

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt: **89400273.2**

⑤① Int. Cl.4: **B 21 J 5/08**  
**B 21 K 3/04**

⑳ Date de dépôt: **01.02.89**

③① Priorité: **03.02.88 FR 8801227**

④③ Date de publication de la demande:  
**06.09.89 Bulletin 89/36**

⑥④ Etats contractants désignés: **DE FR GB**

⑦① Demandeur: **SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET DE CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION, "S.N.E.C.M.A."**  
**2 Boulevard Victor**  
**F-75015 Paris (FR)**

⑦② Inventeur: **Lorieux, Alain Georges Henri**  
**9, rue du 11 Novembre**  
**F-95110 Sannois (FR)**

⑦④ Mandataire: **Moinat, François et al**  
**S.N.E.C.M.A. Service des Brevets Boîte Postale 81**  
**F-91003 Evry Cédex (FR)**

⑤④ **Procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage, notamment pour aubes de compresseur et outillage de mise en oeuvre.**

⑤⑦ Le procédé de refoulage comporte au moins deux étapes successives durant lesquelles, au moins à partir d'un premier stade de déformation, au cours de la première étape un contact est maintenu entre au moins trois génératrices (5a, 5b, 5c, 5d) de la barre (1b) à refouler et la surface intérieure d'un premier conteneur (2) qui comporte, entre deux desdites lignes de contact respectivement, une excroissance en creux longitudinale formant en section transversale une partie lobée (4a, 4b, 4c, 4d) et au cours de la deuxième étape, un contact est maintenu entre les génératrices (1d, 1e, 1f, 1g) de sommet des excroissances longitudinales de l'ébauche (1c) obtenue à la première étape et la surface intérieure d'un deuxième conteneur (6).

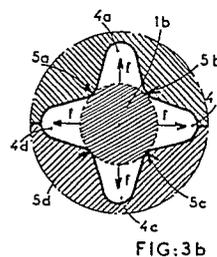


FIG. 3b

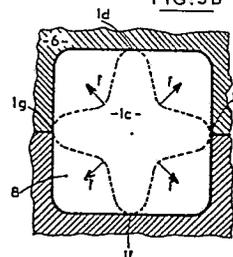


FIG. 4b

## Description

### PROCEDE DE FABRICATION D'EBAUCHES FORGEES EN BARRE PAR REFOULAGE, NOTAMMENT POUR AUBES DE COMPRESSEUR ET OUTILLAGE DE MISE EN OEUVRE

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulement ainsi qu'un outillage destiné à la mise en oeuvre dudit procédé. Elle concerne également une aube de compresseur de turbomachine dont la fabrication comporte l'application dudit procédé de refoulement.

Il est courant dans la fabrication de certaines pièces telles que des aubes de compresseur à partir d'ébauches forgées d'effectuer une opération de refoulement de l'extrémité d'une barre cylindrique afin d'obtenir par augmentation de la section le volume de matière nécessaire, par exemple, à la réalisation du pied dans le cas d'une aube.

Dans les données de définition d'une telle opération de refoulement, on peut retenir deux types de paramètres :

- des paramètres technologiques tel que le taux de refoulement  $t$ , défini par :

$$t = (L_0 - L_1)/D_0$$

où  $L_0$  est la longueur initiale de la portion de barre à refouler,

$L_1$  est la longueur de cette même portion après refoulement,

$D_0$  est le diamètre initial de la barre à refouler ;

$L_0 - L_1$  représente la course utile du poinçon de la machine de forgeage utilisée et la limite supérieure de cette course est une donnée de construction de ladite machine ;

- des paramètres métallurgiques et notamment le rapport de réduction  $r$  défini par :

$$r = L_0/L_1 = S_1/S_0 = (D_1/D_0)^2$$

où  $S_0$  est la section transversale initiale de la barre,  $S_1$  est la section transversale de la barre après refoulement et  $D_1$  est le diamètre correspondant.

Dans les diverses applications connues du procédé de refoulement, il apparaît que pour éviter des défauts inacceptables sur les ébauches obtenues, le procédé est soumis à des limitations géométriques. Ces défauts dus à une maîtrise insuffisante de la déformation au cours de l'opération consistent notamment en replis qui peuvent être dus à un phénomène de flambage de la portion de barre à refouler ou en un fibrage perturbé, dû à un phénomène de torsion de la barre après flambage.

Les figures 1a, 1b, 1c, 1d des dessins joints en annexe illustrent la réalisation d'un refoulement sur une barre B, placée dans un conteneur A, au cours duquel lors de quatre opérations successives correspondant respectivement aux quatre figures, une réduction de longueur  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  et  $l_4$  est obtenue et les phénomènes qui viennent d'être signalés (flambage puis torsion) apparaissent conduisant aux défauts qui ont été notés (replis et fibrage perturbé).

Il est couramment admis que pour éviter ces défauts, une valeur limite supérieure du taux de refoulement  $t$  de 4 lorsque le refoulement est effectué en une opération ou de 6 lorsqu'il est effectué en deux opérations successives doit être respectée. Une limitation du rapport  $D_1/D_0$  de 1,5 à 2 suivant le type d'alliage concerné est également fixée quelquefois.

Diverses tentatives d'amélioration ont recherché à dépasser les limitations géométriques imposées jusqu'à présent sans encourir l'apparition des défauts. On a ainsi tenté d'effectuer l'opération de refoulement au moyen d'un outillage animé d'un mouvement de nutation sur l'extrémité à refouler de la barre, celle-ci étant simultanément déplacée vers la zone de travail d'une longueur correspondant au volume à déformer. On a également tenté d'effectuer un refoulement en plusieurs passes en avançant successivement, à chaque passe, la barre d'une longueur correspondant au volume à déformer. Des exemples de telles réalisations sont donnés par FR-A-2050 483, FR-A-2050 484, et par FR-A-2220 328. Dans ces procédés, les résultats n'ont pas été entièrement satisfaisants et notamment une orientation suffisamment régulière du fibrage ne peut pas être assurée.

Le procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulement permettant d'éviter ces inconvénients est caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux étapes successives :

- (a) une première étape de refoulement durant laquelle, au moins à partir d'un premier stade de déformation, un contact est maintenu entre au moins trois génératrices de ladite portion de barre et la surface intérieure d'un premier conteneur qui comporte, entre deux desdites lignes de contact respectivement, une excroissance en creux longitudinale formant en section transversale une partie lobée,

- une deuxième étape de refoulement durant laquelle, au moins à partir d'un premier stade de déformation, un contact est maintenu entre les génératrices de sommet des excroissances longitudinales obtenues sur la première ébauche à l'issue de la première étape (a) et la surface intérieure d'un deuxième conteneur présentant une section enveloppante de ladite première ébauche.

Avantageusement, le premier conteneur présente une cavité de section cruciforme, la barre cylindrique étant en contact avec la surface intérieure du conteneur le long de quatre génératrices situées à 90° l'une de l'autre et le deuxième conteneur présente une cavité de section carrée, à coins arrondis, les sommets des excroissances ou lobes de la section cruciforme de la barre obtenue à l'issue de la première étape étant en contact respectivement avec un côté dudit carré.

Dans certaines applications concernant des alliages de titane, des taux de refoulement de 8 à 10 obtenus en deux opérations par le procédé conforme à l'invention nécessitaient par les procédés antérieurs connus auparavant au minimum cinq opérations successives. Selon les critères de qualité imposés et selon les applications, notamment en fonction des alliages utilisés, des taux de refoulement supérieurs peuvent être obtenus et dans tous les cas, supérieurs aux résultats antérieurs. En outre, les examens métallographiques effectués sur

les ébauches forgées obtenues par le procédé de refoulage selon l'invention ont montré une nette amélioration de l'orientation du fibrage par rapport à ces procédés antérieurs ainsi qu'une absence totale de défauts. Ces résultats améliorés proviennent directement de l'application du procédé selon l'invention et peuvent s'expliquer par ses caractéristiques. En effet, lors de la première étape du procédé, la barre est maintenue en appui au moins suivant trois génératrices, évitant ainsi toute déformation par flambage, alors que l'écoulement de l'alliage ne peut se faire qu'en direction des parties en creux du conteneur, rendant ainsi toute déformation par torsion impossible. De même, lors de la deuxième étape, le contact maintenu entre les génératrices extrêmes de l'ébauche et les parois du conteneur empêche toute déformation par flambage ou par torsion.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'un mode de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1a, 1b, 1c, 1d qui ont été précédemment décrites représentent schématiquement les déformations d'une barre lors d'opérations successives de refoulage n'appliquant pas l'invention :

- les figures 2a, 2b représentent la barre dans sa forme initiale avant refoulage, respectivement en vue de face et en vue selon une section transversale,

- les figures 3a, 3b représentent schématiquement la barre représentée aux figures 2a, 2b au cours de la première étape de l'opération de refoulage selon le procédé conforme à l'invention, respectivement en vue suivant une coupe longitudinale et selon une section transversale ;

- les figures 4a, 4b représentent schématiquement l'ébauche obtenue à l'issue de la première étape, au cours de la deuxième étape de l'opération de refoulage selon le procédé conforme à l'invention, respectivement, selon des vues analogues aux figures 3a et 3b, suivant une coupe longitudinale et selon une section transversale ;

- la figure 5 représente une vue de l'ébauche forgée finale obtenue par le procédé conforme à l'invention, selon une section transversale ;

- la figure 6 représente selon une vue analogue à la figure 4b, en section transversale, une variante de mise en oeuvre de la deuxième étape du procédé conforme à l'invention :

- les figures 7a, 7b, 7c montrent des variantes de mise en oeuvre d'étapes du procédé de refoulage conforme à l'invention

Le procédé de fabrication d'ébauches forgées par refoulage conforme à l'invention s'applique notamment à des produits en barre tels que une barre cylindrique 1 représentée dans sa forme initiale aux figures 2a et 2b. Comme représenté schématiquement sur les figures 3a et 3b, pour la réalisation de la première étape (a) du procédé de refoulage conforme à l'invention, la barre 1 est placée dans un premier conteneur 2 solidaire d'une presse à forger

ou machine à refouler d'un type connu en soi qui n'est pas représentée plus en détails sur les dessins. Au cours de cette première étape (a) de refoulage, une extrémité 1a de la barre 1 est soumise à l'action de refoulement d'un poinçon 3 mû par les moyens de poussée et de commande de ladite machine. La portion 1b de la barre 1 soumise au refoulage tend ainsi à occuper le volume disponible du conteneur 2 limité par la face du poinçon 3, ce qui entraîne une diminution de longueur de ladite portion 1b, accompagnée d'une augmentation de la section transversale correspondante. Dans le mode de réalisation de l'invention représenté sur les figures 3a et 3b, le premier conteneur 2 utilisé lors de la première étape du procédé de refoulage comporte une cavité 4 qui présente en section transversale une forme générale cruciforme composée de quatre parties lobées 4a, 4b, 4c, 4d disposées symétriquement deux à deux, ménageant ainsi quatre génératrices 5a, 5b, 5c, 5d situées à 90° l'une de l'autre, qui coopèrent avec quatre génératrices correspondantes de la portion refoulée 1b de la barre 1 en maintenant, à partir d'un premier stade de déformation, un contact permanent avec elles au cours de l'étape de refoulage. Ledit contact suivant les génératrices entre conteneur et barre devient nécessaire à partir du moment où au cours de l'opération de refoulage apparaissent des risques de création de défauts irréversibles par flambage ou torsion. Le contact peut être réalisé dès le début de l'opération. Il est souvent dans la pratique plus aisé, pour des facilités de mise en oeuvre, de prévoir un jeu radial au départ entre lesdites génératrices qui peut aller dans le présent mode de réalisation jusqu'à 0,5mm. L'action, dans le sens de l'effort appliqué et du déplacement obtenu, du poinçon 3 s'exerce suivant la flèche F tandis que les flèches f symbolisent les directions d'écoulement de l'alliage constituant la barre 1 au cours du refoulage.

Pour la deuxième étape (b) du procédé de refoulage conforme à l'invention dont le déroulement est similaire à celui de la première étape (a) qui vient d'être décrit ci-dessus, l'ébauche intermédiaire 1c obtenue à l'issue de la première étape (a) est placée dans un deuxième conteneur 6, comme représenté schématiquement sur les figures 4a et 4b, et son extrémité est à nouveau soumise à une action de refoulement d'un poinçon 7. Dans le mode de réalisation de l'invention représenté aux figures 4a et 4b, le deuxième conteneur 6 comporte une cavité 8 qui présente en section transversale une forme générale carrée, à coins arrondis. L'ébauche intermédiaire 1c présente une section cruciforme qui reproduit la forme de la cavité 4 du premier conteneur 2 et les génératrices 1d, 1e, 1f et 1g correspondant aux sommets des parties lobées de cette section cruciforme de l'ébauche intermédiaire 1c sont placées au contact de lignes d'appui correspondantes des côtés du carré de cavité du deuxième conteneur 6 et de manière similaire à la première étape (a), au cours de la deuxième étape (b) de refoulage, le contact est également maintenu en permanence, à partir d'un premier stade de déformation, au niveau de ces quatre génératrices symétriques deux à deux, entre la surface externe

de l'ébauche 1c et la surface de la cavité 8 du deuxième conteneur 6. Comme précédemment, un jeu radial variable, de 0 à 0,5 mm dans la présente application, peut être ménagé au départ de la deuxième étape entre les génératrices coopérantes de la barre et du conteneur.

A l'issue de cette deuxième étape (b) du procédé de refoulage conforme à l'invention, la portion refoulée initiale 1b présente une section finale 1d d'ébauche forgée telle que représentée à la figure 5 dans le mode de réalisation qui vient d'être décrit. Cette portion refoulée de barre 1b peut notamment être destinée à constituer le pied d'une aube de turbomachine obtenue par forgeage.

Divers modes de réalisation appliquant les caractéristiques du procédé de refoulage conforme à l'invention qui ont été décrites peuvent être envisagées. Notamment, en fonction de la nature des alliages concernés, des pièces dont la fabrication est envisagée, du taux de refoulage recherché, un nombre différent d'étapes du procédé de refoulage peut être appliqué. Différentes formes de cavité du conteneur utilisé, ou suivant les étapes associées, peuvent également être associées à condition de ménager, conformément à l'invention, un contact permanent au cours d'une étape entre plusieurs génératrices de l'ébauche et de la surface de cavité du conteneur. Le deuxième conteneur 6 utilisé lors de la deuxième étape (b) de refoulage dans le mode de réalisation qui a été décrit et dont la section est représentée à la figure 4b peut, par exemple, comporter une cavité 8a délimitée par une surface qui est représentée par une section circulaire à la figure 6. Les figures 7a, 7b, 7c, représentent respectivement, selon une section schématique, d'autres formes utilisables de cavité de conteneur 9a, 9b, 9c, respectivement associé à une portion de barre à refouler de section 10a, 10b, 10c, 10c, 10d. Cette section de barre au départ est de forme adaptée à la pièce finale à obtenir et outre cylindrique peut notamment être rectangulaire ou carrée.

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage dans lequel au moins une portion de barre, de longueur initiale  $L_0$  et de section initiale  $S_0$  de diamètre  $D_0$ , est transformée par refoulage en une portion de barre de longueur finale  $L_1$  et de section finale  $S_1$  de diamètre  $D_1$  telles que  $L_0 > L_1$ ,  $S_0 < S_1$ ,  $D_0 > D_1$ , un paramètre technologique  $t$  ou taux de refoulage étant représenté par  $t = (L_0 - L_1)/D_0$ , ladite barre placée dans un outillage de support ou conteneur étant soumise à l'action de refoulement d'un poinçon d'une presse de forgeage, s'exerçant sur l'extrémité de la barre caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux étapes successives :

- (a) une première étape de refoulage durant laquelle, au moins à partir d'un premier stade de déformation, un contact est maintenu entre au moins trois généra-

trices de ladite portion de barre et la surface intérieure d'un premier conteneur qui comporte, entre deux desdites lignes de contact respectivement, une excroissance en creux longitudinale formant en section transversale une partie lobée ;

- (b) une deuxième étape de refoulage durant laquelle, au moins à partir d'un premier stade de déformation, un contact est maintenu entre les génératrices de sommet des excroissances longitudinales obtenues sur la première ébauche à l'issue de la première étape (a) et la surface intérieure d'un deuxième conteneur présentant une section enveloppante de ladite première ébauche.

2. Procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage selon la revendication 1 dans lequel lors de la première étape (a), le premier conteneur présente en section transversale un contour intérieur de forme générale cruciforme et la première ébauche refoulée est maintenue au cours de ladite première étape (a) suivant quatre génératrices longitudinales périphériquement réparties à  $90^\circ$  l'une de l'autre et présente à l'issue de la première étape (a) quatre excroissances longitudinales orientées à  $90^\circ$  l'une de l'autre.

3. Procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage selon l'une des revendications 1 ou 2 dans lequel lors de la deuxième étape (b), le deuxième conteneur présente en section transversale un contour intérieur de forme générale carrée, à coins arrondis.

4. Procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage selon l'une des revendications 1 ou 2 dans lequel lors de la deuxième étape (b), le deuxième conteneur présente en section transversale un contour intérieur circulaire.

5. Outillage destinés à la mise en oeuvre du procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refoulage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 consistant en deux conteneurs comportant chacun une cavité dans laquelle est placée ladite ébauche caractérisés en ce que le premier conteneur adapté pour la réalisation de la première étape (a) dudit procédé présente une géométrie de surface intérieure de cavité telle que l'ébauche avant forgeage est en contact au moins à partir d'un premier stade de déformation, au moins suivant trois génératrices avec des génératrices coopérantes du conteneur et telle que des excroissances longitudinales en creux sont ménagées entre lesdites génératrices et en ce que le deuxième conteneur adapté pour la réalisation de la deuxième étape (b) dudit procédé présente une géométrie de surface intérieure de cavité telle que le contour de section transversale enveloppe le contour de section transversale du premier conteneur.

6. Outillages destinés à la mise en oeuvre du procédé de fabrication d'ébauches forgées en

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

barre par refouillage selon la revendication 5 caractérisé en ce que ledit premier conteneur comporte une cavité présentant une section transversale cruciforme à quatre lobes répartis à 90° l'un de l'autre.

7. Outillages destinés à la mise en oeuvre du procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refouillage selon l'une des revendications 5 ou 6 caractérisés en ce que ledit deuxième conteneur comporte une cavité présentant une section transversale de forme générale carrée, à coins arrondis, la longueur d'un côté du carré représentant la distance entre deux sommets d'excroissances diamétralement opposées du premier conteneur.

8. Outillages destinés à la mise en oeuvre du

procédé de fabrication d'ébauches forgées en barre par refouillage selon l'une des revendications 5 ou 6 caractérisés en ce que ledit deuxième conteneur comporte une cavité présentant une section transversale circulaire, dont la circonférence enveloppe la section de cavité du premier conteneur.

9. Aube de compresseur de turbomachine caractérisée en ce qu'elle est obtenue par un procédé de fabrication qui comporte une opération de refouillage de l'extrémité de barre correspondant au pied de l'aube, réalisée suivant un procédé conforme à l'une des revendications 1 à 4.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

5

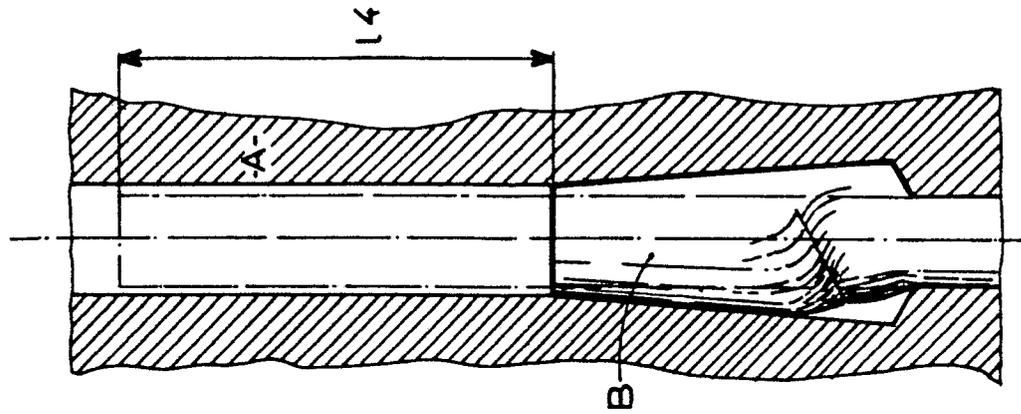


FIG.1d

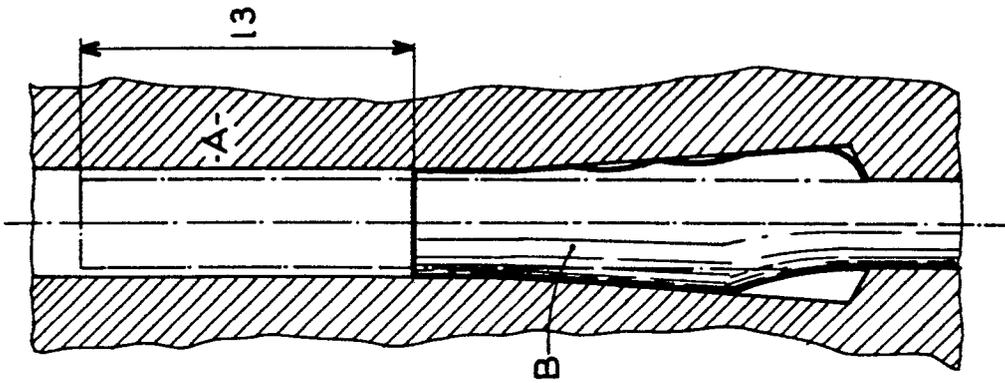


FIG.1c

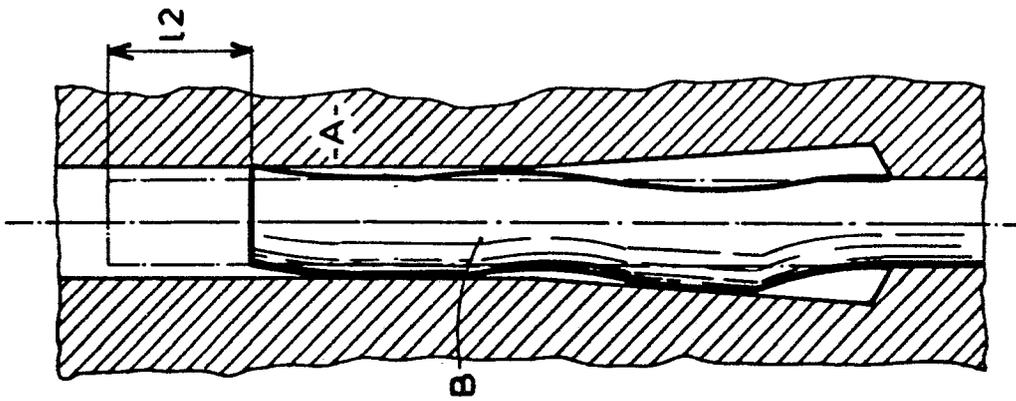


FIG.1b

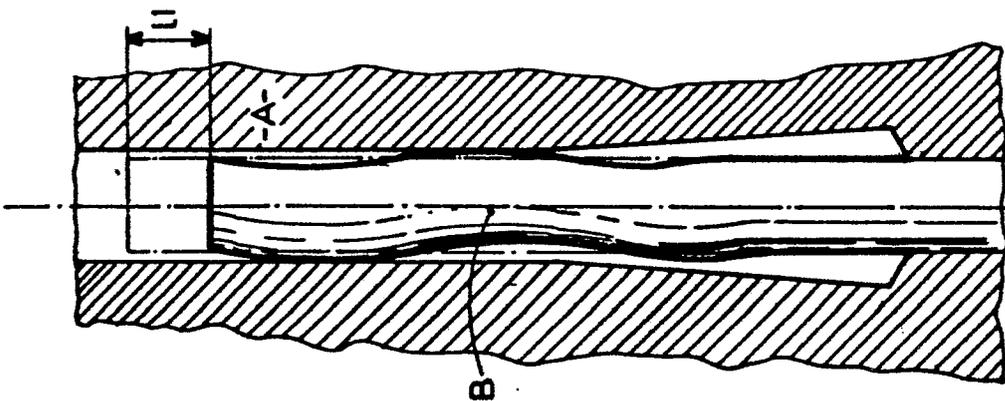


FIG.1a

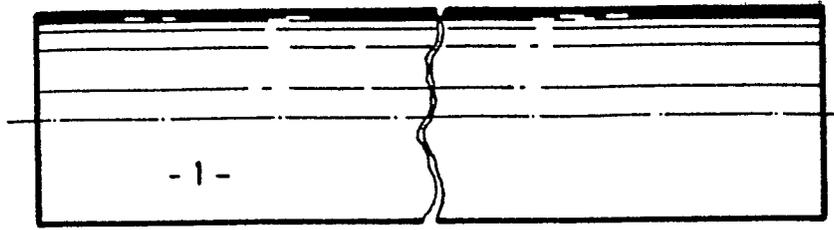


FIG: 2a

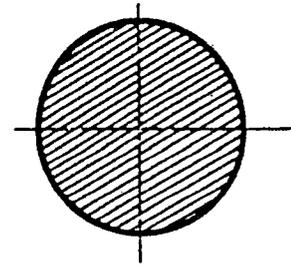


FIG: 2b

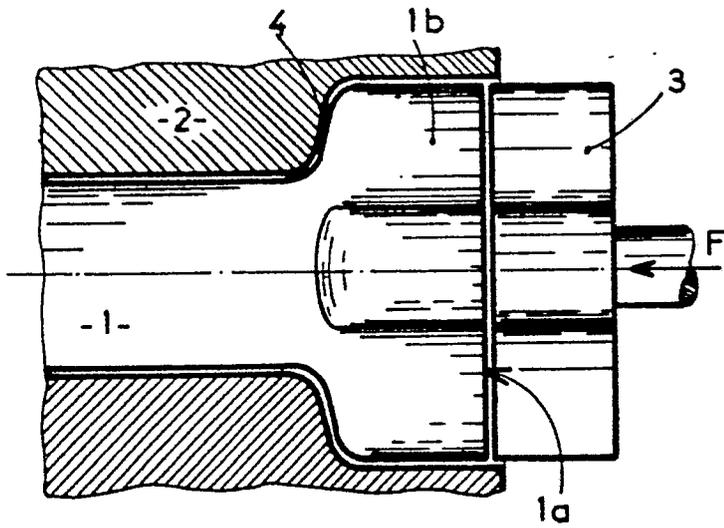


FIG: 3a

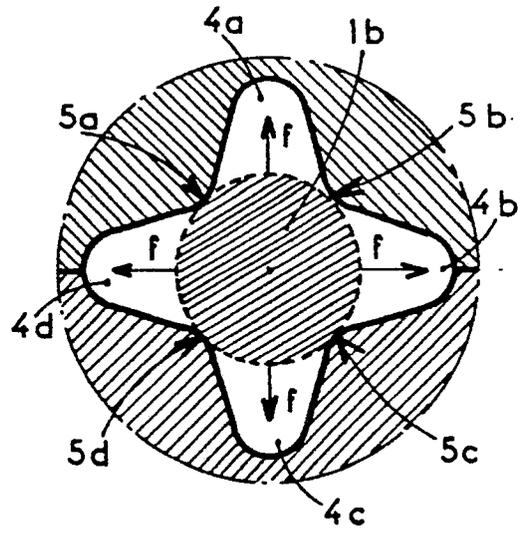


FIG: 3b

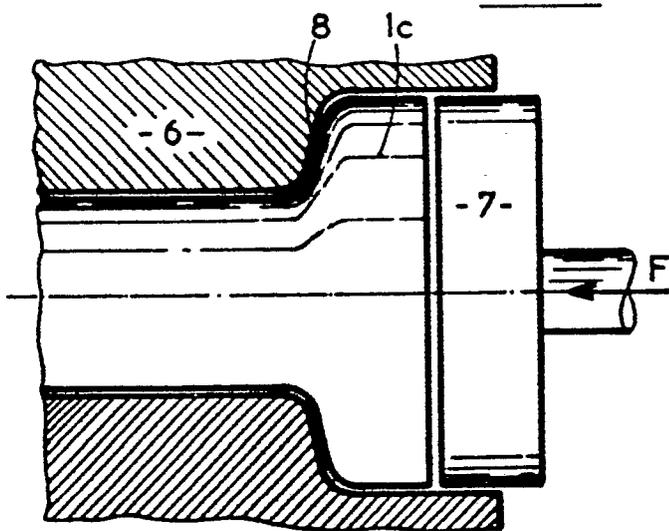


FIG: 4a

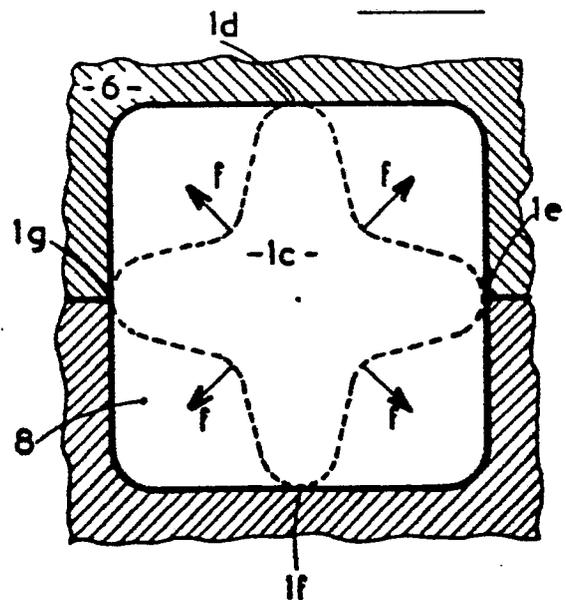


FIG: 4b

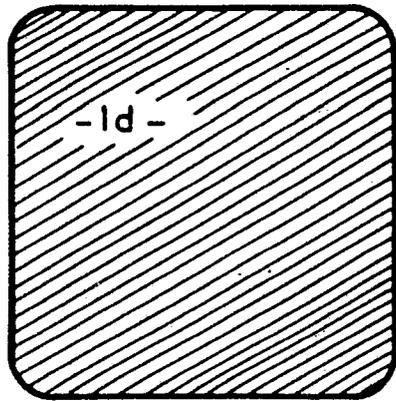


FIG: 5

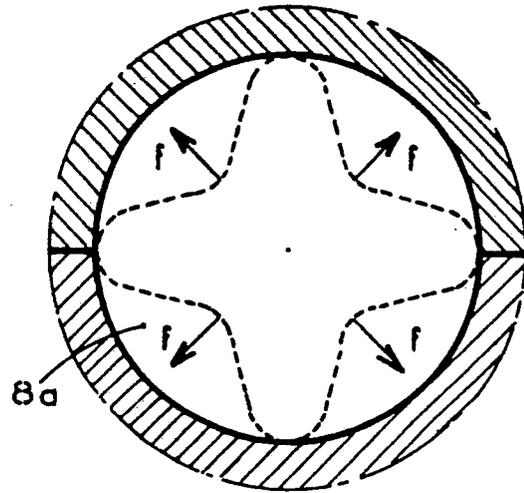


FIG: 6

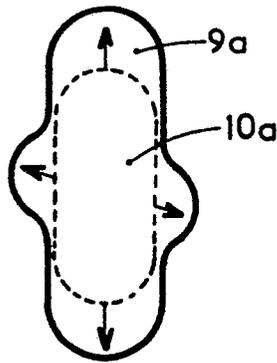


FIG: 7a

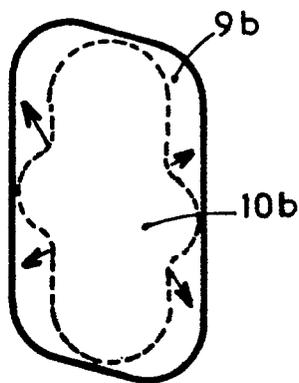


FIG: 7b

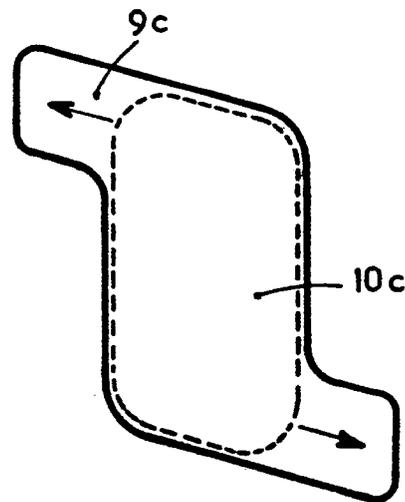


FIG: 7c



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 11, no. 21 (M-555)[2468], 21 janvier 1987; & JP-A-61 193 739 (TOYOTA MOTOR CORP.) 28-08-1986 * Résumé; figures *	1,2,4,5 ,6,8	B 21 J 5/08 B 21 K 3/04
X	SU-A- 821 016 (BOSIN) * Figures 3-8 *	1,2,4,5 ,6,8	
X	SU-A- 804 163 (BUNATYAN) * Figures 1,2,3 *	1,2,3,5 ,6,7	
X	SU-A- 183 026 (KOPYSKII) * Figures 1,2 *	1,3,5,7	
A	FR-A-2 494 606 (HONDA)		
D,A	FR-A-2 220 328 (INSTYTUT OBROBKI PLASTYCZNEJ)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			B 21 J B 21 K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 26-04-1989	Examineur THE K.H.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date 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			