



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**23.04.2008 Bulletin 2008/17**

(51) Int Cl.:  
**B24C 1/10 (2006.01) B23P 15/04 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **07118696.9**

(22) Date de dépôt: **17.10.2007**

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Etats d'extension désignés:  
**AL BA HR MK RS**

(30) Priorité: **20.10.2006 FR 0654428**

(71) Demandeur: **SONATS - Société des Nouvelles Applications des Techniques de Surfaces**  
**44470 Carquefou (FR)**

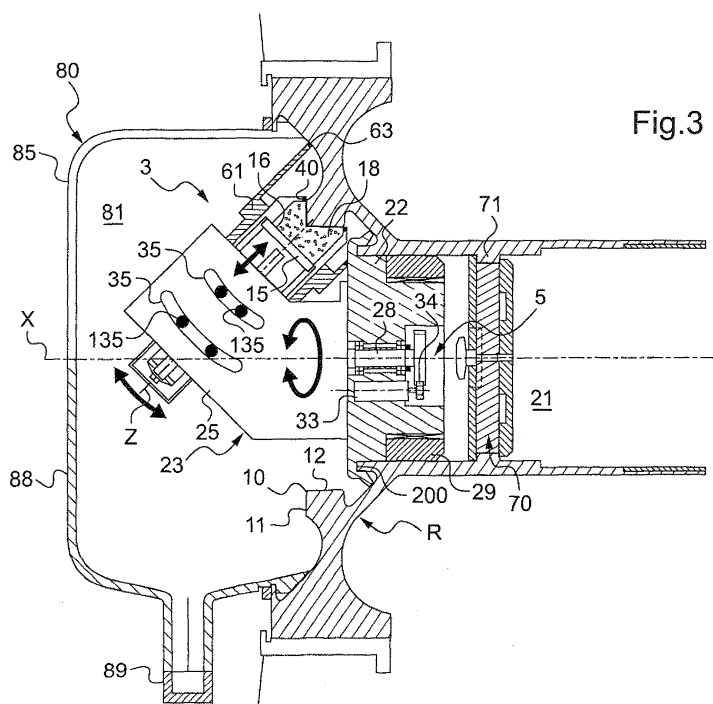
(72) Inventeurs:  
• **Cheppe, Patrick**  
**44115 Basse Goulaine (FR)**  
• **Desfontaine, Vincent**  
**44310 Saint Lumine de Coutais (FR)**  
• **Duchazeaubeneix, Jean-Michel**  
**44840 Les Sorinières (FR)**  
• **Jacob, Philippe**  
**44700 Orvault (FR)**

(74) Mandataire: **Tanty, François**  
**Nony & Associés,**  
**3, rue de Penthievre**  
**75008 Paris (FR)**

(54) **Procédés et installations de grenaillage**

(57) La présente invention concerne un procédé de grenaillage d'une portion au moins d'une machine tournante comportant un rotor, procédé dans lequel le grenaillage s'effectue avec un rotor au moins partiellement assemblé, le rotor comportant éventuellement des alvéoles en périphérie, le procédé comportant les étapes con-

sistant à :  
- fixer à la machine, ailleurs que dans une alvéole courante éventuelle à traiter, un système de support (23) d'au moins un ensemble acoustique (3),  
- grenailler au moins une région de la machine, à l'aide de projectiles (17) mis en mouvement par l'ensemble acoustique.



**Fig.3**

## Description

**[0001]** La présente invention concerne les procédés et installations de grenailage comportant un ensemble acoustique et des projectiles mis en mouvement par l'ensemble acoustique.

**[0002]** WO 02/24411 divulgue un procédé de grenailage des aubes sur un disque aubagé de rotor.

**[0003]** Le disque n'est pas solidaire des autres composants du rotor de la machine durant le traitement.

**[0004]** Un tel procédé ne convient pas à un traitement *in situ* de la machine.

**[0005]** EP 1 207 014 décrit un procédé de grenailage par ultrasons des alvéoles annulaires d'attache d'aubes sur une jante de rotor.

**[0006]** Dans ce procédé, la jante est traitée isolément, isolée des autres composants du rotor.

**[0007]** Le brevet US 6 343 495 divulgue un dispositif portatif permettant de grenailer localement une pièce afin d'introduire des contraintes de compression ou modifier son état de surface.

**[0008]** Les demandes US 2002-0042978, FR 2 815 280 et US 2006-0021410 divulguent des installations dans lesquelles la pièce à traiter est introduite au moins partiellement dans l'installation.

**[0009]** Ces installations conviennent pour traiter des pièces constitutives d'une machine lors de la fabrication de celle-ci ou lors de sa maintenance après démontage complet de la machine.

**[0010]** Il existe un besoin pour raccourcir autant que possible la durée d'une opération de maintenance faisant intervenir un grenailage lorsque l'immobilisation de la machine s'avère coûteuse.

**[0011]** L'invention vise, entre autres, à répondre à ce besoin.

**[0012]** L'invention a ainsi pour objet, selon l'un de ses aspects, un procédé de grenailage d'une portion au moins d'une machine tournante comportant un rotor, dans lequel le grenailage s'effectue avec le rotor au moins partiellement assemblé, le procédé comportant les étapes consistant à :

- fixer à la machine un système de support d'au moins un ensemble acoustique,
- grenailer au moins une région de la machine à l'aide de projectiles mis en mouvement par l'ensemble acoustique.

**[0013]** Grâce à l'invention, le traitement peut avoir lieu sur site, par exemple dans une centrale ou à proximité de l'aéronef équipé de la machine, ou en usine mais dans les deux cas sur un rotor au moins partiellement assemblé.

**[0014]** Le temps d'immobilisation de celle-ci peut alors être réduit, car le démontage complet de la machine est évité.

**[0015]** Par « rotor au moins partiellement assemblé », il faut comprendre que le rotor n'a pas été extrait en to-

talité du stator de la machine ou que le rotor est non monté dans le stator mais non complètement démonté, la pièce du rotor traitée étant par exemple assemblée avec d'autres composants du rotor tels qu'un ou plusieurs disque(s) ou carter(s) et/ou arbre(s) et/ou câble(s). Le rotor peut notamment comporter lors du traitement du grenailage au moins la majorité des composants qui l'équipent lorsque le rotor est en place prêt à fonctionner dans la machine tournante. Le rotor n'est ainsi pas limité, lors de son traitement, à un seul disque aubagé ou une jante, contrairement à WO 02/24411 et EP 1 207 014.

**[0016]** Le procédé selon l'invention peut permettre un traitement *in situ*, lorsque le rotor est en place avec la machine sur un aéronef ou dans une centrale, par exemple.

**[0017]** Le traitement peut avoir pour but par exemple d'introduire des contraintes de compression pour éviter la propagation de fissures sur la pièce dans sa géométrie existante ou après nouvel usinage de celle-ci pour la réparer ou procéder à une modification de sa forme.

**[0018]** Le rotor peut comporter ou non, à sa périphérie, des alvéoles servant à la fixation d'ailettes (encore appelées pales ou aubes) par coopération de formes entre chaque alvéole et le pied de l'ailette correspondante.

**[0019]** En présence d'alvéoles, la fixation du système de support sur le rotor peut s'effectuer ailleurs que dans l'alvéole courante à traiter, par exemple dans une alvéole adjacente à l'alvéole courante.

**[0020]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, le système de support comporte une articulation permettant la rotation de l'ensemble acoustique au moins autour d'un axe de rotation, lequel peut coïncider avec celui du rotor. L'ensemble acoustique peut par exemple être déplacé en rotation sur au moins 360° autour de l'axe de rotation du rotor, en fonction par exemple de la géométrie et de l'emplacement de la région à traiter.

**[0021]** Le procédé selon l'invention convient par exemple pour traiter un rotor de turbine à gaz ou à vapeur, notamment une turbine d'aéronef ou une turbine terrestre.

**[0022]** La région traitée comprend par exemple une arête définie par la jonction d'une surface du rotor transversale, par exemple perpendiculaire, à l'axe de rotation et d'une surface, par exemple cylindrique ou conique, de révolution autour de l'axe de rotation. Pour effectuer le traitement d'une telle région, l'ensemble acoustique peut être positionné en regard de l'arête et entraîné en rotation le long de celle-ci.

**[0023]** L'ensemble acoustique comporte une surface vibrante sur laquelle rebondissent les projectiles qui est par exemple plane, concave, convexe, conique, pyramidale, en forme de bol ou autre. Une normale à la surface vibrante est par exemple orientée à 45° environ par rapport à l'axe de rotation du rotor. D'autres orientations sont possibles en fonction de la géométrie de la surface vibrante et de celle de la région traitée.

**[0024]** Le cas échéant, l'orientation de la surface vibrante relativement à l'axe de rotation du rotor peut être

variable dans le temps, afin par exemple de pouvoir traiter plus facilement une géométrie complexe.

**[0025]** La région traitée peut encore être située sur un alésage central du rotor ou ailleurs, par exemple dans une alvéole périphérique éventuelle, sur un bord d'attaque du rotor ou du stator, sur une aube, notamment une aube d'un rotor monobloc et plus généralement sur toute surface nécessitant un traitement de grenaillage local ou complet, par exemple une surface s'étendant ou non sur toute une révolution. Le procédé selon l'invention peut être limité, le cas échéant, à une retouche locale.

**[0026]** Le fonctionnement de l'ensemble acoustique peut être permanent ou non durant le traitement de la région concernée.

**[0027]** Selon les cas, par exemple pour traiter des alvéoles périphériques, au moins un premier traitement d'une première région de la machine, par exemple une première alvéole, peut être effectué puis un deuxième traitement peut avoir lieu sur une deuxième région de la machine, par exemple une deuxième alvéole, distante circonférentiellement de la première région, avec un déplacement relatif de la machine et de l'ensemble acoustique entre les deux traitements, l'ensemble acoustique ayant un fonctionnement interrompu entre les deux traitements.

**[0028]** Plusieurs ensembles acoustiques peuvent fonctionner simultanément, le cas échéant. Un ensemble acoustique peut comporter une ou plusieurs sonotrodes.

**[0029]** Un ensemble acoustique peut par exemple comporter plusieurs sonotrodes disposées côte à côte de manière à traiter une région étendue, par exemple traiter une alvéole sur toute sa longueur. Le cas échéant, les axes des différents empilements acoustiques associés aux sonotrodes sont non coplanaires, afin par exemple de pouvoir traiter une alvéole s'étendant selon un axe longitudinal curviligne. Les axes des différents empilements acoustiques peuvent être parallèles entre eux.

**[0030]** Les sonotrodes peuvent appartenir à des empilements acoustiques respectifs qui sont par exemple portés par une pièce commune. La fixation d'un empilement acoustique à cette pièce peut s'effectuer au niveau d'un noeud de vibration. Les sonotrodes peuvent présenter des surfaces vibrantes, contre lesquelles viennent les projectiles, qui sont de forme allongée, notamment rectangulaire.

**[0031]** Les grands axes de deux surfaces vibrantes adjacentes, par exemple de forme sensiblement rectangulaire, peuvent former un angle. Un joint en forme de coin peut être disposé entre deux sonotrodes adjacentes afin d'éviter que des projectiles ne s'engagent entre les sonotrodes.

**[0032]** L'utilisation de plusieurs sonotrodes ayant des surfaces vibrantes de forme sensiblement rectangulaire peut permettre de bénéficier d'une intensité de traitement relativement élevée.

**[0033]** Le système de support peut se fixer, de manière générale, aussi bien sur le stator que sur le rotor. Une fixation sur le rotor peut néanmoins s'avérer préférable

dans certaines situations, notamment lorsque c'est le rotor qui doit être traité.

**[0034]** Le système de support est par exemple fixé dans un alésage central du rotor, lorsqu'un tel alésage existe.

**[0035]** La fixation dans un alésage central peut permettre de simplifier la mise en rotation de l'ensemble acoustique autour de l'axe de rotation du rotor. Cela peut également permettre, le cas échéant, d'utiliser le support pour obturer l'alésage et éviter que des projectiles ne pénètrent accidentellement dans un espace intérieur de la machine.

**[0036]** La fixation peut encore avoir lieu dans une alvéole périphérique, lorsqu'il s'agit de traiter au moins partiellement une ou plusieurs alvéoles périphériques.

**[0037]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, le bon positionnement du système de support sur le rotor, par exemple dans l'alésage central, dans une alvéole ou ailleurs, est détecté de façon automatique et l'on interdit le fonctionnement du ou des ensembles acoustiques en cas de mauvais positionnement.

**[0038]** Cette détection automatique peut permettre de réduire encore la durée de l'intervention en allégeant les vérifications effectuées par l'opérateur avant l'introduction des projectiles et/ou la mise en fonctionnement du ou des ensembles acoustiques.

**[0039]** Tous moyens de détection peuvent être utilisés à cette fin, reposant par exemple sur l'utilisation d'un ou plusieurs contacteurs ou capteurs résistifs, capacitifs, inductifs ou optiques ou autres.

**[0040]** Le système de support peut comporter un moteur pour déplacer, par exemple entraîner en rotation, l'ensemble acoustique relativement au rotor. En variante, l'ensemble acoustique peut être déplacé manuellement. Le déplacement de l'ensemble acoustique, par exemple l'entraînement en rotation, peut s'effectuer de manière continue ou par incréments.

**[0041]** Le moteur peut être fixe relativement à la machine. En variante, le moteur peut être mobile relativement à la machine, étant par exemple monté dans une partie du système de support se déplaçant avec l'ensemble acoustique, par exemple tournant avec celui-ci.

**[0042]** Le système de support peut venir au contact de la machine sur une surface relativement étendue. En variante, le contact peut se faire de manière ponctuelle, par exemple selon au moins trois points lorsqu'une possibilité de centrage est prévue.

**[0043]** Le système de support peut comporter une première partie fixe relativement à la machine, et une deuxième partie, mobile relativement à cette première partie, avec au moins une articulation s'interposant entre la partie fixe et la partie mobile, l'ensemble acoustique étant porté par la deuxième partie. Le cas échéant, le système de support est agencé pour permettre un réglage du centrage de la deuxième partie relativement à la première. L'articulation précitée peut comporter un ou plusieurs roulements.

**[0044]** Le système de support peut comporter un

moyen de détection du mouvement de la deuxième partie relativement à la première partie, par exemple un codeur.

**[0045]** Le système de support peut être fixé sur le rotor en vue de traiter une région du stator. Le déplacement de l'ensemble acoustique peut résulter, le cas échéant, du déplacement relatif du rotor relativement au stator.

**[0046]** Lorsque le rotor comporte un alésage central, ce qui peut être le cas par exemple d'un rotor de moteur d'avion, il peut s'avérer avantageux de disposer dans cet alésage central une barrière de sécurité afin de réduire le risque que des projectiles ne s'échappent à travers l'alésage central dans la machine et n'obligent à démonter celle-ci pour leur récupération.

**[0047]** La barrière de sécurité peut être équipée de moyens de détection sensible au positionnement de la barrière sur le rotor. Le fonctionnement de l'ensemble acoustique peut être empêché en cas de détection d'un mauvais positionnement, susceptible d'entraîner un risque de perte de projectile. Les moyens de détection peuvent comporter un ou plusieurs contacteurs ou capteurs résistifs, capacitifs, inductifs, optiques ou autres.

**[0048]** La barrière de sécurité peut se fixer de diverses manières sur le rotor, par exemple par expansion radiale ou grâce à au moins un élément de verrouillage qui peut venir par exemple en appui sur un épaulement de l'alésage, par exemple derrière une nervure formant saillie dans l'alésage.

**[0049]** La barrière de sécurité peut encore être maintenue par d'autres moyens tels que par exemple un ruban adhésif, une colle ou un ou plusieurs aimants.

**[0050]** L'invention s'applique encore, entre autres, au traitement d'un rotor comportant une pluralité d'alvéoles périphériques servant à la fixation d'ailettes, par exemple un rotor de turbine à gaz ou à vapeur, destiné à la production d'énergie mécanique et/ou électrique.

**[0051]** Les alvéoles peuvent être traitées successivement, chacune individuellement ou par groupes d'alvéoles.

**[0052]** Selon un aspect de l'invention, le système de support est agencé pour se fixer ailleurs que dans l'alvéole courante à traiter.

**[0053]** Par alvéole « courante », on désigne l'alvéole dans laquelle se situent les projectiles lorsque l'ensemble acoustique fonctionne et que le système de support est en place sur la machine. La fixation du système de support ailleurs que dans l'alvéole courante permet de traiter celle-ci en totalité, si cela est souhaité.

**[0054]** Sur certains rotors, des trous débouchent dans les alvéoles et servent par exemple à canaliser un flux d'air de refroidissement ou un lubrifiant. Il peut être souhaitable d'obturer le trou de chaque alvéole courante à traiter, afin d'éviter que des projectiles ne s'échappent par ce trou lors du traitement. Cette obturation peut avantageusement s'effectuer dans certains cas au moyen d'un système d'obturation indépendant du système de support. Le fait que le système d'obturation soit indépendant du système de support peut présenter l'avantage de faciliter l'adaptation du système d'obturation au trou

malgré les variations dimensionnelles susceptibles de se rencontrer sur certains rotors.

**[0055]** Le système d'obturation peut notamment comporter au moins un organe d'obturation mis en place en étant introduit dans une alvéole autre que l'alvéole courante.

**[0056]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, le procédé de traitement comporte les étapes consistant à :

- détecter automatiquement une obturation complète du trou, et
- interdire le fonctionnement de l'ensemble acoustique en cas de détection d'une obturation incomplète du trou.

**[0057]** Cela peut permettre d'éviter des vérifications fastidieuses pour l'opérateur et les conséquences lourdes de l'indisponibilité machine.

**[0058]** La détection peut s'effectuer grâce au fait qu'un organe d'obturation peut comporter au moins un contacteur agencé pour changer d'état lorsque l'organe d'obturation est dans une configuration d'obturation du trou.

**[0059]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, une chambre de traitement étant définie par l'ensemble acoustique et la région à traiter, le procédé comporte les étapes consistant à :

- détecter automatiquement une fermeture suffisante de la chambre de traitement pour éviter le départ des projectiles,
- interdire le fonctionnement de l'ensemble acoustique en cas de fermeture insuffisante de la chambre de traitement.

**[0060]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, le procédé comporte les étapes consistant à :

- introduire les projectiles dans une chambre de traitement définie au moins partiellement par l'ensemble acoustique et la région à traiter, les projectiles étant initialement éloignés d'une surface vibrante de l'ensemble acoustique,
- initier le mouvement des projectiles en injectant au moins un jet d'air comprimé dans la chambre de traitement afin de les projeter au moins partiellement contre la surface vibrante.

**[0061]** L'introduction des projectiles dans la chambre de traitement peut avoir lieu de manière manuelle ou automatique, l'opérateur déplaçant par exemple un obturateur mobile dans la chambre de traitement entre une première position de confinement des projectiles hors de la région à traiter et une deuxième position permettant aux projectiles de gagner la région à traiter.

**[0062]** Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, l'obturateur mobile est empêché de se déplacer dans la deuxième position tant que les moyens de dé-

tection présents sur l'installation indiquent un risque de perte de projectile.

**[0063]** Un organe de verrouillage de l'obturateur est par exemple prévu à cet effet, notamment dans le cas où l'obturateur peut être déplacé manuellement. Lorsque l'obturateur est déplacé automatiquement, la commande de son déplacement peut être inactivée tant que le risque précité existe.

**[0064]** Des moyens de détection d'un risque de perte de projectiles peuvent être situés sur des éléments de formation d'enceinte primaire qui définissent avec la surface vibrante et la région traitée la chambre de traitement où les projectiles restent emprisonnées durant tout le traitement.

**[0065]** D'autres moyens de détection peuvent également être situés sur des éléments de formation d'une enceinte secondaire située à l'extérieur de l'enceinte primaire.

**[0066]** L'invention a encore pour objet une installation de grenailage permettant de traiter une machine tournante, comportant un rotor au moins partiellement assemblé, l'installation comportant :

- un système de support,
- un ensemble acoustique porté par le système de support,

le système de support permettant la fixation de l'ensemble acoustique sur la machine sans démontage complet du rotor, par exemple sans extraction du rotor de la machine.

**[0067]** Par « fixation de l'ensemble acoustique sur la machine », il faut comprendre que le système de support peut le cas échéant se fixer sur le rotor seul, lorsque celui-ci a été extrait du stator, mais n'est pas complètement démonté.

**[0068]** En présence d'alvéoles en périphérie du rotor, le système de fixation peut être agencé pour se fixer ailleurs que dans l'alvéole courante à traiter, par exemple dans une alvéole adjacente.

**[0069]** Le système de support peut comporter une partie agencée pour se fixer sur le rotor, par exemple dans un alésage central de celui-ci. La fixation peut se faire par exemple grâce à une expansion d'une partie du système de support.

**[0070]** Le système de support peut comporter au moins une articulation permettant une rotation de l'ensemble acoustique autour d'un axe de rotation coïncidant avec l'axe de rotation du rotor.

**[0071]** Le système de support peut comporter un système de centrage permettant de faire coïncider un axe de rotation de l'ensemble acoustique avec l'axe de rotation du rotor.

**[0072]** Le système de support peut être agencé pour permettre un déplacement de l'ensemble acoustique selon l'axe longitudinal de celui-ci et/ou un réglage de l'orientation de l'axe longitudinal de l'ensemble acoustique, notamment de l'orientation relativement à l'axe de

rotation.

**[0073]** Ces moyens de réglage peuvent permettre de déplacer l'ensemble acoustique relativement au système de support en fonction de la géométrie de la machine et de celle de la région devant être grenailée.

**[0074]** Comme mentionné ci-dessus, le système de support peut comporter des éléments de formation d'une enceinte primaire définissant avec la surface vibrante et la région traitée la chambre de traitement.

**[0075]** Ces éléments de formation de l'enceinte primaire peuvent être munis d'au moins un détecteur permettant de détecter la fermeture suffisante de la chambre de traitement, par exemple détecter que le jeu éventuel entre au moins un élément de formation d'enceinte primaire et la pièce à traiter est inférieur à la dimension d'un projectile, notamment inférieur ou égal à la moitié du diamètre d'un projectile.

**[0076]** Le système de support peut également comporter des éléments de formation d'enceinte secondaire, à l'extérieur de l'enceinte primaire, destinés à assurer une protection supplémentaire vis-à-vis du risque de départ accidentel d'un projectile hors de la chambre de traitement formée par l'enceinte primaire.

**[0077]** Ces éléments de formation d'enceinte secondaire peuvent comporter au moins un détecteur destiné à détecter une fermeture suffisante de l'enceinte secondaire pour éviter le départ des projectiles, par exemple détecter l'appui des éléments de formation d'enceinte secondaire contre la machine à traiter et/ou le système de support.

**[0078]** Les détecteurs utilisés aussi bien pour les éléments de formation d'enceinte primaire que ceux de formation d'enceinte secondaire peuvent comporter au moins un contacteur, par exemple du type micro-interrupteur, ou un capteur inductif, capacitif ou résistif, voire optique.

**[0079]** Les éléments de formation d'enceinte primaire ou secondaire peuvent être sollicités vers une position de fermeture de l'enceinte correspondante par au moins un organe de rappel élastique, tel que par exemple un ressort.

**[0080]** L'installation peut comporter un système de protection vis-à-vis des chocs extérieurs, définissant un espace contenant l'ensemble acoustique. Ce système de protection vis-à-vis des chocs peut ne pas être étanche aux projectiles, étant destiné au moins à limiter le risque d'une collision accidentelle d'un opérateur ou d'un objet contre l'ensemble acoustique, collision qui pourrait modifier la position de l'ensemble acoustique et/ou du système de support relativement à la machine et entraîner le départ accidentel de projectiles.

**[0081]** Le système de protection vis-à-vis des chocs peut comporter une partie inférieure non ajourée afin de récupérer un projectile ayant chuté dedans. Cette partie non ajourée peut se terminer inférieurement par un bouchon de récupération des projectiles.

**[0082]** Le système de protection vis-à-vis des chocs peut comporter en partie supérieure un ou plusieurs bar-

reaux, voire un grillage ou une paroi transparente permettant l'accès visuel à l'ensemble acoustique.

**[0083]** Le système de protection vis-à-vis des chocs peut être équipé de moyens de détection qui permettent de détecter le bon positionnement du système de protection vis-à-vis de la machine à traiter.

**[0084]** Ces moyens de détection peuvent par exemple comporter un détecteur qui est sensible à un appui du système de protection contre la machine, par exemple un contacteur qui change d'état en prenant appui sur le rotor lorsque le système est correctement positionné.

**[0085]** L'installation peut comporter comme mentionné plus haut une barrière de sécurité à disposer dans un alésage du rotor afin de fermer celui-ci.

**[0086]** Le système de support peut comporter au moins un détecteur interdisant le fonctionnement de l'ensemble acoustique en cas de mauvais positionnement du système de support.

**[0087]** Lorsque le système de support est destiné à être fixé dans l'alésage du rotor, ce détecteur peut par exemple comporter un contacteur changeant d'état en prenant appui contre le rotor lorsque le système de support est correctement positionné.

**[0088]** L'installation peut encore être agencée, par exemple, pour traiter l'alésage central du rotor ou des alvéoles situées en périphérie du rotor.

**[0089]** Le système de support peut notamment comporter un bras, articulé ou non, dont l'extrémité est agencée pour se fixer, par coopération de formes, dans une alvéole adjacente à l'alvéole courante. Ce bras peut par exemple comporter une extrémité ayant une forme complémentaire de l'alvéole et être engagée dans celle-ci par mouvement de coulissement.

**[0090]** Le système de support peut comporter une ou plusieurs glissières permettant de déplacer l'ensemble acoustique relativement à l'alvéole courante pour le rapprocher ou l'éloigner du fond de cette alvéole et/ou le déplacer le long de l'alvéole.

**[0091]** L'installation peut comporter un ou plusieurs éléments d'obturation mis en place dans l'alvéole courante et/ou à proximité de celle-ci, de façon à définir une chambre de traitement. Ce ou ces éléments d'obturation sont par exemple agencés, au moins pour certains, pour épouser la forme d'un ou plusieurs flancs de l'alvéole courante.

**[0092]** Lorsque le système de support est agencé pour permettre un déplacement de l'ensemble acoustique le long de l'axe longitudinal de l'alvéole courante, l'installation peut comporter un ou plusieurs éléments d'obturation agencés pour coulisser dans l'alvéole et disposés de part et d'autre d'une surface vibrante de l'ensemble acoustique.

**[0093]** Ces éléments d'obturation peuvent être déplacés le long de l'alvéole au fur et à mesure du traitement de celle-ci, étant par exemple solidaires de l'ensemble acoustique et/ou d'une partie du système de support.

**[0094]** L'installation peut comporter plusieurs ensembles acoustiques.

**[0095]** L'installation peut comporter plusieurs sonotrodes disposées côte à côte avec, le cas échéant, un jeu entre elles inférieur au diamètre d'un projectile. Ces diverses sonotrodes disposées côte à côte peuvent suivre un parcours curviligne afin de traiter une alvéole dont l'axe longitudinal est curviligne.

**[0096]** Les sonotrodes sont par exemple supportées par des empilements acoustiques réunis par une pièce de maintien. La fixation de chaque empilement acoustique à la pièce de maintien est par exemple localisée au niveau d'un noeud de vibration de l'empilement acoustique.

**[0097]** Deux sonotrodes au moins peuvent présenter des surfaces vibrantes, sur lesquelles les projectiles rebondissent, qui sont de forme sensiblement rectangulaire, de grand côté orienté selon un grand axe.

**[0098]** Les grands axes de deux sonotrodes adjacentes peuvent faire un angle entre elles. Un joint peut être disposé entre deux sonotrodes adjacentes afin d'éviter que des projectiles ne s'engagent entre les sonotrodes et/ou pour diminuer les discontinuités de surface entre les sonotrodes.

**[0099]** L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un ensemble acoustique comportant plusieurs sonotrodes disposées côte à côte. Les axes des empilements acoustiques comprenant ces sonotrodes peuvent être non coplanaires tout en pouvant rester parallèles entre eux. Ces axes sont par exemple séquentiels avec l'axe longitudinal d'une alvéole à traiter, dans laquelle les sonotrodes sont partiellement engagées.

**[0100]** Les sonotrodes peuvent présenter des surfaces vibrantes ayant des formes sensiblement rectangulaires. Un joint peut-être disposé entre deux sonotrodes adjacentes, ce joint pouvant avoir une forme de coin.

**[0101]** L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en oeuvre non limitatifs de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 représente, de manière schématique et partielle, en perspective, un exemple de machine pouvant subir un traitement de grenailage selon l'invention,
- la figure 2 est un schéma en blocs d'un exemple d'installation de grenailage selon l'invention,
- les figures 3 à 7 sont des coupes axiales, schématiques et partielles, illustrant des exemples de positionnement du système de support et de l'ensemble acoustique relativement à des exemples de rotors,
- la figure 8 représente schématiquement, isolément et en coupe axiale, un exemple de barrière de sécurité,
- la figure 9 est une vue arrière, schématique, selon IX de la figure 8,
- la figure 10 est une vue arrière, schématique, d'un autre exemple de barrière de sécurité,
- les figures 11 et 12 sont des coupes partielles et schématiques, selon respectivement XI-XI et XII-XII

- de la figure 10,
- la figure 13 illustre un détail de réalisation de la barrière de la figure 10,
- la figure 14 représente en coupe axiale, schématique et partielle, un autre exemple de barrière de sécurité,
- la figure 15 représente de manière schématique, en perspective, un système de protection vis-à-vis des chocs extérieurs, pouvant être inclus dans une installation selon l'invention,
- la figure 16 représente un ensemble acoustique pourvu d'un obturateur de confinement des projectiles,
- la figure 17 illustre une variante de mise en oeuvre de l'invention, pour le traitement d'alvéoles périphériques,
- les figures 18 à 21 illustrent différentes géométries d'alvéoles,
- les figures 22 à 26 illustrent différentes géométries de chambres de traitement,
- les figures 27 et 28 sont des exemples d'ensembles acoustiques à sonotrodes multiples, et
- la figure 29 représente en vue de dessus, selon l'axe longitudinal des empilements acoustiques, un joint en forme de coin disposé entre deux sonotrodes adjacentes.

**[0102]** La machine tournante M représentée à la figure 1 comporte un rotor R pouvant tourner relativement à un stator S autour d'un axe de rotation X.

**[0103]** Cette machine M est par exemple une turbine à gaz ou à vapeur, par exemple un moteur d'avion, dont le rotor R n'a pas été extrait en totalité du stator S.

**[0104]** La machine M est par exemple en place dans son environnement d'utilisation, par exemple dans la centrale ou sur une aile d'avion, auquel cas l'invention est mise en oeuvre *in situ*.

**[0105]** La machine M peut encore avoir été démontée d'un aéronef et placée sur un berceau non représenté, ce qui peut être le cas par exemple d'un moteur d'avion. Le rotor R peut ne pas avoir été extrait en totalité du stator S.

**[0106]** Le rotor R peut encore être extrait totalement du stator S mais non entièrement démonté.

**[0107]** La machine M peut devoir faire l'objet d'un traitement de grenaillage sur une région prédéfinie, par exemple un traitement de grenaillage local suite à la détection d'une fissure ou d'un défaut, ou un traitement plus complet, par exemple d'un bord d'attaque.

**[0108]** La région à traiter peut, d'une manière générale, être n'importe quelle région du rotor R ou du stator S, lorsque ce dernier est présent.

**[0109]** On a représenté schématiquement à la figure 2 un exemple d'installation de grenaillage 1 pouvant être utilisée pour traiter une machine tournante telle que par exemple la machine M illustrée à la figure 1.

**[0110]** Cette installation de grenaillage 1 comporte un ou plusieurs générateurs 2 qui alimentent un ou plusieurs ensembles acoustiques 3, comportant chacun une ou

plusieurs sonotrodes.

**[0111]** Un ensemble acoustique comporte typiquement un transducteur piézoélectrique (encore appelé convertisseur) qui transforme un courant électrique envoyé par le générateur 2 en onde mécanique. L'amplitude de vibration du transducteur piézoélectrique est amplifiée à l'aide d'un ou plusieurs étages acoustiques (encore appelé booster) jusqu'à la dernière pièce de l'empilement, qui constitue la sonotrode et qui définit la surface vibrante. La sonotrode peut être agencée de manière à vibrer de façon relativement homogène sur toute la surface vibrante.

**[0112]** L'installation définit avec la pièce traitée au moins une chambre de traitement contenant des projectiles, par exemple des billes sphériques de diamètre allant de 0,3 mm à 5 mm. La masse volumique des projectiles est par exemple comprise entre 2 g/cm<sup>3</sup> et 16 g/cm<sup>3</sup>. La quantité de projectiles est par exemple comprise entre 0,2 et 500g. La dureté des projectiles est par exemple comprise entre 200 et 2000 HV.

**[0113]** Le générateur 2 peut être agencé pour contrôler, le cas échéant, des moyens d'entraînement 5 d'au moins un ensemble acoustique 3, comme cela sera détaillé plus loin, afin de déplacer l'ensemble acoustique relativement à la machine M et permettre le traitement d'une région étendue de la machine M.

**[0114]** L'installation 1 peut comporter des moyens éventuels 6 d'injection d'air comprimé dans la chambre de traitement ou vers celle-ci, afin d'initier le mouvement des projectiles.

**[0115]** L'installation 1 peut encore comporter des moyens de détection 7 qui peuvent empêcher le fonctionnement de l'ensemble acoustique dans certaines conditions, par exemple lorsqu'il existe un risque de départ accidentel de projectiles.

**[0116]** L'installation 1 peut être utilisée pour traiter diverses régions de la machine M et par exemple, comme illustré aux figures 3 à 6, une arête 10 située à la jonction d'une première surface 11, frontale, orientée sensiblement perpendiculairement à l'axe de rotation X et d'une deuxième surface 12, cylindrique, concentrique à l'axe de rotation X.

**[0117]** Cette arête 10 peut être vive, chanfreinée et/ou rayonnée ou bien avoir subi un traitement de réparation par usinage et polissage.

**[0118]** Le rotor R comporte dans l'exemple illustré un alésage central 21 qui peut présenter divers profils en fonction par exemple de la nature de la machine.

**[0119]** Dans l'exemple de la figure 7, c'est une surface 90 de l'alésage 21 qui est traitée, cette surface 90 étant par exemple cylindrique de révolution autour de l'axe X. L'axe longitudinal Z de l'ensemble acoustique 3 est par exemple orienté perpendiculaire à l'axe de rotation X.

**[0120]** Sur les figures 3 à 7, l'ensemble acoustique 3 comporte une sonotrode 15 définissant une surface vibrante 16 sur laquelle des projectiles 17 peuvent rebondir et effectuer durant le fonctionnement de l'ensemble acoustique 3 de multiples allers-retours entre la surface

vibrante et la région à traiter.

**[0121]** Les projectiles 17 évoluent dans une chambre de traitement 18 qui est formée par la sonotrode 15, la région à traiter et des éléments 20 de formation d'enceinte primaire.

**[0122]** Les éléments 20 de formation d'enceinte primaire sont réalisés dans un matériau métallique ou non qui permet aux projectiles de rebondir sur eux, par exemple en acier, en INCONEL®, en aluminium ou en une matière plastique, par exemple un polyamide, un polyacétal ou du polyéthylène.

**[0123]** L'ensemble acoustique 3 est monté sur un système de support 23 qui est fixé sur la machine M.

**[0124]** Dans l'exemple illustré, le système de support 23 se fixe sur le rotor R et plus particulièrement dans l'alésage central 21.

**[0125]** Le système de support 23 peut comporter une première partie 22 qui est fixe relativement au rotor et une deuxième partie 25 qui peut tourner relativement à la première partie 22 grâce à une articulation 28 afin de permettre à l'ensemble acoustique 3 de se déplacer relativement à la machine M pour traiter une région étendue de celle-ci ou pour effectuer plusieurs traitements locaux.

**[0126]** La première partie 22 du système de support 23 peut comporter un mécanisme 29 de fixation sur le rotor R, qui peut permettre également, le cas échéant, un réglage du centrage afin de faire coïncider l'axe de l'articulation 28 avec l'axe de rotation X du rotor.

**[0127]** Le mécanisme 29 peut agir par expansion radiale ou autrement.

**[0128]** Le déplacement de l'ensemble acoustique 3 peut s'effectuer manuellement, l'opérateur entraînant par exemple manuellement la deuxième partie 25 en rotation relativement à la première partie 22.

**[0129]** Le déplacement de l'ensemble acoustique 3 peut encore s'effectuer de manière motorisée grâce aux moyens d'entraînements précités qui comportent par exemple au moins un moteur 33 logé dans la première partie 22, comme illustré à la figure 3.

**[0130]** L'entraînement de la deuxième partie 25 supportant l'ensemble acoustique 3 peut par exemple s'effectuer par l'intermédiaire d'un réducteur 34.

**[0131]** Le moteur 33 peut encore être logé dans la deuxième partie 25, comme illustré aux figures 4 à 6.

**[0132]** Le moteur 33 peut être par exemple un moteur électrique dont l'alimentation s'effectue par le générateur 2 de manière contrôlée, de façon à permettre par exemple une rotation de l'ensemble acoustique 3 autour de l'axe de rotation X du rotor à une vitesse prédéfinie.

**[0133]** L'installation 1 peut comporter un ou plusieurs détecteurs non représentés permettant de renseigner le générateur 2 sur la rotation de l'ensemble acoustique 3 autour de l'axe X, par exemple un codeur, optique ou magnétique, tournant avec l'arbre de l'articulation 28 ou avec l'arbre du moteur 33.

**[0134]** La deuxième partie 25, qui supporte l'ensemble acoustique 3, peut être réalisée de diverses façons, en fonction par exemple de la géométrie de la région à trai-

ter.

**[0135]** Dans une variante non représentée, les moyens d'entraînement 5 comportent un vérin ou une crémaillère permettant un déplacement axial de la deuxième partie 25 selon l'axe X.

**[0136]** Dans l'exemple illustré, la deuxième partie 25 permet un réglage de l'orientation de l'axe longitudinal Z de l'ensemble acoustique 3 relativement à l'axe de rotation X, grâce à des lumières curvilignes 35 et des fixations associées 135.

**[0137]** Dans une variante non illustrée, le système de support 23 permet également un réglage de la position de l'ensemble acoustique 3 le long de son axe longitudinal Z, par exemple grâce à une crémaillère ou une vis.

**[0138]** Les éléments 20 de formation d'enceinte primaire peuvent venir au contact de la pièce traitée ou en rester éloignés, durant le fonctionnement de l'ensemble acoustique 3, d'une distance suffisamment faible pour que le jeu existant ne permette pas le passage des projectiles 17.

**[0139]** Les éléments 20 de formation d'enceinte primaire peuvent être sollicités mécaniquement en appui contre la pièce à traiter par un ou plusieurs ressorts, le cas échéant.

**[0140]** Comme indiqué précédemment, l'installation 1 comporte avantageusement des moyens de détection 5 permettant de détecter une sécurité non optimale liée par exemple à un mauvais positionnement d'un composant mécanique de l'installation.

**[0141]** Ces moyens de détection 5 peuvent comporter plusieurs détecteurs situés à de multiples emplacements de l'installation 1.

**[0142]** Dans l'exemple considéré, un ou plusieurs des éléments 20 de formation d'enceinte primaire comportent des moyens de détection 40 sensibles à la proximité de la pièce traitée, afin de permettre d'interdire le fonctionnement de l'ensemble acoustique 3 en cas de risque de sortie accidentelle d'un projectile de la chambre de traitement.

**[0143]** Les moyens de détection 40 peuvent par exemple comporter au moins un détecteur disposé à l'extrémité d'un élément de formation d'enceinte primaire 20 et sensible à la présence de la pièce à traiter.

**[0144]** Il peut s'agir par exemple d'un contacteur, ce dernier étant actionné par la pièce à traiter lorsque l'élément de formation d'enceinte primaire 20 est correctement positionné, d'un capteur résistif, sensible à un contact électrique entre l'élément de formation d'enceinte primaire et la pièce traitée, d'un capteur inductif, par exemple un capteur à effet Hall, sensible au champ magnétique de la pièce à traiter lorsque celle-ci est réalisée dans un matériau magnétique, d'un capteur capacitif ou optique ou autre encore.

**[0145]** Les moyens de détection 40 peuvent fournir un signal électrique au générateur 2, ce dernier étant agencé pour signaler un défaut de fonctionnement à l'opérateur et interdire le fonctionnement de l'ensemble acoustique 3 en cas de mauvais positionnement de l'un au

moins des éléments 20 de formation d'enceinte primaire.

**[0146]** Le système de support 23 également peut comporter des moyens de détection non apparents sur les figures, permettant de détecter un positionnement correct de la première partie 22 dans l'alésage 21 du rotor R.

**[0147]** Ces moyens de détection peuvent notamment être agencés pour détecter un positionnement du système de support relativement au rotor permettant d'éviter le risque de passage d'un projectile par un jeu laissé entre le système de support 23 et l'alésage 21 du rotor.

**[0148]** Ces moyens de détection comportent par exemple un ou plusieurs contacteurs non apparents qui changent d'état en prenant appui sur l'alésage ou sur une nervure 200 du rotor R.

**[0149]** L'installation peut comporter, comme illustré, une enceinte secondaire 60 formée autour de la chambre de traitement 18, afin de réduire encore davantage le risque de perte accidentelle d'un projectile 17.

**[0150]** Cette deuxième enceinte 60 peut être définie par des éléments 61 de formation d'enceinte secondaire, qui peuvent s'appliquer par exemple sur la pièce à traiter M et/ou le système de support 23.

**[0151]** Ces éléments 61 de formation d'enceinte secondaire peuvent comporter, le cas échéant, un système de rappel 65 apparent sur les figures 4 à 7, permettant d'assurer un appui constant contre la pièce à traiter et/ou le système de support 23. Ce système de rappel 65 peut comporter un ou plusieurs ressorts.

**[0152]** Les éléments 61 de formation d'enceinte secondaire peuvent être munis, tout comme les éléments 20 de formation d'enceinte primaire, de moyens de détection 63 afin de détecter la venue en appui ou la venue à proximité de ces éléments 61 contre la pièce traitée et/ou le système de support 23.

**[0153]** L'installation 1 peut être agencée pour empêcher le fonctionnement de l'ensemble acoustique 3 en cas de non détection d'une fermeture suffisante de l'enceinte secondaire 60.

**[0154]** Les moyens de détection 63 sont par exemple choisis parmi les contacteurs ou capteurs résistifs, inductifs, capacitifs, optiques ou autres.

**[0155]** Les moyens de détection 63 peuvent être de même nature que les moyens de détection 40.

**[0156]** Des moyens de protection additionnels peuvent être utilisés, selon un aspect de l'invention, pour réduire encore davantage le risque de perte accidentelle d'un projectile.

**[0157]** Dans l'exemple illustré, une barrière de sécurité 70 est ainsi mise en place dans l'alésage 21 du rotor, derrière le système de support 23.

**[0158]** Cette barrière de sécurité 70 est par exemple agencée pour se fixer sur un relief du rotor, par exemple une nervure 71 formant saillie dans l'alésage 21 du rotor.

**[0159]** Dans des variantes non illustrées, la barrière de sécurité 70 peut être agencée pour se fixer sur un relief autre du rotor, par exemple une rainure, voire pour se fixer dans l'alésage 21 en l'absence de relief particulier de celui-ci.

**[0160]** La fixation de la barrière de sécurité 70 dans le rotor R peut s'effectuer par exemple grâce à des éléments de verrouillage 73 qui sont par exemple rotatifs, comme illustré sur les figures 8 et 9, entre une position déverrouillée et une position verrouillée dans laquelle ils prennent appui sur un flanc arrière de la nervure 71, la barrière de sécurité 70 pouvant présenter une collerette 74 prenant appui sur un flanc avant de la nervure 71.

**[0161]** Le déplacement des éléments de verrouillage 73 peut s'effectuer par exemple grâce à des manettes 75.

**[0162]** Les éléments de verrouillage 73 peuvent encore ne pas être rotatifs mais montés en coulissement.

**[0163]** A titre d'exemple, on a représenté sur les figures 10 et 12 des éléments de verrouillage 76 qui coulisent dans des gorges correspondantes 77 de la barrière de sécurité 70 et qui peuvent être déplacés grâce à une came 78 entraînée en rotation par une manette 79.

**[0164]** Le déplacement des éléments de verrouillage 76 peut d'effectuer contre l'action de rappel de ressorts 82, comme illustré à la figure 13.

**[0165]** On a représenté à la figure 14 un autre exemple de barrière de sécurité 70 dans laquelle la fixation sur le rotor R est obtenue grâce à l'expansion d'un joint annulaire 90 serré entre le corps 91 de la barrière de sécurité 70 et une plaque d'extrémité 92 dans laquelle est vissée une tige 93. Cette dernière peut être entraînée en rotation par une manette 94.

**[0166]** En tournant la manette 94, on peut agir sur l'écartement entre la plaque d'extrémité 92 et le corps 91, donc sur l'écrasement du joint 90, cet écrasement se traduisant par une expansion radiale qui assure un serrage de la barrière de sécurité 70 dans l'alésage 21.

**[0167]** La barrière de sécurité 70 peut être indépendante du système de support 23, comme illustré.

**[0168]** En variante, la barrière de sécurité 70 peut être liée au système de support 23.

**[0169]** La barrière de sécurité 70 peut comporter des moyens de détection sensibles à son bon positionnement dans l'alésage du rotor R.

**[0170]** Ces moyens de détection comportent par exemple un contacteur qui change d'état en venant en appui contre la nervure 71. Plusieurs contacteurs peuvent être reliés entre eux et répartis circonférentiellement sur la barrière de sécurité 70.

**[0171]** Un câble électrique non représenté peut relier les moyens de détection de la barrière de sécurité 70 au système de support 23 ou au générateur 2, afin que ce dernier empêche le fonctionnement de l'ensemble acoustique en cas de mauvais positionnement de la barrière de sécurité 70.

**[0172]** L'installation 1 peut comporter un système de protection 80 vis-à-vis des chocs extérieurs, qui définit un espace 81 contenant l'ensemble acoustique 3.

**[0173]** Le système de protection 80 peut être ou non étanche aux projectiles et comporter par exemple des barreaux 85, un grillage et/ou une coque en une matière thermoplastique transparente ou une vitre.

**[0174]** Le système de protection 80 peut se fixer par

exemple sur le rotor ou sur le stator, voire ne pas être solidarisé à la machine mais simplement être placé devant celle-ci.

**[0175]** Le système de protection 80 peut comporter, en partie inférieure, un bac 88 de récupération des projectiles, muni inférieurement d'un bouchon 89 pouvant être ouvert pour récupérer les projectiles.

**[0176]** Le système de protection 80 peut être équipé de moyens de détection de son positionnement correct sur la machine, ces moyens de détection comportant par exemple un ou plusieurs contacteurs changeant d'état au contact de la machine M.

**[0177]** On a illustré à la figure 15 la possibilité pour le système de protection 80 de se fixer sur la machine M grâce par exemple à un système de fixation actionné par une ou plusieurs manettes 95.

**[0178]** Ce système de fixation comporte par exemple un ou plusieurs éléments qui viennent s'appliquer avec serrage sur le rotor R ou le stator S.

**[0179]** L'ensemble acoustique 3 peut comporter, comme illustré à la figure 16, un obturateur 100 qui permet de confiner les projectiles 17 avant le début de fonctionnement de l'ensemble acoustique 3 dans un espace 101. L'obturateur 100 comporte par exemple une paroi 100, qui peut coulisser selon un axe Y par exemple perpendiculaire à l'axe longitudinal Z de l'ensemble acoustique 3 entre une position d'obturation illustrée à la figure 16 et une position dégagée dans laquelle la surface vibrante 16 de la sonotrode fait entièrement face à la région à traiter.

**[0180]** L'obturateur 100 peut être déplacé manuellement après la mise en place de l'ensemble acoustique 3 devant la région concernée de la machine.

**[0181]** Le cas échéant, un organe de verrouillage commandé par le générateur 2 peut interdire de déplacer l'obturateur 100 tant qu'une fermeture satisfaisante de la chambre de traitement 18 ainsi éventuellement que le bon positionnement des autres composants de l'installation n'a pas été détecté, cet organe de verrouillage étant par exemple commandé électromagnétiquement par le générateur 2.

**[0182]** Dans une variante encore, l'obturateur 100 est déplacé de manière motorisée par le générateur 2 après vérification que tous les composants de l'installation sont correctement installés.

**[0183]** L'invention peut permettre de traiter un rotor comportant une pluralité d'alvéoles A périphériques, tel qu'illustré aux figures 17 à 21 par exemple.

**[0184]** Ces alvéoles A peuvent présenter chacune un axe longitudinal L rectiligne, comme c'est le cas des figures 18 et 20, ou curviligne, comme illustré aux figures 19 et 21.

**[0185]** Les alvéoles A peuvent présenter diverses formes, par exemple une forme avec un profil en queue d'aronde comme illustré aux figures 20 et 21, ou avec des flancs ondulés, comme illustré sur les figures 18 et 19.

**[0186]** La fixation du système de support 23 peut s'ef-

fectuer dans une alvéole  $A_f$  adjacente à l'alvéole courante  $A_c$  à traiter, comme illustré à la figure 17.

**[0187]** A cet effet, le système de fixation 23 peut comporter un bras 300 ayant une extrémité 301 dont le profil est sensiblement complémentaire de celui de l'alvéole  $A_f$ .

**[0188]** Le système de fixation 23 peut comporter au moins une glissière 303 permettant de déplacer axialement l'ensemble acoustique 3 selon son axe longitudinal Z afin par exemple de régler la distance séparant la surface vibrante 16 de la sonotrode du fond 306 de l'alvéole courante.

**[0189]** L'installation comporte, dans l'exemple illustré, des éléments 132 de formation d'ensemble primaire apparents sur la figure 26 qui ferment axialement la chambre de traitement, selon l'axe longitudinal L de l'alvéole courante.

**[0190]** Ces éléments 132 de formation d'enceinte primaire peuvent par exemple s'appliquer contre les flancs 310 du rotor, sur lesquels débouchent les alvéoles A.

**[0191]** Sur la figure 26, on a illustré la possibilité pour la sonotrode d'être extérieure à l'alvéole courante  $A_c$ .

**[0192]** L'ensemble acoustique 3 peut comporter une sonotrode qui s'étend sur toute la longueur de l'alvéole.

**[0193]** L'emploi d'une sonotrode unique convient notamment lorsque l'axe longitudinal de l'alvéole courante  $A_c$  est rectiligne.

**[0194]** Dans le cas d'une alvéole s'étendant selon un axe longitudinal L curviligne, plusieurs sonotrodes 15 peuvent être disposées côte à côte comme illustré aux figures 27 à 29, les axes longitudinaux Z des empilements acoustiques étant par exemple non coplanaires et parallèles entre eux.

**[0195]** On peut voir sur la figure 29 que les grands axes W des sonotrodes peuvent faire un angle entre eux. Un joint 400 en forme de coin peut être disposé entre deux sonotrodes 15 adjacentes afin d'obtenir une continuité de surface et éviter le passage des projectiles entre les sonotrodes 15. L'utilisation de multiples sonotrodes 15 permet de bénéficier d'une intensité de traitement élevée tout en pouvant traiter une géométrie complexe et en conservant des sonotrodes ayant des formes relativement aisées à usiner.

**[0196]** Les empilements acoustiques peuvent être solidarisés par une pièce 410 traversée par des trous pour le passage des différents empilements. Ces derniers peuvent être fixés à la pièce 410 au niveau d'un noeud de vibration.

**[0197]** L'installation 1 peut comporter, le cas échéant, des éléments de formation d'enceinte 110 qui viennent définir axialement, relativement à l'axe longitudinal L, la chambre de traitement à l'intérieur de l'alvéole courante  $A_c$ , comme illustré à la figure 22, afin d'éviter le départ de projectiles hors de celle-ci.

**[0198]** L'ensemble acoustique 3 peut être maintenu immobile relativement à l'alvéole  $A_c$  durant le traitement de celle-ci. En variante, l'ensemble acoustique 3 peut être monté avec une possibilité de déplacement relativement au système de support afin de pouvoir se dépla-

cer relativement à l'alvéole courante  $A_c$ .

**[0199]** Un tel déplacement peut permettre par exemple à la sonotrode d'être engagée dans l'alvéole et de traiter progressivement celle-ci au fur et à mesure de son déplacement tout en suivant son axe longitudinal L.

**[0200]** Lorsque la ou les sonotrodes sont au moins partiellement engagées dans l'alvéole courante  $A_c$ , comme illustré aux figures 17 ou 27 et 28, une ou plusieurs pièces d'adaptation 120 peuvent être introduites avec la ou les sonotrodes dans l'alvéole courante  $A_c$  afin de dévier les projectiles vers la région à traiter, comme illustré à la figure 23.

**[0201]** La chambre de traitement peut être fermée, au sein de l'alvéole courante  $A_c$ , grâce par exemple à un ou plusieurs éléments de fermeture 130 qui viennent s'appliquer sur le ou les flancs de l'alvéole courante, comme illustré à la figure 17.

**[0202]** Dans le cas où la sonotrode demeure à l'extérieur de l'alvéole courante, la chambre de traitement peut être définie par des éléments de fermeture 131 qui viennent par exemple s'appliquer sur la surface du rotor entre les alvéoles, comme illustré à la figure 24.

**[0203]** Dans le cas où l'alvéole courante  $A_c$  comporte un trou T, ce dernier peut être obturé par un élément d'obturation 140 qui peut être mis en place de diverses façons dans le trou T, par exemple depuis l'alvéole courante ou par le trou d'une alvéole adjacente.

**[0204]** Le cas échéant, l'élément d'obturation 140 comporte des moyens de détection permettant de détecter son positionnement correct dans le trou T. Ces moyens de détection comportent par exemple un contacteur qui change d'état lorsque l'élément d'obturation 140 est en appui contre la paroi du trou T ou une paroi adjacente. Le générateur 2 peut être agencé pour empêcher le fonctionnement du ou des ensembles acoustiques 3 en cas de détection d'un mauvais positionnement de l'élément d'obturation 140.

**[0205]** La chambre de traitement peut être définie par des éléments 141 de formation d'enceinte primaire, qui permettent de délimiter la chambre de traitement autour du trou T.

**[0206]** Dans tous les exemples ci-dessus, avant la mise en fonctionnement d'un ensemble acoustique 3, ce dernier peut avoir la surface vibrante 16 orientée vers le haut ou vers le bas.

**[0207]** Dans le cas où la surface vibrante 16 est orientée vers le haut, les projectiles 17 peuvent gagner par gravité la surface vibrante 16, ce qui permet l'initiation de leur mouvement.

**[0208]** Dans le cas où la surface vibrante 16 est orientée vers le bas ou obliquement, au moins un jet d'air peut être dirigé vers les projectiles 17 de façon à initier leur mouvement et les amener au contact de la surface vibrante 16.

**[0209]** L'un quelconque des exemples décrits ci-dessus peut ainsi comporter un moyen 6 d'injection d'air comportant par exemple un canal d'admission d'air sous pression réalisé par exemple dans un élément de forma-

tion d'enceinte primaire ou ailleurs.

**[0210]** L'injection d'air peut être contrôlée par le générateur 2, ce dernier ayant par exemple une sortie permettant de commander une électrovanne d'admission d'air comprimé dans la chambre de traitement pendant une durée prédéfinie après le début du fonctionnement de l'ensemble acoustique.

**[0211]** Le cas échéant, un jet d'air peut être envoyé en permanence dans la chambre de traitement, afin par exemple de refroidir un ou plusieurs composants de l'installation.

**[0212]** Une installation selon l'invention peut comporter des moyens de comptage des projectiles avant la mise en fonctionnement de l'ensemble acoustique ainsi qu'après le traitement effectué.

**[0213]** Ces moyens de comptage comportent par exemple un conduit d'aspiration débouchant dans la chambre de traitement, par lequel les projectiles peuvent être aspirés, ces projectiles passant devant un détecteur approprié afin de les compter, par exemple un capteur optique.

**[0214]** L'invention n'est pas limitée à une forme particulière de rotor ou de stator ni à une région particulière de la machine subissant le grenailage.

**[0215]** L'expression « comportant un » doit être comprise comme étant synonyme de « comportant au moins un », sauf si le contraire est spécifié.

## Revendications

1. Procédé de grenailage d'une portion au moins d'une machine tournante comportant un rotor, procédé dans lequel le grenailage s'effectue avec un rotor au moins partiellement assemblé, le rotor comportant éventuellement des alvéoles en périphérie, le procédé comportant les étapes consistant à :

- fixer à la machine, ailleurs que dans une alvéole courante éventuelle à traiter, un système de support (23) d'au moins un ensemble acoustique (3),
- grenailer au moins une région de la machine, à l'aide de projectiles (17) mis en mouvement par l'ensemble acoustique.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le système de support comporte une articulation (28) permettant la rotation de l'ensemble acoustique au moins autour d'un axe de rotation coïncidant avec celui (X) du rotor.

3. Procédé selon la revendication 2, l'ensemble acoustique étant déplacé en rotation sur 360° autour de l'axe du rotor.

4. Procédé selon la revendication 3, le fonctionnement de l'ensemble acoustique étant continu sur toute une

circonférence.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel on effectue au moins un premier traitement d'une première région de la machine et un deuxième traitement d'une deuxième région de la machine, distante circonférentiellement de la première région, avec un déplacement relatif de la machine et de l'ensemble acoustique entre les deux traitements, l'ensemble acoustique ayant un fonctionnement interrompu entre les deux traitements.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, le système de support (23) étant fixé sur le rotor (R).
7. Procédé selon la revendication 6, le système de support se fixant dans un alésage central (21) du rotor.
8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel on détecte automatiquement le bon positionnement du système de support (23) dans l'alésage (21) et l'on interdit le fonctionnement de l'ensemble acoustique (3) en cas de mauvais positionnement.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le système de support (23) comportant un moteur (33) pour entraîner en rotation l'ensemble acoustique relativement au rotor (R).
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, étant appliqué au traitement d'un rotor de turbine.
11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel on positionne l'ensemble acoustique en regard d'au moins une arête (10) définie par la jonction d'une surface (11) orientée perpendiculairement à l'axe de rotation du rotor et d'une surface (12) cylindrique de révolution autour dudit axe (X).
12. Procédé selon la revendication 1, l'ensemble acoustique étant déplacé relativement à la machine en cours de fonctionnement.
13. Procédé selon la revendication 1, le rotor comportant une pluralité d'alvéoles périphériques (A) servant à la fixation d'aillettes et le système de support étant configuré pour se fixer ailleurs que dans l'alvéole courante ( $A_c$ ) à traiter.
14. Procédé selon la revendication 13, des trous (T) débouchant dans les alvéoles (A), le procédé comportant l'étape consistant à :
  - obturer le trou de chaque alvéole courante ( $A_c$ ) à traiter, à l'aide d'un système d'obturation (140) indépendant du système de support (23).

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel l'intégralité de l'alvéole courante ( $A_c$ ) à traiter est grenaillée.

- 5 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une chambre de traitement définie au moins partiellement par l'ensemble acoustique et la région à traiter, le procédé comportant les étapes consistant à :

- détecter automatiquement une fermeture suffisante de la chambre de traitement pour éviter le départ des projectiles,
- interdire le fonctionnement de l'ensemble acoustique (3) en cas de fermeture insuffisante de la chambre de traitement.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant les étapes consistant à :

- introduire les projectiles (17) dans une chambre de traitement définie au moins partiellement par l'ensemble acoustique et la région à traiter, les projectiles (17) étant initialement éloignés d'une surface vibrante de l'ensemble acoustique,
- initier le mouvement des projectiles en injectant au moins un jet d'air comprimé dans la chambre de traitement afin de les projeter au moins partiellement contre la surface vibrante.

18. Procédé selon la revendication 1, le rotor comportant une pluralité d'alvéoles périphériques (A) et l'ensemble acoustique étant déplacé le long de l'alvéole courante pendant son fonctionnement.

19. Procédé selon la revendication 1, le rotor comportant une pluralité d'alvéoles périphériques A et l'ensemble acoustique ayant une longueur supérieure ou égale à celle de l'alvéole courante.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le traitement s'effectuant avec plusieurs sonotrodes (15) disposées côte à côte, notamment plusieurs sonotrodes dont les surfaces vibrantes sont de forme allongée selon des grands axes (W) faisant un angle entre eux.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on positionne devant la machine un système (80) de protection vis-à-vis des chocs extérieurs définissant au moins partiellement un espace (81) contenant l'ensemble acoustique (3).

- 55 22. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une barrière de sécurité (70) est introduite dans l'alésage central.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le traitement étant effectué *in situ*, le rotor n'ayant pas été extrait en totalité de la machine.

24. Installation (1) de grenailage permettant de traiter une machine tournante (M) comportant un rotor au moins partiellement assemblé, l'installation comportant :

- un système de support (23),
- un ensemble acoustique (3) porté par le système de support,

le système de support permettant la fixation sur la machine sans démontage complet du rotor et, en présence d'alvéoles (A) éventuelles en périphérie du rotor, sans fixation dans l'alvéole courante ( $A_c$ ) à traiter.

20

25

30

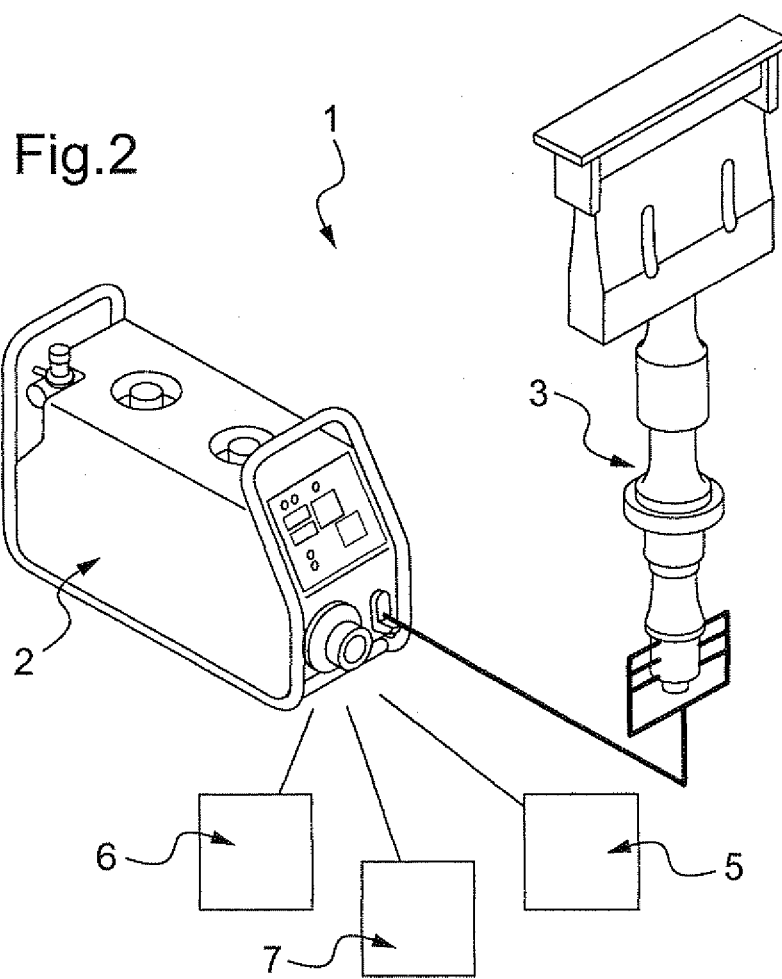
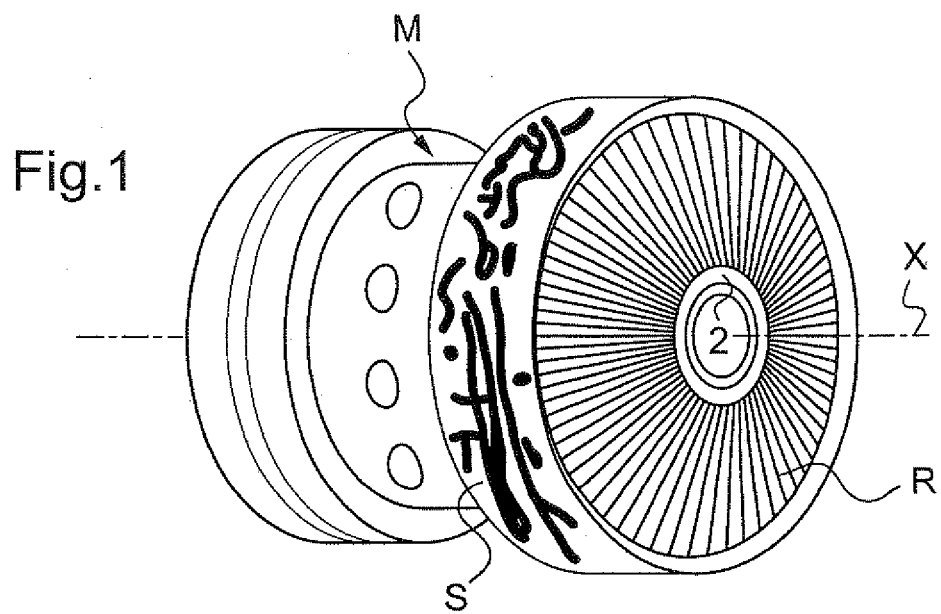
35

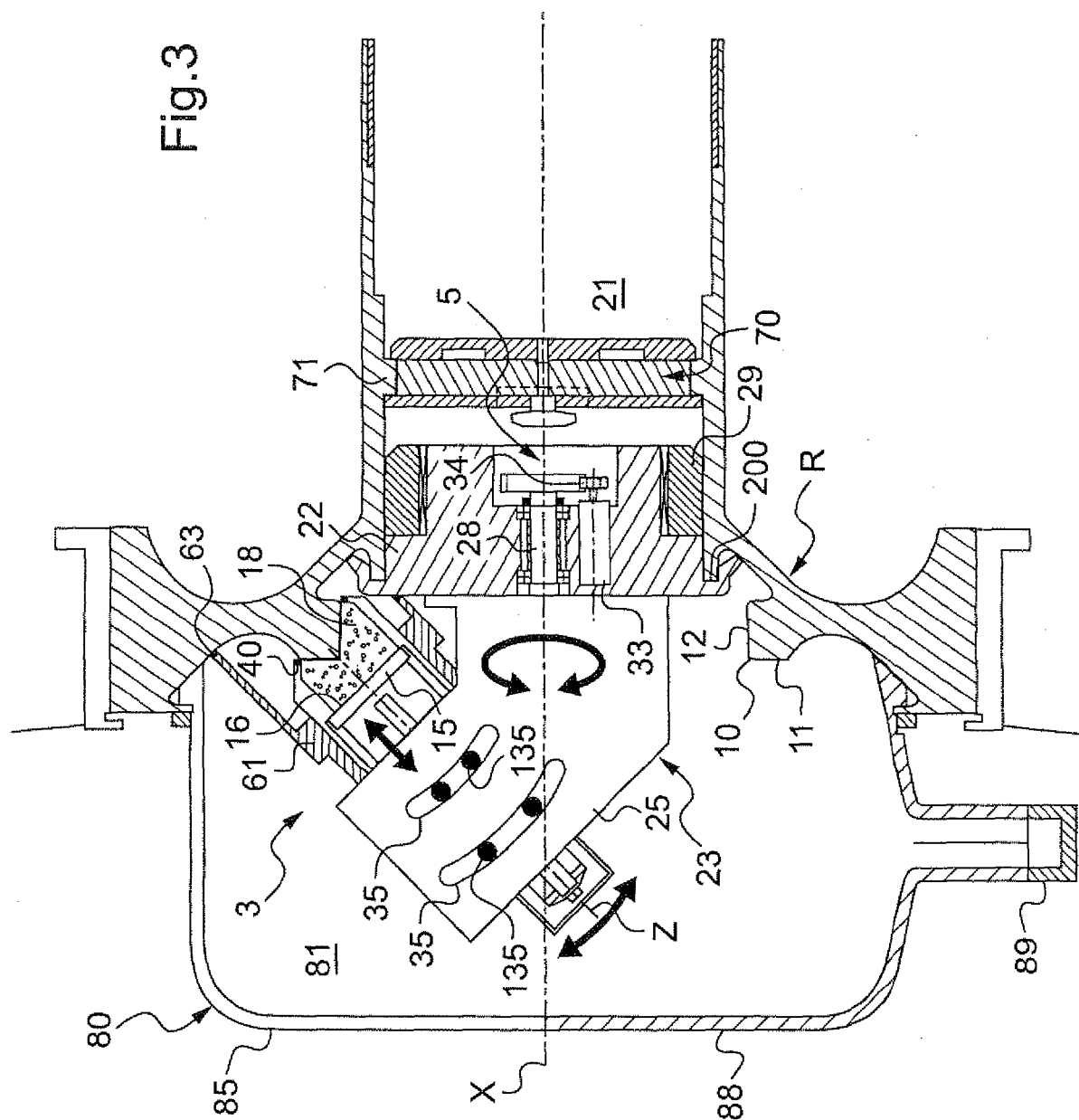
40

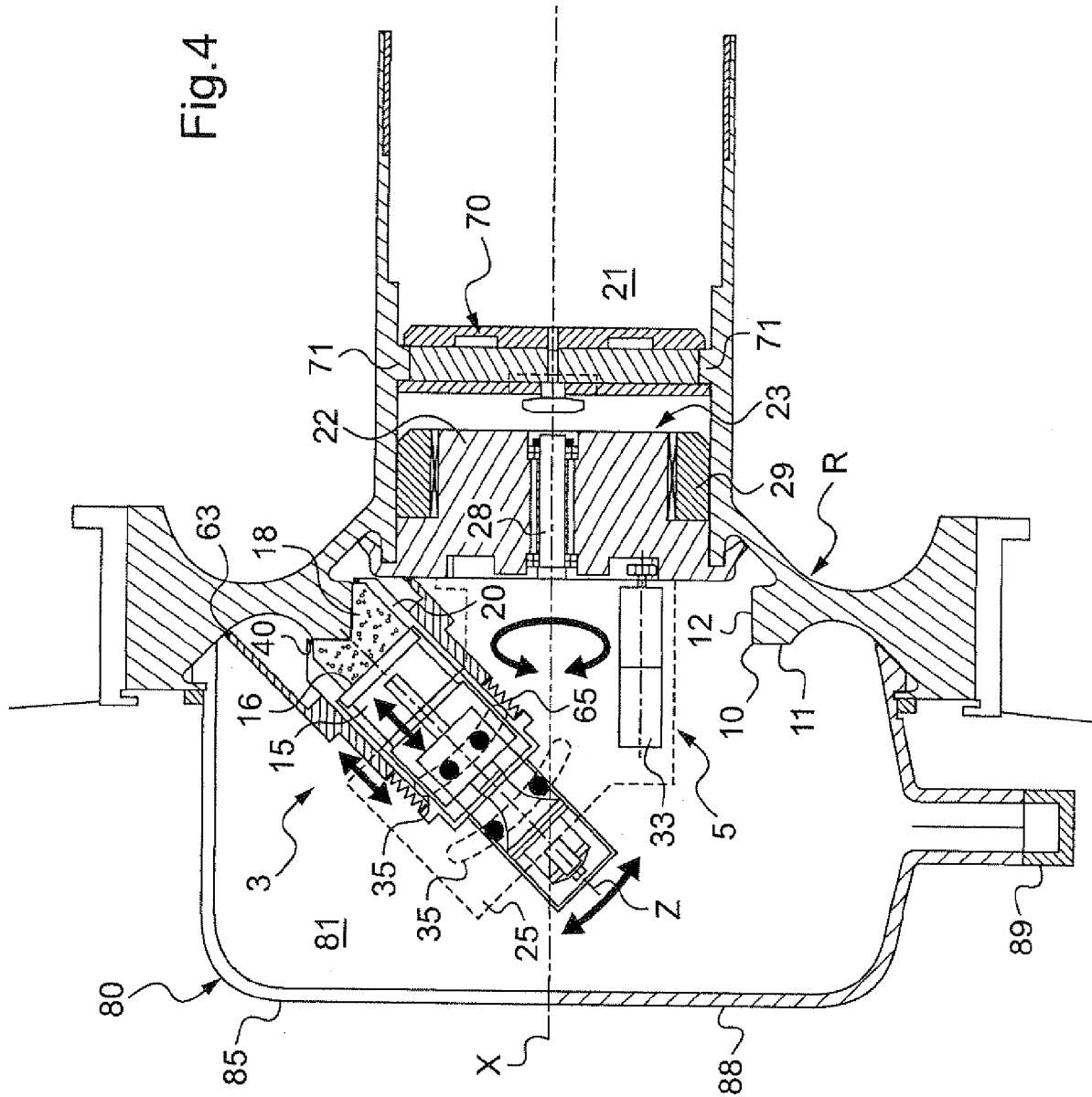
45

50

55







59.

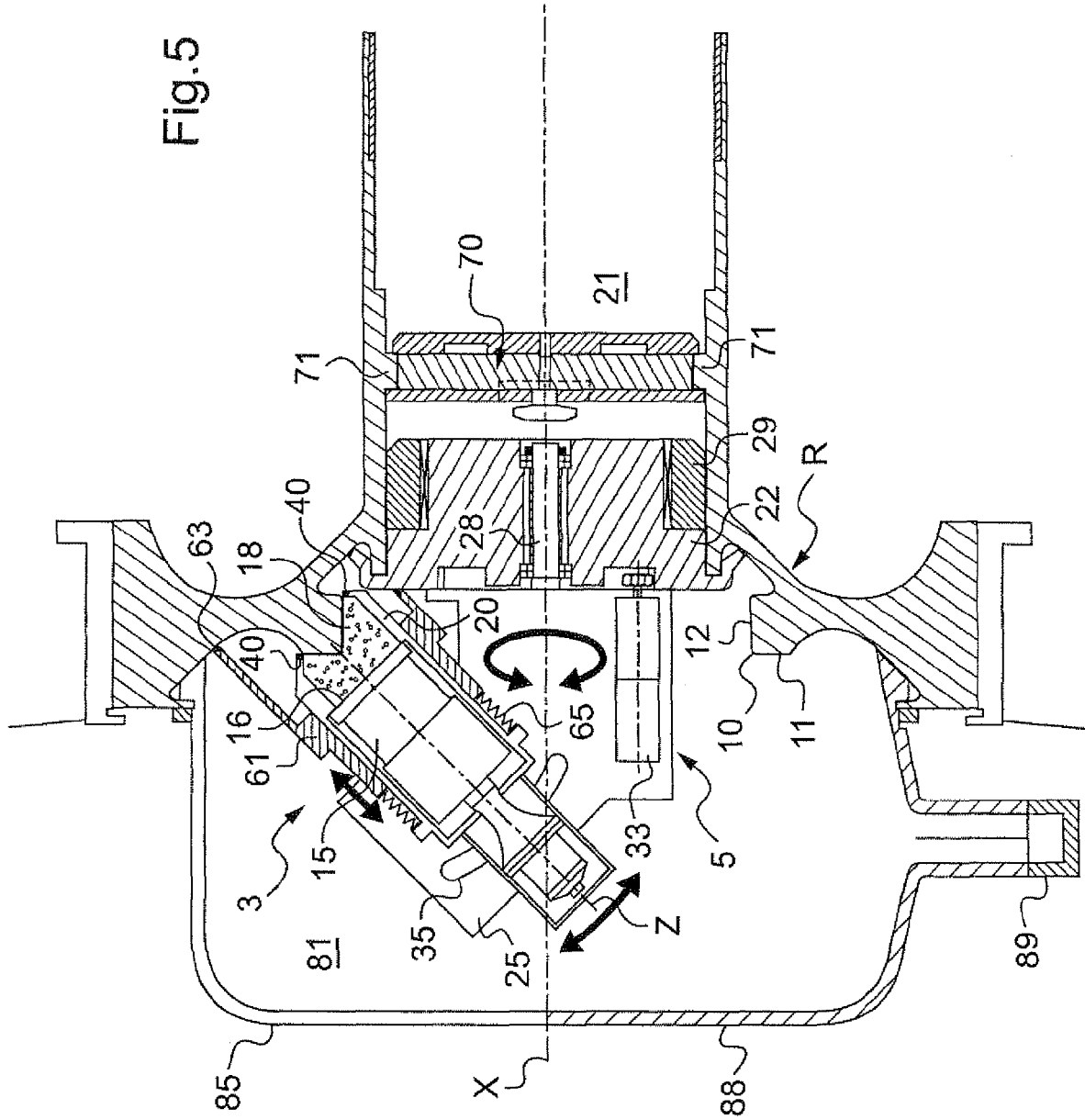
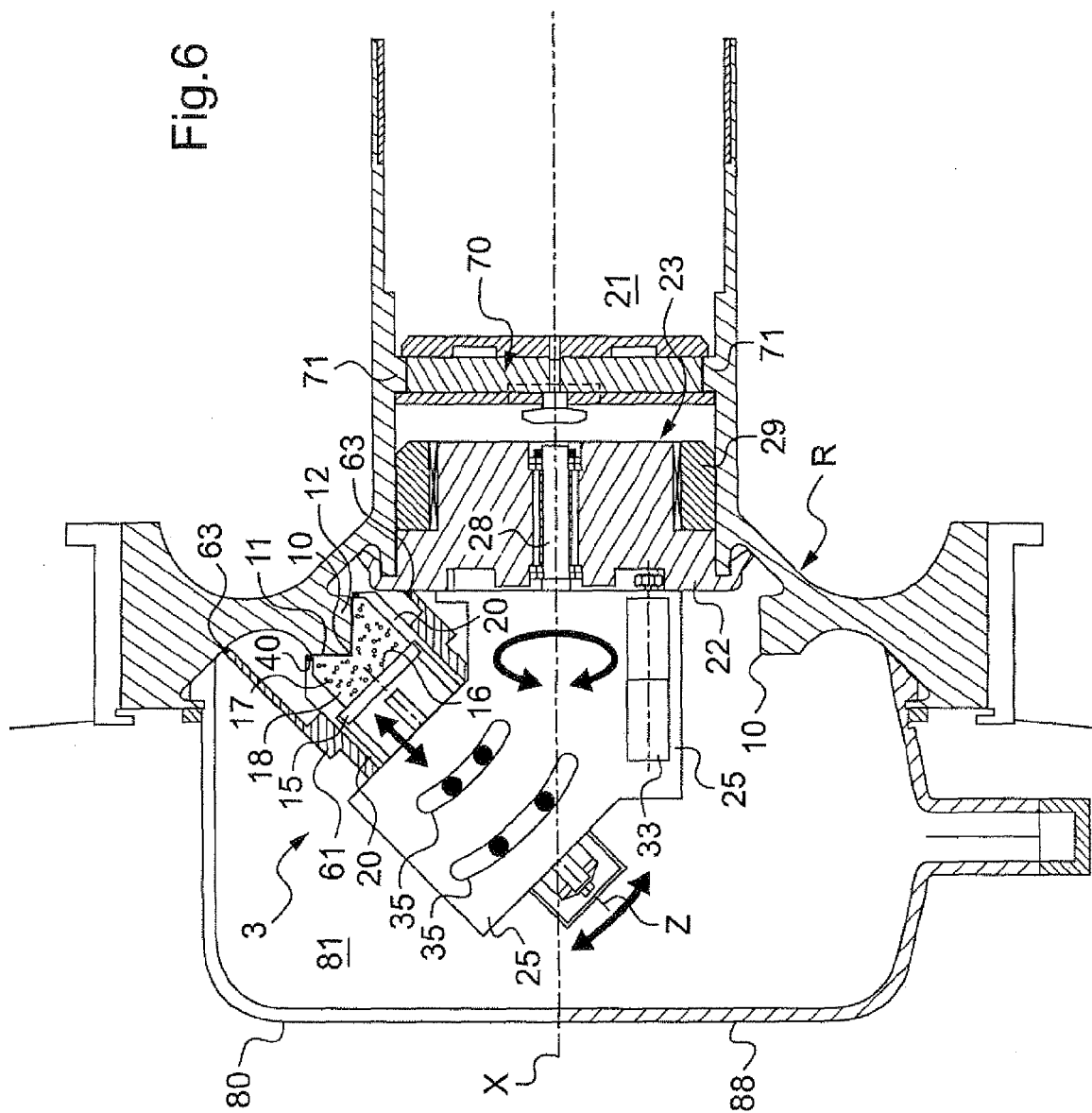


Fig.6



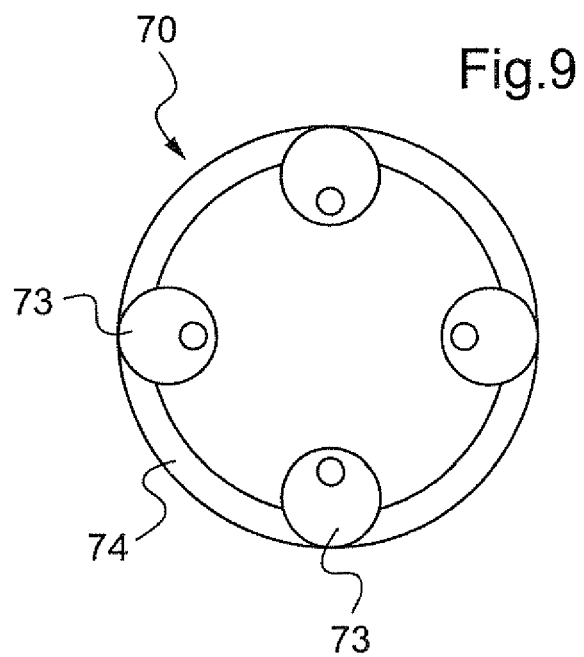
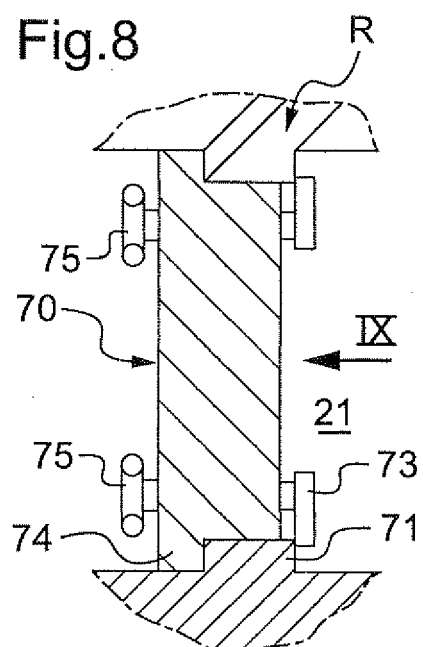
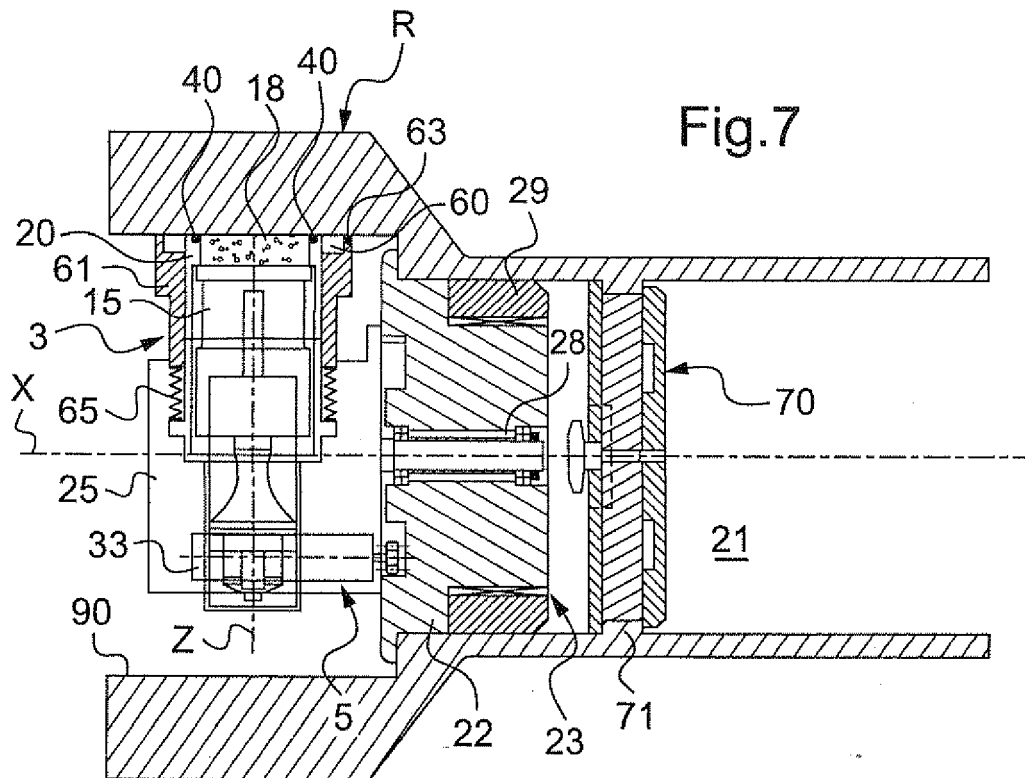


Fig.10

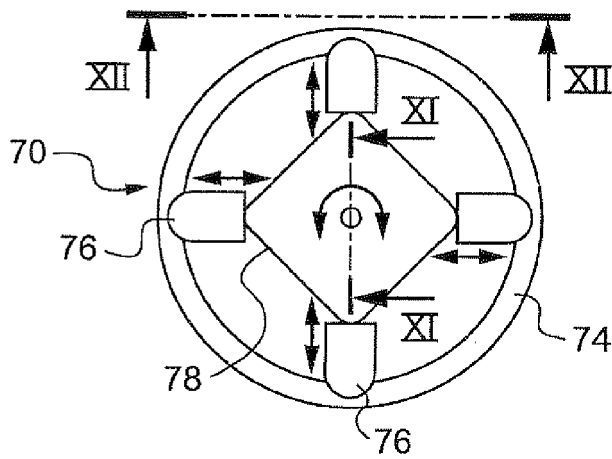


Fig.11

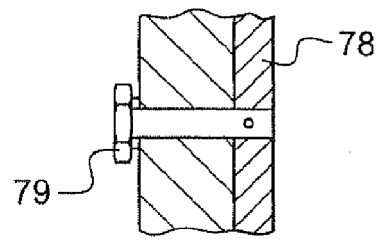


Fig.12

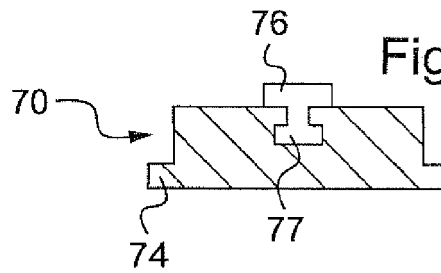


Fig.13

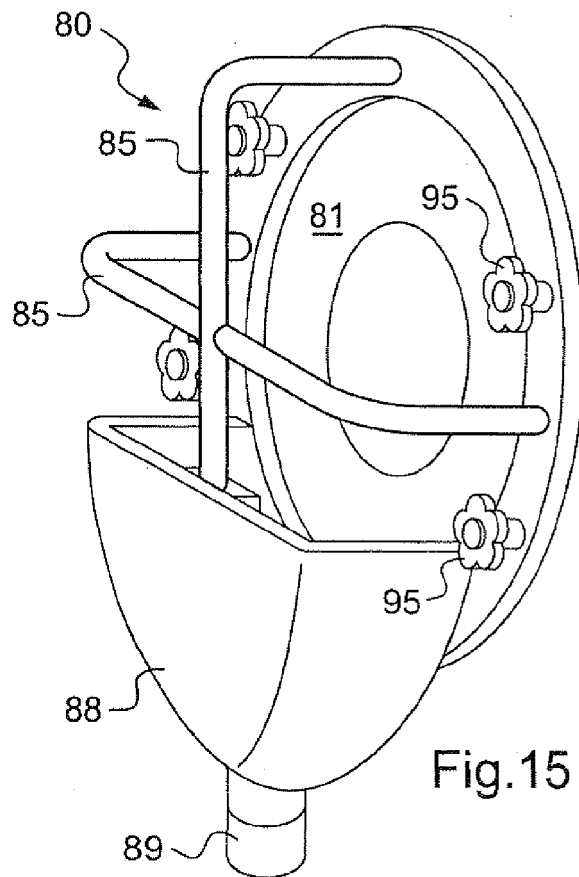
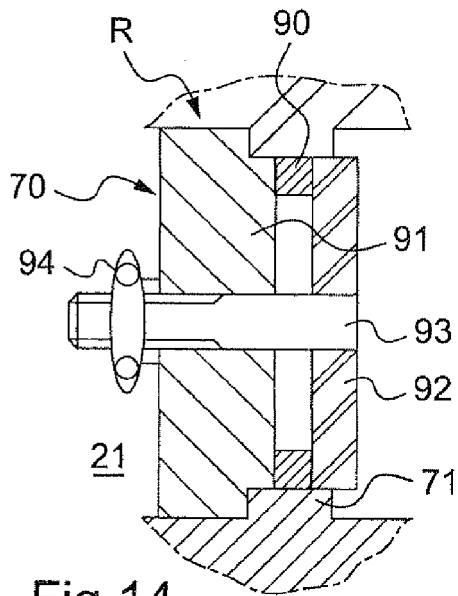
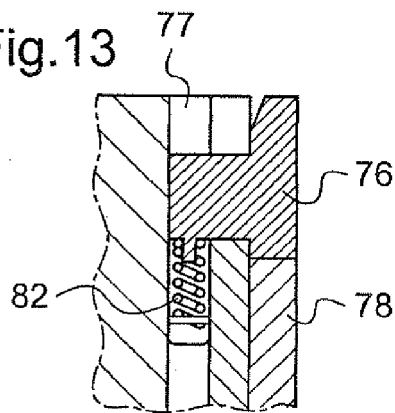


Fig.15

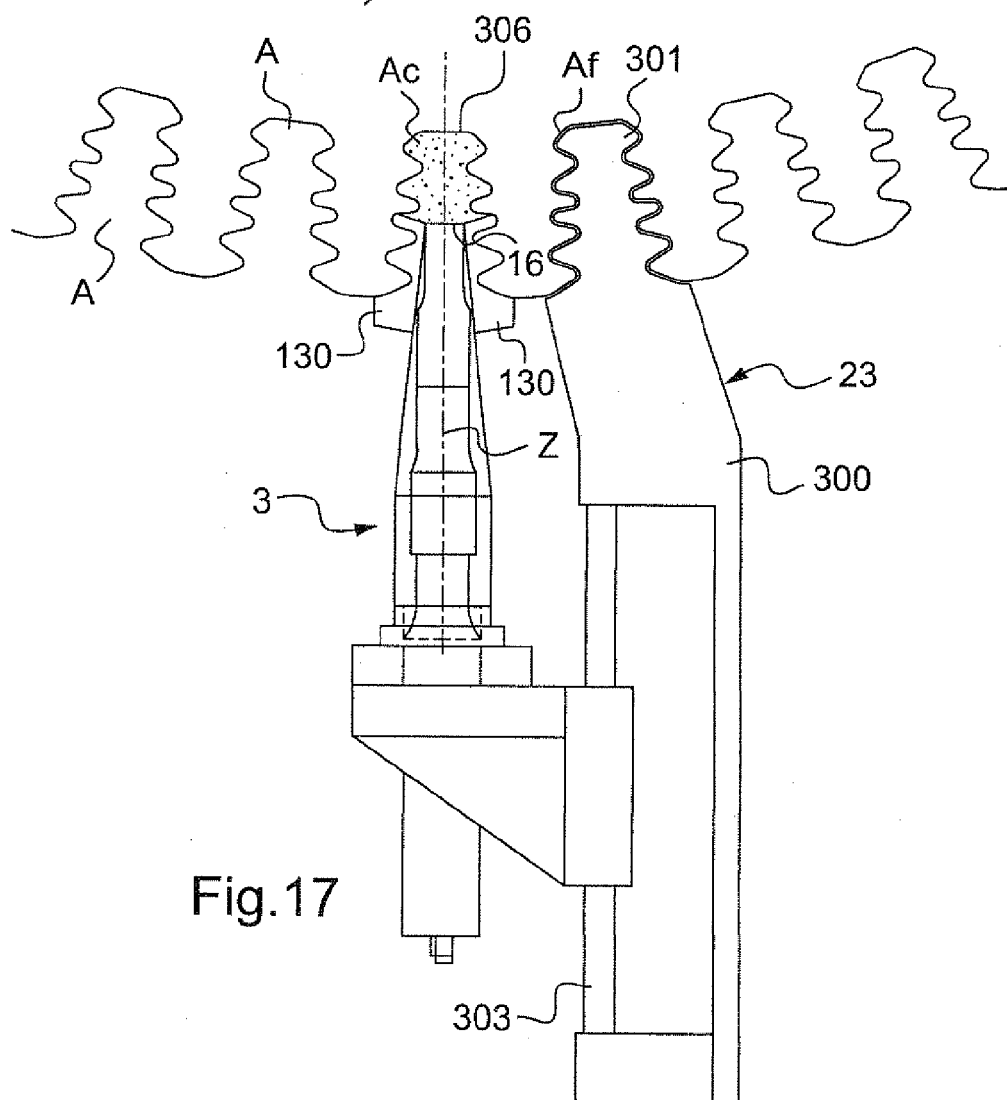
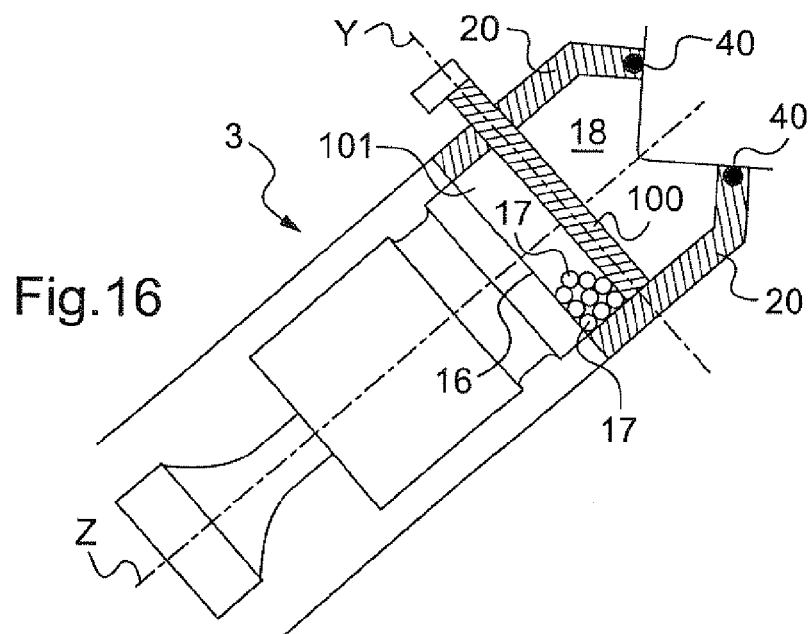


Fig.18

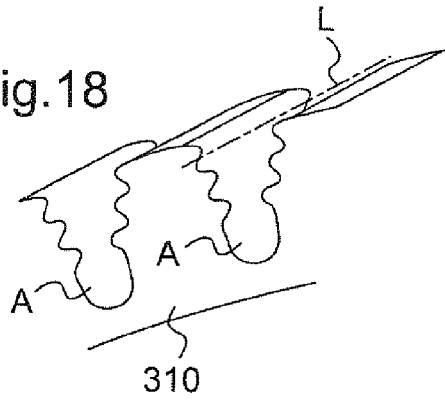


Fig.19

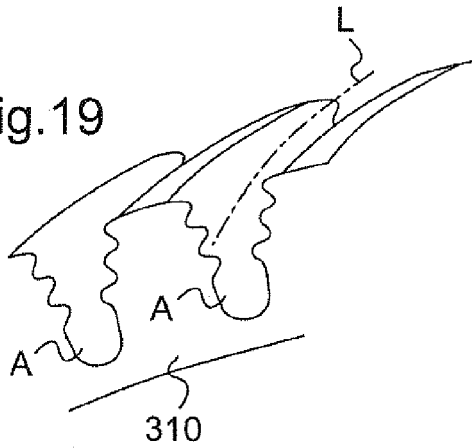


Fig.20

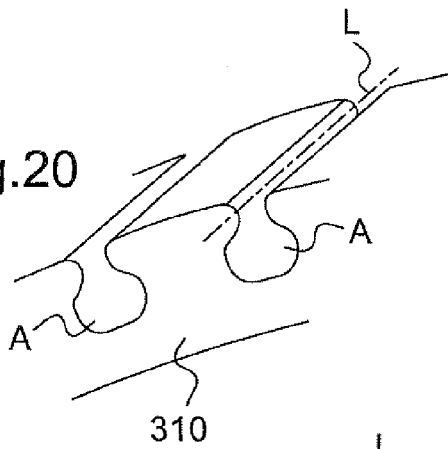


Fig.21

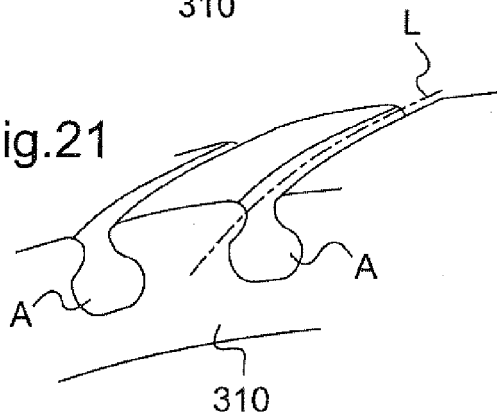


Fig.22

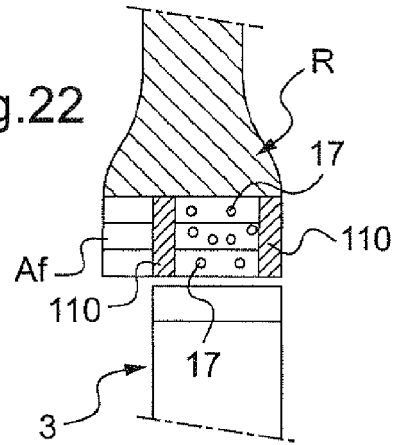


Fig.23

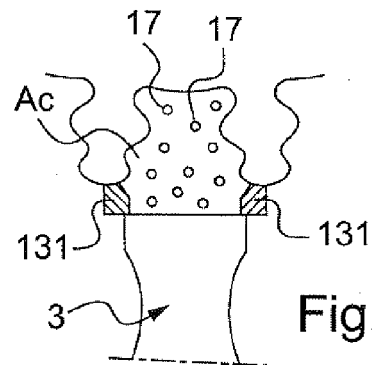
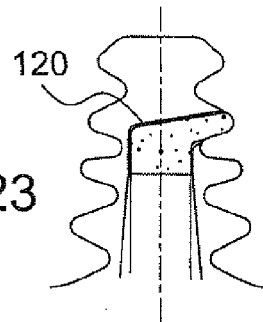


Fig.24

Fig.25

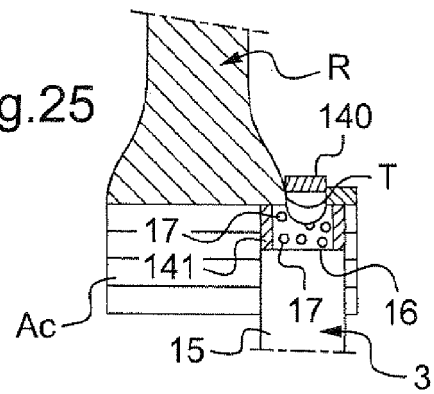


Fig.26

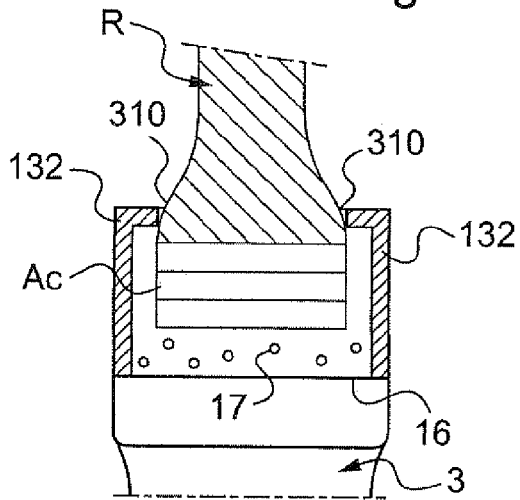


Fig.27

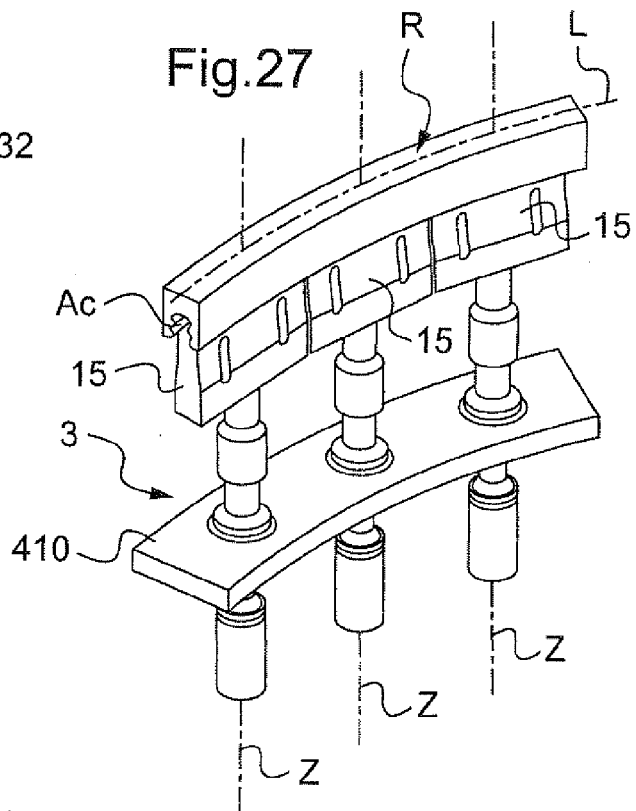


Fig.28

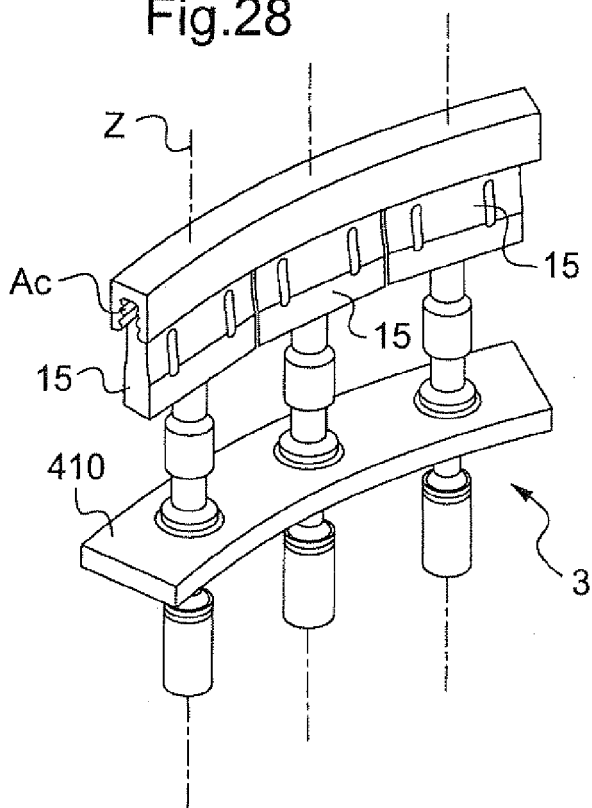
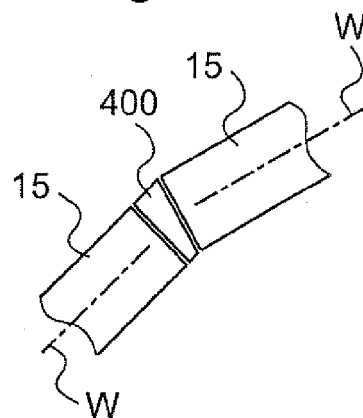


Fig.29



**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- WO 0224411 A [0002] [0015]
- EP 1207014 A [0005] [0015]
- US 6343495 B [0007]
- US 20020042978 A [0008]
- FR 2815280 [0008]
- US 20060021410 A [0008]