

①② **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet:
29.10.86

⑤① Int. Cl.4: **F 04 D 29/02, F 04 D 29/28**

②① Numéro de dépôt: **84400027.3**

②② Date de dépôt: **06.01.84**

⑤④ **Roue pour compresseur centrifuge et procédé pour sa fabrication.**

③③ Priorité: **26.01.83 FR 8301162**

④③ Date de publication de la demande:
08.08.84 Bulletin 84/32

④⑤ Mention de la délivrance du brevet:
29.10.86 Bulletin 86/44

⑧④ Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB IT LI NL SE

⑤⑥ Documents cités:
DE - A - 2 800 723
DE - A - 2 937 214
US - A - 3 521 973

⑦③ Titulaire: **ARAP - APPLICATIONS RATIONNELLES DE LA
PHYSIQUE S.A.R.L., 70, rue Yvan Tourgueneff,
F-78380 Bougival (FR)**

⑦② Inventeur: **Marchal, Philippe, 4, rue Dufy, F-78370 Plaisir
(FR)**
Inventeur: **Koenig, André, 49, rue du Mont Ste Odile,
F-67220 Breitenbach (FR)**

⑦④ Mandataire: **Rodhain, Claude et al, Cabinet Claude
Rodhain 30, rue la Boétie, F-75008 Paris (FR)**

EP 0 115 451 B1

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).

Description

L'invention concerne une roue en particulier pour compresseur centrifuge à vitesse périphérique élevée réalisée à partir d'augets prémoulés, en forme de secteur, juxtaposés et collés les uns aux autres dans le sens circonférentiel pour former un ensemble unitaire à haute résistance mécanique à la rupture.

Il existe plusieurs types de compresseurs volumétriques tels les compresseurs à pistons, axiaux, tels les machines à hélice, centrifuges.

Un compresseur centrifuge est essentiellement constitué d'un rotor et d'un stator.

Le rotor comporte des aubes tournant autour d'un axe, chargées d'entraîner le gaz à leur vitesse de rotation, afin de lui communiquer de l'énergie.

Le stator, outre qu'il constitue le carter de la machine, comporte une partie appelée diffuseur, chargée de transformer en pression la vitesse acquise par le gaz.

Il existe deux types de roues, ouvertes ou fermées. Dans les roues fermées, les aubes sont délimitées par deux surfaces de révolution dont l'une, interne, est reliée directement à l'axe de la machine, le parcours du gaz étant tout à fait défini dans le rotor.

Dans ce type de réalisation, le carter entourant le rotor est d'une conception relativement simple.

Ces rotors à roues fermées présentent l'inconvénient d'être limités en vitesse de rotation (300 m/s par exemple), la surface de révolution externe étant soumise à des contraintes centrifuges plus importantes que les aubes, ce qui conduit à des fissures entre lesdites aubes et ladite surface externe, qui croissent avec la vitesse de rotation.

Les roues ouvertes ne comportent quant à elles que la surface de révolution interne, ce qui autorise des vitesses de rotation plus élevées mais nécessite par contre un carter extérieur ajusté, donc de fabrication plus élaborée et, par conséquent, plus onéreux.

Ces roues, réalisées en métal (acier, aluminium, titane) sont coulées ou mécano-soudées, le premier mode de réalisation (coulé) étant plus fréquent dans les roues fermées et de petites dimensions pour des raisons d'accessibilité de soudure.

Dans un domaine assez éloigné de l'invention, on connaît ainsi un ventilateur centrifuge tel que décrit dans le brevet US-A-3 521 973. Selon ce document, on dispose des augets 21 préformés à fond plat, sur une plaque arrière 18 circulaire et les augets sont réalisés en résine thermoplastique.

Il est clair qu'une telle conception ne peut convenir tout au plus que pour un ventilateur fonctionnant à vitesse de rotation basse en raison de la faible surface de collage disponible au dos des augets, sur le disque arrière, en regard des contraintes centrifuges induites par la masse de ceux-ci, sachant qu'un adhésif n'autorise qu'un faible taux de travail au cisaillement (2 à 3 daN/mm²). En outre, ce principe de fixation par collage est inapplicable au cas où les augets sont de forme courbe en coupe radiale. Cette confor-

mation est en effet avantageuse pour améliorer les performances d'un compresseur centrifuge en guidant continuellement le flux d'air de sa direction axiale initiale à la direction radiale.

Vis-à-vis de ces réalisations antérieures, l'invention se rapporte à une nouvelle roue de compresseur selon l'enseignement de la revendication 1 et à son procédé de fabrication selon l'enseignement de la revendication 5, la roue présentant l'originalité de posséder à la fois une haute résistance à la rupture, une faible masse spécifique (autorisant des vitesses périphériques très élevées et des diamètres de roues plus importants) et ce, sans faire appel à un procédé de fabrication ou un usinage coûteux.

Ce but est atteint en réalisant la roue à partir d'augets prémoulés, en forme de secteur, constitués de fibres de haute résistance mécanique, accouplés entre eux, dans un sens circonférentiel, par des faisceaux de fils rayonnants enrobés d'un agent de liaison et reprenant les efforts centrifuges, quelle que soit la vitesse spécifique de la roue.

Les fibres utilisées pour la fabrication des augets et des faisceaux de fils sont de préférence des fibres de carbone, de bore, de polyamides aromatiques ou de verre, et l'agent de liaison ou de scellement peut être avantageusement choisi dans les résines époxy, polyimides ou phénoliques.

Le procédé pour l'obtention d'une telle roue est illustré à titre d'exemple non limitatif sur les dessins annexés dans lesquels:

— la Fig. 1 est une vue schématique d'une roue connue de compresseur;

— la Fig. 2 est une vue en perspective d'un des augets entrant dans la constitution de la roue de compresseur selon l'invention;

— la Fig. 3 est une vue de dessus de la roue en cours de réalisation;

— la Fig. 4 est une section diamétrale selon la ligne II-II de la Fig. 3;

— la Fig. 5 est une vue en perspective, selon un mode de réalisation préférentiel, de l'arbre d'entraînement de la roue;

— la Fig. 6 est une section selon la ligne III-III de la Fig. 3 montrant l'accouplement de la roue avec un arbre du type illustré en Fig. 5;

— la Fig. 7 est une vue en coupe illustrant l'accouplement de la roue avec un arbre de type métallique.

Comme indiqué dans la préambule de la demande, l'invention concerne, (s'écartant en cela des inconvénients des roues en métal, coulé ou mécano-soudé), un nouveau type de roues présentant, pour une masse spécifiquement faible, une haute résistance mécanique à la rupture et donc à l'éclatement et autorisant, de ce fait, des diamètres plus importants et des vitesses périphériques plus élevées que ceux résultant des roues de compresseurs jusqu'alors connues.

Comme illustré schématiquement sur la Fig. 1, les roues de compresseurs centrifuges sont généralement formées d'un rotor 1 défini par des aubes 2 dont une des extrémités 2₁ débouche sur la face

avant dite «d'admission», l'autre extrémité 2₂ communiquant avec un diffuseur fixe 3 lui-même en relation avec une volute périphérique 4. Le fluide pénétrant dans le canal délimité par les aubes y acquiert de la pression et de la vitesse, cette vitesse étant transformable en pression dans le diffuseur. Le rotor est évidemment entraîné en rotation par un arbre de commande 5 auquel il est accouplé, plusieurs roues pouvant être étagées sur un même arbre.

Selon l'invention, et comme cela résultera du mode de réalisation préférentiel ci-après décrit, la roue est réalisée à partir d'augets 6 (Fig. 2) présentant la particularité d'être constitués de fibres ayant une grande résistance mécanique à la rupture, chaque auget étant en forme de secteur pour définir en soi un canal. La roue est de type modulaire, puisqu'elle est constituée d'une série d'augets 6 juxtaposés dans un sens circonférentiel et rendus solidaires les uns des autres, pour former un ensemble unitaire stable, par des faisceaux de fils rayonnants 9 enrobés d'un agent de liaison.

Les fibres utilisées pour la fabrication des augets sont de préférence des fibres de carbone, bien que l'on puisse également utiliser des fibres de bore, de polyamides aromatiques ou même des fibres de verre. Ces fibres permettent en effet d'envisager, en raison de leur haute résistance mécanique, des vitesses spécifiques élevées, mais il faut toutefois, étant donné le caractère unidirectionnel de la fibre, utiliser des morphologies spécifiques pour que les efforts centrifuges soient transmis dans la direction de la fibre et non perpendiculairement à celles-ci.

Les Fig. 3 et 4 montrent le procédé de fabrication d'une roue selon l'invention. Il suffit de placer en étoile, sur un marbre 7, les augets en forme de secteur, en prenant soin de laisser subsister entre leurs flancs latéraux 6₁ des interstices radiaux 8, la mise en place des augets étant facilitée par des pions stabilisateur 6₂ dont ils sont pourvus et qui viennent reposer à la manière de talon sur le marbre plan 7. On réalise ensuite l'accouplement et le scellement des augets entre eux par un empilage de faisceaux de fils rayonnants 9 préalablement enduits d'un agent de liaison dont la nature chimique est compatible avec le matériau constituant les augets et celui constituant les fils, par exemple, une résine de type époxy, si les augets et les faisceaux de fils sont à base de fibres de carbone. Le fil 9 est continu et est fortement tendu entre deux paires opposées d'augets, sa direction étant parallèle aux bords latéraux des augets mais s'écartant légèrement du centre 10 de la roue pour permettre un empilage acceptable des fils qui vont ainsi se croiser légèrement en-dehors de ce centre et s'empiler sous la forme de faisceau sur la hauteur des augets. Comme visible en Fig. 4, chaque interstice radial 8 débouche sur des tiges 11, solidaires du marbre et sur lesquelles s'enroulent les fils de liaison.

Lorsque l'empilage des faisceaux de fils est ainsi réalisé, on fait une polymérisation en étuve, de manière à obtenir un disque unitaire stable et homogène.

Il suffit ensuite de procéder au sectionnement des fils et à l'ébavurage rapide de ce disque pour obtenir une roue de compresseur prête à l'emploi, sans autre opération d'usinage ou d'arasage autre qu'un équilibrage effectué avant ou après accouplement sur l'arbre de transmission. Le sectionnement des fils se fait sur la périphérie de la roue et sur sa face d'admission en suivant le profil concave 6₃ des augets (fig. 4) pour obtenir la roue telle qu'illustrée en fig. 6.

On peut accoupler cette roue en fibres de carbone soit à un axe métallique, soit à un axe également en fibres de carbone. Dans le premier cas, comme illustré en Fig. 7, il est possible de ménager, au cours de la fabrication de la roue, c'est-à-dire pendant l'empilage des faisceaux de fils de liaison, des canaux axiaux obtenus par des broches 12 traversant la roue de part en part et qui, au démoulage, forment des passages dans lesquels seront introduits les doigts 13 formant l'extrémité de l'arbre d'entraînement 14. Ces doigts seront rendus solidaires de la roue par une plaque d'appui 15 et des écrous 16 fixés sur l'extrémité de chacun desdits doigts 13.

Si l'arbre d'entraînement est en fibres de carbone, il comprendra, à l'instar de l'arbre métallique, des doigts 13, comme illustré en Fig. 5, mais ceux-ci seront positionnés, insérés et scellés à la roue, au fur et à mesure de l'empilage des faisceaux de fils. Il suffira, dans ce cas, que le marbre 7 comporte une ouverture centrale pour le passage de l'arbre et que les doigts 13 soient disposés entre l'axe 10 de la roue et les extrémités des augets (comme illustré par la référence 12 en Fig. 3) pour que l'arbre soit accouplé à la roue par l'enduction des fils à l'image des augets. Après refroidissement et retrait du marbre 7, la roue et l'arbre d'entraînement formeront un ensemble unitaire et homogène.

Pour obtenir une résistance thermique appropriée de l'ensemble, on procède ensuite à une opération de cuisson dans une étuve, dont la température est définie par le type de résine employée. En outre, si l'on désire obtenir une roue fermée, on pourra recouvrir les augets d'un voile continu en forme de tulipe réalisé également à partir de fibres de carbone collées en laissant, bien entendu, libres les ouvertures d'admission des augets débouchant sur la face avant de la roue, l'extrémité opposée desdits augets communiquant de façon connue avec un diffuseur rotatif ayant la forme générale d'une couronne annulaire. En outre, on peut également éviter des turbulences et améliorer l'aérodynamisme en collant sur la face arrière de la roue un disque en fibres de carbone ceinturant l'arbre d'entraînement qui, s'il est également en fibres, sera avantageusement chemisé à l'aide d'un fourreau métallique pour servir simultanément d'axe.

Ainsi, grâce à la légèreté et à la haute résistance des fibres de carbone constituant les augets, on obtient, par une reprise et un report des forces centrifuges sur les faisceaux de fils de liaison, une roue d'une masse spécifique faible autorisant des vitesses périphériques élevées et des diamètres

plus importants qu'avec les roues de compresseurs connus en métal, le procédé pour l'obtention de ces roues perfectionnées étant simple et réduisant au minimum l'usinage qui grèvait jusqu'alors le coût de production des roues de compresseurs.

Revendications

1. Roue de compresseur centrifuge à vitesse périphérique élevée, du type constitué d'augets évadés courbes en forme de secteur, juxtaposés dans le sens circonférentiel, pour former un disque associé à un arbre d'entraînement, caractérisée en ce que les augets (6) sont constitués de fibres à haute résistance mécanique et sont reliés jointivement, dans ce sens circonférentiel, par des empilages de faisceaux de fils rayonnants (9) tendus dans des interstices radiaux ménagés entre les augets, ces fils étant réalisés en un matériau de même type que celui constituant les augets et étant enduits d'un agent de liaison compatible avec le matériau constitutif des augets et des fils pour solidariser, de façon irréversible, les augets entre eux sous la forme d'un ensemble unitaire et stable.

2. Roue selon la revendication 1, caractérisée en ce que les augets (6) sont en fibres de carbone, en fibres de bore, de polyamides aromatiques ou de verre.

3. Roue selon la revendication 1, caractérisée en ce que les faisceaux de fils (9) sont constitués de fibres de carbone, de bore, de polyamides aromatiques ou autres, l'agent de liaison enrobant ces fils étant choisi dans la famille des résines, par exemple époxy, polyimides ou phénoliques.

4. Roue selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle est fixée sur un arbre métallique (14) ou un arbre en fibres de carbone.

5. Procédé pour l'obtention d'une roue de compresseur conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'on dispose en étoile les augets (6) sur un arbre (7) en ménageant entre eux des interstices rayonnants que l'on remplit progressivement de couches superposées de faisceaux de fils enrobés (9), ceux-ci étant tendus dans lesdits interstices selon une direction sensiblement parallèle aux bords latéraux (6₁) des augets, puis, après séchage et durcissement, on sectionne et on arase les faisceaux de fils d'une part, sur la périphérie du disque continu ainsi formé, et d'autre part, sur la face avant les augets, afin d'obtenir une roue finie, sans usinage ultérieur.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'on réalise l'étape supplémentaire d'obtenir la face arrière de ladite roue par un disque de fibres de carbone rapporté.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que l'on fixe la roue sur un arbre de carbone dont l'extrémité est pourvue de doigts (13) que l'on insère et que l'on noie dans la roue au cours de sa fabrication, l'arbre ainsi solidaire de la roue étant, si nécessaire, chemisé à l'aide d'un fourreau métallique.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que, si l'arbre est métallique, on ménage dans la roue, au cours de sa fabrication, des canaux axiaux (12) la traversant de part en part, ceux-ci étant destinés à recevoir les doigts (13) formant l'extrémité de l'arbre, après quoi on solidarise l'ensemble par des organes de blocage (15-16) fixés sur la face avant de la roue.

Patentansprüche

1. Laufrad eines Zentrifugalverdichters hoher Umfangsgeschwindigkeit, von der Art mit kurvenförmigen vertieften Laufschaufeln in Form von Sektoren, die in Umfangsrichtung nebeneinander angeordnet sind, um eine mit einer Antriebswelle verbundene Scheibe zu bilden, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufschaufeln (6) aus Fasern hohen mechanischen Widerstandes bestehen und in Umfangsrichtung durch Schichten strahlenförmiger, in den zwischen den Laufschaufeln vorhandenen radialen Zwischenräumen gespannter Fadenbündel (9) fugenlos miteinander verbunden sind, wobei die Fäden aus einem Material des gleichen Typs wie jenes der Laufschaufeln bestehen und mit einem Bindemittel beschichtet sind, das mit dem die Laufschaufeln bildenden Material und dem Faden-Material kompatibel ist, um die Laufschaufeln untereinander irreversibel in Form einer stabilen Einheit fest zu verbinden.

2. Laufrad nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufschaufeln (6) aus Kohlenstoff-Fasern, Borfasern, Fasern aromatischer Polyamide oder aus Glasfasern bestehen.

3. Laufrad nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fadenbündel (9) aus Kohlenstoff-Fasern, Borfasern, Fasern aromatischer Polyamide od.dgl. bestehen, wobei das diese Fäden umgebende Bindemittel aus der Gruppe der Harze, beispielsweise Epoxyharz, Polyimidharz oder Phenolharz, gewählt ist.

4. Laufrad nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einer Metallwelle (14) oder auf einer Welle aus Kohlenstoff-Fasern befestigt ist.

5. Verfahren zur Herstellung eines Laufrades eines Verdichters nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf einem Tisch (7) die Laufschaufeln (6) sternförmig angeordnet werden, wobei zwischen ihnen strahlenförmige Zwischenräume vorgesehen werden, die nach und nach mit übereinanderliegenden Schichten von Bündeln ummantelter Fäden (9) ausgefüllt werden, die in den genannten Zwischenräumen in einer zu den Seitenrändern (6) der Laufschaufeln im wesentlichen parallelen Richtung gespannt werden, worauf, nach Trocknen und Aushärten, die Fadenbündel einerseits am Umfang der so gebildeten durchgehenden Scheibe und andererseits auf der Vorderseite der Laufschaufeln abgetrennt und abgeglichen werden, um ohne weitere Bearbeitung ein fertiges Laufrad zu erhalten.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch ge-

kennzeichnet, dass der zusätzliche Schritt des Abschliessens der hinteren Seite des genannten Laufrades durch eine angebrachte Scheibe aus Kohlenstoff-Fasern durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Laufrad auf einer Kohlenstoff-Welle befestigt wird, deren Ende mit Fingern (13) versehen ist, die in das Laufrad eingeführt und in diesem im Zuge seiner Herstellung versenkt werden, wobei die mit dem Laufrad auf diese Weise fest verbundene Welle erforderlichenfalls mit Hilfe einer Metallhülse ummantelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass, falls die Welle aus Metall besteht, im Laufrad im Zuge seiner Herstellung dieses von einer Seite zur anderen durchquerende axiale Kanäle (12) vorgesehen werden, welche zur Aufnahme der das Ende der Welle bildenden Finger (13) bestimmt sind, wonach die Einheit durch auf der Vorderfläche des Laufrades befestigte Blockierorgane (15-16) verbunden wird.

Claims

1. Rotor for a centrifugal compressor having a high peripheral speed and being of the type comprising hollow vanes which are curved in sector form and are juxtaposed in the circumferential direction to form a disc associated with a drive shaft, characterised in that the vanes (6) are formed from fibres having a high mechanical resistance and are inter-connected, in this circumferential direction, by layers of radiating filament bundles (9) which are held taut in radial interstices provided between the vanes these filaments being formed from the same type of material as the vanes and being coated with a bonding agent, which is compatible with the material used for the vanes and filaments, to join the vanes together, in an irreversible manner, thereby forming a unitary and stable assembly.

2. Rotor according to claim 1, characterised in that the vanes (6) are formed from carbon fibres, boron fibres, aromatic polyamide fibres or glass fibres.

3. Rotor according to claim 1, characterised in that the filament bundles (9) are formed from carbon fibres, boron fibres, aromatic polyamide fibres or other fibres, the bonding agent which coats these filaments being selected from the resin family, for example, epoxy, polyamide or phenolic resins.

4. Rotor according to any one of claims 1 to 3, characterised in that it is fixed to a metal shaft (14) or a shaft made of carbon fibres.

5. Process for obtaining a compressor rotor, in accordance with any one of claims 1 to 4, characterised in that the vanes (6) are disposed in a star-shaped manner on a plate (7), with radiating interstices being provided therebetween which are progressively filled with superposed layers of coated filament bundles (9), the latter being held taut in said interstices in a direction substantially parallel to the lateral edges (6₁) of the vanes, then, after drying and hardening, the filament bundles are divided into sections and cut to length, on the one hand, on the periphery of the continuous disc thus formed and, on the other hand, on the front face of the vanes, so as to obtain a finished rotor, without subsequent machining.

6. Process according to claim 5, characterised in that the supplementary step of closing the rear face of said rotor is effected by an additional disc made of carbon fibres.

7. Process according to any one of claims 5 or 6, characterised in that the rotor is fixed to a carbon shaft, the end of which is provided with fingers (13) which are inserted and embedded in the rotor during its manufacture, the shaft which is thus integral with the rotor being, if necessary, encased in a metal sleeve.

8. Process according to any one of claims 5 or 6, characterised in that, if the shaft is metallic, axial tubes (12) are provided in the rotor, during its manufacture, and totally traverse the rotor, the tubes serving to accommodate the fingers (13) forming the end of the shaft, after which the assembly is joined together by locking members (15-16) fixed to the front face of the rotor.

FIG.1

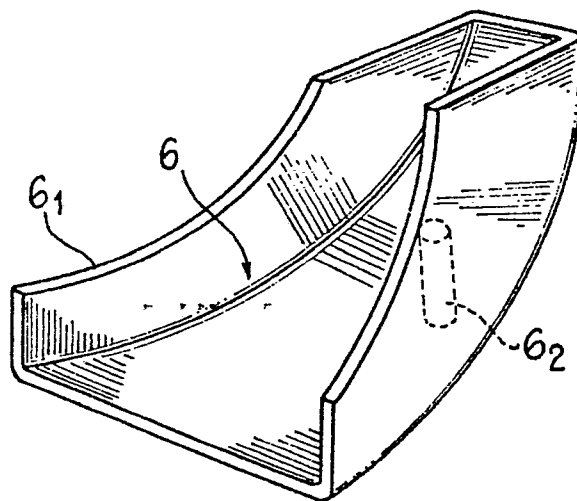
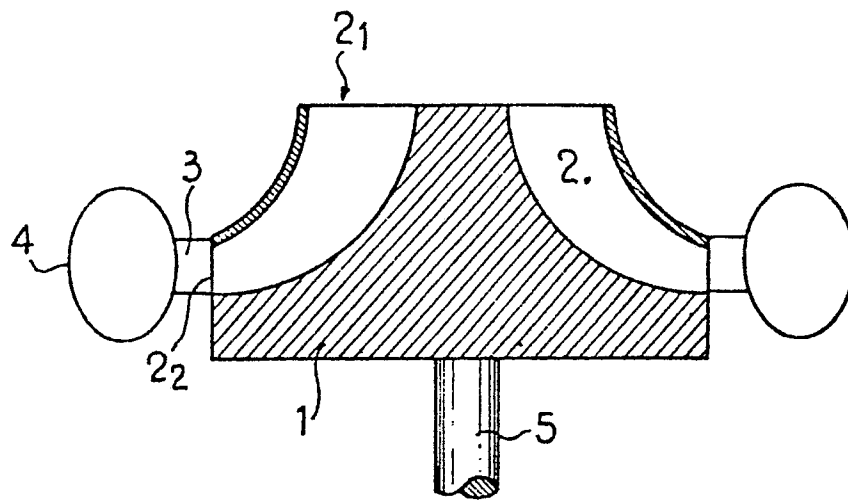


FIG.2

FIG. 3

2/3

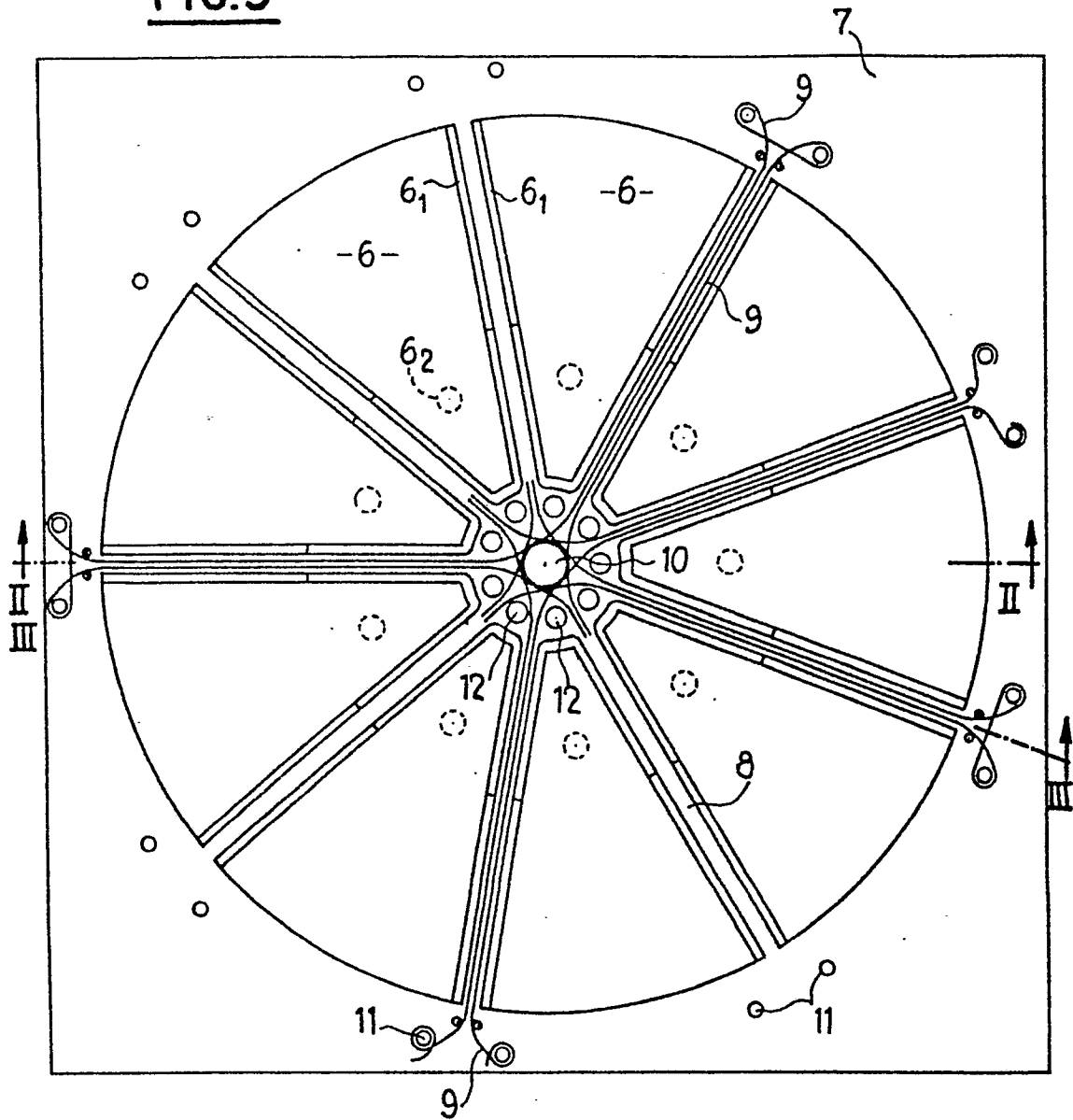
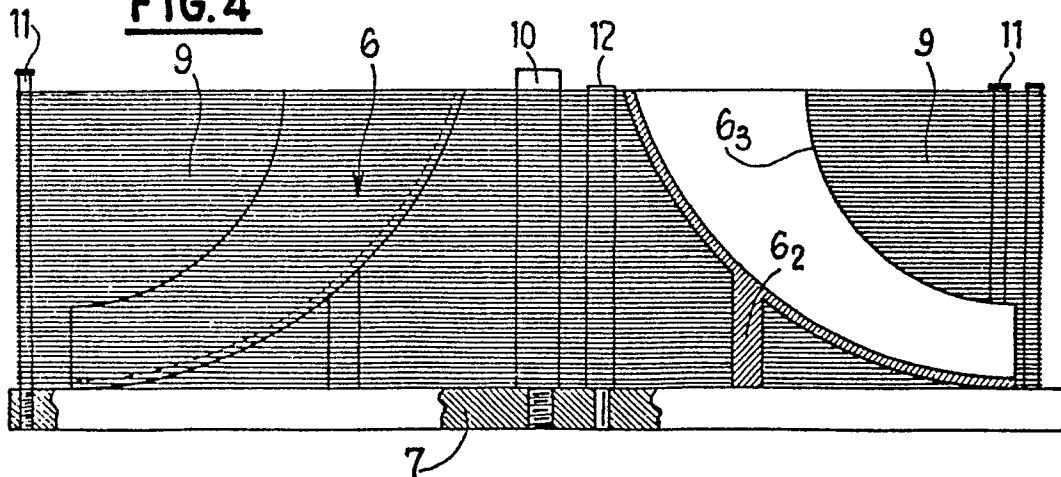
**FIG. 4**

FIG.5

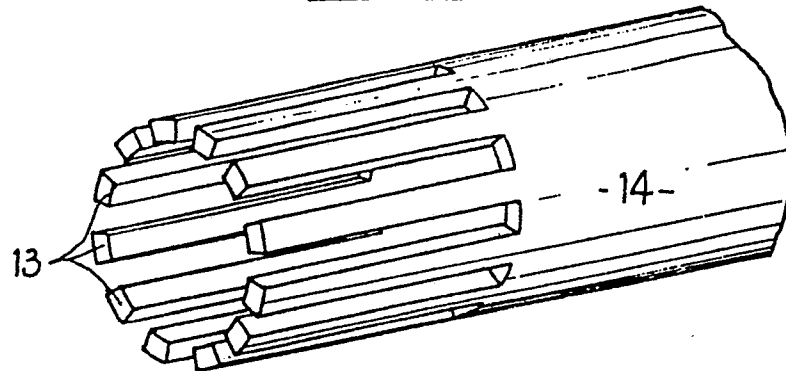


FIG.6

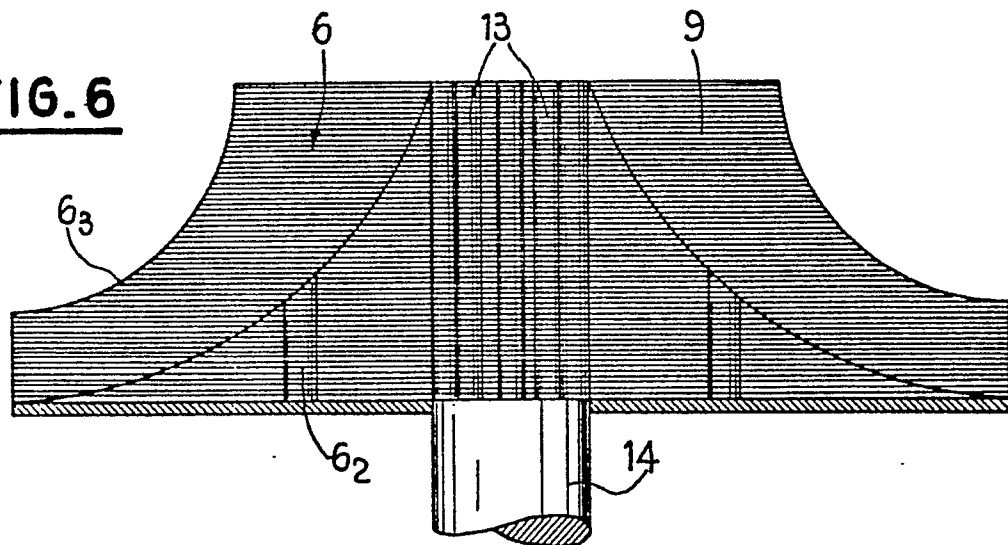


FIG.7

