(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 556 836**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **83 20427**

(51) Int Cl⁴ : G 01 N 15/02; B 04 B 5/00.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 19 décembre 1983.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 25 du 21 juin 1985.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *Société anonyme dite : JAUFFRET SA.* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Lucien Casta.

(73) **Titulaire(s) :**

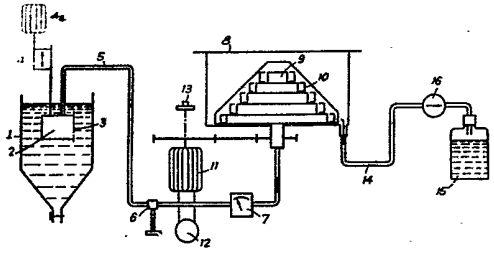
(74) **Mandataire(s) :** Cabinet Beau de Loménie.

(54) Procédé et dispositifs de séparation fractionnée et d'analyse granulométrique de particules en suspension dans un liquide.

(57) L'invention a pour objet un procédé et des dispositifs de séparation fractionnée et d'analyse granulométrique de particules en suspension dans un liquide.

Un dispositif selon l'invention comporte une unité 1 de stockage et d'homogénéisation du liquide équipée d'une chambre d'aspiration 2 ayant une ouverture pourvue d'un tamis 3 montée sur un vibreur 4. Il comporte une unité de centrifugation équipée de deux rotors interchangeables. Un rotor de séparation comporte un noyau conique 9 en gradins délimitant des chambres de centrifugation dont les diamètres croissent du bas vers le haut. Il est entraîné à vitesse constante. Un deuxième rotor d'analyse granulométrique comporte une seule chambre. Il est entraîné par paliers de vitesse.

Une application est l'étude granulométrique de poudres ayant une granulométrie inférieure à 50 μ.



FR 2 556 836 - A1

Procédé et dispositifs de séparation fractionnée et d'analyse granulométrique de particules en suspension dans un liquide.

La présente invention a pour objet un procédé et des dispositifs de séparation fractionnée et d'analyse granulométrique de particules en suspension dans un liquide.

Le secteur technique de l'invention est celui de la construction des appareils dits microgranulomètres, destinés à séparer, par centrifugation, des particules très fines en suspension dans un liquide en les classant par tranches granulométriques. Les appareils selon l'invention assurent la séparation et le triage de poudres très fines ayant une granulométrie de l'ordre de 0,5µ à 50µ.

On connaît des microgranulomètres basés sur une séparation fractionnée de particules très fines en suspension dans un liquide par centrifugation dudit liquide dans des chambres successives de diamètre croissant.

Le brevet FR. 1.515.185 (C.N.R.S.) décrit un tel appareil comportant des rotors à axe vertical, en forme de cône renversé, composés de plusieurs cavités annulaires superposées et de diamètre croissant du bas vers le haut, qui sont reliées entre elles par des conduits en chicane.

La présente invention concerne des dispositifs basés sur le même principe de séparation fractionnée par centrifugation. Elle a pour objet des perfectionnements à ces appareils.

L'appareil décrit dans le brevet 1.515.185 permet de classer des particules par tranches granulométriques. Il permet donc, par conséquent, d'établir une courbe granulométrique, mais cette opération exige que l'on équipe le fond de chaque chambre de centrifugation d'une garniture démontable et, qu'après la fin d'une opération de centrifugation, on retire de chaque chambre la garniture portant une couche de particules et que l'on pèse chaque couche de particules.

Ces opérations sont longues et discontinues.

Un objectif de la présente invention est de procurer un microgranulomètre entièrement automatisé et capable de mesurer en continu la répartition granulométrique d'une suspension dans des classes granulométriques déterminées.

Un autre objectif de l'invention est de procurer des microgranulomètres perfectionnés permettant de réaliser une séparation fractionnée d'une poudre en suspension dans un liquide en évitant les risques

de mélange des particules appartenant à plusieurs tranches granulométriques au moment où l'on arrête le rotor de centrifugation.

Les appareils selon l'invention mesurent la répartition granulométrique de particules très fines en suspension dans un liquide en utilisant le procédé connu suivant lequel on sépare du liquide des particules solides ayant une granulométrie supérieure à un seuil par centrifugation dans une chambre portée par un rotor.

Pour effectuer en continu la mesure de la répartition granulométrique suivant plusieurs tranches de granulométrie déterminées, on utilise une seule chambre de centrifugation et on fait croître périodiquement la vitesse du rotor par paliers de même durée, la vitesse restant constante durant chaque palier. A la fin de chaque palier de vitesse, on mesure l'épaisseur cumulée de la couche de particules qui s'est déposée à la périphérie de la chambre depuis le début de la centrifugation et on calcule l'épaisseur de particules de chaque tranche granulométrique en soustrayant de ladite épaisseur cumulée l'épaisseur cumulée mesurée à la fin du palier de vitesse précédent et la somme des épaisseurs correspondant aux tranches granulométriques précédentes.

Un dispositif selon l'invention est du type connu comportant une chambre de centrifugation qui est portée par un rotor à axe vertical qui est entraîné en rotation par un moteur pourvu d'un variateur de vitesse.

Les objectifs de l'invention sont atteints au moyen d'un dispositif qui comporte, en outre, un capteur qui est situé à l'extérieur du rotor, en regard de la chambre de centrifugation, et qui mesure périodiquement l'épaisseur cumulée de la couche de particules qui s'est déposée contre la paroi externe de ladite chambre de centrifugation depuis le début de la centrifugation chaque mesure étant effectuée à la fin de chaque palier de vitesse du rotor qui est entraîné à vitesse croissante, la vitesse restant constante durant chaque palier qui ont tous la même durée.

Selon un mode de réalisation préférentiel, le capteur d'épaisseur est un capteur à ultrasons qui émet périodiquement, à la fin de chaque palier de vitesse, un faisceau d'ultrasons à travers ledit rotor et qui reçoit un premier écho réfléchi par l'interface entre ledit rotor et ladite couche de particules et un deuxième écho réfléchi par l'interface entre ladite couche et le liquide contenu dans la chambre de centrifugation et l'épaisseur cumulée de ladite couche à la fin de

chaque palier de vitesse est proportionnelle au temps qui sépare les deux échos.

Avantageusement, un dispositif selon l'invention comporte un deuxième rotor, qui est interchangeable avec le rotor destiné à la mesure de répartition granulométrique. Ce deuxième rotor est destiné à effectuer une séparation fractionnée en plusieurs tranches granulométriques. Ce deuxième rotor est entraîné à vitesse constante et il comporte un noyau conique en gradins dont les diamètres croissent du haut vers le bas et plusieurs couronnes annulaires superposées qui entourent chacune un des gradins dudit noyau et chacune des couronnes délimite avec le gradin qu'elle entoure et avec la couronne qui la surmonte, une chambre de centrifugation annulaire.

L'invention a pour résultat un appareil qui permet de réaliser, dans les meilleures conditions de précision et d'automatisme, deux opérations distinctes en interchangeant les rotors de centrifugation.

Un premier rotor, dit rotor d'analyse granulométrique ou rotor de mesure de la répartition granulométrique permet d'établir en continu et automatiquement la courbe granulométrique d'une poudre.L'appareil muni d'un microprocesseur calcule automatiquement les paliers de vitesse qui aboutissent à une répartition granulométrique par tranches déterminées à l'avance par l'utilisateur et il fournit les vitesses calculées comme valeurs de consigne à un régulateur de vitesse du moteur d'entraînement du rotor qui maintient automatiquement la vitesse égale à la valeur de consigne pendant chaque palier de vitesse.

Un deuxième rotor, dit rotor de séparation fractionnée, permet de séparer physiquement une poudre en plusieurs tranches ayant chacune une granulométrie déterminée. Ce second rotor, qui est conique et qui comporte des gradins de diamètre croissant du haut vers le bas, présente un avantage important par rapport aux rotors coniques inversés connus. Lorsqu'on arrête la rotation du rotor et que l'on vide la cuve contenant celui-ci, l'eau qui est contenue dans les chambres de centrifugation s'écoule le long des gradins du rotor et il n'y a pas d'entraînement de particules d'une chambre à l'autre, d'où une meilleure précision de la séparation.

Connaissant un appareil de séparation fractionnée comportant un rotor équipé de plusieurs chambres de centrifugation dans chacune desquelles on isole une fraction granulométrique déterminée, il semblait

logique, à priori, d'utiliser ce même rotor pour mesurer la répartition granulométrique.

Les inventeurs ont préféré équiper leur appareil d'un deuxième rotor destiné spécialement à l'analyse granulométrique qui est entraîné à vitesse variable et qui comporte une seule chambre.

Ce deuxième rotor ne permet pas de séparer physiquement les particules en plusieurs tranches de granulométrie déterminée. Pour chaque palier de vitesse, il sépare toutes les particules ayant une granulométrie supérieure à un seuil déterminé par la vitesse. Toutefois, en utilisant des paliers successifs, de même durée et de vitesse croissante et en mesurant chaque fois l'épaisseur totale de la couche de particules, on peut calculer la distribution granulométrique et l'expérience montre que ce deuxième rotor, interchangeable avec le premier, permet de réaliser un appareil équipé d'un microprocesseur, entièrement automatique.

Un appareil automatique selon l'invention comporte un pupitre muni de roues codeuses permettant d'entrer dans l'appareil la densité des particules ainsi que la densité et la viscosité du liquide.

Le mode opératoire est très simple.

Il suffit de mettre le liquide contenant la poudre à analyser dans l'unité de stockage et d'homogénéisation.

Si on désire séparer physiquement la poudre en classes granulométriques, on équipe l'unité de centrifugation du rotor de séparation fractionnée et après une vingtaine de minutes, on obtient le fractionnement de la poudre en tranches granulométriques.

Si on désire obtenir l'analyse granulométrique de la poudre suivant plusieurs tranches granulométriques déterminées, on met en place le rotor d'analyse et l'appareil muni d'un microprocesseur pilote automatiquement le régulateur de vitesse du moteur pour obtenir les paliers de vitesse et il fournit une courbe granulométrique sur un écran et des résultats numériques sous forme de tableau imprimé.

Les avantages d'un microgranulomètre selon l'invention sont les suivants :

- les analyses sont rapides : environ 20 minutes;
- la reproductivité des mesures est bonne et donc les sources d'erreur dues à un opérateur sont éliminées;
- l'appareil travaille dans une plage de granulométries très fines comprises par exemple entre 40µ et 0,5µ. En changeant la viscosité

et la densité du liquide on peut modifier cette plage et obtenir par exemple des analyses granulométriques dans une plage comprise entre 70 µ et 2,5 µ.

Un appareil séparateur selon l'invention permet de récolter des fractions ayant une granulométrie inférieure à 2 µ.

Il permet de recueillir séparément et intégralement chaque tranche granulométrique et d'expérimenter séparément sur chacune d'elles. Par exemple, on peut effectuer sur chaque tranche des analyses chimiques, des analyses par diffractométrie aux rayons X, des analyses thermogravimétriques et thermiques différentielles.

Un appareil selon l'invention trouve des applications dans de nombreux domaines notamment dans les laboratoires de recherche en sédimentologie, dans l'industrie des ciments, de la métallurgie (poudres métalliques, alumine, ferrites) dans l'industrie pharmaceutique, la chimie, les industries alimentaires (farines, bouillies).

La description suivante se réfère aux dessins annexés qui représentent, sans aucun caractère limitatif, un exemple de réalisation d'un dispositif selon l'invention.

La figure 1 est une vue d'ensemble d'un dispositif selon l'invention.

La figure 2 est une demi-coupe axiale de l'unité de centrifugation équipée d'un rotor de séparation.

Les figures 3 et 4 sont des coupes partielles à plus grande échelle du rotor de la figure 2.

La figure 5 est une demi-coupe axiale d'un rotor d'analyse granulométrique.

Un dispositif selon l'invention est destiné à traiter des suspensions dans un liquide de particules solides très fines, ayant une densité supérieure à celle du liquide et insolubles dans le liquide.

Un dispositif selon l'invention permet non seulement de séparer les particules du liquide, mais également de classer les particules de même densité par tranches de granulométrie. Il permet également de mesurer en continu la quantité et donc le pourcentage de particules dans chaque tranche et donc d'établir des courbes granulométriques.

Un appareil selon l'invention est destiné à séparer des particules ayant des dimensions très faibles comprises entre 40 microns et 0,5 microns, qui sont très difficiles à classer par les appareils connus. Les appareils selon l'invention sont appelés des

microgranulomètres.

Ce dispositif comporte une unité de stockage et d'homogénéisation. Celle-ci comporte une cuve ou bac de stockage 1 qui reçoit un mélange de particules solides, dispersées dans un liquide défloculant. Le liquide contenu dans la cuve 1 est agité afin d'obtenir une suspension homogène des particules.

La cuve 1 comporte une enceinte ou chambre 2 ayant une ouverture en travers de laquelle est placé un tamis 3 à mailles de 40 µ, de sorte que les particules ayant des dimensions supérieures à 40 µ sont arrêtées par le tamis.

Afin de décolmater en continu le tamis 3, la chambre de séparation est montée sur un vibreur électromagnétique 4 actionné par un moteur électrique 4a.

Le vibreur 4 est par exemple un vibromixeur du type utilisé pour secouer des tubes à essais. Il fait vibrer la chambre 2 et le tamis 3 dans une direction parallèle au plan du tamis 3. La chambre 2 est plongée dans le liquide contenu dans la cuve 1 et les vibrations de la chambre agitent le liquide, de sorte que le vibreur 4 sert également d'agitateur.

La suspension contenue dans la chambre 2 est aspirée par une canalisation 5 qui est équipée d'une vanne 6 permettant de régler le débit et d'un capteur de débit 7. La canalisation 5 véhicule la suspension jusqu'à une unité de centrifugation qui peut remplir une double fonction, soit de séparation des particules en plusieurs tranches de granulométrie, soit de mesure en continu de la répartition granulométrique des particules.

L'unité de centrifugation est décrite en détail plus loin. Elle comporte une cuve cylindrique à axe vertical 8 à l'intérieur de laquelle tourne un rotor conique 9 à axe vertical, qui est entraîné en rotation par un moteur électrique 11, qui est un moteur à courant continu équipé d'un variateur de vitesse 12 et d'un capteur de vitesse 13.

L'unité de centrifugation comporte deux rotors interchangeables. Un premier rotor représenté schématiquement sur la figure 1 comporte des chambres annulaires 10 superposées dont les diamètres croissent du haut vers le bas. Ce premier rotor permet de séparer les particules du liquide et de les classer par tranches de granulométrie.

Le deuxième rotor, interchangeable avec le premier, comporte une

seule chambre. On fait varier périodiquement la vitesse de rotation du moteur d'entraînement 11 et on mesure périodiquement l'épaisseur totale de la couche de particules qui s'est déposée à la périphérie de la chambre. A partir de ces mesures périodiques, un microprocesseur incorporé à l'appareil calcule l'épaisseur de la couche de particules qui correspond à chaque granulométrie et la proportion de particules dans chaque tranche de granulométrie.

Une pompe 16 qui est, de préférence, une pompe volumétrique, aspire par une canalisation 14 le liquide contenu dans la cuve 8 et le refoule vers un réservoir 15.

La figure 2 est une demi-coupe axiale d'un mode de réalisation préférentiel de l'unité de centrifugation. Cette unité comporte un bâti fixe 17 sur lequel une cuve cylindrique 8, contenant le rotor 9, est fixée.

Le rotor 9 comporte un noyau axial de forme générale conique, qui est un noyau monobloc, comportant une surface externe usinée en escaliers ou en gradins. Le noyau 18 est traversé de part en part par un alésage axial 19. Le sommet du noyau conique 18 est placé à la partie supérieure. Le noyau conique 18 comporte, à la base, une cavité 20, dans laquelle est logé un dispositif d'entraînement 21 à dentures radiales, à portées coniques, qui est fixé à l'extrémité d'un arbre creux 22 d'entraînement en rotation. L'arbre 22 traverse la base de la cuve 8 et se prolonge vers le bas à l'intérieur du bâti creux 17.

Il porte une poulie crantée d'entraînement 23 qui est entraînée par une courroie crantée 24, à partir d'une deuxième poulie crantée 25, elle-même entraînée par un moteur électrique à courant continu 26 et à vitesse variable.

L'extrémité inférieure de l'arbre creux 22 porte un raccord 27 à joint tournant, qui est connecté sur la canalisation 5, par laquelle arrive la suspension à centrifuger.

La suspension circule dans un alésage axial de l'arbre creux 22, puis dans l'alésage 19, jusqu'au sommet du noyau conique 18.

Le rotor 9 comporte, en outre, des couronnes annulaires 28 qui sont disposées à la périphérie du noyau 18 et qui sont empilées les unes sur les autres. Chaque couronne 28 a la même hauteur que l'un des gradins du noyau 18. Toutes les couronnes 28 ont le même diamètre externe et elles sont placées sans jeu à l'intérieur d'un corps creux

cylindrique 29 qui assure leur centrage.

La figure 3 représente, à plus grande échelle, trois couronnes superposées 28_1, 28_2, 28_3 et les trois gradins du rotor au niveau desquels elles se trouvent, comportant chacun une partie horizontale 30_1, 30_2, 30_3 perpendiculaire à l'axe x x1 et une partie verticale 31_1, 31_2, 31_3.

On voit sur cette figure que chaque couronne s'appuie sur la couronne sous-jacente. Chaque couronne comporte un alésage axial 32_1, 32_2, 32_3, dont le diamètre est supérieur au diamètre de la partie verticale 31_1, 31_2, 31_3 du gradin situé au même niveau, de telle sorte qu'il délimite, avec celle-ci et avec la couronne sus-jacente, une chambre de centrifugation 33_1, 33_2, 33_3.

Les alésages 32_1, 32_2, 32_3 partent de la face supérieure de la couronne et leur hauteur est inférieure à celle de la couronne. Chaque alésage est prolongé par un contre-alésage, dont le diamètre interne est légèrement supérieur à celui des parties verticales 31_1, 31_2, 31_3, de sorte que chaque chambre de centrifugation est limitée vers le bas par une cloison annulaire 34_1, 34_2, 34_3 et il existe un jeu 35_1, 35_2, 35_3 entre le bord interne de cette cloison et les parties verticales 31_1, 31_2, 31_3. De plus, la face inférieure de chaque couronne comporte un fraisage annulaire 36_1, 36_2, 36_3, qui communique, par sa périphérie interne, avec la chambre de centrifugation supérieure et, par sa périphérie externe, avec la chambre de centrifugation inférieure.

La couronne inférieure est appuyée contre un épaulement 37 du corps cylindrique 29. La couronne supérieure est surmontée d'un disque 38 qui comporte, en son centre, une cuvette conique, dans laquelle vient s'appuyer la tête d'un pointeau conique tournant 39, qui est porté par des roulements 40 montés dans un boîtier 41 porté par un couvercle 42. Le couvercle 42 est muni de pattes ou d'oreilles qui sont engagées par rotation sous une bague filetée 43 qui est vissée sur la cuve 8. Le vissage de la bague permet d'appuyer le pointeau 39 contre le disque 38 pour bloquer l'empilage de couronnes. Les couronnes 28, le disque 38 et le pointeau 39 sont entraînés en rotation en même temps que le noyau 18. Le disque 38 comporte, au centre de sa face inférieure, un fraisage 44 dans lequel débouche l'alésage axial 19.

Le liquide contenant les particules en suspension circule dans

l'alésage 19, puis dans les chambres de centrifugation successives dans lesquelles il pénètre le long du bord supérieur interne, avec une vitesse axiale.

La figure 3 représente, à très grande échelle, une chambre de centrifugation 33. On a représenté par des flèches, le trajet du liquide qui arrive dans la chambre par le fraisage 36.

Une particule en suspension 44a entre dans la chambre 33 avec une vitesse V1 parallèle à l'axe x x1. De fait de la rotation, cette particule est soumise à une accélération centrifuge γ qui est proportionnelle à $\omega^2 R$, ω étant la vitesse angulaire et R le rayon à l'entrée de la chambre.

Cette particule en suspension sst soumise à une vitesse de sédimentation radiale V2, qui est donnée par la loi de STOKES et qui est proportionnelle à l'accélération centrifuge γ et au carré du diamètre de la particule. Selon leur granulométrie, les particules en suspension suivent des trajectoires différentes représentées en pointillés. Les particules les plus grosses, qui sédimentent le plus rapidement, s'éloignent de l'axe, elles rencontrent la cloison 34 et elles s'accumulent au fond de la chambre où elles forment une couche 45 d'épaisseur uniforme. Les particules dont le diamètre est inférieur à une valeur de seuil ne rencontrent pas la cloison 34 et elles sont entraînées par le liquide vers la chambre de centrifugation suivante où une nouvelle sélection a lieu.

Comme les diamètres des chambres vont en croissant du haut vers le bas, la force centrifuge qui s'exerce sur les particules en passant d'une chambre à la suivante, croît et on sépare donc des particules de plus en plus fines.

Pour une vitesse de rotation déterminée et un rayon de chambre déterminé, on voit que la hauteur de la cloison 34, par rapport au fond de la chambre détermine le seuil de granulométrie inférieur des particules qui s'accumulent dans une chambre.

Un rotor conique comme celui de la figure 2, comportant un ensemble de chambre de centrifugation 33 ayant des rayons croissants en allant du haut vers le bas, permet de séparer des particules en suspension ayant une granulométrie comprise entre 40µ et 0,5µ en autant de tranches de granulométrie que le rotor comporte de chambres.

La plage de granulométrie peut être modifiée en changeant la nature du liquide dispersant, c'est-à-dire la viscosité et la densité

de celui-ci ou la vitesse de rotation du moteur. La limite supérieure peut être portée à 70 microns.

Un rotor en gradins selon la figure 2 peut être utilisé par exemple dans un laboratoire pour recueillir séparément et intégralement les diverses tranches granulométriques d'une suspension, afin d'étudier leur composition ou d'expérimenter sur chacune d'elles.

Un rotor 18 selon la figure 2, dont le sommet du cône est situé à la partie supérieure, présente un avantage important par rapport à un cône inversé comme celui qui est décrit dans le brevet FR. 1.515.185.

Dans ce dernier, lorsqu'on arrête l'appareil, le liquide contenu dans les chambres de centrifugation s'écoule d'une chambre à l'autre en entraînant avec lui une partie des particules déposées dans le fond de chaque chambre et il y a donc un mélange entre particules de granulométrie différente.

On voit sur les figures 2 à 4 que cet inconvénient est supprimé car l'écoulement de liquide se fait le long des gradins du noyau.

On vient de voir que le rotor en gradins coniques selon les figures 2 à 4 permet de séparer une suspension en plusieurs tranches granulométriques et on pourrait donc envisager d'utiliser un tel rotor pour établir la courbe granulométrique en mesurant séparément les quantités qui se sont déposées dans le fond de chaque chambre. Une telle solution exige que l'on équipe le fond de chaque chambre d'une couronne amovible permettant d'extraire de celle-ci le gateau de particules qui se sont déposées dans la chambre. Elle entraîne donc des manutentions et présente l'inconvénient d''être discontinue.

Un dispositif selon la figure 1 permet d'établir en continu et de façon automatique, une courbe granulométrique. Pour cela, il suffit de modifier l'unité de centrifugation en remplaçant le rotor à gradins 18 de celle-ci par un rotor d'analyse granulométrique, qui est représenté sur la figure 5, les autres parties du dispositif restant inchangées.

La figure 5 est une demi-coupe axiale du rotor d'analyse granulométrique qui comporte un dispositif d'accouplement 21 à dentures radiales, identique à celui qui équipe le noyau 18, de telle sorte que les deux rotors sont facilement interchangeables.

Le rotor d'analyse comporte un noyau 46 qui est associé à

une couronne 47 qui est appuyée contre un épaulement 48 du noyau.

Le noyau 46 comporte un seul gradin qui délimite, avec la couronne 47, une seule chambre de centrifugation 49.

On voit sur la figure 5 que la couronne 47 comporte, à sa périphérie interne, une cloison radiale 50 qui pénètre dans la chambre 49 et qui est située sur le côté de la chambre opposée à l'arrivée du liquide dans la chambre. Cette cloison 50 remplit la même fonction de seuil de séparation que les cloisons 34 du rotor de séparation.

Le noyau 46 comporte un alésage axial 19. La couronne 47 est maintenue appuyée contre l'épaulement 48 par un couvercle 51 qui remplit la même fonction que le couvercle 38 et qui comporte, comme celui-ci, une cuvette centrale, dans laquelle vient s'appuyer le pointeau conique 39. Il existe un jeu 52 entre le couvercle 51 et la face supérieure du noyau 46. Le liquide chargé de particules en suspension qui arrive par l'alésage 19 circule dans le jeu 52 et entre dans la chambre de centrifugation 49, le long du bord supérieur interne de celle-ci, avec une vitesse axiale.

Pendant une analyse granulométrique, on fait croître, par paliers, la vitesse de rotation du moteur d'entraînement 26, de sorte que, pour chaque palier de vitesse, les particules qui se déposent dans le fond de la chambre 49 sont celles dont la granulométrie est supérieure à un seul de granulométrie et ce seuil décroît à mesure que la vitesse croît. La vitesse du moteur reste constante pendant chaque palier et tous les paliers de vitesse ont la même durée.

Le liquide contenant les particules dont la granulométrie est inférieure au seuil correspondant à chaque palier de vitesse, sort de la chambre de centrifugation par le jeu qui existe entre la cloison 50 et le noyau et il est évacué à l'intérieur de la cuve 8 qui contient le rotor par des canaux non représentés.

L'appareil d'analyse granulométrique comporte un capteur 53 qui est disposé en regard de la chambre de centrifugation 49 et qui mesure périodiquement l'épaisseur c de la couche 54 de particules qui se sont déposées dans le fond de la chambre 49.

Selon un mode de réalisation préférentiel, le capteur 53 est un capteur à ultrasons, par exemple un transducteur électro-acoustique, qui émet périodiquement des ondes acoustiques ultrasoniques et qui capte ensuite les échos réfléchis par les différentes interfaces rencontrées par le faisceau ultrasonore.

Le capteur 53 est fixe. Un film liquide 55 est intercalé entre le pavillon du transducteur et la couronne 47 pour permettre une bonne propagation des ultrasons.

Une partie du faisceau d'ultrasons est réfléchie par l'interface entre la couronne 47 et la couche 54 et donne un premier écho. Une autre partie du faisceau d'ultrasons est réfléchie par l'interface entre la couche 54 et le liquide contenu dans la chambre 49 et donne un deuxième écho. Le temps qui sépare ces deux échos est proportionnel à l'épaisseur cumulée c de la couche 54, à l'instant de la mesure.

Les signaux délivrés par le capteur d'épaisseur 53 sont envoyés sur le microprocesseur qui équipe l'appareil et qui est programmé pour traiter ces signaux et pour calculer l'épaisseur e_i qui correspond à chaque tranche granulométrique.

On désigne par e_1, e_2, $e_3 \ldots e_i$ les épaisseurs des tranches granulométriques successives en allant de la granulométrie la plus forte vers les plus faibles. On désigne par c_1, $c_2 \ldots c_i$ les épaisseurs cumulées mesuréespar le capteur 53 à la fin de chaque palier de vitesse.

A la fin du premier palier, on a $e_1 = c_1$. A la fin du deuxième palier, le capteur mesure une épaisseur cumulée c_2 qui est la somme de c_1, plus les épaisseurs e_1+e_2 puisqu'on a augmenté la vitesse du moteur et donc pendant le deuxième palier de vitesse, il se dépose non seulement les particules de la première tranche de granulométrie e_1 mais aussi celles de la deuxième tranche e_2, donc $c_2 = 2e_1 + e_2$ et $e_2 = c_2 - c_1 - e_1$.

A la fin du troisième palier, on mesure :

$c_3 = c_2 + e_1 + e_2 + e_3 = 3e_1 + 2e_2 + e_3$ et $e_3 = c_3 - c_2 - (e_1 + e_2)$.

A la fin du palier de rang i, le capteur mesure donc une épaisseur $c_i = c_{i-1} + e_1 + e_2 + \ldots e_1$ et le microprocesseur calcule par récurrence l'épaisseur de la tranche granulométrique :

$$e_i = c_i - c_{i-1} - \sum_{j=1}^{j=i-1} ej$$

Les limites des tranches granulométriques dépendent des constantes physiques qui sont la densité et la viscosité du liquide dispersant et la densité des particules. Ces constantes sont connues et les données correspondantes sont mises en mémoire dans le micro-

precesseur par exemple au moyen d'un clavier ou de roues codeuses.

Les limites des tranches dépendent également de données variables qui sont le débit de liquide et la vitesse du moteur 26.

On a vu en référence à la figure 1 que le dispositif comporte une pompe volumétrique 16 dont le débit est proportionnel à la vitesse. Cette pompe est équipée d'un capteur de vitesse, par exemple d'un capteur à impulsions et le microprocesseur reçoit donc directement de ce capteur une information de vitesse donc de débit Q de la pompe.

En ce qui concerne les paliers de vitesse du moteur d'entraînement, celui-ci est également équipé d'un capteur de vitesse qui délivre une information sur la vitesse du moteur et il est équipé d'un variateur de vitesse qui est piloté par un régulateur de vitesse, qui maintient la vitesse du moteur constante et égale à une vitesse de consigne pendant chaque palier de vitesse.

La vitesse de consigne correspondant à chaque palier est calculée par le microprecesseur pour obtenir une tranche de granulométrie dont le seuil inférieur est égal à ϕi. Le seuil supérieur de la tranche de rang i est égal au seuil inférieur $\phi i-1$ de la tranche précédente.

Le microprocesseur calcule les valeurs de consigne qui définissent les paliers de vitesse successifs du moteur par la formule $N = \frac{1,585}{\phi i}\sqrt{\frac{Q.n}{(Dp-Dl)^2}}$, dans laquelle N est le nombre de tours/minute du moteur, Q le débit de liquide mesuré, n la viscosité du liquide dispersant, Dp la densité des particules et Dl la densité du liquide dispersant.

Il suffit donc que l'utilisateur entre comme données dans l'appareil les limites ϕi des tranches de l'analyse granulométrique qu'il désire et l'appareil calcule automatiquement les paliers de vitesse successifs et délivre les valeurs de consigne au régulateur de vitesse du moteur. L'analyse granulométrique se déroule en continu et à la fin de celle-ci, l'appareil peut fournir les résultats de l'analyse granulométrique soit sous forme numérique, soit sous forme graphique sur un écran.

Afin que le liquide contenu dans les chambres de centrifugation soit entraîné en rotation à la même vitesse que le rotor, c'est-à-dire que la vitesse relative du liquide par rapport au rotor n'ait aucune composante tangentielle, il est avantageux de munir la chambre de centrifugation de plusieurs ailettes radiales, par exemple quatre ou

six ailettes 56 qui sont fixées à la périphérie interne 32_1, 32_2, 32_3 des couronnes et qui s'étendent à l'intérieur de la chambre sur toute la hauteur des cloisons 34_1, 34_2, 34_3.

On a représenté sur la figure 3 des ailettes 56 ayant une forme triangulaire.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour mesurer en continu la répartition granulométrique de particules solides très fines en suspension dans un liquide du type suivant lequel on sépare du liquide des particules solides ayant une granulométrie supérieure à un seuil, par centrifugation, dans une chambre portée par un rotor, caractérisé en ce que l'on utilise un rotor à vitesse variable, comportant une seule chambre de centrifugation et on fait croître périodiquement la vitesse dudit rotor par paliers de même durée, la vitesse restant constante au cours de chaque palier, et à la fin de chaque palier de vitesse, on mesure l'épaisseur cumulée (c_i) de la couche de particules qui s'est déposée à la périphérie de la chambre de centrifugation et on calcule l'épaisseur (e_i) de particules de chaque tranche granulométrique en soustrayant de ladite épaisseur cumulée (c_i) l'épaisseur cumulée $\sum_{j=1}^{i-1} (c_i - 1)$ mesurée à la fin du palier de vitesse précédent et la somme $(\sum_{j=1} e)$ des épaisseurs correspondant aux tranches de granulométrie précédentes.

2. Dispositif pour effectuer en continu l'analyse granulométrique de particules solides très fines en suspension dans un liquide, du type comportant une chambre de centrifugation (49), qui est portée par un rotor (46) à axe vertical, qui est entraîné en rotation par un moteur (26) pourvu d'un variateur de vitesse, caractérisé en ce que ledit dispositif comporte un capteur (53) qui est situé à l'extérieur dudit rotor (47) en regard de ladite chambre de centrifugation (49), lequel capteur mesure périodiquement l'épaisseur cumulée (c_i) de la couche (54) de particules qui s'est déposée contre la paroi externe de ladite chambre (49), chaque mesure étant effectuée à la fin de chaque palier de vitesse dudit rotor qui est entraîné à vitesse croissante, maintenue constante pendant chaque palier de vitesse, qui ont tous la même durée.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit capteur (53) est un capteur à ultrasons qui émet périodiquement, à la fin de chaque palier de vitesse, un faisceau d'ultrasons à travers ledit rotor et qui reçoit un premier écho réfléchi par l'interface entre ledit rotor (47) et ladite couche de particules (54) et un deuxième écho réfléchi par l'interface entre ladite couche (54) et le liquide contenu dans la chambre de centrifugation (49) et l'épaisseur cumulée de ladite couche (54) à la fin de chaque palier de vitesse est proportionnelle au temps qui sépare les deux échos.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que ledit rotor comporte un noyau (46) qui est percé d'un alésage axial (19) et qui est entraîné en rotation par un arbre vertical creux (22), une couronne (47) qui entoure ledit noyau en prenant appui sur un épaulement (48) de celui-ci et un couvercle (51) qui maintient ladite couronne (47) appuyée contre ledit épaulement et ledit noyau, ladite couronne et ledit couvercle délimitent entre eux une chambre de centrifugation annulaire (49).

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le liquide qui arrive par ledit alésage axial (19) circule dans un jeu (52) entre ledit noyau et ledit couvercle et pénètre dans ladite chambre annulaire (49), le long du bord supérieur interne de celle-ci avec une vitesse axiale et ladite couronne (47) comporte une cloison annulaire radiale (50) qui pénètre à l'intérieur de ladite chambre (49) et qui est située le long de la face radiale inférieure de celle-ci c'est-à-dire le long de la face radiale qui est opposée à l'arrivée du liquide dans la chambre.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième rotor,pour la séparation fractionnée des particules en plusieurs tranches granulométriques,qui est interchangeable avec le rotor d'analyse, lequel deuxième rotor est entraîné à vitesse constante et il comporte un noyau conique (18) en gradins dont les diamètres croissent du haut vers le bas et plusieurs couronnes annulaires (28) superposées qui entourent chacune un des gradins dudit noyau et chacune des couronnes délimite avec le gradin qu'elle entoure et avec la couronne qui la surmonte, une chambre de centrifugation annulaire (33).

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque couronne comporte, sur sa face inférieure, un fraisage annulaire (36_1, 36_2...36_n), dont le diamètre est légèrement supérieur au diamètre externe du gradin qu'elle surmonte, de sorte que le liquide chargé de particules sortant d'une chambre circule dans le vide constitué par ledit fraisage et pénètre dans la chambre de centrifugation suivante, le long du bord interne de celle-ci, avec une vitesse axiale et chaque couronne (28) comporte une cloison annulaire radiale (34) qui pénètre à l'intérieur de la chambre de centrifugation (33) délimitée par ladite couronne et qui est située le long de la face radiale inférieure de celle-ci.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, comportant,en outre, une unité de stockage et d'homogénéïsation de la suspension située en amont de l'unité de centrifugation, laquelle unité comporte une cuve (1) contenant ladite suspension et une chambre d'aspiration (2) qui est plongée dans ledit liquide et qui comporte une ouverture équipée d'un tamis plan (3), caractérisé en ce que ladite chambre (2) est montée sur un vibreur (4) qui fait vibrer ladite chambre dans une direction parallèle au plan dudit tamis, de sorte que ladite chambre fait fonction d'agitateur de la suspension et que l'on obtient en même temps un décolmatage automatique dudit tamis.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que ledit moteur (26) comporte un régulateur de vitesse, que ledit dispositif comporte une pompe volumétrique (16) équipée d'un capteur de vitesse et que ledit appareil comporte un microprocesseur dans lequel on entre en données la viscosité (n) et la densité (D1) du liquide, la densité(Dp) des particules et les diamètres (ϕi) qui définissent les seuils inférieurs des diverses tranches de granulométrie souhaités et, à partir de ces données et de la mesure de débit donnée par ledit capteur de vitesse de la pompe volumétrique, ledit microprocesseur calcule les paliers de vitesse du moteur et communique ces valeurs comme consignes successives audit régulateur de vitesse et ledit microprocesseur reçoit les signaux délivrés par ledit capteur (53) à la fin de chaque palier de vitesse et il calcule les proportions de particules dans chaque tranche granulométrique.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que chaque couronne comporte plusieurs ailettes radiales (56) qui s'étendent à l'intérieur de la chambre de centrifugation à partir de la périphérie interne de la couronne.

Fig.1

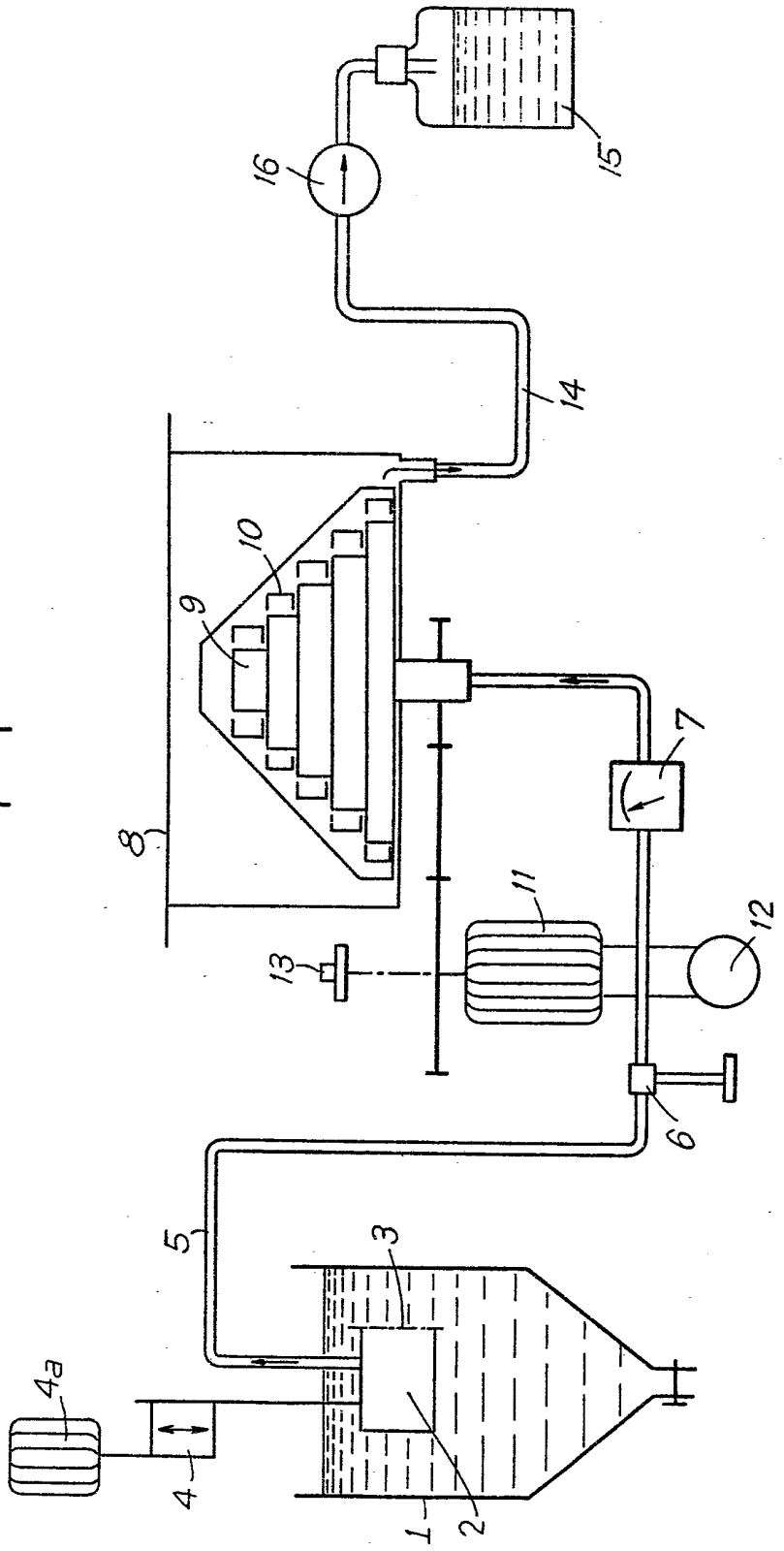


Fig-2

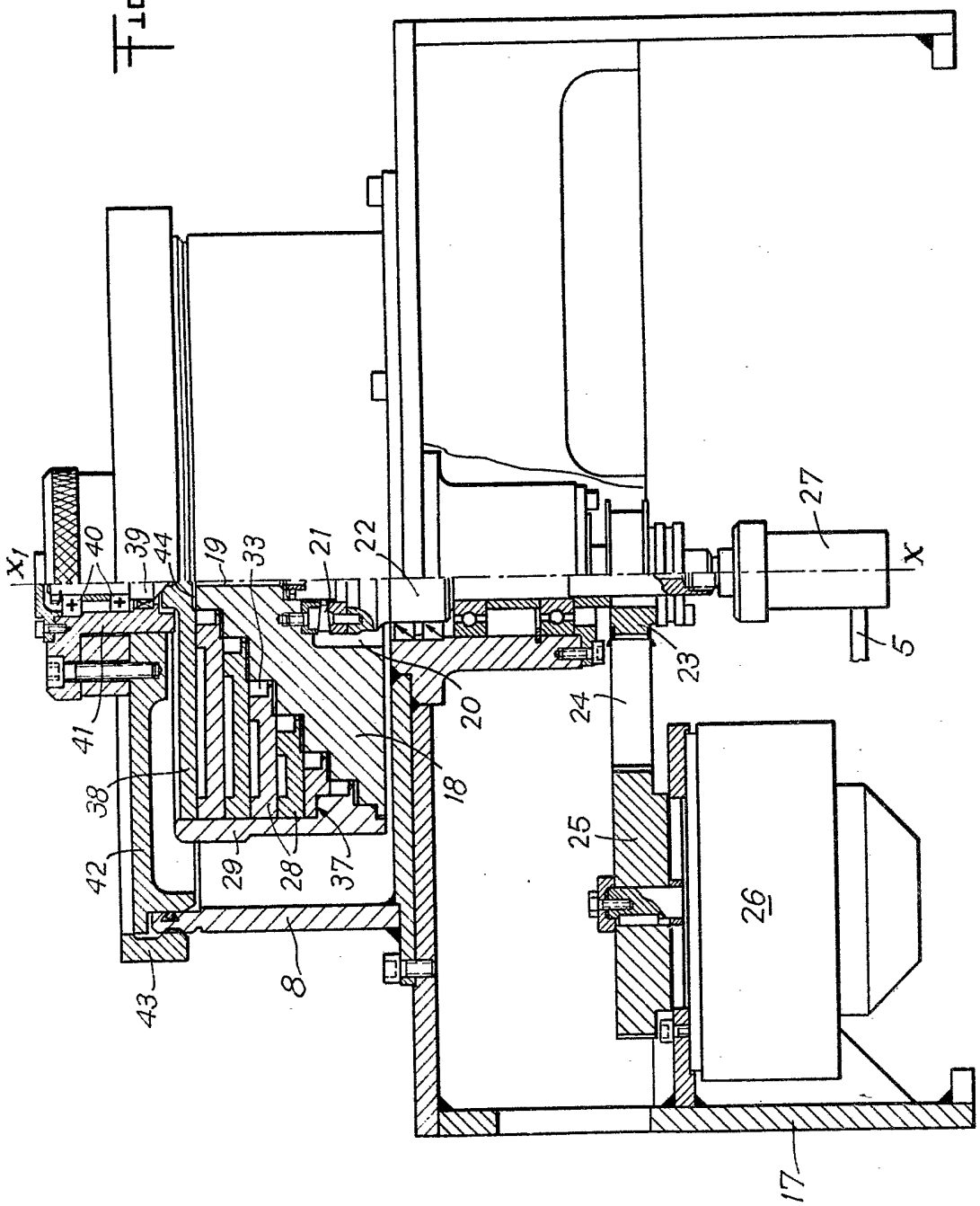


Fig. 3

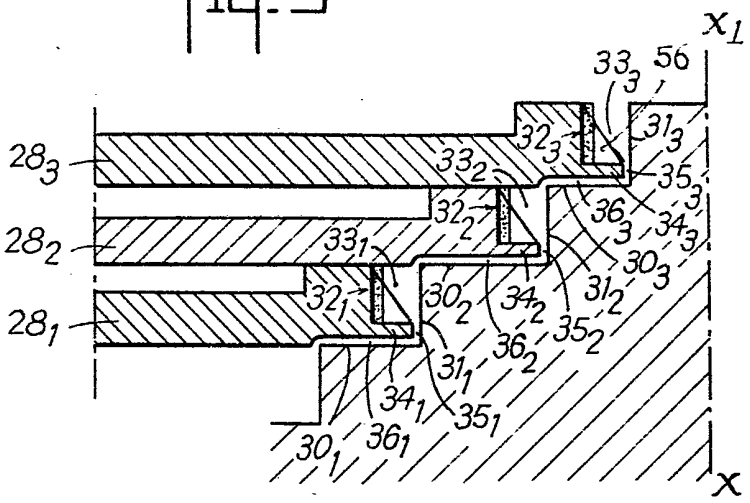
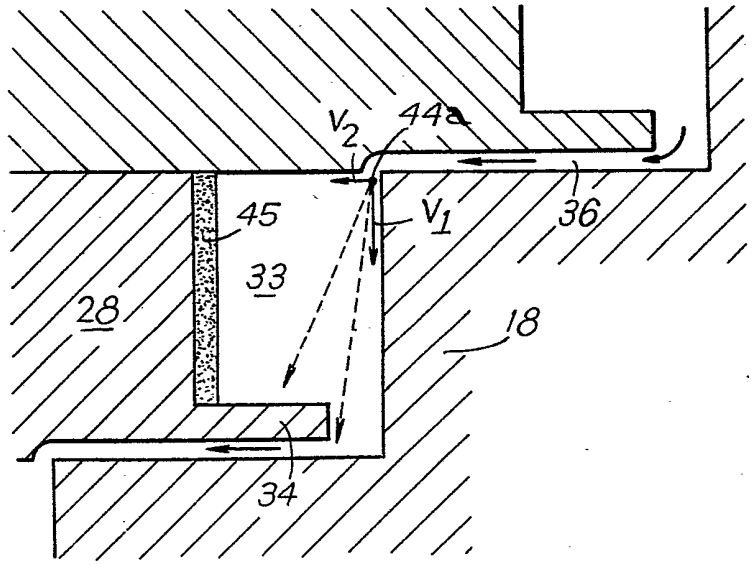

X_1
33_3
56
31_3
32_3
28_3
33_2
35_3
32_2
36_3
34_3
28_2
33_1
30_3
32_1
30_2
34_2
31_2
28_1
35_2
36_2
31_1
34_1
35_1
30_1
36_1
X

Fig. 4


V_2
44a
45
V_1
36
33
28
18
34

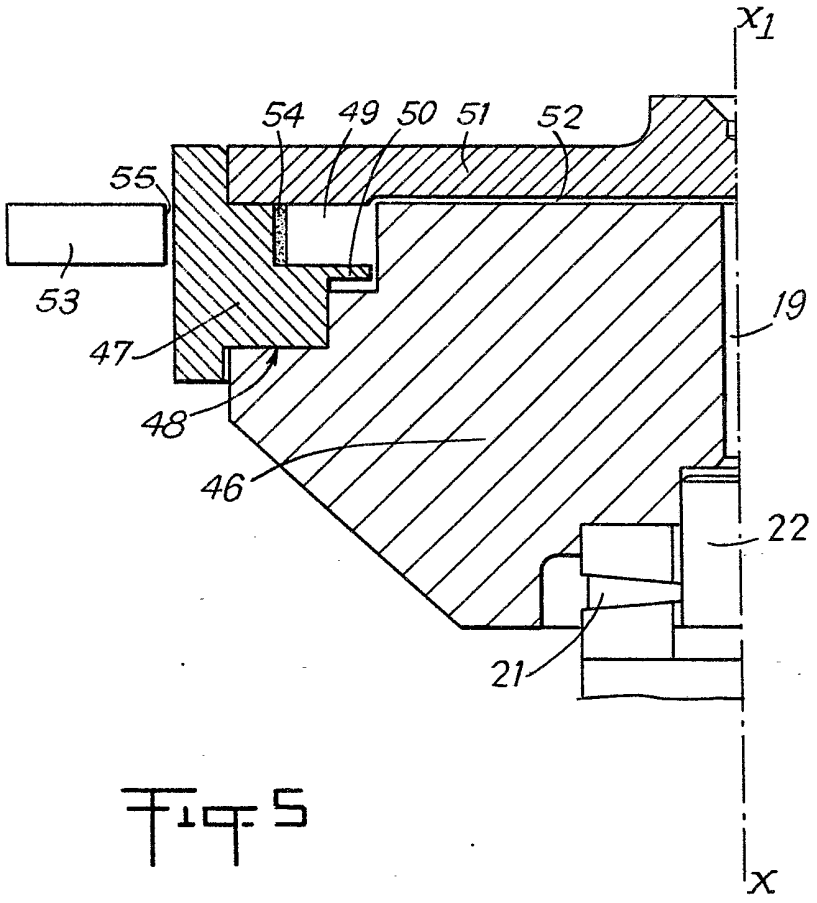


Fig 5