(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 614 487 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
17.01.2007 Bulletin 2007/03

(51) Int Cl.:
B21K 3/04 *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **05105968.1**

(22) Date de dépôt: **30.06.2005**

(54) **Procédé de construction géométrique d'un cordon de bavure de forgeage de pièce complexe**

Verfahren zur geometrischen Konstruktion eines Grats eines geschmiedeten Werkstückes mit komplexer Form

Process of geometric construction of a flash for forging a workpiece of complex shape

(84) Etats contractants désignés:
DE FR GB

(30) Priorité: **09.07.2004 FR 0451497**

(43) Date de publication de la demande:
11.01.2006 Bulletin 2006/02

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
- **Plazanet, Jean-Claude**
  95100, Argenteuil (FR)
- **Louesdon, Yvon, Marie, Joseph**
  95150, Taverny (FR)

(74) Mandataire: **David, Daniel et al**
Cabinet Bloch & Associés
2, square de l'Avenue du Bois
75116 Paris (FR)

(56) Documents cités:
GB-A- 584 623
US-A- 2 987 806
US-A- 5 187 967

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 614 487 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] La présente invention concerne la construction géométrique des gravures des matrices de presse et plus précisément des cordons de bavure et leurs dégagements prévus sur la périphérie des gravures pour forger des pièces complexes, ici des aubes de turbomachines.

[0002] La bavure est le moyen par lequel on parfait le remplissage de la gravure par la matière lors du forgeage des pièces. En ménageant un cordon de bavure approprié, on fait en sorte que la matière enfermée ait obligation à remplir prioritairement la cavité de la gravure avant de s'en échapper. Le cordon de bavure permet l'évacuation du surplus de matière au sortir de la gravure.

[0003] Outre le bon écoulement de la matière, l'optimisation de la forme du cordon de bavure permet une bonne répétitivité des pièces obtenues et une diminution des efforts de forgeage, ce qui entraîne une augmentation de la durée de vie des outillages de presse.

[0004] Cette optimisation dépend notamment de la température de la pièce et des outillages, de leur coefficient de frottement mutuel, et de la forme de l'ébauche de la pièce avant le forgeage.

[0005] Pour déterminer la géométrie du cordon de bavure, on utilise en particulier la définition de la forme de la pièce forgée. Pour des pièces complexes telles que des aubes de turbomachines, il faut définir les caractéristiques des sections transversales de la pale, dans le sens de l'épaisseur, des cordons de bavure pour les raccorder en prolongement des sections transversales de la pale à partir des caractéristiques physiques ci-dessus.

[0006] Pour des outillages de matriçage d'aubes de turbomachines, les calculs sont fastidieux (des milliers de points à définir pour la construction d'une matrice) et par suite le procédé est coûteux. De plus le risque d'erreurs de saisie est important et peut entraîner l'apparition d'ondulations parasites dans les surfaces définissant les cordons de bavure.

[0007] La demanderesse a cherché à améliorer ce processus.

[0008] A cet effet l'invention concerne un procédé de construction géométrique d'un cordon de bavure, à prévoir dans une matrice de forgeage d'aube de turbomachine en fonction de paramètres déterminés, l'aube comportant une pale et la pale étant définie par sections planes selon des plans prédéterminés, et le cordon de bavure et le dégagement de bavure étant à définir selon lesdits plans pour obtenir des sections planes de la pale et du cordon, procédé caractérisé par le fait que :

- on choisit au moins trois sections de référence de la pale selon des plans de référence correspondants au bas, milieu et sommet de pale,
- dans lesdits plans de référence, on détermine la longueur du cordon de bavure et une distance de retrait pour les trois sections de référence,
- dans lesdits plans prédéterminés, on construit par interpolation les sections intermédiaires du cordon et du dégagement de bavure à partir desdites sections de référence.

[0009] De préférence, avant de calculer les sections intermédiaires du cordon et de son dégagement, on effectue différentes déterminations de paramètres de cordon de bavure en faisant varier les dits paramètres dans les sections de référence.

[0010] De préférence également, la pale de l'aube de turbomachine ayant un bord d'attaque et un bord de fuite, les sections des cordon de bavure et dégagement correspondants aux bords d'attaque et de fuite sont déterminées simultanément.

[0011] Les sections intermédiaires du cordon de bavure et de son dégagement peuvent ainsi être en grande partie calculées automatiquement, ce qui permet un gain de temps considérable.

[0012] Avantageusement, pour déterminer les sections transversales intermédiaires du cordon et de son dégagement, on utilise une interpolation polynomiale.

[0013] De préférence encore, après interpolation on procède au redressement des dégagements de bavure pour d'une part éviter la création de surfaces en contre dépouille ou sensiblement verticales pouvant fragiliser la matrice, et d'autre part pour réduire les écarts de hauteur de sommet de l'aube.

[0014] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante du procédé de détermination de cordon de bavure en référence au dessin annexé, dans lequel :

- les figures 1 et 2 représentent une vue perspective de l'ensemble des sections planes Pi et des sections de référence choisies parmi ces sections planes pour une aube de turbomachine, ainsi que des sections du cordon de bavure générées avant redressement ;
- la figure 3 est une figure géométrique montrant les différents points caractéristiques de définition d'une section de bord d'attaque ou de fuite d'une aube de turbomachine ainsi que ceux du raccordement du cordon de bavure et de son dégagement aux dits bords, points utilisés dans le procédé selon l'invention,
- la figure 4 représente une vue perspective de l'ensemble des sections de la pièce, du cordon de bavure et du

dégagement de bavure correspondant non redressé d'une aube de turbomachine, et redressé lorsque nécessaire ;

- la figure 5 représente une vue de l'outillage de presse pour forger une aube de turbomachine, montrant l'axe de frappe, le plan de frappe et les angles du dégagement de bavure non redressé et redressé d'une section plane du cordon de bavure et du dégagement de bavure correspondant;
- la figure 6 représente une vue perspective des surfaces, cordon et dégagement de bavure d'une matrice de presse pour forger une aube de turbomachine, en regard l'une de l'autre, montrant le résultat de l'interpolation après application du procédé de l'invention ; et
- la figure 7 représente une vue perspective de la surface définitive d'une matrice de forge d'une aube de turbomachine.

[0015] En référence à la figure 1, une pale 10 d'aube de turbomachine comporte les deux surfaces intrados et extrados comprises entre un bord d'attaque BA et un bord de fuite BF, d'une part, et un bout de pale 9 et un pied de pale 8, d'autre part. Entre l'intrados et l'extrados, l'aube est constituée d'une matière 1 forgée au moyen d'une machine de forge (non représentée) de puissance donnée et agissant sur un outillage de presse constitué de deux matrices qui seront évoquées par la suite.

[0016] La pale 10 est définie géométriquement par des sections Si planes situées dans des plans Pi prédéterminés, à l'intersection de ces plans avec l'intrados 2" et l'extrados 2'.

[0017] Ces sections sont aussi celles des matrices lorsqu'elles sont en position de forgeage de la pièce ou de l'aube lors de son forgeage. Elles ne seront plus distinguées les unes des autres dans la suite du document.

[0018] Lors d'une première étape initiale, il est nécessaire de choisir au moins trois plans 8, 10, 9 de référence Pa, Pb et Pc, fournissant trois sections Sa, Sb, Sc. Les trois sections de référence permettent de déterminer des paramètres de construction du cordon. C'est ce qui a été fait dans la figure 2, les trois sections de référence étant les sections S2, S6, S11 correspondant aux pied, milieu et sommet de pale.

[0019] A une seconde étape dite de vérification, on construit géométriquement les cordons de bavure 5 et leur dégagement 6 correspondant uniquement pour les sections Sa, Sb et Sc, côté BA et côté BF.

[0020] La construction s'appuie sur les éléments géométriques montrés en figure 3, sur laquelle on reconnaît les intersections de l'intrados 2" et de l'extrados 2' avec un plan Pj de référence pris dans l'ensemble Pa, Pb et Pc, et la trace sur Pj du bord d'attaque BA ou de fuite BF.

[0021] Les éléments complémentaires suivants sont ici utilisés :

- la courbe squelette 3 ensemble des points centres de cercles 4 tangents simultanément à l'extrados (en 4') et à l'intrados (en 4"),
- un point de mesure 11 issu de la définition de CAO (conception assistée par ordinateur) de la pièce et servant de point de contrôle ou de mesure pour la pièce finie.

[0022] Ces éléments font partie de la définition géométrique de l'aube ou des matrices, qui est disponible sur un support informatique sous un format de CAO quelconque.

[0023] On définit en plus, dans le plan Pj, la tangente 12 à la courbe squelette 3 au point de mesure 11, et sur cette tangente, les éléments géométriques suivants :

- le point de retrait 13, situé entre le point de mesure 11 et le bord d'attaque BA, ou le bord de fuite BF selon le cas, à une distance de retrait d du point de mesure 11,
- à une distance *l* du point de retrait 13, et dans le prolongement du point de retrait par rapport au point de mesure, le point de dégagement 14, délimitant un segment de longueur *l*, longueur théorique du cordon de bavure.
- α l'angle d'ouverture du dégagement de bavure et R = h/2, le rayon du cercle tangent au dégagement de bavure définissent la longueur du dégagement de bavure ainsi que la hauteur du dégagement entre matrices.
  En général, la valeur de l'angle α est de 60°.

[0024] Les cordons de bavure sont définis par deux dimensions, la longueur λ et son épaisseur ε, elles sont liées par la relation λ/ε. Elles sont fixées à partir d'un critère de complexité relative à la forme de la pièce et au type d'engin utilisé. Par exemple, pour une pièce en acier, forgée à 1050°C sur une presse à vis, la longueur réelle du cordon doit être :

$$\lambda = (\text{ plus grande largeur de la pièce })^{1/2}$$

Pour une pièce en titane, forgée à une température de 940°C, λ est moitié moindre.

[0025] Tous ces éléments permettent de définir les points caractéristiques théoriques de la section, appelée optimale, du cordon de bavure et du dégagement de bavure correspondant par le plan Pi :

- les points théoriques 13' et 13" respectivement intersections des courbes 2' (extrados) et 2" (intrados) avec la droite dr, normale à la courbe squelette et passant par le point 13, distante, d'une certaine distance dite de retrait, du point de mesure 11 du bord d'attaque ou de fuite de la pale
- les parallèles T' (extrados) et T" (intrados) à la tangente 12 passant respectivement par 13' et 13"
- les points théoriques 14' et 14" respectivement intersections de la perpendiculaire N1 menée du point de dégagement 14 à la tangente 12 avec les parallèles T' et T",
- les points théoriques 16' et 16" respectivement intersections des demi droites parallèles 21' et 21 " tangente au cercle de rayon h/2 et les demi-droites 20' et 20".

[0026] Les segments 15' définis par les points 13'-14', 20' définis par les points 14'-16', la demi droite 21' d'une part, et les segments 15" définis par les points 13"-14", 20" définis par les points 14"-16", la demi droite 21" d'autre part déterminent la section, appelée optimale théorique, du cordon de bavure 5 et du dégagement de bavure 6 correspondant dans le plan Pj.

[0027] Pour obtenir les points géométriques caractéristiques de la section optimale du cordon et du dégagement réellement utilisés pour la fabrication des matrices de l'outillage de presse, points repérés par les lettres A', B', C', D', E', F' côté extrados et les lettres A", B", C", D", E", F" côté intrados, on introduit trois rayons de raccordement R1, R2, R3 respectivement, comme montrés sur la figue 3, et les coordonnées des points géométriques ci-dessus. Il faut que R1 ne soit pas trop grand de façon à ne pas toucher le point de mesure d'une part et suffisamment grand pour qu'il n'y ait pas d'arête entre le cordon de bavure et la pale d'autre part. Autrement dit, A' et A" sont, sur la figure 3, à droite de la normale N. On obtient en définitive une longueur de cordon utile B'C' ou B"C' égale à la longueur λ.

[0028] Ainsi on procède pour chaque plan de référence Pa, Pb, Pc et on obtient des sections planes globales, ainsi appelées parce que réunion des sections de la pièce, du cordon et du dégagement dans ces plans de référence, donc assemblage des sections de référence Sa, Sb, Sc et des sections optimales du cordon de bavure et de son dégagement.

[0029] A une troisième étape, dite de choix, on détermine les paramètres *l* et d, puis les raccordements R1 et R2 dans les sections Pa, Pb, Pc. Ces paramètres variables, vont permettrent d'obtenir la longueur λ du cordon de bavure la mieux adaptée à la pièce.

[0030] Une fois les paramètres déterminés, on passe à une étape d'interpolation, pour obtenir les sections optimales du cordon et de son dégagement dans tous les plants Pi.

[0031] L'interpolation, automatique, peut être linéaire, quadratique, cubique, en résumé polynomiale, et on obtient ainsi les sections optimales 5 et 6 de la figure 2 pour tous les plans Pi. Ces sections optimales sont aussi montrées sur la figure 4 par le détail des segments 15', 15", 20', 20" du plan Pi.

[0032] Les sections des cordons de bavures correspondant aux bords d'attaque et de fuite peuvent être calculées simultanément, mais avec des paramètres différents, comme la longueur théorique *l* du cordon, la distance de retrait définissant son épaisseur ε , la hauteur h, l'angle α, etc.....

[0033] Cependant, en référence à la figure 5, le résultat de l'interpolation automatique peut, pour certaines valeurs extrêmes de i, près du pied de l'aube par exemple, ne pas être acceptable et fournir des segments, tels que C13, mal orientés par rapport à l'orientation de la frappe Fo de la machine de forge. Dans l'exemple de la figure, la matrice ne peut repousser la matière dans l'angle de dégagement.

[0034] C'est lors d'une quatrième étape, dite de redressement, qu'on redresse les segments C11, C12 et C 13, mal orientés, selon des segments C"12, C"11 et C"10.

[0035] Pour réaliser les dégagements de bavure il faut choisir les sections de références BA et BF côté pied de l'aube et sommet de l'aube. En choisissant quatre sections de référence, deux coté BA, s3 au pied et s9 au bout de pale, et deux coté BF, s4 au pied et s8 au bout de pale, pour redresser l'orientation des dégagements de bavure, le procédé de construction permet d'obtenir des surfaces parfaitement lissées.

[0036] Les segments C10 et C20 de la section de référence sont projetés sur la section précédente ou suivante, représentée C'10, selon que l'on se trouve vers le pied ou le sommet de l'aube. Par les points 18' et 18" de la FIG 3 et reportés sur la figure 5, on mène les parallèles à C'10 et C'20 respectivement, puis on construit les bissectrices entre C11 et C"10 parallèle à C'10 passant par le point 18, d'une part et C21 et C"20 de la même façon par le point 18"d'autre part. Ces segments qui sont les nouveaux dégagements de bavure donc les segments de référence sont projetés sur la section précédente ou suivante et ainsi de suite.

[0037] Un programme prévu à cet effet peut permettre de faire plusieurs essais pour choisir les sections de référence qui donnent le meilleur résultat. Le redressement des dégagements de bavure est ainsi réalisé en une seule opération.

[0038] Après avoir redressé l'orientation des dégagements de bavure, on effectue la construction des surfaces définissant les cordons de bavure théorique et les dégagements associés qui vont servir à la réalisation de l'outillage de presse comme montrée sur les figures 6 et 7.

[0039] Sur la figure 6, les deux surfaces de contact des matrices de forge d'une aube de turbomachine y sont montrées face à face, et on y distingue les surfaces des matrices 110 et 120 :

- 101' pour la pale,
- 102' pour le raccordement rayon R1,
- 103' pour le cordon utile,
- 104' pour raccordement de rayon R2,
- 105' pour le dégagement de bavure,
- 106' pour le raccordement de rayon R3,
- 107' pour le dégagement de l'outillage, correspondant à la demi droite 21 '

[0040] La matrice 120 y est représentée par les mêmes éléments correspondants, les surfaces correspondant à X' étant ici repérées X".

[0041] La figure 7 représente la matrice 120 seule par ses éléments figurant déjà sur la figure 6.

Revendications

1. Procédé de construction géométrique d'un cordon (5) de bavure, à prévoir dans une matrice (110, 120) de forgeage d'une aube de turbomachine, en fonction de paramètres (*l*, d, ε, α, h) déterminés, l'aube comportant une pale (10) et la pale étant définie par sections planes (Si) selon des plans prédéterminés (Pi) et le cordon de bavure (5) et son dégagement de bavure étant à définir selon lesdits plans prédéterminés pour obtenir des sections planes de la pale et du cordon, procédé **caractérisé par le fait que** :

   - on choisit au moins trois sections (Sa, Sb , Sc) de référence de la pale selon des plans de référence (Pa, Pb, Pc) correspondant aux bas, milieu et sommet de pale,
   - dans lesdits plans de référence, on détermine la longueur (λ) du cordon de bavure et une distance (d) de retrait pour les trois sections de référence,
   - dans lesdits plans prédéterminés, on construit par interpolation les sections intermédiaires du cordon et du dégagement de bavure à partir desdites sections de référence.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, avant de calculer les sections intermédiaires du cordon et de son dégagement, on effectue différentes déterminations de paramètres de cordon de bavure en faisant varier les dits paramètres dans les sections de référence.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel les sections des cordon et dégagement de bavure correspondants aux bords d'attaque (BA) et de fuite (BF) sont calculées simultanément.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel, pour déterminer les sections intermédiaires du cordon et du dégagement de bavure, on utilise une interpolation polynomiale.

5. Procédé selon les revendications 1 à 4, dans lequel, après interpolation, on redresse l'orientation des sections du dégagement (20', 20") de bavure pour en supprimer les contre dépouilles ou les parois sensiblement verticales.

Claims

1. Geometrical construction of a flash land (5), to be provided in a die (110, 120) for the forging of a turbomachine vane, in accordance with determined parameters (*l*, d, ε, α, h), where the vane includes a blade (10), the blade is defined by plane sections (Si) according to predetermined planes (Pi), and the flash land (5) and its flash gutter must be defined in accordance with the said predetermined planes to obtain plane sections of the blade and of the flash land, a process which is **characterised by** the fact that:

   - one chooses at least three reference sections (Sa, Sb, Sc) of the blade in reference planes (Pa, Pb, Pc) corresponding to the root, middle and tip of the blade,
   - in the said reference planes, one determines length (λ) of the flash land and a shrinkage distance (d) for the three reference sections,
   - in the said predetermined planes, one constructs, by interpolation, the intermediate sections of the flash land and flash gutter from the said reference sections.

2. A process according to claim 1, in which, before calculating the intermediate sections of the flash land and its gutter,

one effects different determinations of flash land parameters by varying the said parameters in the reference sections.

3. A process according to either of claims 1 and 2, in which the sections of the flash land and the corresponding flash gutter at the leading (BA) and trailing (BF) edges are calculated simultaneously.

4. A process according to either of claims 1 to 3, in which, in order to determine the intermediate sections of the flash land and of the flash gutter, one uses a polynomial interpolation technique.

5. A process according to claims 1 to 4, in which, after interpolation, one rectifies the orientation of the sections of the flash gutter (20', 20") in order to remove the undercuts or vertical walls.

Patentansprüche

1. Verfahren zur geometrischen Konstruktion einer in einer Matrize (110, 120) zum Formschmieden einer Turbomaschinen-Schaufel vorzusehenden Gratbahn (5) in Abhängigkeit von bestimmten Parametern (l, d, ε, α, h), wobei die Schaufel ein Schaufelblatt (10) aufweist und das Schaufelblatt mit ebenen Querschnitten (Si) gemäß vorbestimmten Ebenen (Pi) gebildet ist, und wobei die Gratbahn (5) und ihr Gratkantenauslauf gemäß diesen vorbestimmten Ebenen geformt werden müssen, um ebene Querschnitte des Schaufelblatts und der Gratbahn zu erhalten, **dadurch gekennzeichnet,**
dass

   - mindestens drei Bezugsquerschnitte (Sa, Sb, Sc) des Schaufelblatts gemäß Bezugsebenen (Pa, Pb, Pc), die dem unteren Teil, dem mittleren Teil und der Spitze des Schaufelblatts entsprechen, gewählt werden,
   - in den genannten Bezugsebenen die Länge (λ) der Gratbahn und eine Schwindstrecke (d) für die drei Bezugsquerschnitte bestimmt wird,
   - in den genannten bestimmten Ebenen durch Interpolation die zwischenliegenden Querschnitte der Gratbahn und des Gratkantenauslaufs von diesen Bezugsquerschnitten aus konstruiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei vor der Berechnung der zwischenliegenden Querschnitte der Gratbahn und ihres Gratkantenauslaufs verschiedene Bestimmungen von Gratbahn-Parametern ausgeführt werden, indem diese Parameter in den Querschnitten variiert werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, wobei die Querschnitte der Gratbahn und des Gratkantenauslaufs, die der Vorderkante (BA) und der Hinterkante (BF) entsprechen, simultan berechnet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei zur Bestimmung der zwischenliegenden Querschnitte der Gratbahn und des Gratkantenauslaufs eine Polynominterpolation verwendet wird.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, wobei nach Interpolation die Ausrichtung der Querschnitte des Gratkantenauslaufs (20', 20") im Gesenk gerichtet wird, um Unterschneidungen dessen oder im Wesentlichen vertikale Wände zu beseitigen.

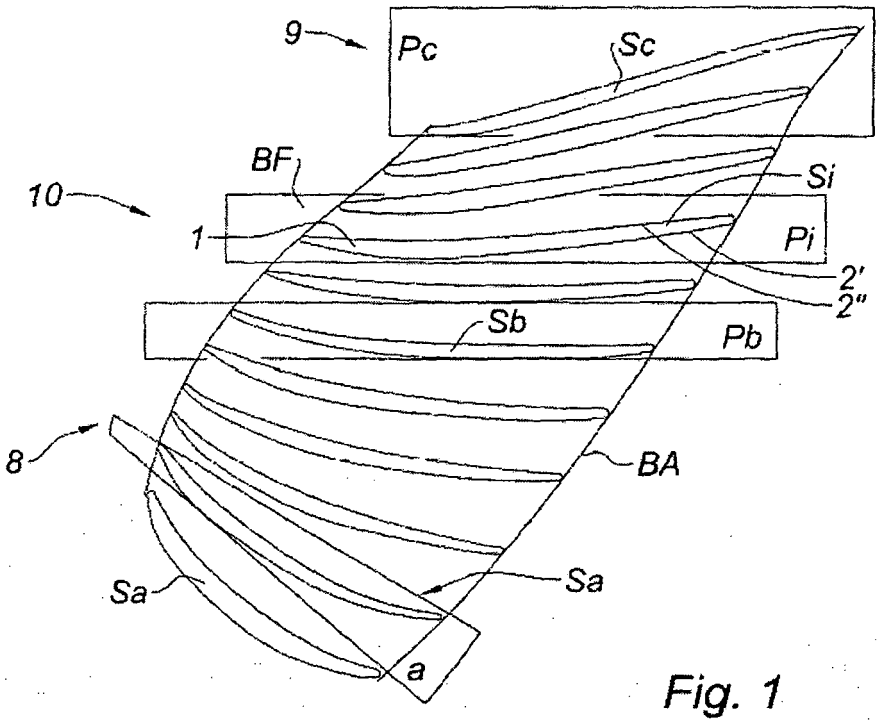


Fig. 1

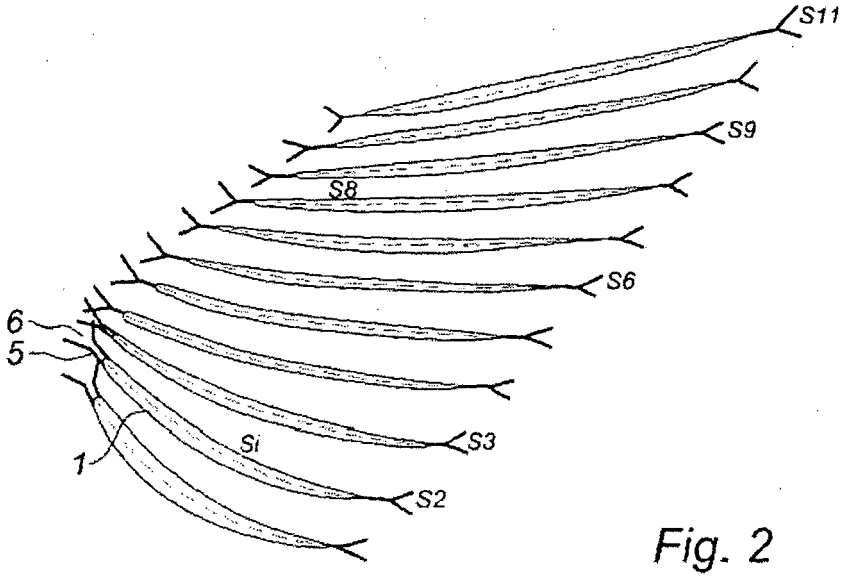


Fig. 2

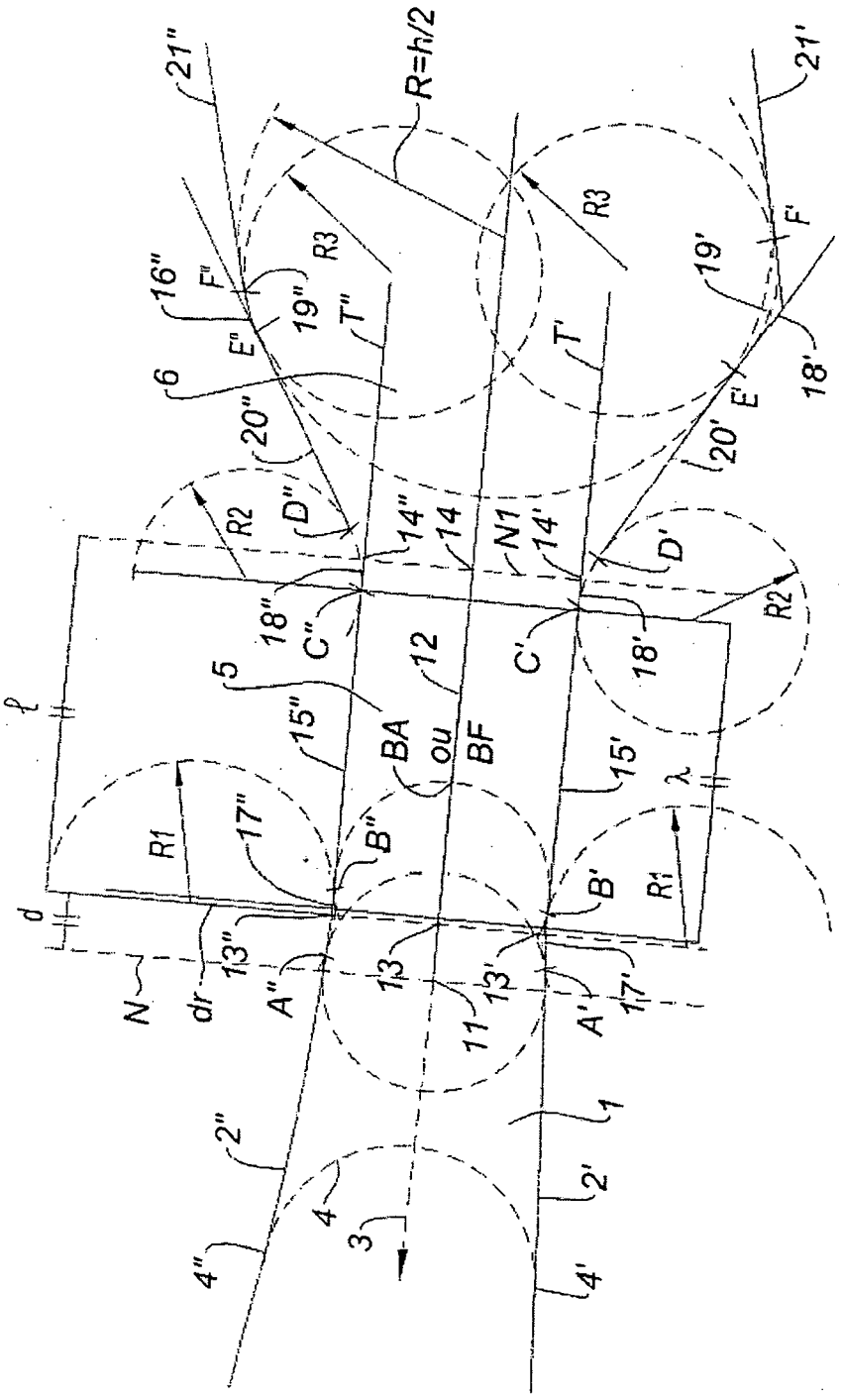

21"
R=h/2
21'
16"
F"
R3
R3
19'
F'
19"
T"
T'
E"
6
E'
18'
20"
20'
R2
D"
14"
14
N1
14'
D'
18"
C"
C'
18'
R2
5
12
15"
BA
ou
BF
15'
λ
ℓ
R1
17"
B"
B'
R1
d
13"
13
13'
17'
N
dr
A"
A'
11
1
2"
2'
4
3
4"
4'

Fig. 3

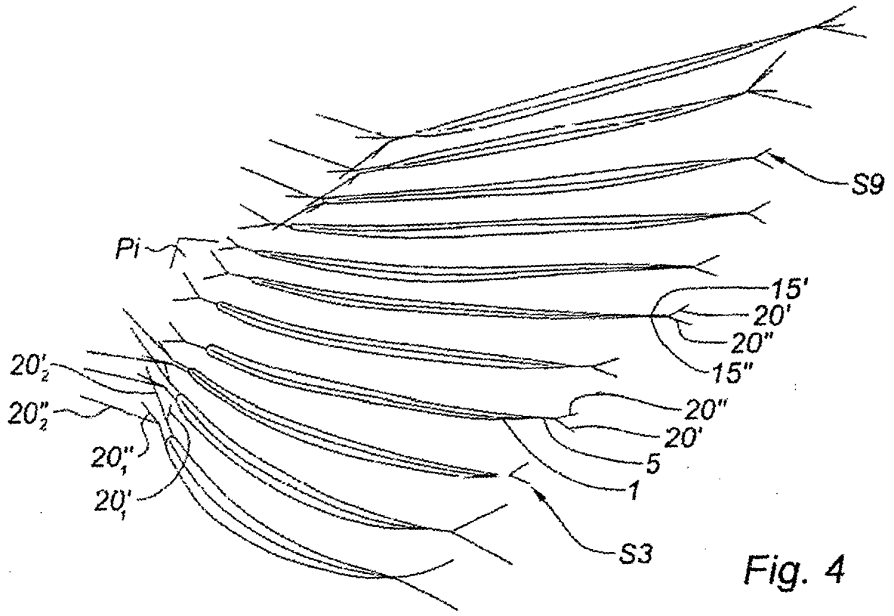

S9
Pi
15'
20'
20"
15"
20"
20'
5
1
S3
20'2
20"2
20"1
20'1

Fig. 4

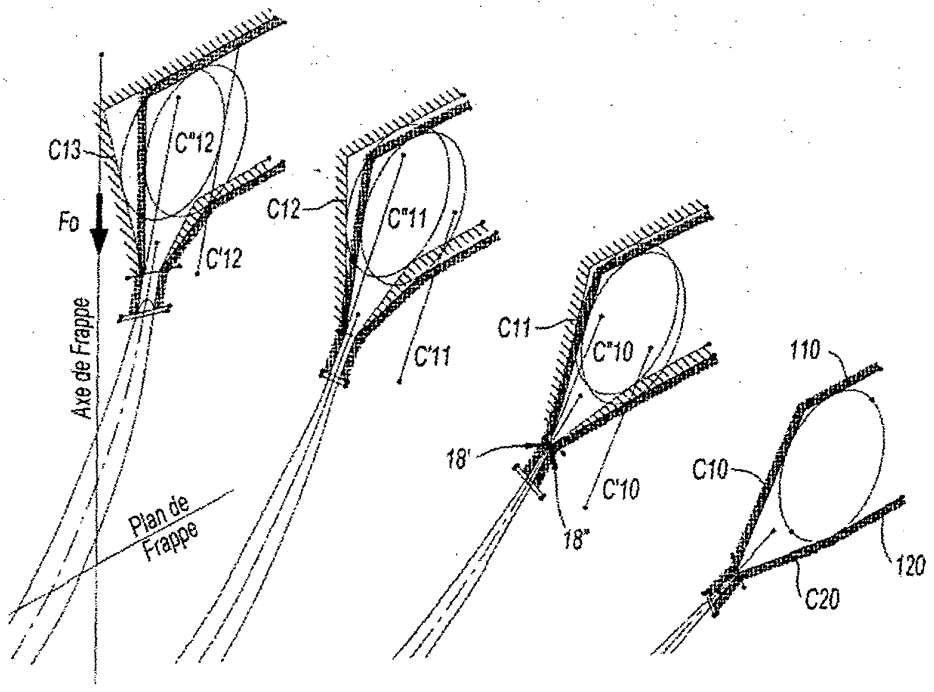

C13
C"12
Fo
C'12
C12
C"11
C'11
C11
C"10
C'10
110
18'
18"
C10
120
C20
Axe de Frappe
Plan de Frappe

Fig. 5

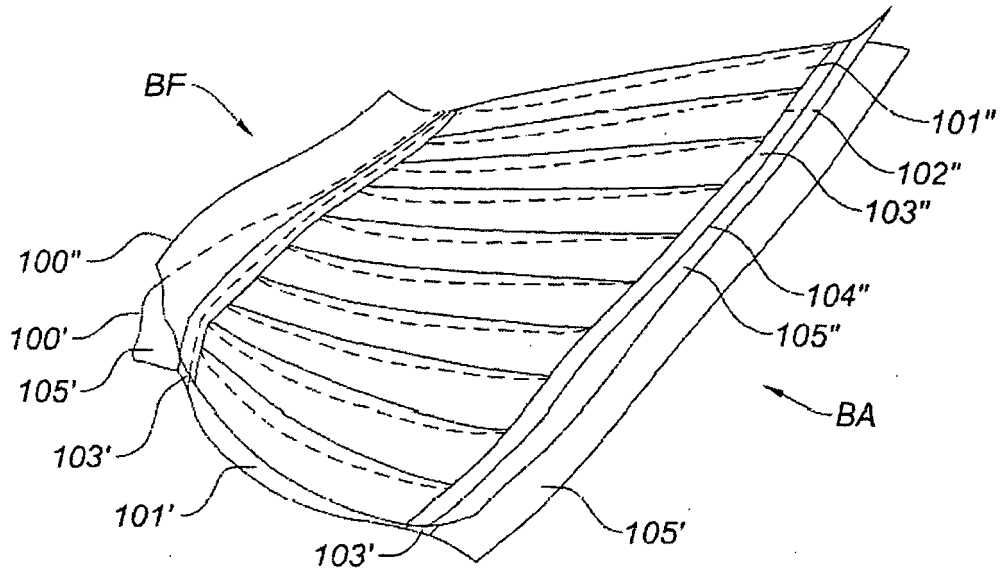

BF
101"
102"
103"
100"
104"
100'
105"
105'
BA
103'
101'
103'
105'

Fig. 6

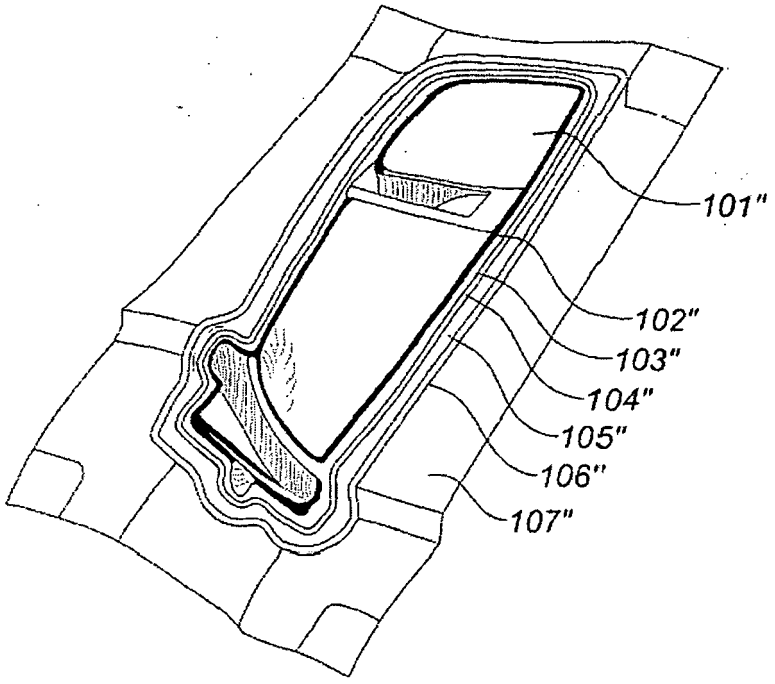

101"
102"
103"
104"
105"
106"
107"

Fig. 7