



(43) Date de la publication internationale  
30 août 2012 (30.08.2012)

(51) Classification internationale des brevets :  
B22F 3/15 (2006.01) B22F 5/04 (2006.01)  
C22C 47/06 (2006.01) B23P 15/04 (2006.01)  
B22F 5/00 (2006.01) B23K 20/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2012/050396

(22) Date de dépôt international :  
24 février 2012 (24.02.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1151585 25 février 2011 (25.02.2011) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : SNEC-  
MA [FR/FR]; société anonyme, 2 Boulevard du Général  
Martial Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : GODON,  
Thierry [FR/FR]; 8 Avenue Henri Dunant, F-93270 Se-  
vran (FR). DAMBRINE, Bruno, Jacques, Gérard  
[FR/FR]; 464 Allée Ninon de l'Enclos, F-77820 Le Chate-  
let En Brie (FR). PERROUX, Alain, Robert, Yves  
[FR/FR]; 34 rue du Château d'Eau, F-91130 Ris Orangis  
(FR).

(74) Mandataires : DAVID, Daniel et al.; GEVERS FRANCE,  
23bis, rue de Turin, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,  
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,  
OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD,  
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,  
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,  
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,  
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée  
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A METAL PART

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE METALLIQUE

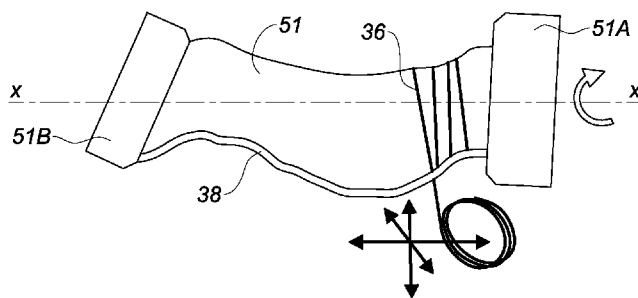


Fig. 3

(57) Abstract : The present invention relates to a method for manufacturing a metal part by producing a preform with a fibrous structure consisting of metal fibres (36), and subjecting the preform to hot isostatic pressing in a tool until a solid part is obtained, the tool including at least one first element (51) having a cavity for moulding the part. The method is characterised in that the first tool element (51) is elongate in a direction XX between two ends, and the fibrous structure is at least partially formed by winding at least one metal wire (36) around said first tool element (51) in said direction, from one end to the other. The invention can be used for manufacturing reinforcement parts for a fan blade of a turbojet engine.

(57) Abrégé : La présente invention porte sur un procédé de fabrication d'une pièce métallique par réalisation d'une préforme avec une structure fibreuse de fibres métalliques (36) et soumission de la préforme à un pressage isostatique à chaud dans un outillage jusqu'à obtenir une pièce massive, l'outillage comprenant au moins un premier

[Suite sur la page suivante]



---

élément (51) avec une empreinte de moulage de la pièce. Le procédé est caractérisé par le fait que le premier élément d'outillage (51) est de forme allongée le long d'une direction XX entre deux extrémités, la structure fibreuse est réalisée au moins en partie par enroulement d'au moins un fil métallique (36) autour dudit premier élément d'outillage (51) le long de ladite direction, d'une extrémité à l'autre. L'invention présente un intérêt pour la fabrication de pièces de renforcement d'aube de soufflante de turboréacteur.

## PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PIECE METALLIQUE

### DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne la fabrication d'une pièce métallique par la technique de compression isostatique à chaud d'une préforme formée d'une structure fibreuse comprenant des fils métalliques avec insertion éventuelle de renforts à base de fibres céramiques.

L'invention vise en particulier la fabrication d'une pièce de renfort pour des aubes de grande dimension en matériau composite organique, telles que des aubes de soufflante de turboréacteur ou de pales d'hélice.

### ETAT DE LA TECHNIQUE

Les aubes de soufflante dans les moteurs modernes sont de grandes dimensions et pour combiner résistance mécanique et faible masse on cherche à les réaliser en matériau composite organique.

Afin de leur permettre de résister à l'abrasion et aux impacts de corps étrangers, on prévoit de protéger les zones exposées et en particulier la surface amont de la pale par une pièce métallique offrant une plus grande résistance à ces agressions que le matériau composite seul.

Selon un mode de réalisation connu, cette pièce de renforcement, rapportée sur la pale en matériau composite, s'étend suivant une direction sensiblement radiale par rapport à l'axe de rotation du rotor de soufflante, le long du bord d'attaque. Elle se prolonge de part et d'autre du bord d'attaque sur une partie des faces intrados et extrados en s'amincissant vers l'aval. Elle présente ainsi une section transversale en forme de « C » avec une branche centrale relativement épaisse et des branches latérales effilées. Le profil des pièces de renforcement est également vrillé et cambré entre le pied et la tête de la pale dont elle suit la forme dite tridimensionnelle.

Il est connu de fabriquer des pièces de renforcement par mise en forme à chaud et usinage d'une ébauche en alliage de titane. En raison de la complexité de la géométrie de cette pièce, les opérations de formage et d'usinage sont nombreuses longues et complexes. Son coût de fabrication est donc élevé.

Il existe ainsi un besoin pour un procédé de fabrication permettant d'obtenir une pièce de renforcement dont le coût est réduit.

La demanderesse a mis au point un procédé de fabrication d'une pièce de ce type comprenant une étape de réalisation d'au moins une structure fibreuse par tissage tridimensionnel de fils métalliques suivie de la soumission de la structure fibreuse à un pressage isostatique à chaud provoquant la compaction et le soudage par diffusion des fils métalliques de manière à obtenir une pièce massive. Les fils métalliques sont avantageusement des fils métalliques tréfilés.

Le tissage tridimensionnel permet de conformer la structure fibreuse à l'empreinte d'un outillage et donc d'obtenir une pièce à la géométrie complexe. En outre, on peut utiliser des fils métalliques de différents diamètres en fonction de l'épaisseur à un endroit donné. Par ailleurs, la structure fibreuse peut  
5 comprendre des fils composites ou fils enduits constitués d'une fibre céramique, telles que SiC, enrobée d'un alliage métallique tel qu'un alliage de titane.

L'étape de pressage isostatique à chaud, ou HIP pour « hot isostatic pressing » permet d'assurer par compaction la mise en forme finale de la structure fibreuse et sa densification par soudage – diffusion des fils  
10 métalliques et/ou des enrobages entre eux. La pièce massive obtenue présente une porosité nulle ou très faible.

Une demande de brevet couvrant ce procédé de fabrication ainsi que la pièce de renforcement obtenue a été déposée le 28/09/2010 sous le numéro FR 10 57799 par la demanderesse.

## PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention vise une variante de mise en œuvre du procédé précédemment déposé.

Conformément à l'invention, le procédé de fabrication d'une pièce  
20 métallique par réalisation d'une structure avec une structure fibreuse de fibres métalliques et soumission de la préforme à un pressage isostatique à chaud dans un outillage jusqu'à obtenir une pièce massive, l'outillage comprenant au moins un premier élément avec une empreinte de moulage de la pièce, est caractérisé par le fait que le premier élément d'outillage est de forme allongée  
25 le long d'une direction XX entre deux extrémités, la structure fibreuse est réalisée au moins en partie par enroulement d'au moins un fil métallique autour dudit premier élément le long de ladite direction, d'une extrémité à l'autre.

Un avantage de la réalisation de la structure fibreuse au moins en partie par enroulement autour de l'élément d'outillage est de permettre une  
30 automatisation partielle de cette étape du procédé par utilisation de robots et de moyens de déroulement de bobinage.

Conformément à une autre caractéristique, le procédé comprend éventuellement l'incorporation de fils composites dans la structure fibreuse, les  
35 fils composites comprenant une fibre céramique, telle que de carbure de silicium, enrobée d'un métal, telle qu'un alliage de titane, l'enroulement de fil métallique étant d'un métal analogue à celui de l'enrobage, notamment en alliage de titane.

Le procédé permet l'incorporation éventuelle d'éléments de structure fibreuse formés par tissage tridimensionnel de fils métalliques et/ou composites.

La pièce est obtenue à partir d'un premier élément d'outillage de forme allongée le long d'une première direction. La structure fibreuse obtenue par l'enroulement de fil métallique autour de ladite direction, d'une extrémité à l'autre du premier élément, permet de réaliser une pièce présentant une  
40 épaisseur variable le long de la première direction.

Comme indiqué plus haut, la pièce massive est avantageusement un bord de renforcement d'aube de soufflante de turboréacteur. On dispose alors de préférence les fils composites le long de la partie de la pièce formant le bord d'attaque.

5

## BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention est décrite plus en détail dans la présentation de modes de réalisation non limitatifs, en regard de dessins annexés sur lesquels

La figure 1 représente, en perspective un exemple d'aube de soufflante de turboréacteur équipé d'un exemple de pièce de renforcement ;

10

La figure 2 montre en perspective la pièce de renforcement ;

La figure 3 montre de façon schématique le mode d'enroulement d'un fil métallique autour du premier élément d'outillage ;

Les figures 4 et 5 montrent la préforme à l'intérieur d'outillage avant compression isostatique à chaud puis après traitement de compaction.

15

## DESCRIPTION DETAILLEE D'UN EXEMPLE DE REALISATION

La figure 1 représente une aube 1 de soufflante de turboréacteur. Elle comporte un pied 2 par lequel l'aube est fixée au rotor de la machine. Celui-ci est prolongé par une pale de profil aérodynamique, dans une direction radiale par rapport à l'axe de rotation de la soufflante. La pale 4 présente une face intrados 8 et une face extrados 6 s'étendant entre le bord d'attaque 10 à l'amont et le bord de fuite 12 à l'aval (par rapport à l'écoulement gazeux). Des pièces de renforcement peuvent être fixés sur le corps 7 de l'aube au niveau du bord de fuite et surtout au niveau du bord d'attaque 10 pour éviter ou retarder leur détérioration, notamment en cas d'impact.

20

25

Dans l'exemple représenté, une pièce de renforcement 20 est fixée sur le corps 7 de l'aube, elle-même réalisée en matériau composite organique, au niveau du bord d'attaque 10 de celle-ci. Le bord d'attaque 10 est formé au moins en partie par la pièce de renforcement 20 qui épouse la forme générale de l'aube.

30

L'aube de soufflante de la figure 1 est de forme tridimensionnelle, en étant vrillée suivant sa direction longitudinale et cambrée transversalement. La pièce de renforcement 20 est également de forme complexe comme on le voit sur la figure 2.

35

Plus précisément la pièce de renforcement s'étend longitudinalement suivant une première direction A et présente en section dans un plan P de coupe perpendiculaire à cette direction, une portion centrale 22 d'épaisseur relativement importante prolongée par des branches effilées 24. La pièce de renforcement 20 présente ainsi une partie centrale 21 longitudinale d'épaisseur importante bordée latéralement par deux flancs 23 longitudinaux amincis vers leur bord distal. La face extérieure 24E des flancs 23 vient dans la continuité

40

des faces extradados 6 et intrados 8. La face extérieure 22E de la partie centrale forme le bord d'attaque 10 de l'aube, une fois la pièce de renforcement 20 fixée sur le corps 7 de la pale.

On décrit maintenant un procédé de fabrication d'une pièce telle que la pièce de renforcement 20. Alors que le procédé décrit dans la demande de brevet FR 10 57799) comprend l'élaboration d'une préforme avec une structure fibreuse obtenue par tissage de fils métalliques associés à des fils enduits, ladite préforme étant disposée dans un outillage comprenant un premier élément et un deuxième élément d'outillage, le procédé de l'invention consiste essentiellement en l'élaboration d'une préforme avec une structure fibreuse obtenue par enroulement de fil métallique.

Sur la figure 3, on a représenté schématiquement un premier élément d'outillage 51, de préférence en superalliage, dont une face forme une partie de l'empreinte d'outillage. Ce premier élément de l'outillage 51 est de forme allongée dans une direction XX qui est ici un axe XX, avec une empreinte correspondant à la forme d'une partie de la pièce à obtenir ; il est pourvu de blocs de maintien 51A à ses extrémités. Le profil est ici conformé pour la réalisation d'une pièce 20 de renforcement d'aube de soufflante.

On réalise une préforme 25 en enroulant un fil métallique 36 autour de l'élément d'outillage 51. Le fil est déroulé depuis une bobine non représentée sur la figure. L'enroulement peut être effectué en tournant l'élément 51 autour de son axe XX tout en disposant le fil par rapport à cet axe de manière à ce qu'il soit toujours convenablement orienté, ici perpendiculaire à la tangente à la courbe du bord d'attaque.

Un autre mode d'enroulement consiste à monter l'élément d'outillage 51 sur une machine multi axes qui vient orienter l'élément tournant autour de son axe XX, par rapport au fil dont la bobine est fixe.

Pour l'application à la réalisation d'une pièce de renforcement d'aube de soufflante, le fil 36 utilisé est avantageusement un fil tréfilé en alliage de titane. Le fil métallique peut être unique ou bien il est possible d'enrouler des fils de différents diamètres en fonction des épaisseurs voulues sur certaines zones de la préforme. Des renforts peuvent être incorporés à la préforme en étant maintenus en place par les enroulements de fils métalliques. Par exemple, un insert en fils composites 38 peut être disposé le long de l'élément dans la zone à renforcer, telle que le bord d'attaque de l'aube. Ces fils composites comprennent une fibre centrale céramique 39 par exemple en carbure de silicium (SiC) enrobée 37 d'un alliage métallique tel qu'un alliage de titane ou un alliage d'aluminium dans le cas d'un fil métallique en aluminium.

D'autres renforts susceptibles d'être incorporés sont des inserts et/ou préformes à base de fils composites enduits tels que de SiC-Ti, SiC-Al SiC-SiC, SiC-bore ou de fils métalliques préformés ou tissés. De même, la préforme peut comprendre des feuillards à base de Ti, Al TiAl ou tout autre matériau compatible présentant des propriétés susceptibles de permettre le formage superplastique et le soudage diffusion.

Lorsque la préforme 25 est réalisée, elle est mise en place dans l'outillage. Comme on le voit sur les figures 4 et 5, le premier élément d'outillage 51 avec la préforme 25 est disposé dans un deuxième élément d'outillage 52 avec une empreinte adaptée pour conformer la pièce. L'ensemble des deux éléments 51 et 52 forme l'outillage 50. Celui-ci pourrait être formé de plusieurs éléments d'outillage dont l'un au moins constitue le premier élément autour duquel la préforme fibreuse est enroulée..

La préforme 25 est compactée dans l'outillage 50 complété par un couvercle approprié sous presse isotherme ou sous sac à l'autoclave par un traitement de compression isostatique à chaud sous vide : par exemple, elle est maintenue à 940°C pendant 120 minutes sous une pression de 1000 bars.

Après traitement on élimine, notamment par usinage, la partie 20A non utile de la pièce obtenue pour ne conserver que la partie 20 formant la pièce de renforcement. Cette pièce en métal comprend des renforts 39 en céramique.

Selon une variante du procédé, on réalise une paire de pièces de renforcement en enroulant un fil métallique autour de deux premiers éléments d'outillage assemblés le long d'un mandrin. Cette disposition permet d'optimiser la fabrication et réduire le coût de fabrication.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pièce métallique par réalisation d'une préforme (25) avec une structure fibreuse de fibres métalliques (36) et soumission de la préforme (25) à un pressage isostatique à chaud dans un outillage jusqu'à obtenir une pièce massive, l'outillage comprenant au moins un premier élément (51) avec une empreinte de moulage de la pièce, caractérisé par le fait que le premier élément d'outillage (51) est de forme allongée le long d'une direction XX entre deux extrémités, la structure fibreuse est réalisée au moins en partie par enroulement d'au moins un fil métallique (36) autour dudit premier élément (51) le long de ladite direction, d'une extrémité à l'autre.

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant l'incorporation de fils composites (38) dans la préforme (25), les fils composites comprenant des fibres céramiques (39), telles que de carbure de silicium, enrobées d'un métal (37), tel qu'un alliage de titane.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, la préforme comprenant des éléments de structure fibreuse formés par tissage tridimensionnel de fils métalliques et/ou composites.

4. Procédé selon la revendication précédente la pièce présentant une épaisseur variable le long de la direction XX.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes selon lequel le premier élément d'outillage (51) avec préforme (25) est assemblé avec au moins un deuxième élément d'outillage avec une empreinte adaptée pour conformer la pièce, et l'ensemble d'outillage (50) est soumis à un traitement de compression isostatique à chaud.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, la pièce (20) étant une pièce de renforcement d'aube, telle qu'une aube de soufflante de turboréacteur, l'aube étant par exemple en matériau composite organique.

7. Procédé selon la revendication précédente, la pièce (20) formant un renfort du bord d'attaque de l'aube.

8. Procédé selon la revendication précédente la préforme comprenant des fils composites (39) le long de la partie de la pièce formant le bord d'attaque de l'aube.

1 / 2

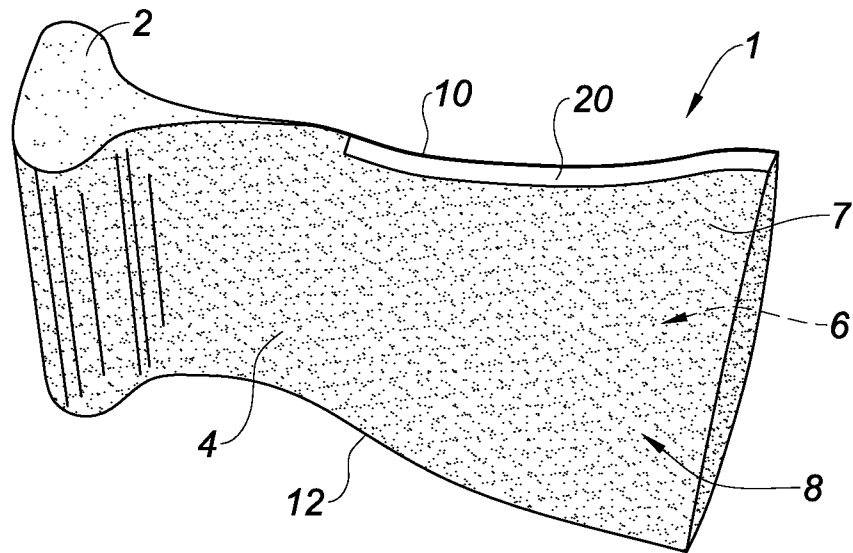


Fig. 1

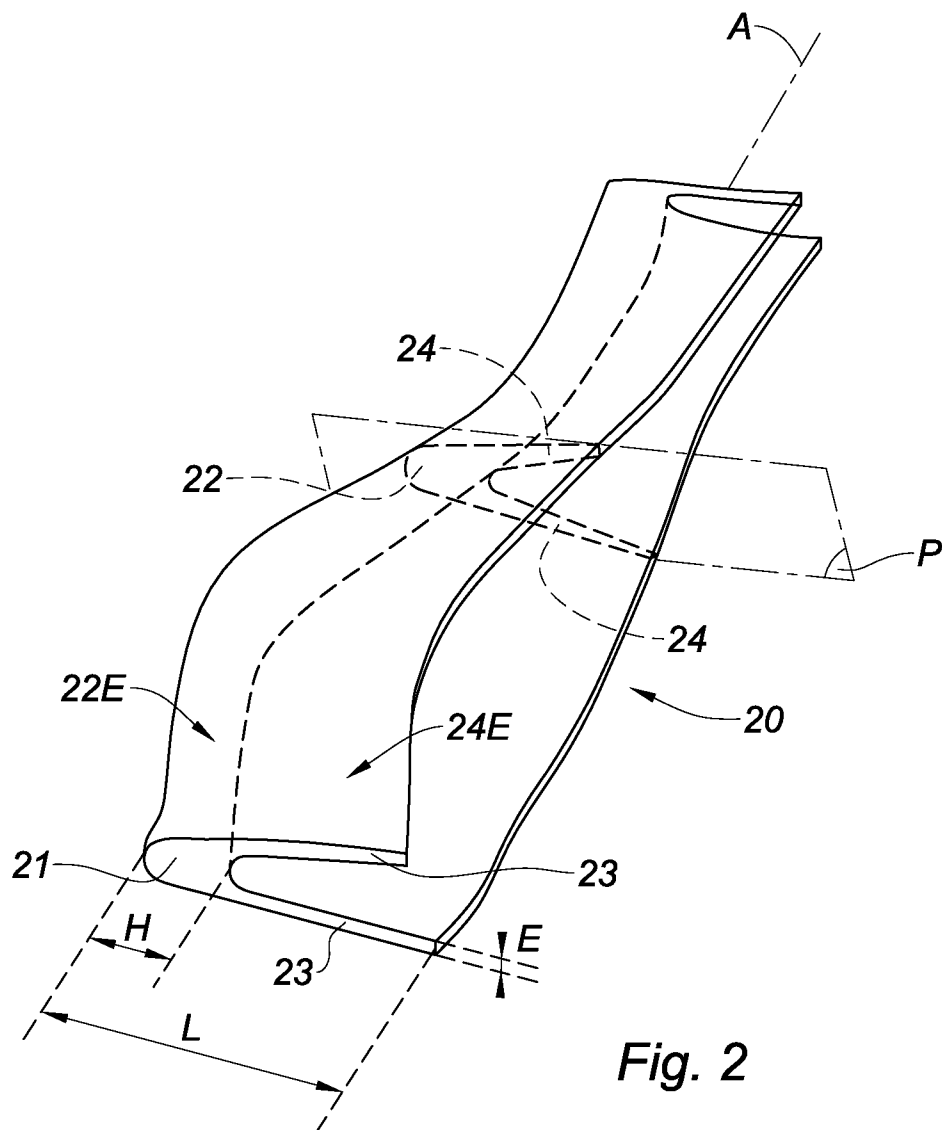


Fig. 2

2 / 2

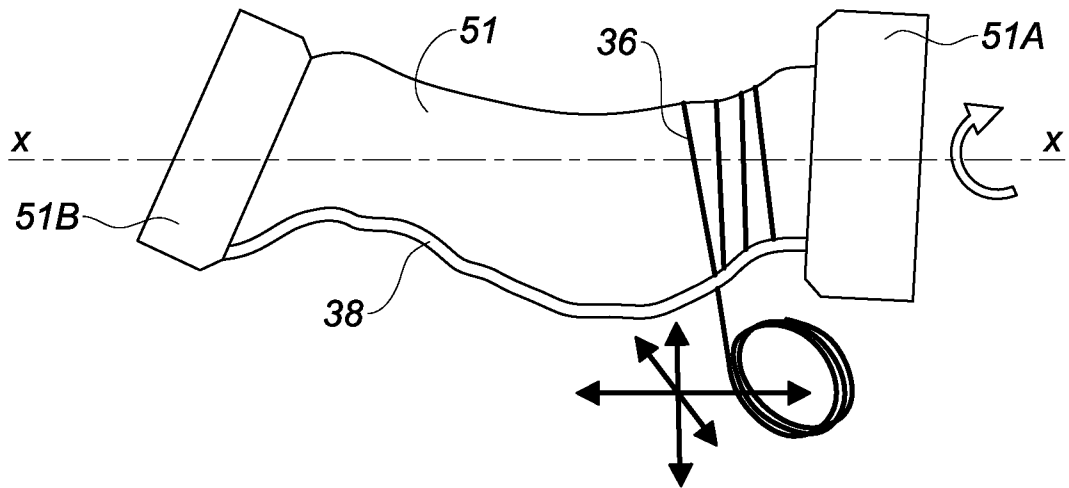


Fig. 3

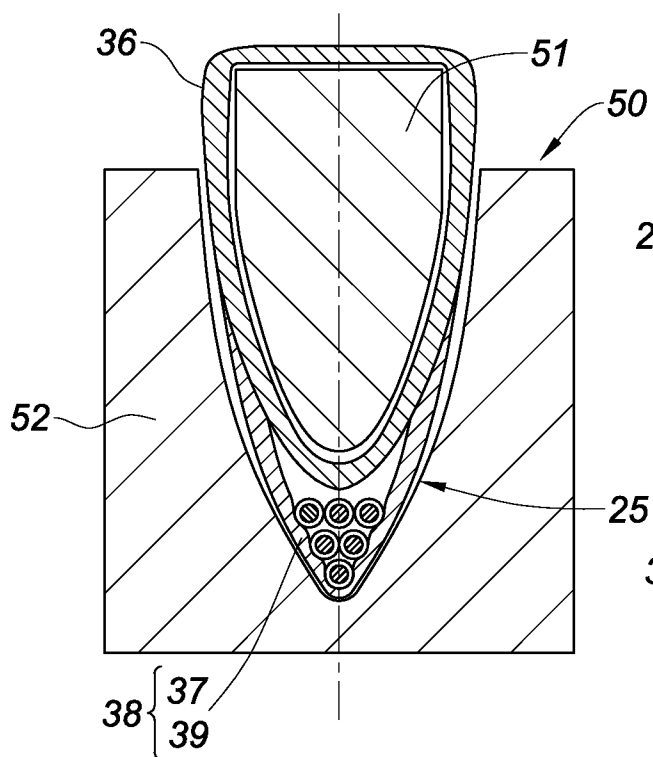


Fig. 4

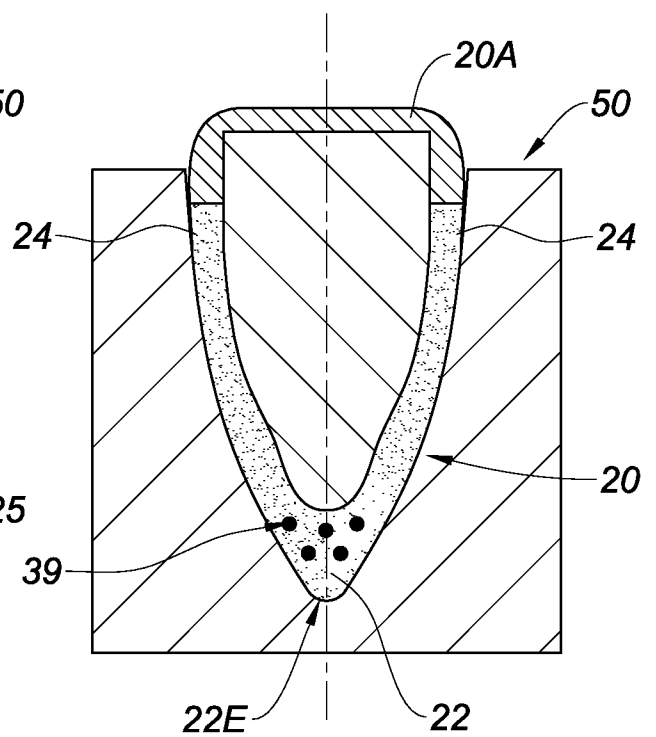


Fig. 5