

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 28.12.11.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.13 Bulletin 13/27.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SNECMA Société anonyme — FR.

⑦② Inventeur(s) : GODON THIERRY et DAMBRINE
BRUNO, JACQUES, GERARD.

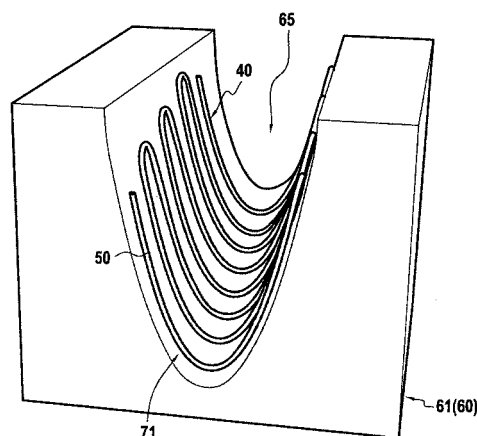
⑦③ Titulaire(s) : SNECMA Société anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE
Société civile.

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE PIÈCE ET PIÈCE OBTENUE PAR CE PROCÉDE.

⑤⑦ Procédé de fabrication d'une pièce, notamment d'un
bord de renforcement de pale, comprenant les étapes sui-
vantes: on plie plusieurs fois au moins un fil métallique (50)
pour former au moins un serpentin (40), et on soumet le ser-
pentin (40) à un pressage à chaud dans un moule, pour pro-
voquer l'agglomération du fil métallique et obtenir ladite
pièce.

Pièce massive composite, notamment bord de renfor-
cement de pale, comprenant une structure de renfort en
fibre(s) de céramique, chaque fibre étant pliée en forme de
serpentin, et une matrice en métal ou en alliage métallique.



DOMAINE DE L'INVENTION

Le présent exposé concerne un procédé de fabrication d'une pièce, et une pièce obtenue par ce procédé.

5 Plus particulièrement, ladite pièce peut être un bord de renforcement d'une pale comme, par exemple, une pale d'aube de turbomachine, une pale d'hélicoptère ou une pale d'hélice. Un tel bord de renforcement peut équiper tout type de turbomachine (terrestre ou aéronautique) et, notamment, un turbomoteur d'hélicoptère ou un turboréacteur d'avion.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Les aubes de soufflante de turbomachine subissent d'importantes contraintes mécaniques (liées notamment à leur vitesse de rotation) tout en devant satisfaire à des conditions strictes de masse et d'encombrement. L'une des options envisagées pour alléger les aubes de soufflante est l'utilisation de
15 matériau composite pour fabriquer leurs pales. La pale est la partie définissant la surface aérodynamique de l'aube et qui est destinée à être située dans le flux d'air traversant la turbomachine. La pale est distincte du pied de l'aube, par lequel l'aube est fixée à un disque rotatif commun à plusieurs aubes.

Par ailleurs, les aubes de soufflante de turbomachine doivent répondre à
20 des critères sévères d'utilisation et leurs pales doivent résister aux impacts de corps étrangers (oiseaux, grêlons, cailloux, etc.) et à l'abrasion. Par exemple, une pale d'aube de soufflante avant d'un turboréacteur d'avion doit résister aux impacts des oiseaux percutés en vol. Or, lorsqu'une pale est réalisée en matériau composite, son bord d'attaque risque de présenter une résistance
25 insuffisante à l'impact et à l'abrasion. On rappelle que le bord d'attaque correspond à la partie antérieure du profil aérodynamique de la pale, qui fait face au flux d'air et qui divise l'écoulement d'air en un écoulement d'intrados et un écoulement d'extrados. Le bord de fuite correspond à la partie postérieure d'un profil aérodynamique où se rejoignent les écoulements
30 d'intrados et d'extrados.

Des problèmes analogues existent avec les pales d'hélicoptère ou les pales d'hélice.

Pour pallier ces problèmes, il a été envisagé de consolider la pale au niveau de son bord d'attaque en rapportant une pièce sur le corps de la pale, cette pièce s'intégrant au profil aérodynamique de l'aube. Une telle pièce rapportée est appelée communément "bord de renforcement" ou, plus simplement, "renfort". Ce bord de renforcement évite, notamment, des risques de délaminage, de rupture de fibre ou encore d'endommagement par décohésion fibre/matrice dans le matériau composite formant la pale.

Un bord de renforcement est généralement une pièce massive, relativement mince, s'étendant longitudinalement suivant une direction sensiblement radiale par rapport à l'axe de rotation de la pale, et présentant, en section transversale, un profil de forme générale en "C" avec une portion centrale d'épaisseur importante entourée par des branches effilées. Un tel bord de renforcement présente donc une partie centrale longitudinale d'épaisseur importante, appelée "nez", bordée par des flancs longitudinaux amincis. L'épaisseur d'un tel bord de renforcement est variable, allant typiquement de plusieurs millimètres dans la portion centrale à quelques dixièmes de millimètre seulement (e.g. 0,2 mm) à l'extrémité des branches effilées.

Un bord de renforcement doit, par ailleurs, présenter une forme complémentaire de celle du bord d'attaque de la pale sur laquelle il est fixé, c'est-à-dire une forme généralement complexe.

Enfin, un bord de renforcement doit avantageusement présenter, sur sa face externe, un état de surface lisse pour ne pas nuire aux propriétés aérodynamiques de l'aube et, sur sa face interne, une bonne qualité de rayon de courbure pour épouser le bord amont du corps d'aube sur lequel il est fixé.

Il est connu de fabriquer des bords de renforcement par mise en forme à chaud et usinage d'une pièce en alliage de titane. Cependant, du fait des exigences précitées, les opérations de formage et d'usinage sont nombreuses,

longues et complexes, ce qui a pour conséquence d'augmenter le coût de fabrication du bord de renforcement.

Aujourd'hui, le coût de fabrication d'un bord de renforcement selon les procédés de fabrication connus est jugé trop élevé, en particulier parce qu'il
5 représente une partie trop importante du coût de fabrication total de la pale.

Il existe donc un réel besoin pour un procédé de fabrication permettant de fabriquer plus facilement et à moindre coût un bord de renforcement de pale, tout en respectant le mieux possible les exigences précitées.

PRESENTATION DE L'INVENTION

10 Le présent exposé a pour objet un procédé de fabrication d'une pièce comprenant les étapes suivantes:

- on plie, plusieurs fois, au moins un fil métallique pour former au moins un serpent,
- on soumet le serpent à un pressage à chaud dans un moule, pour
15 provoquer l'agglomération du fil métallique et obtenir ladite pièce.

Par "serpent", on entend désigner une pièce dont la forme rappelle, au moins en partie, le mouvement ondulé d'un serpent. Sa structure filaire et ses portions ondulées confèrent au serpent la capacité de se déformer facilement selon les trois directions de l'espace, ce qui permet au serpent de
20 s'adapter facilement à l'empreinte du moule dans lequel il est disposé. Ceci se révèle particulièrement intéressant lorsque l'empreinte du moule est de géométrie complexe et présente, par exemple, un vrillage et/ou une cambrure.

Dans certains modes de mise en œuvre, le serpent est apte à se
25 déformer manuellement à froid selon les trois directions de l'espace. Ceci permet de positionner correctement et facilement, manuellement et à froid, le serpent dans le moule.

Par "moule", on entend désigner un outillage définissant la forme de la pièce finale à fabriquer. Ce moule comprend généralement plusieurs parties
30 (ou blocs) susceptibles d'être rapprochées l'une de l'autre pour définir ensemble, dans leur position rapprochée, la forme extérieure de la pièce

finale. Par exemple, toutes les parties du moule peuvent être mobiles et, par exemple, être rapprochées l'une de l'autre par une presse ou un sac autoclave. Selon un autre exemple, le moule peut comprendre une partie immobile, parfois appelée matrice, définissant une empreinte et coopérant
5 avec une partie mobile, parfois appelée poinçon, capable d'être rapprochée de la matrice. Le pressage à chaud est obtenu en chauffant le serpentín et en rapprochant concomitamment les parties du moule pour comprimer le serpentín entre celles-ci. La température et la pression sont choisies suffisamment élevées pour provoquer l'agglomération du fil métallique en une
10 pièce massive.

Chaque serpentín est réalisé par pliage d'un ou de plusieurs fils métalliques. Dans le cas d'une pluralité de fils, ceux-ci peuvent être assemblés, avec ou sans torsion, en un seul faisceau qui est ensuite plié. Plusieurs serpentíns peuvent être réalisés. Ces serpentíns peuvent être
15 différents les uns des autres, de par leur forme générale, leur section et/ou le nombre et la matière des fils qui les constituent.

La formation du ou des serpentíns par pliage présente l'avantage d'être une opération simple à exécuter, que ce soit manuellement ou à l'aide d'un robot.

20 L'étape de pressage à chaud permet d'assurer, par compaction, la mise en forme finale du serpentín et sa densification par la combinaison de déformation plastique (fluage) et de soudage-diffusion des fils métalliques entre eux. Il s'agit généralement d'un pressage isostatique à chaud, ou "HIP" pour "hot isostatique pressing". Au final, la pièce massive obtenue présente
25 une porosité nulle ou très faible.

Le pressage (isostatique) à chaud peut être réalisé sous presse isotherme ou sous sac autoclave et l'outillage utilisé peut être réutilisé pour plusieurs cycles de fabrication. Par ailleurs, plusieurs pièces peuvent être compactées en même temps. Le coût de fabrication des pièces s'en trouve
30 diminué.

Pour toutes ces raisons, le procédé proposé est parfaitement adapté à la fabrication de pièces qui doivent respecter des exigences strictes de masse et/ou de forme. Notamment, ce procédé permet de réaliser facilement une pièce de forme complexe telle qu'une pièce présentant deux courbures selon deux plans distincts et/ou un vrillage selon un axe. Plus particulièrement, ce

5 procédé est bien adapté à la fabrication d'un bord de renforcement de pale.

Dans le présent exposé, la pièce fabriquée est également appelée "pièce finale". Cette pièce peut être massive en ce sens qu'elle ne présente pas de porosités ou qu'elle en présente peu. Cette pièce peut être pleine ou creuse.

10 Pour réaliser une pièce creuse on dispose dans le moule, en plus des serpentins, un noyau destructible qui est éliminé postérieurement à l'opération de pressage à chaud.

Dans certains modes de mise en œuvre, on forme le serpentín sur un gabarit définissant une surface d'appui pour supporter le fil métallique lors de son pliage, cette surface d'appui ayant un profil qui correspond sensiblement

15 au profil du serpentín à réaliser. L'utilisation d'un tel gabarit permet de réaliser plus facilement un serpentín avec le profil souhaité, ce qui est particulièrement intéressant lorsque ce profil est concave ou convexe et/ou qu'il évolue de façon vrillée et/ou cambrée.

Dans certains modes de mise en œuvre, le gabarit est équipé d'une série d'organes en saillie entre lesquels le fil métallique est passé pour être mis en forme de serpentín. En particulier, le fil métallique peut être plié autour de ces organes et/ou il peut être appuyé contre ces organes pour former les ondulations du serpentín. Les organes en saillie peuvent être des pions, des

20 rampes, etc.

25

Dans certains modes de mise en œuvre, le gabarit comprend au moins une rainure dans laquelle le fil métallique est logé pour être mis en forme de serpentín. Plus précisément, le gabarit comprend au moins une rainure sur sa face extérieure, la paroi de cette rainure définissant, au moins en partie, ladite

30 surface d'appui pour le serpentín. Le tracé de la rainure correspond à au

moins une portion du tracé du serpentín à former et, par exemple, à une portion courbe du serpentín.

Dans certains modes de mise en œuvre, les fils métalliques utilisés sont:

- 5 - des fils en métal (e.g. en titane, en aluminium) ou en alliage métallique (e.g. alliage de titane, alliage d'aluminium), et/ou
- des fils composites comprenant une fibre de céramique centrale, notamment en carbure de silicium (SiC), enduite de métal ou d'alliage métallique (e.g. titane, alliage de titane, aluminium, alliage d'aluminium).

10 Les fils métalliques utilisés peuvent également être des fils composites comprenant une fibre de céramique centrale, notamment en carbure de silicium (SiC), et un enrobage en bore (B) ou en carbure de silicium (SiC).

La fibre de céramique centrale des fils composites est également appelée "âme" ou "fibre de cœur".

15 Dans certains modes de mise en œuvre, on soumet plusieurs serpentins, ensemble, au pressage à chaud, afin d'augmenter la quantité de matière utile à la fabrication de la pièce finale. Le nombre de serpentins utilisés est donc fonction du volume de la pièce finale.

20 Dans certains modes de mise en œuvre, on réalise au moins deux serpentins, on assemble ces serpentins entre eux, par exemple par soudure par point, et on soumet l'ensemble formé par les serpentins assemblés au pressage à chaud. On fait en sorte d'assembler les serpentins de sorte que la structure d'ensemble obtenue conserve un caractère déformable selon les trois directions de l'espace.

25 Dans certains modes de mise en œuvre, on réalise au moins deux serpentins et on dispose ces serpentins en couches superposées, chaque couche comprenant un ou plusieurs serpentins, et on soumet l'ensemble formé par les couches superposées au pressage à chaud. Ces couches superposées peuvent être assemblées, par exemple par soudure par point,

30 avant pressage à chaud. En faisant varier le nombre de couches superposées

dans les différentes zones de la pièce, on peut obtenir une pièce d'épaisseur variable.

Dans certains modes de mise en œuvre, les serpentins définissent chacun des ondulations et ils sont empilés de sorte que ces ondulations sont sensiblement en opposition de phase l'une par rapport à l'autre. Ceci permet d'assurer une meilleure répartition de matière dans le moule lors du pressage à chaud.

Dans certains modes de mise en œuvre, on dispose au moins un insert dans la matrice, avec le serpent, pour les soumettre ensemble au pressage à chaud. L'insert peut servir, par exemple, de renfort spécifique fait dans un matériau différent, de renfort creux, et/ou peut servir à produire une surépaisseur de matière dans la pièce finale. L'(les) insert(s) peut être lié au(x) serpent(s) de différentes manières et, par exemple, par soudage, par collage, en étant emprisonné entre deux couches de serpent et/ou en étant introduit directement dans l'outillage. A titre d'exemple, l'insert peut être métallique. Il peut être réalisé par un procédé de forgeage, d'usinage, de fonderie, ou encore par tissage (classique ou tridimensionnel) de fils métalliques ou composites. Quelle que soit la nature du matériau utilisé pour la réalisation de l'insert, il est nécessaire que ce matériau soit compatible avec la nature du matériau utilisé pour la réalisation des serpentins, c'est-à-dire qu'il présente des propriétés permettant son agglomération (plus particulièrement, le formage superplastique et le soudage diffusion) avec le matériau des serpentins. Pour la réalisation d'un renfort métallique creux, l'insert est un insert destructible réalisé en un matériau différent du matériau utilisé pour les serpentins. On entend désigner par « insert destructible » un insert destiné à être détruit pour être évacué de la pièce finale. L'insert destructible est, par exemple, réalisé en un matériau capable de résister à une haute température (e.g. 900°C), une haute pression (e.g. 1000 bar), et qui est compatible avec les matériaux des serpentins de façon à ne pas créer d'impuretés ou d'oxydation dans la pièce. L'insert peut, par exemple, être détruit par dissolution au moyen d'un agent chimique. L'insert destructible

peut, par exemple, être réalisé en cuivre, en alliage de cuivre, en quartz ou en silice. La forme de l'insert fugitif incorporé dans l'empilement des serpentins est fonction de la forme de la cavité interne désirée dans la pièce finale.

Le présent exposé concerne également une pièce massive composite
5 comprenant une structure de renfort en fibre(s) de céramique, chaque fibre étant pliée en forme de serpent, et une matrice en métal ou en alliage métallique.

Du fait de la présence de la structure de renfort, la pièce présente une résistance mécanique accrue. On notera que la structure de renfort ne s'étend
10 pas nécessairement dans toute la pièce mais qu'elle peut, au contraire, être localisée dans les zones de la pièce les plus sollicitées mécaniquement.

Dans certains modes de réalisation, la pièce massive composite est un bord de renforcement pour pale et, plus particulièrement, pour pale d'aube de soufflante de turbomachine. Ce bord de renforcement est configuré pour être
15 fixé au niveau du bord d'attaque ou du bord de fuite de la pale.

Ce bord de renforcement peut être fixé, par exemple par collage, sur une pale pour la protéger.

Dans certains modes de réalisation, le bord de renforcement s'étend longitudinalement suivant une première direction et présente, en section
20 transversale (i.e. dans un plan perpendiculaire à la première direction), un profil de forme générale en "C" avec une partie centrale d'épaisseur importante entourée par des branches effilées. En outre, il présente un vrillage suivant la première direction et/ou une cambrure.

Dans certains modes de réalisation, la structure de renfort du bord se situe au moins dans la zone extérieure de la partie centrale (i.e. dans la zone
25 située du côté bombé du profil), qui est la zone la plus exposée aux impacts.

Le présent exposé concerne également une aube de soufflante de turbomachine comprenant un bord de renforcement tel que précédemment décrit, ainsi qu'une turbomachine comprenant une telle aube.

Les dessins annexés sont schématiques et ne sont pas nécessairement à l'échelle, ils visent avant tout à illustrer les principes de l'invention.

Sur ces dessins, d'une figure (FIG) à l'autre, des éléments (ou parties d'élément) identiques sont repérés par les mêmes signes de référence. En outre, des éléments (ou parties d'élément) appartenant à des exemples de réalisation différents mais ayant une fonction analogue sont repérés par les mêmes références numériques augmentées de 100, 200, etc.

La FIG 1 est une vue latérale d'un exemple d'aube comprenant un bord de renforcement.

La FIG 2 est une vue en perspective du bord de renforcement de la FIG 1.

La FIG 3 représente, en perspective, un exemple de gabarit.

La FIG 4 illustre l'étape de mise en forme d'un fil métallique sur le gabarit de la FIG 3.

La FIG 5 représente le serpentín obtenu après la mise en forme illustrée sur la FIG 4.

La FIG 6 illustre la mise en place du serpentín de la FIG 5 dans la partie inférieure d'un moule de compression.

La FIG 7 représente, en coupe et avant l'étape de pressage à chaud, un exemple de moule, dans lequel plusieurs couches de serpentín ont été empilées.

La FIG 8 représente, en coupe et après l'étape de pressage à chaud, le moule de la FIG 7 renfermant la pièce finale obtenue.

La FIG 9 représente, en perspective, un autre exemple de gabarit, sur lequel deux serpentíns ont été formés.

La FIG 10 représente, en développé, le chemin emprunté par un fil formé sur un autre exemple de gabarit.

La FIG 11 représente, en perspective, un autre exemple de gabarit.

DESCRIPTION DETAILLEE D'EXEMPLE(S) DE REALISATION

Les exemples de réalisation de l'invention décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés, visent à illustrer les caractéristiques et

avantages de l'invention. Il est toutefois rappelé que l'invention ne se limite pas à ces exemples.

La FIG 1 représente une aube 1 de turbomachine, du type aube de soufflante à grande corde. Une telle aube 1 comprend un pied 2 prolongé par une pale 4 dans une direction radiale par rapport à l'axe de rotation de la pale. La pale 4, destinée à être placée dans la veine de circulation du fluide traversant la turbomachine, est munie de deux surfaces extérieures, respectivement appelées surface d'extrados 6 et surface d'intrados 8. Ces surfaces 6, 8, sont raccordées, en amont, par un bord d'attaque 10 et, en aval, par un bord de fuite 12 (l'amont et l'aval étant définis par rapport au sens d'écoulement normal du fluide à travers la turbomachine). Typiquement, la longueur entre bord d'attaque 10 et bord de fuite 12 est de l'ordre de 500mm (millimètres). Des bords de renforcement peuvent être fixés sur la pale 4 au niveau du bord de fuite 12 et surtout au niveau du bord d'attaque 10, pour éviter ou simplement retarder leur détérioration.

Dans l'exemple représenté, un bord de renforcement 20 est fixé sur la pale 4, au niveau du bord d'attaque 10. Le bord d'attaque 10 est formé au moins en partie par le bord de renforcement 20 qui épouse le plus possible la forme générale de la pale 4, de façon à ne pas altérer les propriétés mécaniques et aérodynamiques de celle-ci.

La pale 4 est de forme complexe, comme illustré par la FIG 1. En particulier, elle est vrillée suivant sa direction longitudinale et cambrée. Le bord de renforcement 20 présente donc également une forme complexe, comme représenté sur la FIG 2.

Plus précisément, en référence à la FIG 2, le bord de renforcement 20 s'étend longitudinalement suivant une première direction A et présente, en section dans un plan P perpendiculaire à la première direction (i.e. en section transversale), un profil de forme générale en "C" avec une portion centrale 22 d'épaisseur importante entourée par des branches 24 effilées. Le bord de renforcement 20 présente ainsi une partie centrale 21 longitudinale d'épaisseur importante bordée latéralement par deux flancs 23 longitudinaux

amincis vers leur extrémité distale. La face extérieure 23E des flancs 23 vient dans la continuité des faces d'intrados 8 et d'extrados 6 de la pale. La face extérieure 21E de la partie centrale 21 forme le bord d'attaque 10 de la pale, une fois le bord de renforcement 20 mis en place (voir FIG 1). La face
5 extérieure 20E du bord de renforcement 20 est définie par les faces extérieures 21E et 23E.

Un exemple de dimensions pour un tel bord de renforcement 20 est une longueur L de recouvrement de l'ordre de 20 à 500 mm, par exemple 250 mm, une épaisseur maximum H de la partie centrale 21 (ou de la portion
10 centrale 22) de l'ordre de 1 à 25 mm, par exemple 7 mm, et une épaisseur minimum E des flancs 23 (ou des branches 24) comprise entre 0,1 et 6 mm, par exemple 1 mm, l'épaisseur des flancs 23 diminuant à mesure que l'on se rapproche de leur extrémité. On notera la variation importante d'épaisseur dans une telle pièce.

15 De façon classique, le bord de renforcement 20 est une pièce massive, pleine et monobloc. Il est typiquement à base de titane, ce matériau présentant une grande capacité d'absorption des chocs.

Le bord de renforcement 20 est par exemple collé sur la pale 4 au moyen d'une colle, comme une colle cyanoacrylique ou époxy.

20 Le procédé proposé permet de réaliser une pièce comme le bord de renforcement 20 de la FIG 2. Pour fabriquer une telle pièce, on commence par réaliser au moins un serpentín 40 en pliant plusieurs fois un fil métallique 50 sur lui-même.

La FIG 3 représente schématiquement un exemple de gabarit 25 utilisé
25 pour mettre un fil métallique 50 en forme de serpentín 40. Ce gabarit définit une surface d'appui 26 pour supporter le fil métallique 50 lors de son pliage. La surface d'appui 26 a un profil correspondant au profil du serpentín 40 à réaliser. Dans l'exemple, le gabarit 25 est un cylindre d'axe X et de section sensiblement triangulaire. La surface d'appui 26 est une surface latérale de ce
30 cylindre. Cette surface d'appui 26 a une forme générale de dièdre avec un sommet 27 arrondi. Le sommet 27 s'étend sensiblement parallèlement à l'axe

X. Ainsi, la surface d'appui 26 présente, dans un plan perpendiculaire à l'axe X, un profil en "V" à pointe arrondie ou en "C" qui correspond au profil en "V" à pointe arrondie ou en "C" du serpent 40 à réaliser.

Le gabarit 25 présente sur sa surface d'appui 26 une série d'organes en saillie. Dans l'exemple, ces organes sont des pions 28, 29.

Pour mettre le fil 50 en forme de serpent 40, on passe le fil 50 entre les pions 28, 29, comme représenté sur la FIG 4. Certains pions, dits "pions de pliage" 28, permettent de plier le fil 50 en le passant autour de ces pions. Ces pions de pliage 28 présentent généralement au moins une portion de surface latérale angulaire ou arrondie, contre laquelle le fil 50 est plaqué pour être plié. D'autres pions, dits "pions de guidage" 29, permettent de guider le fil 50 (i.e. lui faire adopter la bonne trajectoire) entre les pions de pliage 28. Le fil 50 est appuyé sur ces pions 29 pour être positionné correctement sur la surface d'appui 26.

On comprend que la forme et la position des pions 28, 29 dépend du trajet que doit emprunter le fil 50 pour former le serpent 40.

La FIG 10 représente schématiquement, en développé, le chemin emprunté par un fil 150 formé sur un autre exemple de gabarit 125. Le sommet 127 du gabarit 125 est représenté en traits mixtes. On notera que ce sommet 127 n'est pas droit : il présente une portion coudée 127A. Comme l'illustre cette figure, les formes des pions de guidage 129 et des pions de pliage 128 peuvent être variées. Ces formes dépendent également des propriétés du fil 150. En particulier, le rayon de courbure imposé par les pions de pliage 128 est souvent choisi en fonction du diamètre du fil 150 utilisé et, de préférence, est choisi au moins égale à ce diamètre.

La FIG 11 représente encore un autre exemple de gabarit 325. Utilisable pour mettre un fil métallique 50 (non représenté sur la FIG 11) en forme de serpent 40 (voir FIG 5). Ce gabarit définit une surface extérieure 330 dans laquelle est ménagée une rainure 331. La paroi délimitant cette rainure 331 définit une surface d'appui 326 pour le fil 50. La rainure 331 a une forme correspondant à celle du serpent 40 à réaliser. Dans cet exemple, le gabarit

325 est un cylindre d'axe X et de section sensiblement triangulaire. La surface extérieure 330 est une surface latérale de ce cylindre. Cette surface d'appui extérieure 330 a une forme générale de dièdre avec un sommet 327 arrondi. Le sommet 327 s'étend sensiblement parallèlement à l'axe X. Ainsi, la surface

5 extérieure 330 présente, dans un plan perpendiculaire à l'axe X, un profil en "V" à pointe arrondie ou en "C" qui correspond au profil en "V" à pointe arrondie ou en "C" du serpent 40 à réaliser. La rainure 331 ménagée dans cette surface extérieure 330 est, dans l'exemple, de profondeur sensiblement constante de sorte que la surface d'appui 326 pour le fil 50 présente

10 sensiblement le même profil (dans un plan perpendiculaire à l'axe X) que celui de la surface extérieure 330.

Pour mettre le fil 50 en forme de serpent 40, on enfonce le fil 50 dans la rainure 331. Le fil 50 se retrouve ainsi guidé suivant le tracé de la rainure 331. Certaines portions courbes 331A de la rainure 331 permettent de plier le

15 fil 50. Dans cet exemple, le gabarit 325 présente une seule rainure 331 (continue) de forme correspondant à celle du serpent 40 à réaliser. Toutefois, le gabarit peut présenter une ou plusieurs rainures, ou toute autre forme en creux appropriée. Cette ou ces rainures peuvent être associées à des organes en saillie du type de ceux précédemment décrits.

20 A titre d'exemple, pour fabriquer le bord de renforcement 20, on peut utiliser des serpents fait des fils métalliques suivants, pris seuls ou en combinaison:

- des fils métalliques composites comprenant une fibre de céramique de cœur en carbure de silicium (SiC) recouverte d'un enrobage en alliage de

25 titane (ou de bore);

- des fils métalliques en alliage de titane (e.g. en alliage de type TA6V, Ti 6242, etc.).

Le serpent 40 réalisé sur le gabarit 25 des FIGS 3 et 4 (ou sur le gabarit de la FIG 11) est représenté sur la FIG 5. Ce serpent 40 s'inscrit

30 dans une forme générale de dièdre à sommet arrondi. Le serpent 40 présente donc, en section transversale, un profil en "C" ou en "V" à pointe

arrondie. Le sommet 41 du serpent 40 correspond à la ligne de pliure du serpent. Le serpent 40 forme des ondulations 43 (ou boucles) de part et d'autre de ce sommet 41 de façon alternée. Le pas d'écartement entre deux ondulations successives est noté PA (voir FIG 5). Dans l'exemple, ce pas PA est sensiblement constant le long du serpent 40. Toutefois, lorsque plusieurs serpents sont utilisés, le pas PA peut varier d'un serpent à l'autre. Le pas PA peut même varier au sein d'un même serpent (voir l'exemple de la FIG 10). Les parties du serpent 40 s'étendant de part et d'autre du sommet 41 sont désignées comme étant les flans 45 du serpent 40. La largeur de ces flans 45 est notée LG. Dans l'exemple, cette largeur LG est sensiblement constante le long du serpent 40. Toutefois, lorsque plusieurs serpents sont utilisés, la largeur LG peut varier d'un serpent à l'autre. La largeur LG peut même varier au sein d'un même serpent (voir l'exemple de la FIG 10).

La FIG 6 illustre la mise en place du serpent 40 de la FIG 5 dans la partie inférieure 61 d'un moule 60 de compression. Cette partie inférieure 61 définit une empreinte 65 de forme correspondante à celle de la pièce finale. Dans l'exemple, la partie inférieure 61 définit une empreinte 65 allongée, en creux, délimitant la face extérieure 20E du bord de renforcement 20 à fabriquer. Comme la face extérieure 20E, l'empreinte 65 présente une forme vrillée et cambrée avec un profil en "C" évolutif. La forme de l'empreinte 65 est donc plus complexe que la forme générale du serpent 40. Toutefois, grâce à sa structure ondulée, le serpent 40 est apte à se déformer manuellement à froid selon les trois directions de l'espace. Ceci permet de positionner aisément (manuellement ou automatiquement) le serpent 40 dans l'empreinte 65, le serpent 40 se déformant pour épouser la forme complexe de cette empreinte 65. Dans l'exemple, les ondulations du serpent 40 sont positionnées transversalement par rapport à la direction longitudinale de l'empreinte 65, le sommet 41 du serpent étant positionné suivant cette direction longitudinale. Pour maintenir le serpent 40 dans l'empreinte 65 en attendant la mise en place d'un autre serpent et/ou la fermeture du moule

60, on peut utiliser un système d'attache (non représenté) comme, par exemple, un système à règles ou à encoches.

Le serpentин 40 disposé au fond de l'empreinte 65 forme une première couche 71 de fil(s). Quatre autres couches de fil(s) notées 72 à 75 sont
5 ensuite successivement empilées sur la première couche 71, dans l'empreinte 65, comme représenté sur la FIG 7. De manière générale, on notera que chaque couche de fils peut comprendre un ou plusieurs serpentins et que chaque serpentин peut être fait à partir d'un ou plusieurs fils métalliques.

Dans l'exemple représenté, au moins un serpentин 40 est réalisé à partir
10 d'un (ou plusieurs) fil métallique composite comprenant une fibre de cœur en céramique (e.g. en SiC), recouverte d'un enrobage en métal ou en alliage métallique (e.g. en alliage de titane). Ceci permet de réaliser une pièce finale composite avec une structure de renfort en fibre de céramique et une matrice en métal ou en alliage métallique.

On notera également que les couches de fils peuvent se superposer
15 partiellement. Ainsi, dans l'exemple, la largeur LG des flancs 45 (voir FIG 5) des cinq serpentins 40 composant respectivement les cinq couches 71 à 75, diminue de la première couche 71 à la cinquième 75. Ceci permet d'obtenir une épaisseur de cinq couches en milieu d'empreinte 65, cette épaisseur
20 diminuant en se rapprochant des bords de l'empreinte. Cette variation du nombre de couches en fonction de la position dans le moule se traduit par des différences d'épaisseur dans la pièce finale. Dans l'exemple, comme illustré sur la FIG 8, ceci permet d'obtenir une pièce finale 20 avec une partie centrale 21 de grande épaisseur entourée de deux flancs 23 effilés.

Après avoir positionné les couches de fils 71 à 75 dans la partie
25 inférieure du moule 61, on recouvre ces couches avec la partie supérieure 62 du moule 60 et on soumet l'ensemble formé par les couches 71 à 75 superposées à un pressage isostatique à chaud. Ce pressage peut être réalisé sous presse ou avec un sac autoclave. Par exemple, les fils métalliques
30 peuvent être maintenus à 940°C, pendant 120 min, sous une pression de 1000 bars.

A l'issue du pressage isostatique à chaud, on obtient le bord de renforcement 20 de la FIG 2, ce bord de renforcement 20 étant représenté schématiquement, en coupe transversale et à l'intérieur du moule 60 sur la FIG 8.

5 Le bord de renforcement 20 est un exemple de pièce massive composite au sens du présent exposé. Il comprend une structure de renfort en fibre(s) de céramique, chaque fibre étant pliée en forme de serpent, et une matrice en métal ou en alliage métallique. Les fibres de céramique de la structure de renfort correspondent aux fibres de cœur des fils métalliques
10 composites 50 utilisés pour former les serpentins 40. La matrice résulte, quant à elle, de l'agglomération par compaction et soudage-diffusion de l'enrobage des fils. La présence de fibres de renfort peut s'avérer plus intéressante dans les parties de la pièce les plus sollicitées. Par exemple, la présence de fibres de renfort au niveau de la surface extérieure 20E du bord 20 peut apporter
15 une meilleure protection contre les chocs. Dans ce cas, il convient d'utiliser des fils composites 50 pour former au moins les serpentins 40 de la première couche 71.

 La FIG 9 représente, en perspective, un autre exemple de gabarit 225. Ce gabarit 225 diffère du gabarit 25 en ce qu'il permet de réaliser deux
20 serpentins 240 et 240'. Pour cela, le gabarit 225 présente sur sa surface d'appui 226 deux séries de pions, chaque série comprenant des pions de pliage 228, 228' et des pions de guidage 229, 229'. Un (ou plusieurs) fil métallique 250, 250' est passé entre les pions de chaque série pour être mis en forme de serpent 240, 240'. Les serpentins 240, 240' peuvent, le cas
25 échéant, être assemblés entre eux. Les serpentins 240, 240' sont ensuite disposés dans l'empreinte d'un moule pour former une couche de fils comme la couche 71 de la FIG 6. On comprend que, dans ce cas, la couche de fils 71 est formée par les deux serpentins 240, 240' qui sont disposés dans l'empreinte 65 l'un à côté de l'autre, comme ils l'étaient sur le gabarit 225.
30 L'intérêt de cet exemple de réalisation résulte de la possibilité de réaliser les serpentins dans des matériaux différents, cette différence de matières (donc

de propriétés) se retrouvant dans la pièce finale. Ainsi, le serpentin central 240 peut être réalisé à partir d'un fil métallique 250 composite avec un cœur en céramique, tandis que le serpentin périphérique 240' peut être réalisé à partir d'un "simple" fil métallique 250'. Ceci se traduira, dans la pièce composite finale réalisée, par la présence d'une structure de renfort en fibre de céramique dans la partie centrale de la pièce. Dans l'exemple, le bord de renforcement 20 fabriqué sera renforcé par les fibres de céramique au niveau de son "nez".

Les modes ou exemples de réalisation décrits dans le présent exposé sont donnés à titre illustratif et non limitatif, une personne du métier pouvant facilement, au vu de cet exposé, modifier ces modes ou exemples de réalisation, ou en envisager d'autres, tout en restant dans la portée de l'invention.

De plus, les différentes caractéristiques de ces modes ou exemples de réalisation peuvent être utilisées seules ou être combinées entre elles. Lorsqu'elles sont combinées, ces caractéristiques peuvent l'être comme décrit ci-dessus ou différemment, l'invention ne se limitant pas aux combinaisons spécifiques décrites dans le présent exposé. En particulier, sauf précision contraire, une caractéristique décrite en relation avec un mode ou exemple de réalisation peut être appliquée de manière analogue à un autre mode ou exemple de réalisation.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pièce comprenant les étapes suivantes:
 - on plie plusieurs fois au moins un fil métallique (50) pour former au moins un serpentín (40),
 - on soumet le serpentín (40) à un pressage à chaud dans un moule (60), pour provoquer l'agglomération du fil métallique et obtenir ladite pièce.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le serpentín (40) est apte à se déformer manuellement à froid selon les trois directions de l'espace.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on forme le serpentín (40) sur un gabarit (25) définissant une surface d'appui (26) pour supporter le fil métallique (50) lors de son pliage, cette surface d'appui ayant un profil correspond sensiblement au profil du serpentín à réaliser.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le gabarit (25) est équipé d'une série d'organes en saillie (28, 29) entre lesquels le fil métallique (50) est passé pour être mis en forme de serpentín (40).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le gabarit (325) a une surface extérieure dans laquelle est ménagée une rainure (331), cette rainure (331) étant délimitée par une paroi et cette paroi définissant, au moins en partie, ladite surface d'appui (326).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les fils métalliques (50) sont:
 - des fils en métal ou en alliage métallique, notamment en titane ou en alliage de titane, et/ou
 - des fils composites comprenant, à cœur, une fibre de céramique, notamment en carbure de silicium, et un enrobage en métal ou en alliage

métallique, notamment en titane, en alliage de titane, en aluminium, en alliage d'aluminium ou en bore.

5 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel on réalise au moins deux serpentins (40, 240, 240'), on assemble ces serpentins entre eux, et on soumet l'ensemble formé par les serpentins assemblés au pressage à chaud.

10 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel on réalise au moins deux serpentins et on dispose ces serpentins en couches superposées (71-75), chaque couche comprenant un ou plusieurs serpentins, et on soumet l'ensemble formé par les couches superposées au pressage à chaud.

15 9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel les serpentins (40) définissent chacun des ondulations (43), et dans lequel les serpentins sont empilés de sorte que ces ondulations sont sensiblement en opposition de phase l'une par rapport à l'autre.

20 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel ladite pièce est un bord de renforcement (20) de pale.

25 11. Pièce massive composite comprenant une structure de renfort en fibre(s) de céramique, chaque fibre étant pliée en forme de serpent, et une matrice en métal ou en alliage métallique.

1/6

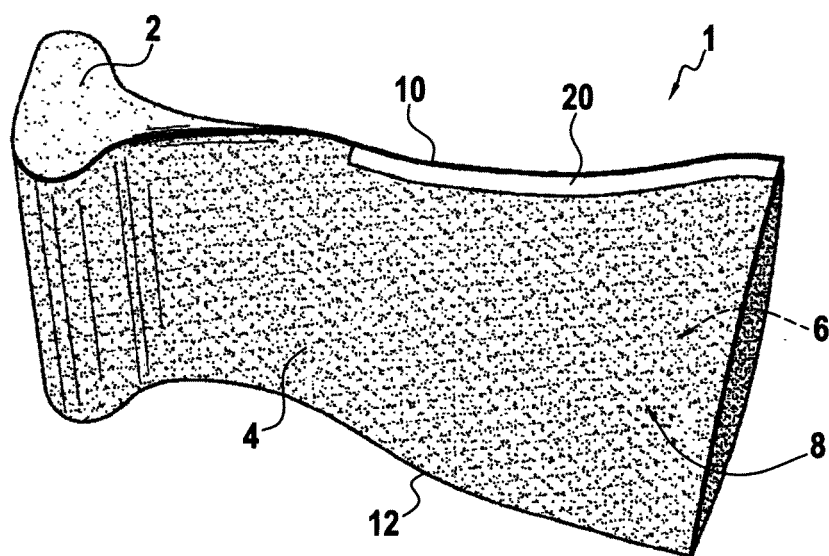


FIG. 1

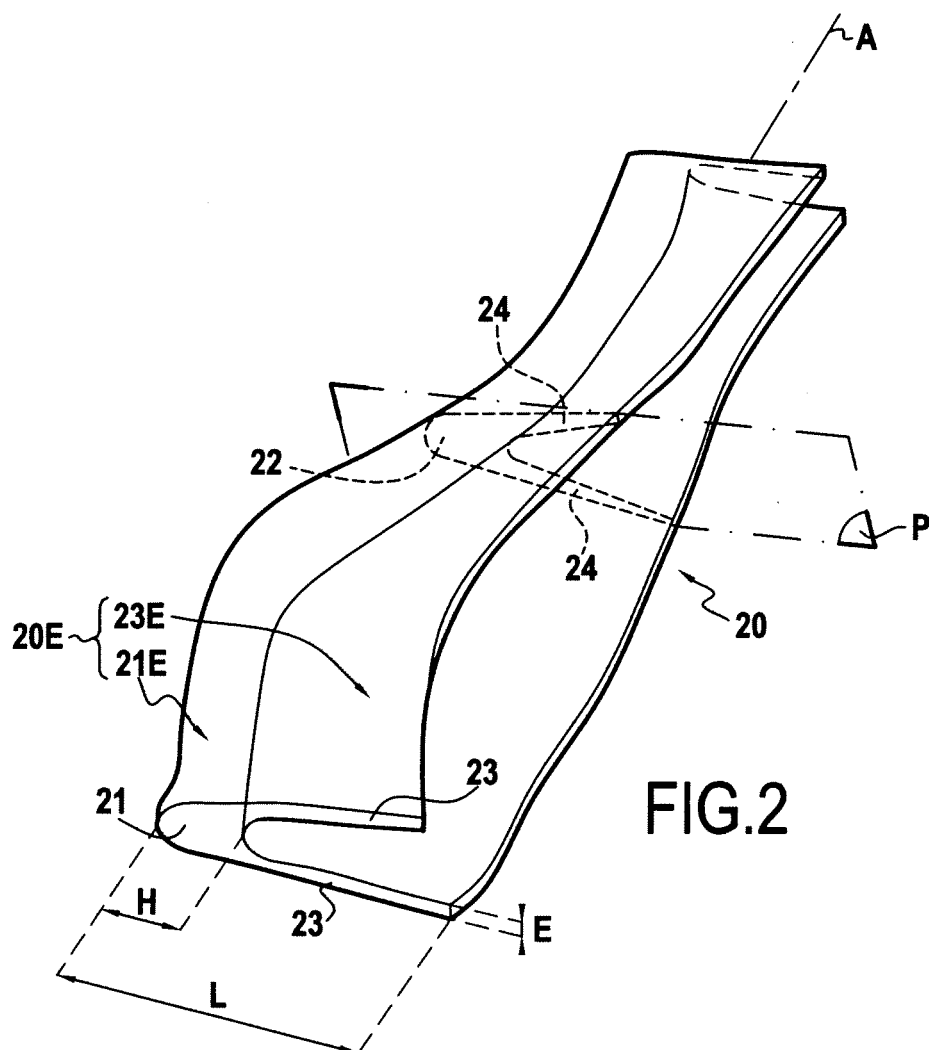


FIG. 2

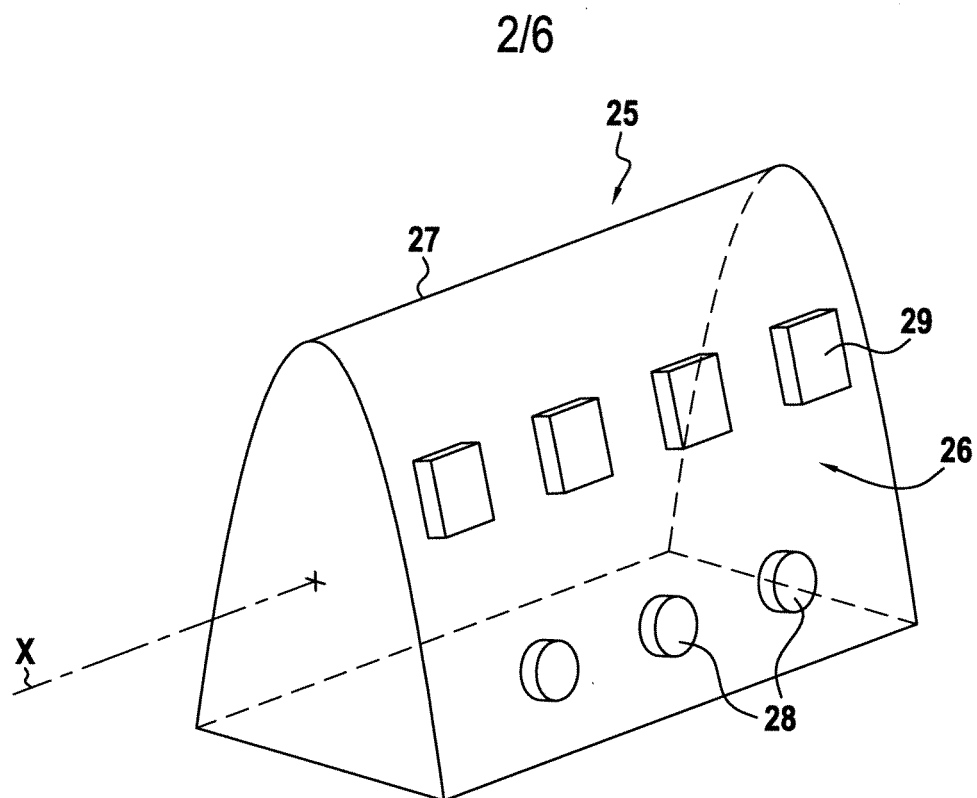


FIG.3

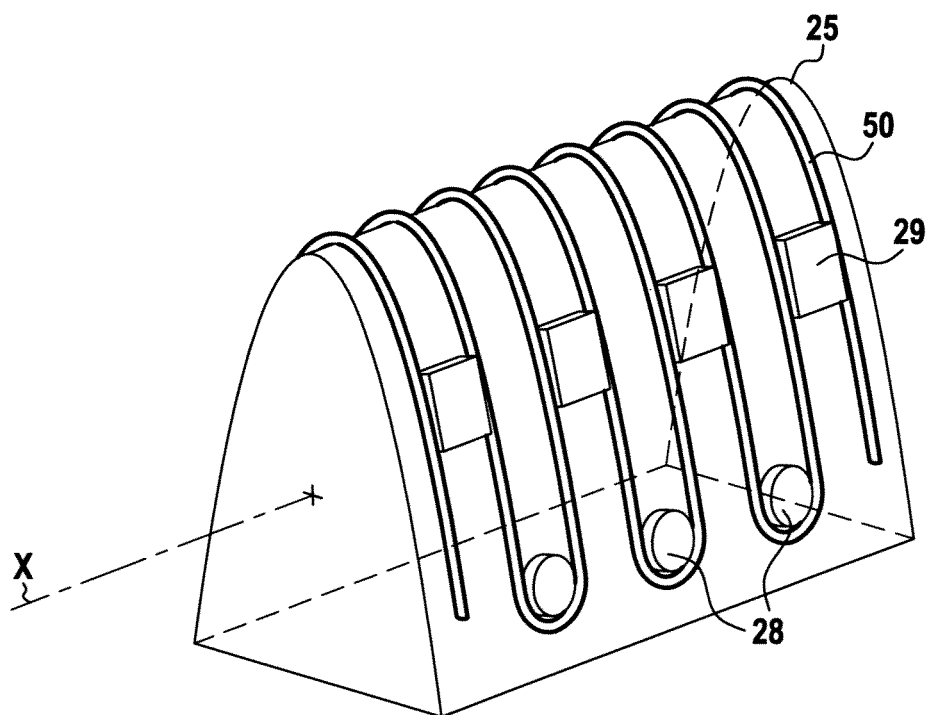


FIG.4

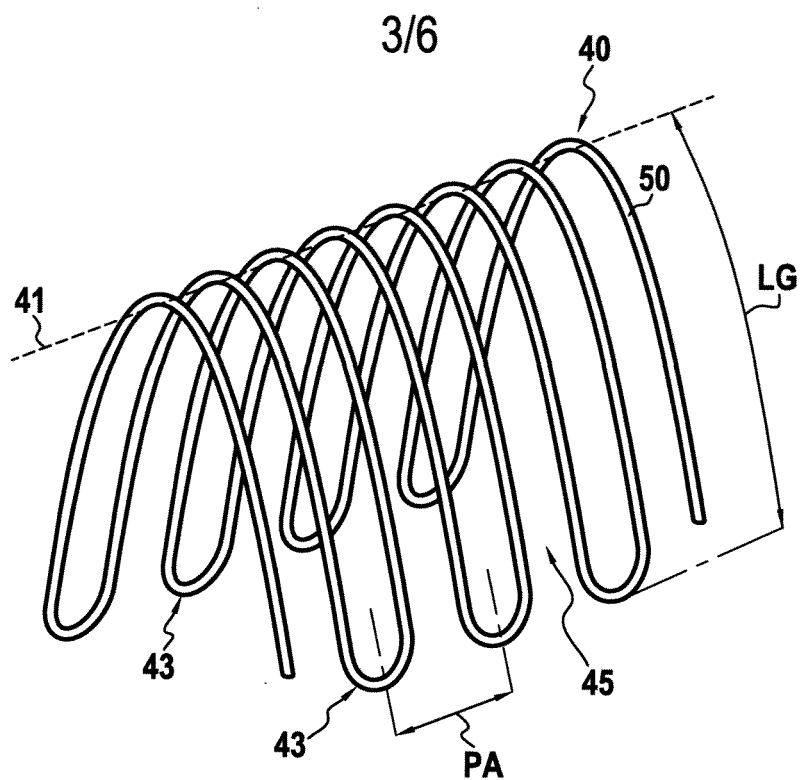


FIG. 5

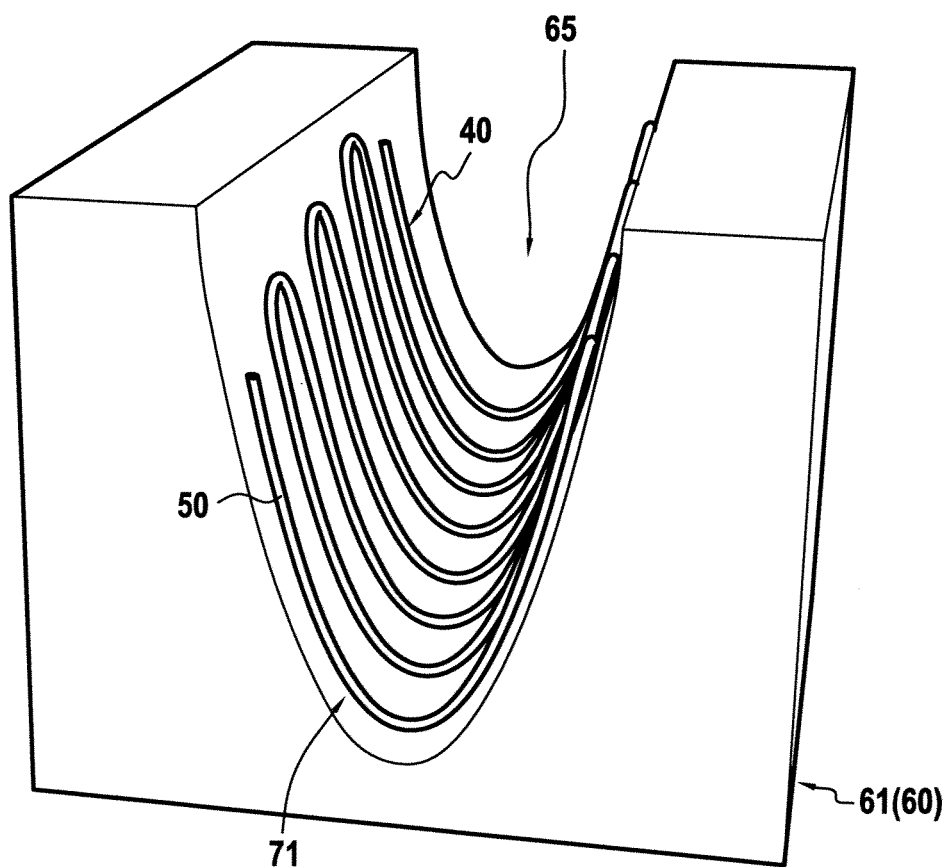


FIG. 6

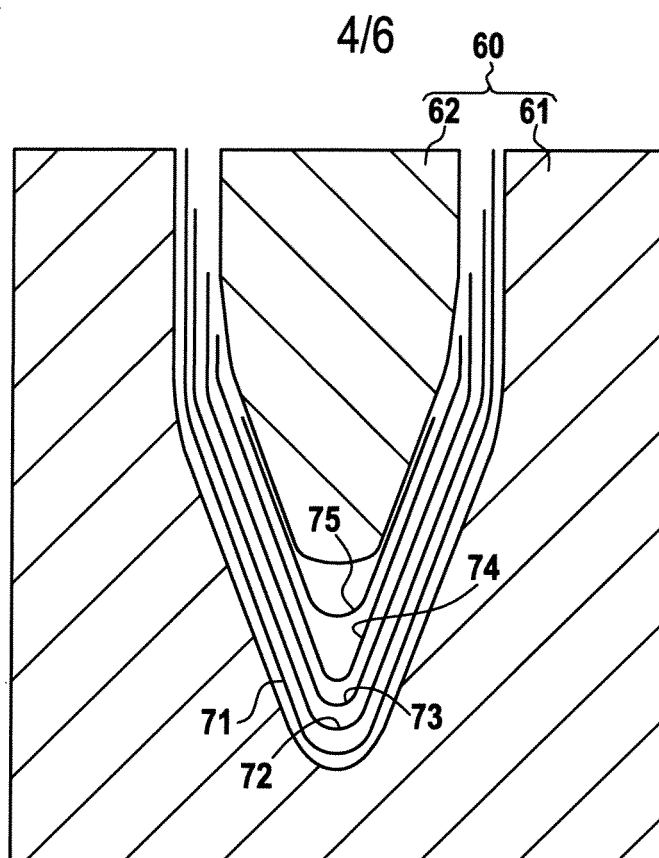


FIG. 7

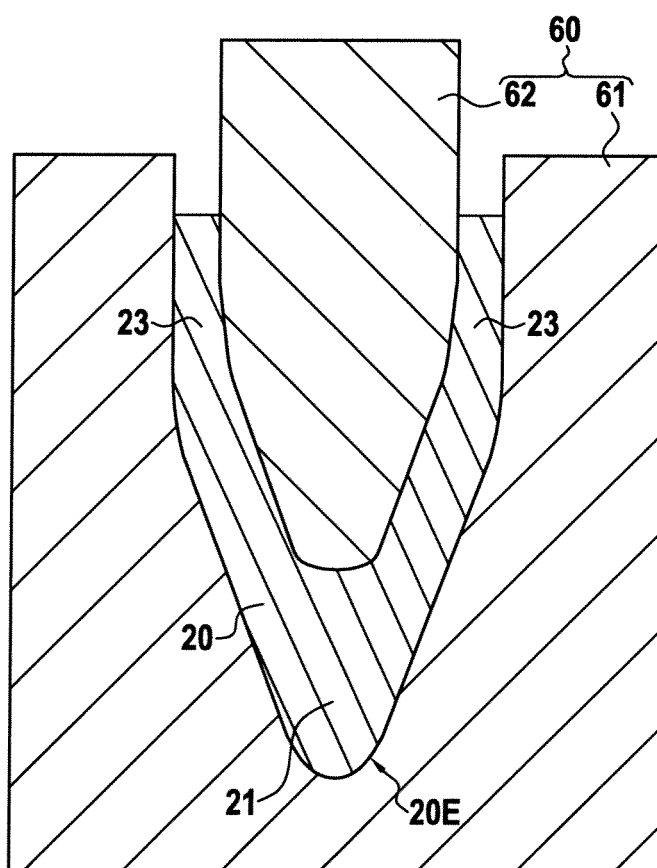


FIG. 8

5/6

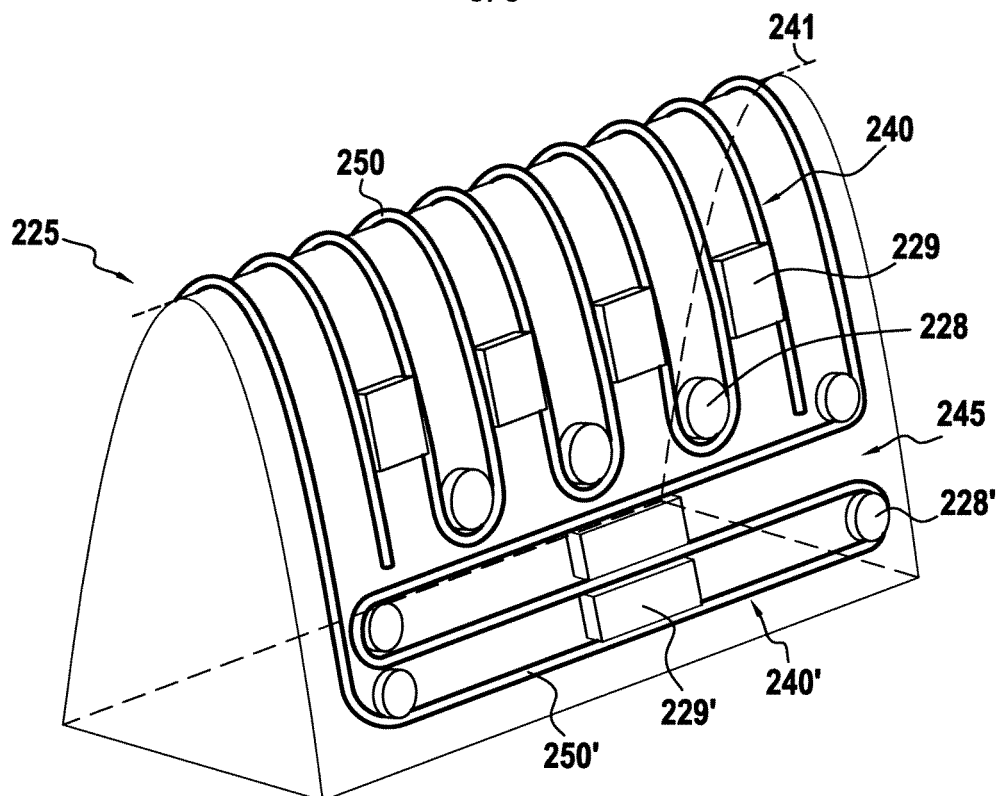


FIG. 9

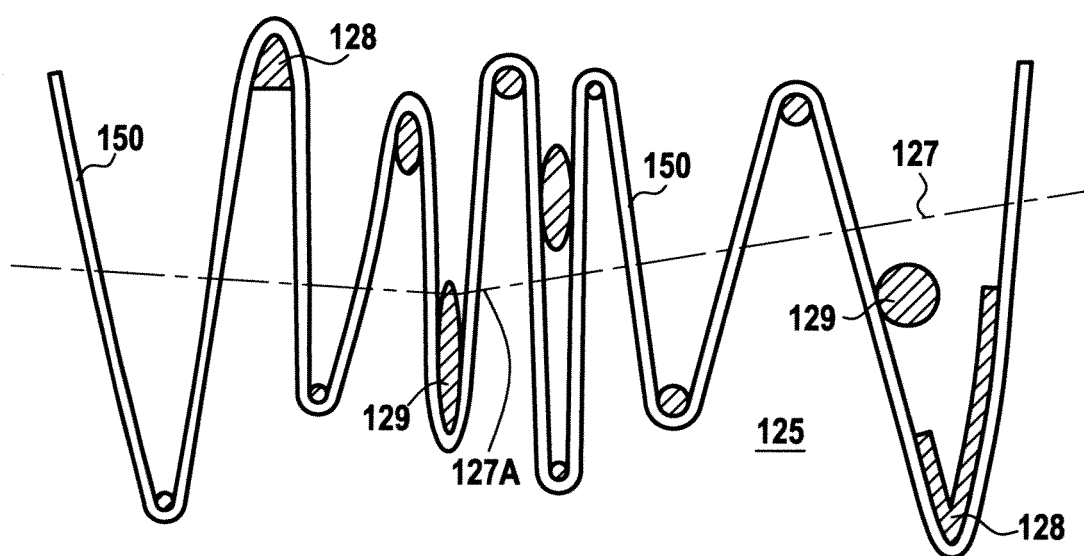


FIG. 10

6/6

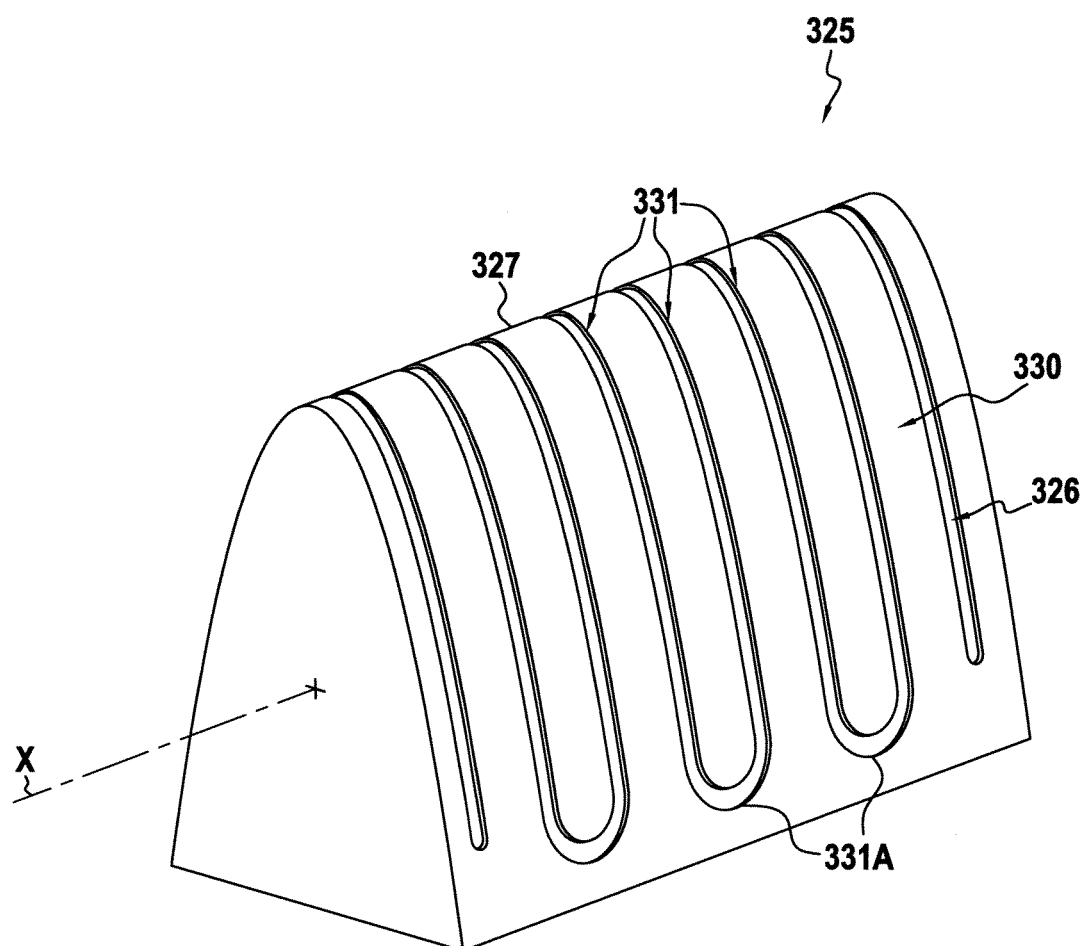


FIG. 11



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 759146
FR 1162494

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		
E	WO 2012/007682 A1 (SNECMA [FR]; DAMBRINE BRUNO JACQUES GERARD [FR]; GODON THIERRY; PERROU) 19 janvier 2012 (2012-01-19) * le document en entier *	1,2,6-8, 10,11	B23P15/04 B21F17/00
X	DE 20 49 416 A1 (SIEMENS AG) 13 avril 1972 (1972-04-13)	1,2,6-8, 11	
Y	* page 2, ligne 24 - ligne 32 * * page 4, ligne 8 - ligne 22 * * page 6, ligne 9 - ligne 19 * * figures 1-4 * * le document en entier *	3,4,10	
X	US 5 440 806 A (WEI WILLIAM [DE] ET AL) 15 août 1995 (1995-08-15)	1,2,6-9	
Y	* colonne 1, ligne 63 - colonne 2, ligne 24 * * colonne 2, ligne 59 - colonne 4, ligne 20 * * figures 1-8 * * le document en entier *	3,4,10	
X	EP 0 280 340 A1 (BEKAERT SA NV [BE]) 31 août 1988 (1988-08-31) * page 2, ligne 31 - page 4, ligne 3; figure 1 *	1,2,6-8	B23P C22C F01D F04D B21F B21D B22F
Y	EP 1 177 778 A2 (MANI INC [JP]) 6 février 2002 (2002-02-06) * alinéas [0030], [0031]; figures 2,5 *	3,4	
Y	EP 1 719 699 A1 (SNECMA [FR]) 8 novembre 2006 (2006-11-08) * le document en entier *	10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 juin 2012		Sérgio de Jesus, E	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1162494 FA 759146**

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 **26-06-2012**

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
WO 2012007682 A1	19-01-2012	AUCUN	
DE 2049416 A1	13-04-1972	AUCUN	
US 5440806 A	15-08-1995	DE 4208100 A1	16-09-1993
		FR 2688445 A1	17-09-1993
		GB 2264958 A	15-09-1993
		SE 9300743 A	14-09-1993
		US 5356701 A	18-10-1994
		US 5440806 A	15-08-1995
		US 5557846 A	24-09-1996
EP 0280340 A1	31-08-1988	BE 1000278 A3	04-10-1988
		DE 3862044 D1	25-04-1991
		EP 0280340 A1	31-08-1988
		JP 2530348 B2	04-09-1996
		JP 63264935 A	01-11-1988
		US 4779322 A	25-10-1988
EP 1177778 A2	06-02-2002	EP 1177778 A2	06-02-2002
		ES 2323752 T3	24-07-2009
		JP 4621849 B2	26-01-2011
		JP 2002035134 A	05-02-2002
		US 2002033552 A1	21-03-2002
EP 1719699 A1	08-11-2006	CA 2543226 A1	15-10-2006
		CN 1847428 A	18-10-2006
		EP 1719699 A1	08-11-2006
		FR 2884550 A1	20-10-2006
		JP 4887069 B2	29-02-2012
		JP 2006300057 A	02-11-2006
		US 2006275626 A1	07-12-2006