 les extrémités des arêtes de coupe non exploitées de la fraise de la deuxième portion (120, 120') étant taillées pour ne pas être opérantes pour la première portion tout en autorisant l'évacuation des copeaux.

15. Outil (O, O') selon la revendication 7, CARACTÉRISÉ PAR LE FAIT QU'il est préformé de canaux pour proposer une micro-lubrification par le centre de l'outil (O, O').

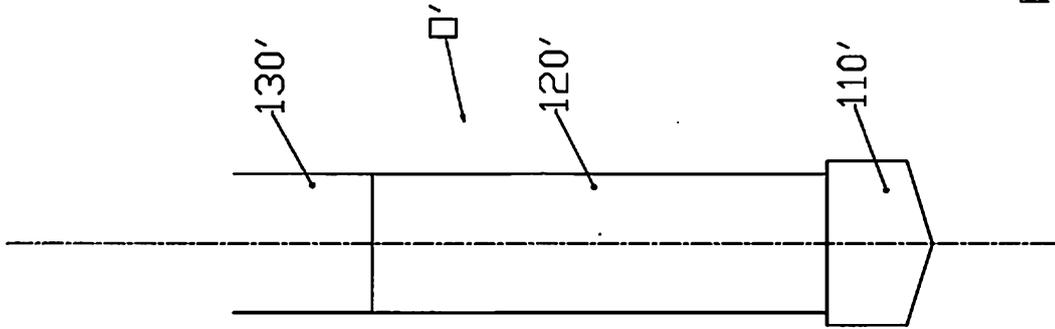


Fig. 1b

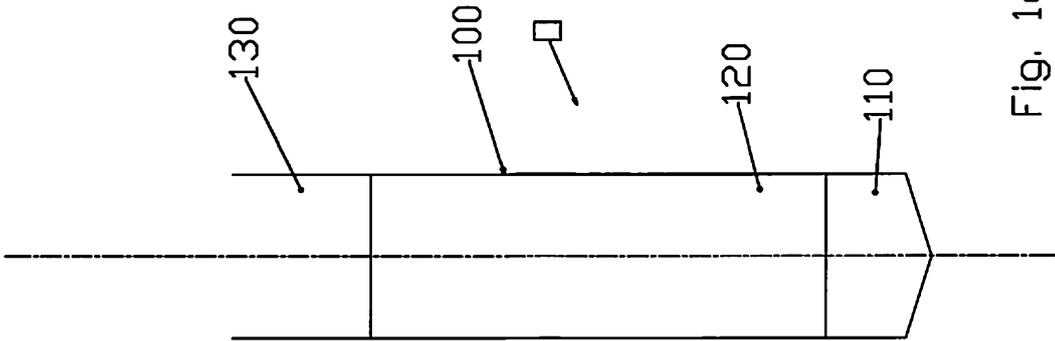
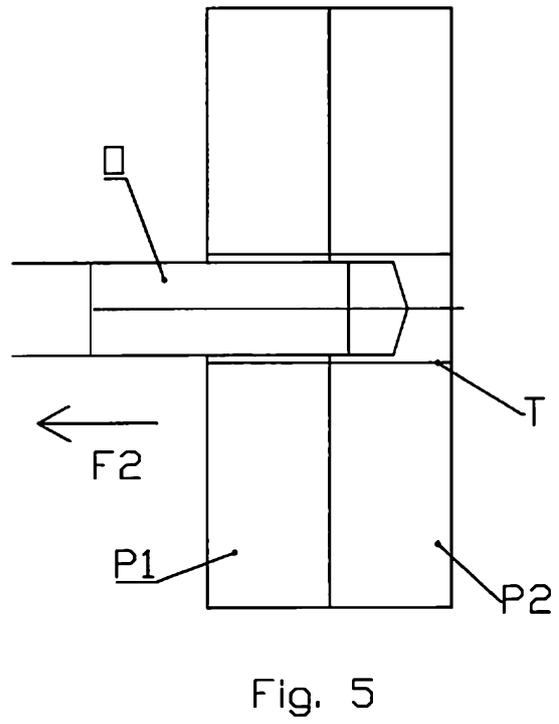
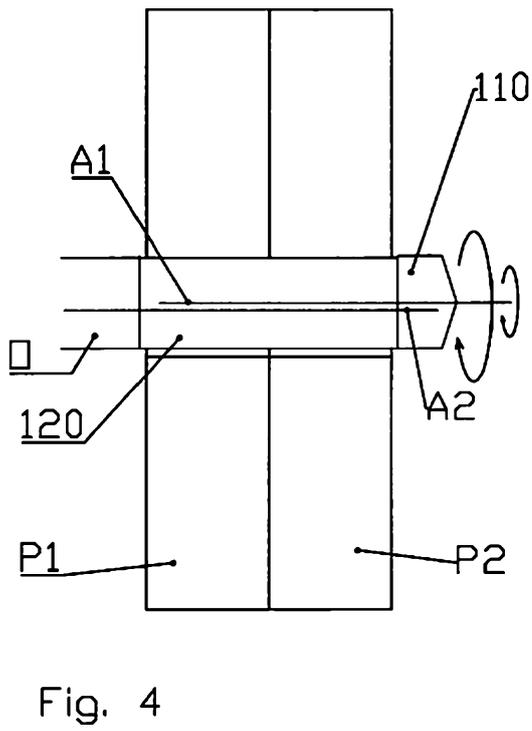
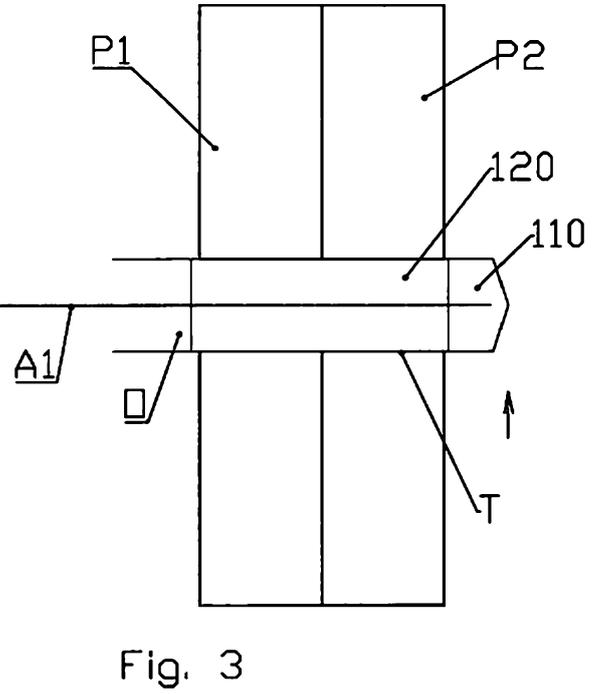
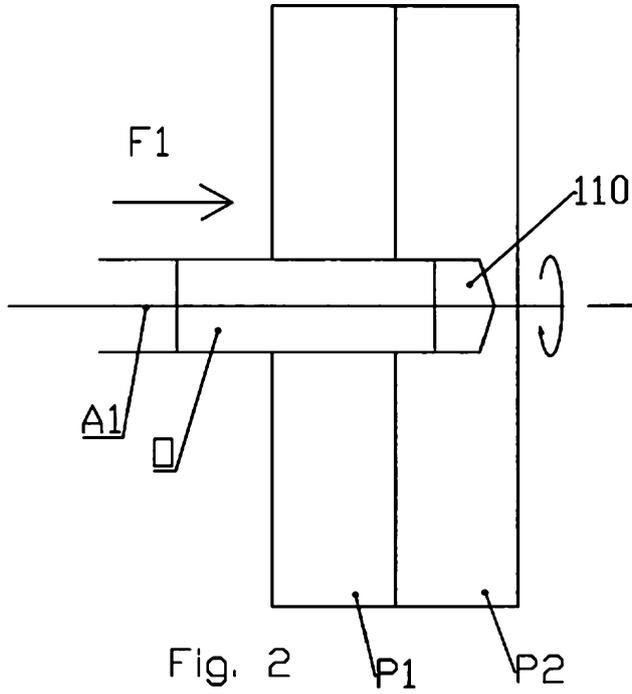


Fig. 1a



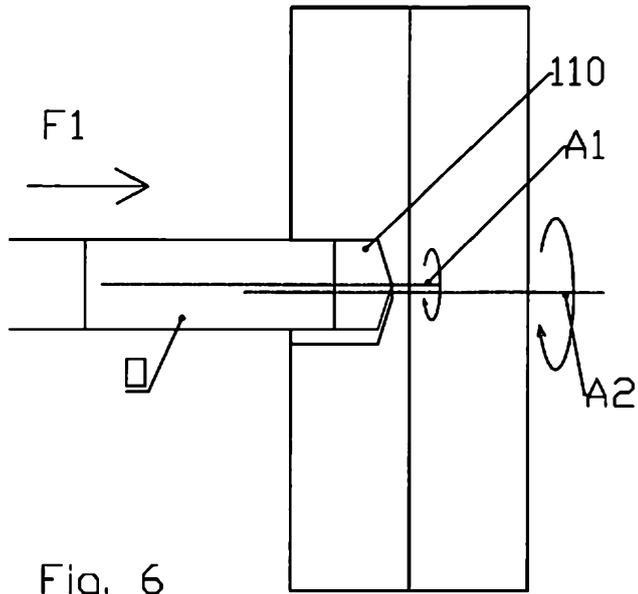


Fig. 6

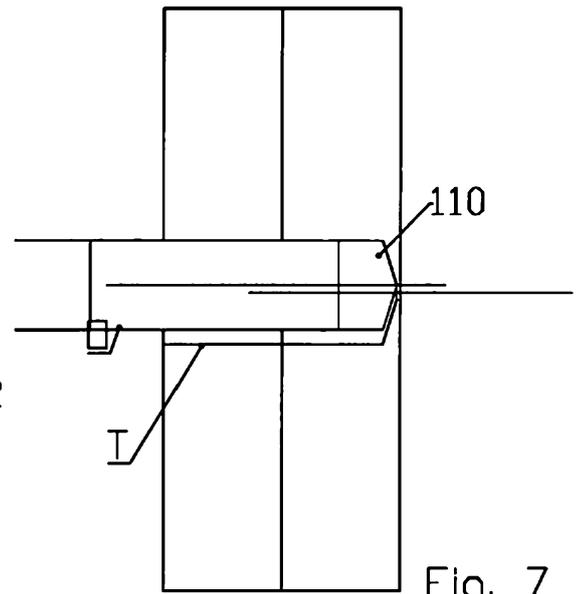


Fig. 7

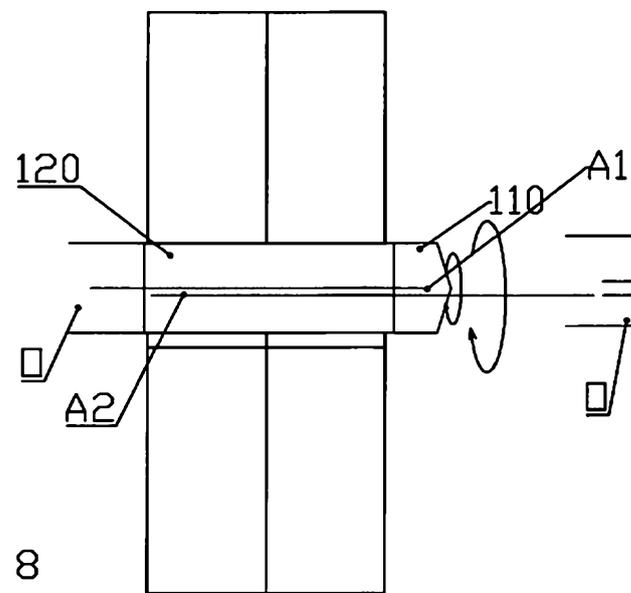


Fig. 8

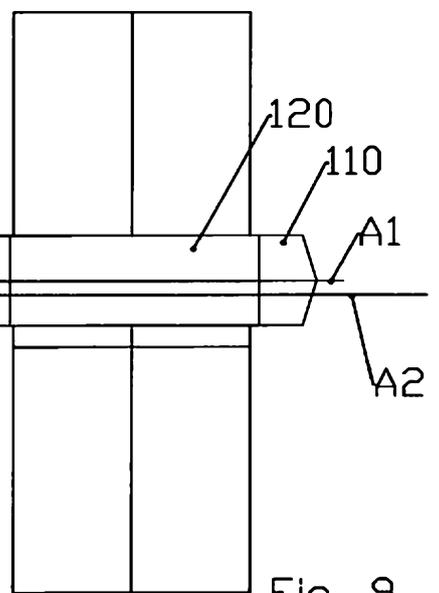


Fig. 9

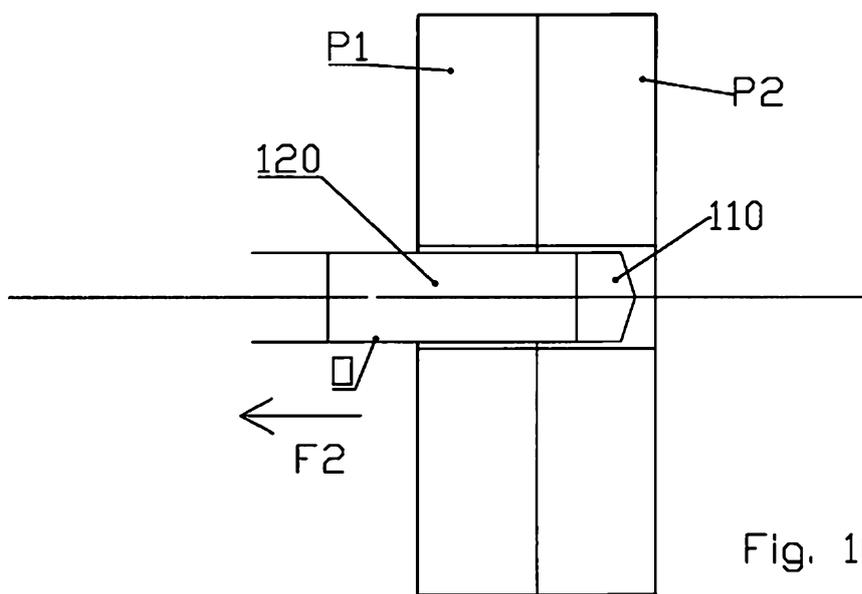


Fig. 10

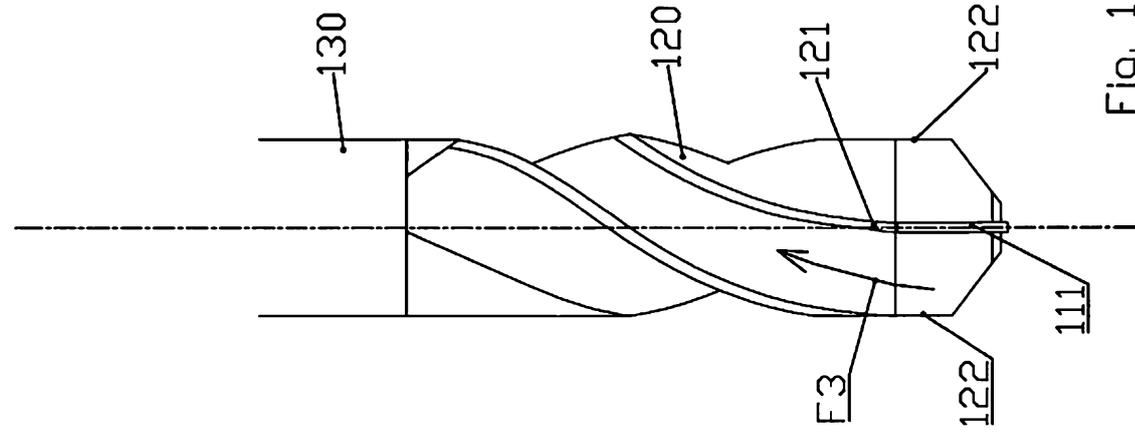


Fig. 11b

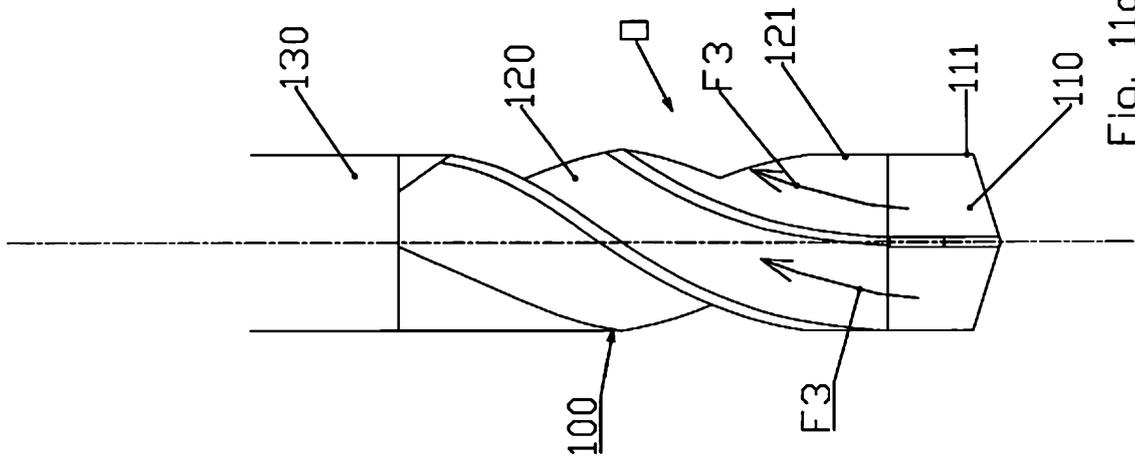


Fig. 11a

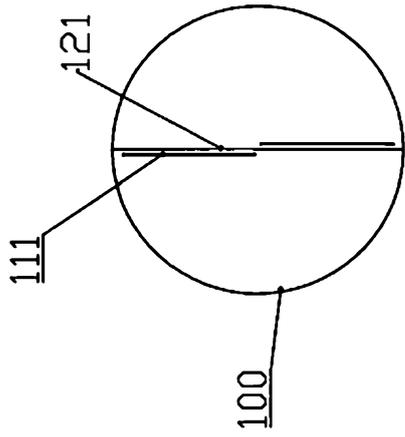


Fig. 12

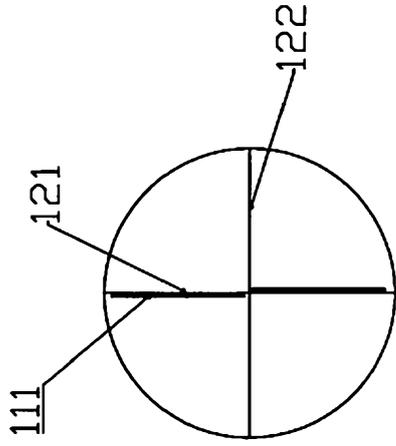


Fig. 13

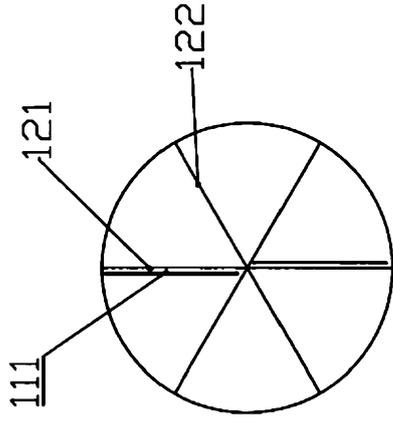


Fig. 14

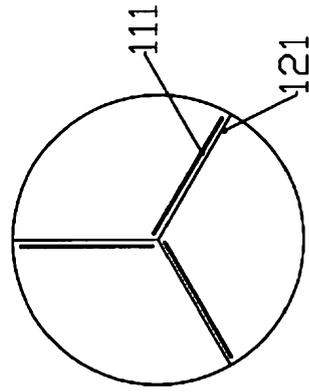


Fig. 15

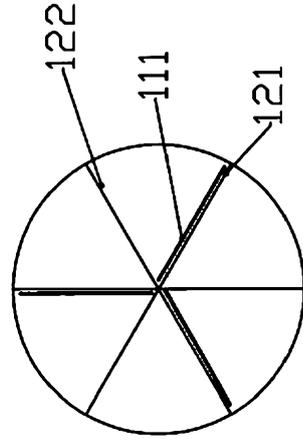


Fig. 16

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

WO 96/13352 A1 (SANDVIK AB [SE]) 9 mai 1996 (1996-05-09)

EP 3 006 176 A1 (BIESSE SPA [IT]) 13 avril 2016 (2016-04-13)

WO 2015/183149 A1 (NOVATOR AB [SE]) 3 décembre 2015 (2015-12-03)

DE 33 08 478 A1 (REICH UWE) 29 septembre 1983 (1983-09-29)

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