



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 621 288 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
01.02.2006 Bulletin 2006/05

(51) Int Cl.:
B24C 1/10 ^(2006.01) **B24C 5/08** ^(2006.01)
B24C 11/00 ^(2006.01) **B24B 1/04** ^(2006.01)
B24B 39/00 ^(2006.01) **F01D 5/28** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **05300625.0**

(22) Date de dépôt: **27.07.2005**

(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 NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK YU

(30) Priorité: **30.07.2004 FR 0408493**

(71) Demandeur: **SONATS - Société des Nouvelles
Applications des
Techniques de Surfaces
44400 Reze (FR)**

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

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

(54) **Projectiles, dispositifs et installations de grenaillage par ultrasons et pièces ainsi traitées**

(57) Projectile (1) destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage par ultrasons dans laquelle le projectile est mis en mouvement par une sonotrode (11), caractérisé par le fait qu'il présente :

- une dureté supérieure ou égale à 800 HV,
- une densité supérieure ou égale à 8 g/cm³, et
- une plus grande dimension inférieure ou égale à 1,5 mm.

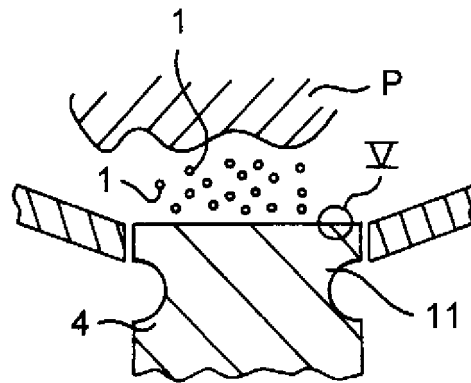


Fig.4

EP 1 621 288 A2

Description

[0001] La présente invention concerne les projectiles, dispositifs et installations de grenaillage par ultrasons ainsi que les pièces ainsi traitées par grenaillage.

[0002] Des procédés et installations de grenaillage par ultrasons sont décrits notamment dans les brevets français FR 2 815 280 et FR 2 815 281, utilisant au moins une sonotrode comportant un corps en titane pour mettre en mouvement des projectiles destinés à induire des contraintes de compression dans la pièce traitée.

[0003] Les publications US 6 490 899 B2, US 6 343 495 B1, US 6 467 321 B2, US 6 336 844 B1, US 6 289 705 B1, US 6 508 093 B2, US 2003/0115922 A1, US 6 505 489 B2 et US 6 536 109 B2 concernent encore le grenaillage par ultrasons.

[0004] Les projectiles utilisés et décrits jusqu'à présent dans ces brevets sont principalement des billes d'acier dont le diamètre est par exemple d'environ 2 mm. L'utilisation de ces projectiles ne permet pas d'obtenir une intensité de traitement suffisante sur des surfaces concaves présentant un rayon de courbure plus faible que celui des projectiles ou dans le fond de certains renforcements.

[0005] La présente invention vise, selon un premier de ses aspects, à remédier à cet inconvénient, et elle y parvient grâce à un projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage par ultrasons dans laquelle le projectile est propulsé par au moins une sonotrode, le projectile pouvant se caractériser par le fait qu'il présente :

- une dureté supérieure ou égale à 800 HV, de préférence supérieure ou égale à 1 300 HV,
- une densité supérieure ou égale à 8 g/cm³, mieux supérieure ou égale à 12 g/cm³, et
- une plus grande dimension inférieure ou égale à 1,5 mm.

[0006] L'utilisation d'un tel projectile permet de traiter des zones difficilement accessibles avec les projectiles conventionnels, ayant de faibles rayons de courbure, notamment inférieur à 1,5 mm, le projectile étant néanmoins capable d'acquérir une énergie cinétique suffisamment grande pour générer le niveau de contrainte souhaité dans la pièce et demeurant compatible avec l'utilisation d'une sonotrode.

[0007] Le projectile est de préférence sensiblement sphérique, notamment avec une tolérance maximale de plus ou moins 60 µm sur sa sphéricité.

[0008] De préférence, le projectile comporte en surface au moins un matériau non ferreux, avantageusement du carbure de tungstène (WC). Le projectile peut être réalisé entièrement en carbure de tungstène.

[0009] Par ailleurs, la présence de fer dans les projectiles conventionnels en acier des installations de grenaillage connues entraîne la formation sur la pièce traitée d'un dépôt ferreux et/ou d'incrustations qui doivent en-

suite être éliminés sous peine de s'oxyder, ce qui nécessite de nettoyer la pièce après grenaillage. Cette opération de nettoyage est également appelée décontamination et elle est réalisée dans des bains. Par exemple, on utilise des bains d'attaque chimique qui abaissent le niveau des contraintes résiduelles et réduisent la tenue en fatigue de la pièce.

[0010] L'invention vise, selon un autre de ses aspects, à éviter ce traitement supplémentaire et par la même occasion maintenir la tenue en fatigue de la pièce traitée.

[0011] Elle y parvient grâce à un projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage dans laquelle le projectile est mis en mouvement par au moins une sonotrode, ce projectile étant caractérisé par le fait qu'il comporte en surface au moins un matériau non ferreux et par le fait qu'il présente une densité supérieure ou égale à 3 g/cm³, mieux supérieure ou égale à 12 g/cm³.

[0012] Le matériau non ferreux est avantageusement du carbure de tungstène (WC).

[0013] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage par ultrasons comportant au moins une sonotrode, ce projectile comportant :

- un noyau en au moins un premier matériau, et
- au moins un deuxième matériau différent du premier dans une enveloppe entourant le noyau.

[0014] Un tel projectile, composite, peut permettre par exemple d'utiliser, pour réaliser le noyau, un matériau moins noble que celui utilisé pour réaliser l'enveloppe, ce qui peut contribuer à diminuer les coûts. Cela peut encore permettre d'utiliser pour le noyau un matériau plus dense mais ne présentant pas une dureté suffisante.

[0015] De préférence, le deuxième matériau présente une dureté supérieure à celle du premier, notamment une dureté supérieure ou égale à 800 HV, mieux supérieure ou égale à 1300 HV, et de préférence également, le deuxième matériau est un matériau non ferreux, par exemple du carbure de tungstène (WC).

[0016] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, individuellement ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage comportant au moins une sonotrode pour mettre en mouvement au moins un projectile, notamment un projectile tel que défini ci-dessus, cette sonotrode présentant au moins une face destinée à venir au contact du projectile, ce dispositif pouvant se caractériser par le fait que la sonotrode a un corps métallique, de préférence en titane, revêtu d'un dépôt d'un matériau plus dur que le métal de base d'une épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mm, avantageusement à base de carbure de tungstène.

[0017] Un tel dispositif permet d'obtenir une résistance à l'usure (abrasion) beaucoup plus grande de la sonotrode, notamment lors de l'utilisation de projectiles pré-

sentant les caractéristiques définies plus haut, sans nuire au fonctionnement acoustique de la sonotrode.

[0018] L'épaisseur est de préférence supérieure ou égale à 0,75 mm, étant comprise entre 0,9 mm et 1,1 mm par exemple.

[0019] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de traitement d'au moins une pièce par grenaillage, ce dispositif comportant au moins une sonotrode pour mettre en mouvement au moins un projectile, par exemple un projectile tel que défini ci-dessus, cette sonotrode comportant un corps réalisé au moins partiellement en titane, ce dispositif pouvant se caractériser par le fait que le corps est réalisé au moins partiellement, mieux entièrement, en titane forgé.

[0020] La demanderesse a pu en effet constater que le titane forgé pouvait être utilisé pour la fabrication d'une sonotrode, ce qui peut permettre par exemple de diversifier les sources d'approvisionnement en cas de pénurie sur le titane obtenu par laminage, utilisé jusqu'à présent pour fabriquer les sonotrodes.

[0021] L'invention n'est pas limitée dans cet aspect particulier à des sonotrodes utilisées pour le grenaillage par ultrasons et peut s'appliquer à des sonotrodes utilisées pour le soudage par ultrasons. L'invention a ainsi encore pour objet une sonotrode réalisée au moins partiellement en titane forgé, considérée isolément.

[0022] Selon un autre de ses aspects, l'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de traitement d'au moins une pièce par grenaillage, ce dispositif comportant au moins une sonotrode et une chambre de traitement dans laquelle des projectiles sont mis en mouvement par la sonotrode, ce dispositif étant caractérisé par le fait que la chambre comporte au moins une paroi ou excroissance venant en appui contre la pièce à traiter.

[0023] Un tel dispositif peut présenter l'avantage de permettre l'utilisation de projectiles de taille relativement petite sans craindre que ceux-ci s'engagent par exemple dans une ouverture de la pièce traitée, une telle ouverture étant obturée par la paroi ou excroissance de la chambre précitée et de délimiter les zones de traitement, ceci ayant pour avantage d'éviter des opérations de masquage/démasquage.

[0024] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de traitement d'au moins une pièce par grenaillage, ce dispositif comportant au moins une sonotrode et une chambre de traitement dans laquelle les projectiles peuvent être mis en mouvement par la sonotrode, ce dispositif étant caractérisé par le fait qu'il comporte un élément de remplissage dont la forme épouse sensiblement celle d'une face de la pièce à traiter située du côté opposé à la sonotrode.

[0025] Un tel élément de remplissage peut permettre d'accélérer le retour des projectiles vers la sonotrode ou d'éviter que certains projectiles ne retournent pas vers la sonotrode.

[0026] L'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, selon un autre de ses aspects, une installation de grenaillage d'une pièce à traiter, comportant :

- au moins une sonotrode,
- au moins un projectile présentant une surface en un matériau non ferreux, l'amplitude de vibration de la sonotrode étant choisie de manière à induire dans la pièce à traiter des contraintes correspondant au minimum à une intensité ALMEN de F8A.

[0027] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage d'au moins une pièce à traiter, comportant une sonotrode pour propulser des projectiles sur la pièce à traiter, cette sonotrode comportant au moins une cavité dans laquelle la pièce à traiter est engagée partiellement. Ainsi, la pièce à traiter n'est pas engagée à l'intérieur de cette cavité.

[0028] La cavité est par exemple réalisée sur une face d'extrémité sensiblement plane de la sonotrode.

[0029] Un tel dispositif permet de traiter plus facilement et plus rapidement des pièces comportant des parties en saillie, lesquelles peuvent être partiellement engagées dans la cavité de la sonotrode et réduisant le temps de traitement.

[0030] Le trajet entre la surface vibrante de la sonotrode et la pièce traitée peut être raccourci et la cavité peut être réalisée par exemple avec des faces inclinées contribuant à orienter les projectiles vers certaines zones de la pièce à traiter qui autrement seraient plus difficiles à atteindre et/ou contribuant à réduire l'incidence des projectiles, augmentant ainsi la force d'impact et réduisant le temps de traitement.

[0031] L'invention a encore pour objet une installation de grenaillage comportant une sonotrode et au moins un projectile tel que défini précédemment. Dans une telle installation, la sonotrode est par exemple excitée à une fréquence comprise entre 10 et 60 kHz, par exemple une fréquence de l'ordre de 15 kHz, 20 kHz ou 40 kHz.

[0032] Par ailleurs, le brevet US 6 536 109 enseigne de traiter une pluralité de pieds de pales par grenaillage en les disposant dans une enceinte, l'axe longitudinal des pales étant orienté parallèlement à l'axe longitudinal de la sonotrode.

[0033] L'invention vise, selon un autre de ses aspects, à améliorer encore le traitement des pieds de pales.

[0034] Elle y parvient grâce à un procédé de traitement dans une installation de grenaillage d'au moins un pied d'une pale, la pale ayant un axe longitudinal, l'installation de grenaillage comportant un dispositif de grenaillage comportant une sonotrode ayant un axe longitudinal et une pluralité de projectiles mis en mouvement par la sonotrode, le procédé pouvant se caractériser par le fait que l'on dispose le pied de telle sorte que l'axe longitudinal de la pale soit sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal de la sonotrode.

[0035] On peut disposer contre une face d'extrémité du pied de la pale, située sensiblement à l'opposé de la pale, un embout élastiquement déformable.

[0036] Avantageusement, on remplit l'espace situé derrière la face latérale du pied opposée à la sonotrode avec un élément de remplissage dont la forme épouse sensiblement celle de cette face.

[0037] L'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, une pièce traitée dans une installation de grenaillage utilisant au moins un projectile tel que défini ci-dessus, présentant une surface grenaillée dépourvue de dépôt ou d'incrustations ferreuses et comportant au moins une portion concave ayant un rayon de courbure inférieur ou égal à 1,5 mm, notamment inférieur ou égal à 0,7 mm. La surface grenaillée présente de préférence un niveau de contrainte d'intensité ALMEN supérieure ou égale à F8A.

[0038] L'invention a encore pour objet, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage d'une pièce comportant des alvéoles ouvertes radialement vers l'extérieur à sa périphérie, ce dispositif comportant une chambre de traitement ouverte sur la sonotrode, cette chambre de traitement étant traversée par une région périphérique de la pièce comportant les alvéoles, la pièce étant entraînée en rotation relativement à la sonotrode autour d'un axe sensiblement parallèle à l'axe longitudinal de la sonotrode.

[0039] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage d'une pièce comportant une gorge annulaire en périphérie, notamment une gorge présentant une section transversale avec un étranglement, le dispositif comportant une chambre de traitement comportant des parois latérales disposées de part et d'autre de la pièce, notamment des parois latérales recouvrant les faces latérales de la pièce, une paroi de fond unissant les parois latérales, cette paroi de fond étant traversée par une ouverture débouchant sur la sonotrode de manière à permettre à des projectiles d'impacter la sonotrode et d'être mis en mouvement par celle-ci dans la chambre de traitement, la chambre de traitement étant disposée de manière à pouvoir être traversée par la pièce, celle-ci étant entraînée en rotation autour d'un axe sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal de la sonotrode.

[0040] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage comportant une chambre de traitement ouverte sur une sonotrode et un déflecteur pour renvoyer des projectiles présents dans la chambre de traitement et mis en mouvement par la sonotrode vers la surface à traiter.

[0041] Le déflecteur présente par exemple une forme conique de manière à permettre de traiter une paroi tubulaire, par exemple un perçage traversant. La chambre de traitement peut par exemple être définie entre une partie supérieure comportant le déflecteur et une partie inférieure comportant la sonotrode.

[0042] L'invention a encore pour objet un dispositif de grenaillage d'une pièce cylindrique munie à une extrémité d'une denture, ce dispositif comportant une sonotrode et une chambre de traitement traversée par la denture, la pièce étant entraînée en rotation autour d'un axe perpendiculaire à l'axe longitudinal de la sonotrode, la chambre de traitement comportant un déflecteur pour renvoyer des projectiles vers le fond des gorges ménagées entre les dents de la denture.

[0043] Dans une variante, la pièce est entraînée en rotation autour d'un axe sensiblement parallèle à l'axe longitudinal de la sonotrode et la chambre de traitement comporte des parois inclinées pour renvoyer des projectiles vers des faces radialement intérieures et radialement extérieures des dents de la denture.

[0044] Dans une autre variante, la denture est entièrement engagée dans la chambre de traitement, laquelle peut comporter un déflecteur conique central permettant de renvoyer des projectiles vers la surface radialement intérieure des dents de la denture et un déflecteur périphérique permettant de renvoyer des projectiles vers la surface radialement extérieure des dents de la denture. La pièce peut être entraînée ou non relativement à la sonotrode, autour d'un axe sensiblement parallèle longitudinal de celle-ci.

[0045] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, indépendamment ou en combinaison avec ce qui précède, un dispositif de grenaillage d'une pièce comportant un taraudage, ce dispositif comportant une sonotrode et une chambre de traitement délimitée au moins partiellement par un déflecteur introduit à l'intérieur du taraudage, ce déflecteur comportant une paroi inclinée relativement à l'axe longitudinal de la sonotrode de manière à renvoyer vers un filet du taraudage des projectiles. L'axe de la sonotrode peut être sensiblement parallèle à l'axe du taraudage. Des moyens peuvent être prévus pour provoquer un mouvement relatif du déflecteur relativement à la pièce à traiter. Cette dernière peut par exemple être entraînée en rotation autour de l'axe longitudinal de la sonotrode.

[0046] 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 un exemple de projectile selon un aspect de l'invention,
- la figure 2 représente de manière partielle et schématique, en coupe, une pièce ayant une portion concave présentant un faible rayon de courbure,
- la figure 3 est une coupe transversale dans un plan médian d'un projectile composite conformément à un autre aspect de l'invention,
- la figure 4 représente de manière schématique et partielle une installation de grenaillage selon un autre aspect de l'invention,
- la figure 5 représente le détail IV de la figure 3,
- la figure 6 est une coupe schématique et partielle,

- axiale, d'une sonotrode réalisée conformément à un autre aspect de l'invention,
- les figures 7 et 8 représentent de manière schématique et partielle une installation de grenaillage de pieds de pales conformément à un autre aspect de l'invention, et
 - la figure 9 représente de manière schématique et partielle un exemple de pièce à traiter,
 - la figure 10 représente de manière schématique une installation de grenaillage pouvant être utilisée pour traiter la pièce de la figure 9,
 - les figures 11 à 13 représentent d'autres exemples d'installation de grenaillage,
 - la figure 14 représente de manière schématique et partielle un autre exemple de pièce à traiter,
 - les figures 15 à 17 représentent des exemples d'installations de grenaillage pouvant être utilisées pour traiter la pièce de la figure 15, et
 - les figures 18 et 19 représentent d'autres exemples d'installations de grenaillage.

Projectiles

[0047] L'invention porte, selon l'un de ses aspects, sur un projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage comportant une sonotrode mise en vibration à des fréquences ultrasonores par un générateur adéquat. Ce projectile peut se caractériser par une dureté supérieure ou égale à 800 HV, une densité supérieure ou égale à 8 g/cm³, et une plus grande dimension inférieure ou égale à 1,5 mm.

[0048] On a représenté à la figure 1 un projectile 1 répondant à cette définition, de forme sensiblement sphérique, la plus grande dimension indiquée ci-dessus correspondant au diamètre d de la sphère. De préférence, la tolérance sur la sphéricité est meilleure que plus ou moins 60 µm.

[0049] De préférence, la dureté est supérieure ou égale à 1300 HV et la densité supérieure ou égale à 12 g/cm³.

[0050] Le projectile 1 est par exemple réalisé entièrement en carbure de tungstène ou dans tout autre matériau présentant les dureté et densité requises. Le carbure de tungstène comporte par exemple un liant cobalt ou nickel.

[0051] De préférence, le matériau utilisé est un non ferreux, ce qui présente les avantages exposés précédemment.

[0052] Dans un exemple de mise en oeuvre de l'invention, le projectile 1 est une bille de diamètre d égal à 0,91 mm de carbure de tungstène (WC). Un tel projectile est par exemple utilisé dans une installation de grenaillage par ultrasons et propulsé par la surface vibrante d'une sonotrode dont l'amplitude de vibration est comprise par exemple de l'ordre de 60 à 80 µm, de manière à ce que l'énergie cinétique du projectile impactant la pièce à traiter puisse générer des contraintes, au terme du traitement de la pièce, d'intensité ALMEN d'au moins de F8A.

[0053] La fréquence d'excitation de la sonotrode est

par exemple comprise entre 10 et 60 kHz, par exemple 20 kHz. La fréquence peut être choisie en fonction des caractéristiques de la zone à traiter et des critères de traitement imposés par exemple.

[0054] La petite taille du projectile 12 rend possible de traiter des surfaces concaves de rayon de courbure r relativement faible, comme illustré à la figure 2, par exemple de rayon de courbure r inférieur ou égal à 0,7 mm.

[0055] Selon un autre aspect de l'invention, le projectile 1 peut être composite, ce que l'on a illustré à la figure 3, avec par exemple un noyau 2 d'un premier matériau et une enveloppe 3 d'un deuxième matériau, de préférence plus dur que le premier et non ferreux, la dureté du deuxième matériau étant par exemple supérieure ou égale à 800 HV, mieux supérieure ou égale à 1300 HV, ce deuxième matériau étant préférentiellement du carbure de tungstène.

[0056] Le noyau peut par exemple être de l'acier, de l'uranium, ou tout autre matériau compatible avec le dépôt sur celui-ci du deuxième matériau et avec l'obtention de contraintes de compression générées par grenaillage.

Sonotrodes

[0057] Conformément à un autre aspect de l'invention, comme illustré aux figures 4 et 5, la sonotrode 11 utilisée pour mettre en mouvement les projectiles 1, notamment ceux en carbure de tungstène précités, peut comporter un corps 4 en titane, revêtu sur son côté destiné à être impacté par les projectiles par un dépôt 5 d'un matériau plus dur que le titane, sur une épaisseur e supérieure ou égale à 0,5 mm. De préférence, la surface extérieure du dépôt est reprise (rectifiée ou usinée), afin de rendre à la sonotrode sa forme initiale. Le matériau constituant le dépôt 5 est par exemple du carbure de tungstène déposé sur le titane par tout procédé adapté, notamment par un procédé mis en oeuvre par la société française TECHNOGENIA (Saint Joriez). L'épaisseur e est par exemple supérieure ou égale à 0,75 mm, mieux supérieure ou égale à 0,9 mm, par exemple de l'ordre de 1 mm.

[0058] Selon un autre aspect de l'invention, le corps 4 de la sonotrode peut être réalisé, indépendamment de la présence ou non du dépôt 5, au moins partiellement en titane forgé, par exemple du titane Ti 10.2.3. En effet, le titane forgé résiste aux contraintes internes induites lors du fonctionnement de la sonotrode par les vibrations ultrasonores.

[0059] Selon un autre aspect de l'invention, illustré à la figure 6, la face vibrante 7 de la sonotrode 11 qui est impactée par les projectiles peut présenter au moins une cavité 8 dans laquelle est partiellement engagée la pièce 93 à traiter. La face vibrante 7, à l'exception de la cavité 8, est par exemple plane et orientée sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal X de la sonotrode 11.

[0060] La portion de la pièce 9 qui est engagée dans la cavité 8 est par exemple un pied ou une plateforme d'aube, un épaulement sur un arbre.

[0061] La cavité 8 est par exemple limitée par des pa-

rois inclinée 90 et 91 qui peuvent être par exemple disposées selon un dièdre dans le cas où la portion de la pièce 9 traitée est sensiblement rectiligne.

[0062] L'inclinaison des parois 90 et 91 permet aux projectiles d'atteindre les faces opposées de la portion de la pièce 9 engagée dans la cavité 8 avec une incidence plus faible.

Installations de grenailage

[0063] Les installations de grenailage concernées par l'invention comportent au moins une sonotrode et au moins un projectile mis en mouvement par la sonotrode de manière à impacter la pièce à traiter, directement ou après réflexion sur au moins un déflecteur, lequel peut être constitué par exemple par une paroi de l'enceinte de traitement.

[0064] Ce projectile peut être par exemple l'un de ceux définis précédemment, étant notamment réalisé en carbure de tungstène ou en acier ou avec une structure composite.

[0065] L'amplitude de vibration de la sonotrode est choisie par exemple de manière à induire dans la pièce à traiter des contraintes correspondant à une intensité ALMEN supérieure ou égale à F8A. Cette amplitude est préférentiellement comprise entre 1 μm et 300 μm .

[0066] Selon la nature et notamment la forme de la pièce à traiter, l'installation de grenailage peut présenter diverses configurations.

[0067] Lorsque la pièce à traiter est par exemple une pale ayant un axe longitudinal Y, comme illustré aux figures 7 et 8, et comportant un pied 10 servant à sa fixation sur un support de forme annulaire, la pale 9 est orientée de préférence avec l'axe longitudinal Y sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal X de la sonotrode 11, ce qui facilite le traitement des faces latérales 17 et 18 du pied 10.

[0068] De préférence, pour une telle pièce, les projectiles qui sont employés sont de petites billes en carbure de tungstène de diamètre inférieur ou égal à 1,2 mm, par exemple de l'ordre de 0,91 mm.

[0069] L'installation 12 comporte avantageusement, dans cet exemple, une partie amovible 13a supportant un élément de remplissage 14 présentant une portion 15 dont la forme est adaptée à celle de la face latérale 17 opposée à la sonotrode 11, une partie mobile 13b et une partie fixe 13c placée au-dessus de la sonotrode 11 à une distance inférieure au diamètre du projectile, de préférence sensiblement égale au tiers du diamètre du projectile.

[0070] La partie fixe 13c a pour rôle de conserver les projectiles au repos sur la sonotrode afin de rendre libre la manipulation des parties 13a et 13b sans risque de disperser les projectiles en dehors de la chambre de traitement 30.

[0071] Le cas échéant, la partie amovible 13a peut comporter un deuxième élément de remplissage 19 présentant une portion 20 dont la forme est adaptée à celle

de l'autre face latérale 18, de façon à permettre le traitement de la face latérale 17 après le retournement de la partie mobile 13b.

[0072] Cette dernière est maintenue en place dans un logement 22 défini dans l'exemple considéré entre deux parties 24 et 25 pouvant être déplacées l'une par rapport à l'autre, par exemple par un mouvement de rotation comme illustré. La face intérieure de chacune des parties 24 et 25 venant en contact avec la pale 9 peut être définie par une partie amovible 26 dont la forme est adaptée à celle de la pale 9, ce qui permet en changeant la partie amovible 26 d'adapter l'installation à d'autres pièces à traiter.

[0073] Les parties 24 et 25 peuvent également comporter des joints 27 dans un matériau élastiquement déformable, ces joints 27 étant destinés à fermer de manière étanche aux projectiles la chambre de traitement 30.

[0074] Notamment lorsque le pied 10 comporte au moins une ouverture dans sa face d'extrémité 33 opposée à la pale 9, un embout 31 en un matériau élastiquement déformable peut être appliqué contre cette face d'extrémité 33 afin notamment d'empêcher les projectiles de traverser la ou les ouvertures précitées. L'embout 31 peut être fixé à l'extrémité d'un support 32 réalisé par exemple dans une matière synthétique résistant aux impacts des projectiles pendant la durée de traitement du pied 10.

[0075] Bien entendu, l'invention peut trouver à s'appliquer à un grand nombre de pièces.

[0076] Dans l'exemple illustré aux figures 9 et 10, la pièce 41 à traiter présente des alvéoles 40 réparties sur sa circonférence.

[0077] Cette pièce 41 peut être entraînée en rotation autour d'un axe de rotation parallèle à l'axe longitudinal de la sonotrode 11, les alvéoles 40 traversant une chambre de traitement 42 fermée inférieurement par la sonotrode 11 et supérieurement par une paroi 43 susceptible d'être remplacée par la sonotrode 11, de manière à traiter la face opposée de la pièce en même temps.

[0078] Pour une pièce présentant une gorge annulaire 44 à sa périphérie, comme illustré à la figure 11, l'installation peut par exemple comporter des parois latérales 45 venant recouvrir latéralement la pièce à traiter et une paroi de fond 47 reliant les parois 45 et fermant la chambre de traitement 44, cette paroi 47 étant traversée par une ouverture 46 permettant aux projectiles 1 mis en mouvement par la sonotrode 11 d'impacter la pièce à traiter.

[0079] Cette dernière peut par exemple être entraînée en rotation autour d'un axe W perpendiculaire à l'axe longitudinal X de la sonotrode.

[0080] Pour traiter le bord intérieur 49 d'un perçage 50 d'une pièce 51, comme illustré sur la figure 12, on peut par exemple prévoir une chambre de traitement 50 fermée supérieurement et débouchant inférieurement sur la face vibrante de la sonotrode 11.

[0081] Le cas échéant, comme illustré à la figure 13,

on peut réaliser la chambre de traitement avec au moins un déflecteur central 52, par exemple de forme conique, de manière à ce que les projectiles, en rebondissant sur ce déflecteur, puissent atteindre avec une incidence moins élevée le bord 49.

[0082] Pour traiter une pièce 60 présentant par exemple une forme cylindrique avec en extrémité une denture 61 appelée également crabot ou curvic, comme illustré à la figure 14, on peut utiliser par exemple l'une des installations des figures 15 à 17.

[0083] Dans la configuration de la figure 15, la pièce 60 est entraînée en rotation autour d'un axe K perpendiculaire à l'axe longitudinal X de la sonotrode 4 et le traitement de grenaillage de la denture 61 est effectué en faisant passer celle-ci au travers d'une enceinte de traitement 63 comportant une paroi 64 inclinée obliquement pour renvoyer les projectiles provenant de la surface vibrante de la sonotrode 11 vers le fond des gorges formées entre les dents, la paroi 64 étant inclinée par exemple sensiblement à 45° relativement à l'axe longitudinal X de la sonotrode 11.

[0084] Dans la configuration de la figure 16, la pièce 60 est entraînée en rotation autour d'un axe T qui est parallèle à l'axe X de la sonotrode 11, le fond des gorges ménagées entre les dents de la denture 61 faisant face à la surface vibrante de la sonotrode 11.

[0085] La chambre de traitement peut comporter des paroi 66 inclinées obliquement relativement à l'axe longitudinal X de la sonotrode, de manière à renvoyer les projectiles vers les faces 68 et 69 respectivement radialement extérieure et radialement intérieure des dents de la denture 61.

[0086] Dans la configuration de la figure 17, la sonotrode 11 est suffisamment large pour traiter l'ensemble de la denture 61 à la fois, la chambre de traitement présentant par exemple en son centre un déflecteur conique 62 permettant de renvoyer les projectiles vers la face radialement intérieure 69 de la pièce 60.

[0087] La chambre de traitement peut également présenter une paroi périphérique 70 de forme conique, permettant de renvoyer les projectiles vers la face radialement extérieure 68 de la pièce 60. Cette dernière peut être entraînée ou non en rotation autour d'un axe confondu avec l'axe longitudinal X de la sonotrode.

[0088] Sur la figure 18, on a illustré la possibilité de traiter un perçage 73 ainsi que les deux faces d'entrée 74 et 75 de la pièce 72.

[0089] On a illustré à la figure 19 la possibilité de grenailler un taraudage 78, en introduisant à l'intérieur de celui-ci un déflecteur 79 définissant au moins partiellement une chambre de traitement, présentant une paroi 80 inclinée par rapport à l'axe longitudinal X de la sonotrode 11, permettant d'orienter les projectiles vers les filets 81 du taraudage 78.

[0090] Dans tous les exemples qui précèdent, plusieurs sonotrodes peuvent être utilisées simultanément pour traiter une même pièce.

[0091] Ces différentes configurations peuvent être ap-

pliquées en statique. En revanche, lorsque la pièce est entraînée en rotation, celle-ci peut l'être en continu ou par intermittence.

[0092] Un mélange de projectiles de différentes natures et/ou dimensions peut être utilisé, le cas échéant.

[0093] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits, et trouve à s'appliquer à toutes pièces utilisées dans les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile, notamment les aubes, pales, turbines, engrenages, filetages, alvéoles de réception de pieds de pale, organes de fixation en tous genres, cordons de soudures, rayons de raccords, aube/veine, poches inter-disques, etc...

[0094] Dans toute la description, y compris les revendications, l'expression "comportant un" doit être comprise comme étant synonyme de "comportant au moins un", sauf si le contraire est spécifié.

[0095] Les caractéristiques des différents exemples de mise en oeuvre de l'invention peuvent être combinées entre elles.

[0096] En particulier, les projectiles des figures 1 et 3 peuvent être utilisés ou non dans les exemples des figures 4 à 19.

[0097] La sonotrode de l'exemple des figures 4 à 5 peut être utilisée ou non dans les exemples des figures 6 à 19.

Revendications

1. Projectile (1) destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage par ultrasons dans laquelle le projectile est mis en mouvement par une sonotrode (11), **caractérisé par le fait qu'il présente** :
 - une dureté supérieure ou égale à 800 HV,
 - une densité supérieure ou égale à 8 g/cm³, et
 - une plus grande dimension inférieure ou égale à 1,5 mm.
2. Projectile selon la revendication 1, **caractérisé par le fait que** la dureté est supérieure ou égale à 1 300 HV.
3. Projectile selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé par le fait que** le projectile (1) est sensiblement sphérique, notamment avec une tolérance maximale de plus ou moins 60 µm.
4. Projectile selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par le fait que** la densité est supérieure ou égale à 12 g/cm³.
5. Projectile selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par le fait qu'il** comporte en surface au moins un matériau non ferreux.

6. Projectile selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait qu'il** comporte en surface au moins du carbure de tungstène (WC).
7. Projectile selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait qu'il** est réalisé entièrement en carbure de tungstène.
8. Projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage par ultrasons, notamment une installation de grenaillage comportant au moins une sonotrode, **caractérisé par le fait qu'il** comporte en surface au moins un matériau non ferreux et **par le fait qu'il** présente une densité supérieure ou égale à 3 g/cm³.
9. Projectile selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** le matériau non ferreux est du carbure de tungstène.
10. Projectile selon l'une des deux revendications immédiatement précédentes, **caractérisé par le fait que** la densité est supérieure ou égale à 12 g/cm³.
11. Projectile destiné à être utilisé dans une installation de grenaillage, notamment une installation de grenaillage comportant au moins une sonotrode, ce projectile comportant un noyau (2) en au moins un premier matériau et au moins un deuxième matériau différent du premier dans une enveloppe (3) entourant le noyau.
12. Projectile selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** le deuxième matériau présente une dureté supérieure à celle du premier.
13. Projectile selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** le deuxième matériau est un matériau non ferreux.
14. Projectile selon l'une des deux revendications immédiatement précédentes, **caractérisé par le fait que** le deuxième matériau présente une dureté supérieure ou égale à 800 HV, mieux supérieure ou égale à 1300 HV.
15. Projectile selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, **caractérisé par le fait que** le deuxième matériau comporte du carbure de tungstène.
16. Dispositif de grenaillage comportant au moins une sonotrode (11) pour mettre en mouvement au moins un projectile, cette sonotrode présentant au moins une face destinée à venir au contact du projectile, dispositif **caractérisé par le fait que** le projectile est tel que défini dans l'une quelconque des revendications précédentes et **par le fait que** la sonotrode comporte un corps (4) en métal, notamment en titane, revêtu d'un dépôt (5) en surface d'un matériau plus dur que le métal de base et d'une épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mm.
17. Dispositif selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** l'épaisseur est supérieure ou égale à 0,75 mm, mieux 0,9 mm.
18. Dispositif selon l'une des revendications 16 et 17, **caractérisé par le fait que** le dépôt est un dépôt à base de carbure de tungstène (WC).
19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, **caractérisé par le fait que** la sonotrode comporte un corps réalisé au moins partiellement en titane.
20. Dispositif de grenaillage comportant au moins une sonotrode pour mettre en mouvement au moins un projectile tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 5, cette sonotrode comportant un corps réalisé au moins partiellement en titane, le corps étant réalisé au moins partiellement en titane forgé.
21. Installation de grenaillage d'une pièce à traiter, comportant :
- au moins une sonotrode,
 - au moins un projectile tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 15 présentant une surface en un matériau non ferreux, l'amplitude de vibration de la sonotrode étant choisie de manière à introduire dans la pièce à traiter des contraintes correspondant à une intensité ALMEN au minimum égale à F8A.
22. Dispositif de grenaillage d'au moins une pièce à traiter, comportant une sonotrode pour projeter des projectiles tels que définis dans l'une quelconque des revendications 1 à 15 sur la pièce à traiter, cette sonotrode comportant au moins une cavité (8) dans laquelle la pièce à traiter (93) est partiellement engagée.
23. Dispositif selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** la cavité est réalisée en creux sur une face d'extrémité (7) sensiblement plane de la sonotrode (11).
24. Installation de grenaillage comportant au moins une sonotrode et au moins un projectile tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 15.
25. Installation selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** la sonotrode est excitée à une fréquence comprise entre 10 et 60 kHz, par exemple une fréquence de l'ordre de 15 kHz, 20 kHz

ou 40 kHz.

26. Procédé de traitement d'au moins un pied (10) d'une pale (9) ayant un axe longitudinal (Y) dans une installation de grenaillage, cette installation de grenaillage comportant un dispositif de grenaillage comportant une sonotrode (11) ayant un axe longitudinal (X) et une pluralité de projectiles tels qu définis dans l'une quelconque des revendications 1 à 15, procédé dans lequel l'on dispose le pied de la pale de telle sorte que l'axe longitudinal (Y) de la pale soit sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal (X) de la sonotrode. 5 10
27. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé par le fait que** l'on dispose sur une face d'extrémité (33) du pied de la pale, située sensiblement à l'opposé de la pale, une paroi ou excroissance (31) élastiquement déformable. 20
28. Procédé selon l'une des deux revendications immédiatement précédentes, **caractérisé par le fait que** l'on remplit l'espace situé derrière la face (17) du pied de pale opposée à la sonotrode avec un élément de remplissage (14) dont la forme épouse sensiblement celle de cette face. 25
29. Pièce traitée dans une installation de grenaillage utilisant au moins un projectile tel que défini dans l'une quelconque des revendications 1 à 15, présentant une surface grenaillée dépourvue de dépôt ou d'incrustation ferreuse et comportant au moins une portion concave ayant un rayon de courbure (r) inférieur ou égal à 1,5 mm. 30 35
30. Pièce selon la revendication 31, **caractérisée par le fait que** la surface exposée au grenaillage présente après traitement un niveau de contraintes correspondant à une intensité ALMEN supérieure à F8A. 40
31. Dispositif de grenaillage comportant au moins une sonotrode (11) pour mettre en mouvement au moins un projectile, cette sonotrode présentant au moins une face destinée à venir au contact du projectile, dispositif **caractérisé par le fait que** la sonotrode comporte un corps (4) en métal, notamment en titane, revêtu d'un dépôt (5) en surface d'un matériau plus dur que le métal du corps et d'une épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mm. 45 50
32. Dispositif de traitement d'au moins une pièce par grenaillage, ce dispositif comportant au moins une sonotrode et une chambre de traitement dans laquelle des projectiles peuvent être mis en mouvement par la sonotrode, dispositif **caractérisé par le fait qu'il** comporte au moins une paroi ou excroissance (31) élastiquement déformable venant en ap- 55

pui contre la pièce à traiter.

33. Installation de grenaillage d'une pièce à traiter, comportant :
 - au moins une sonotrode,
 - au moins un projectile présentant une surface en un matériau non ferreux, l'amplitude de vibration de la sonotrode étant choisie de manière à introduire dans la pièce à traiter des contraintes correspondant à une intensité ALMEN au minimum égale à F8A.
34. Procédé de traitement d'au moins un pied (10) d'une pale (9) ayant un axe longitudinal (Y) dans une installation de grenaillage, cette installation de grenaillage comportant un dispositif de grenaillage comportant une sonotrode (11) ayant un axe longitudinal (X) et une pluralité de projectiles, **caractérisé par le fait que** l'on dispose le pied de la pale de telle sorte que l'axe longitudinal (Y) de la pale soit sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal (X) de la sonotrode.

Fig.1

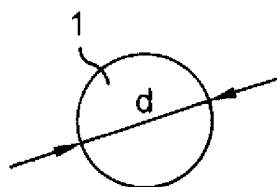


Fig.2

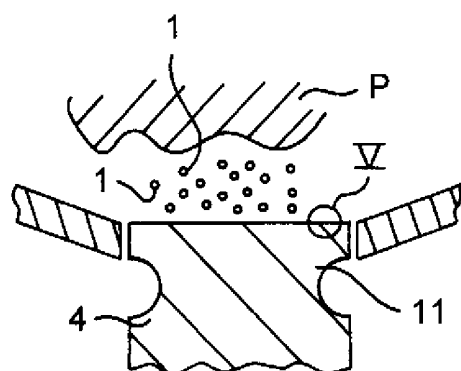
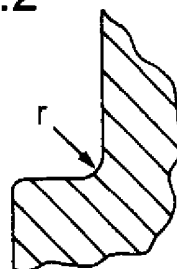


Fig.3

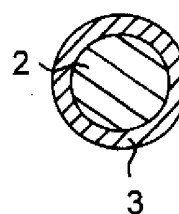


Fig.4

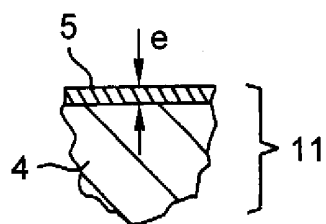


Fig.5

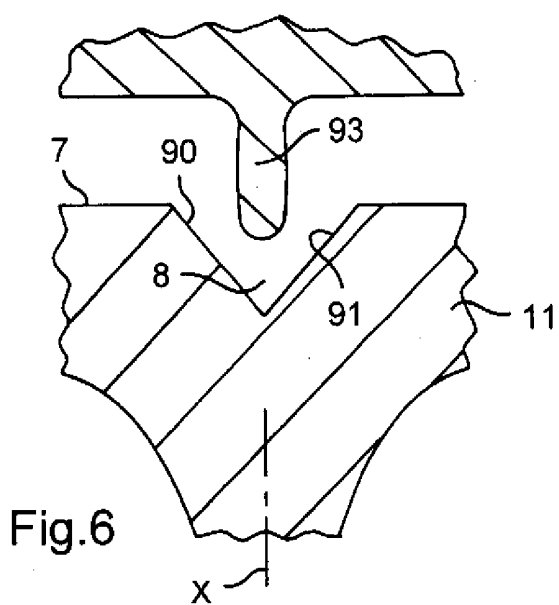


Fig.6

Fig.7

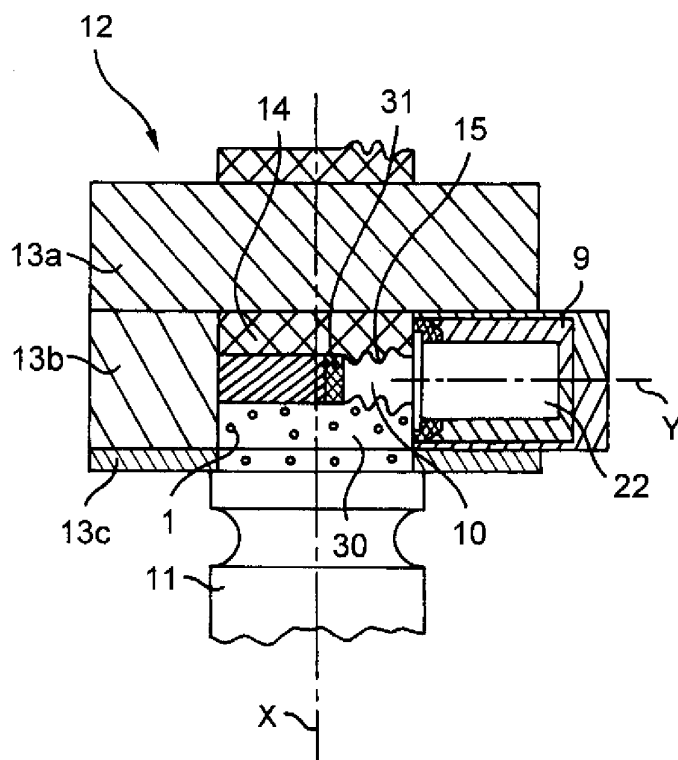
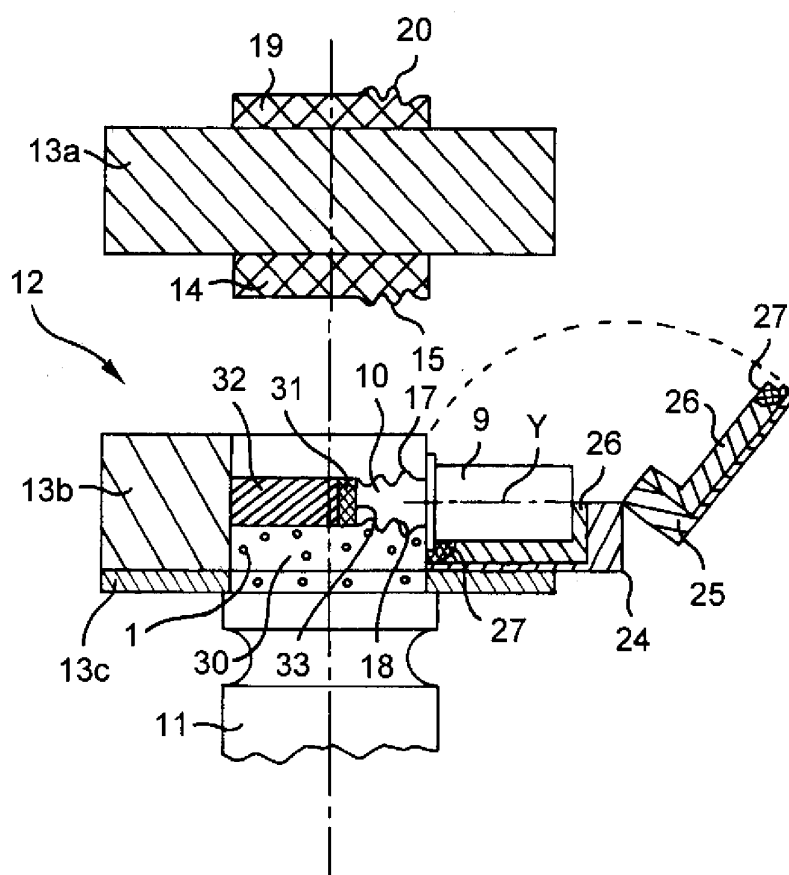
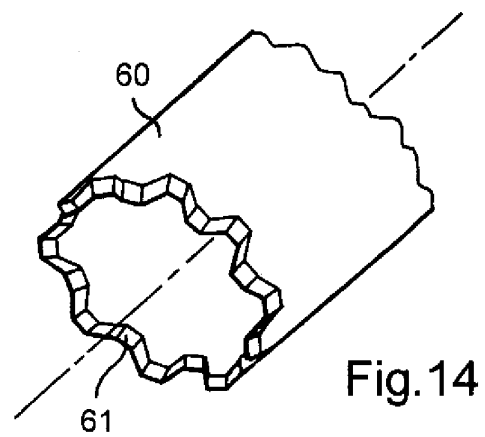
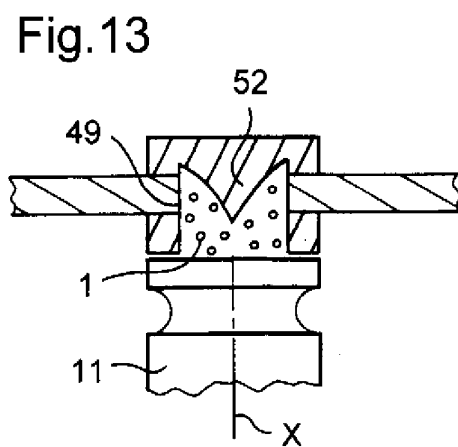
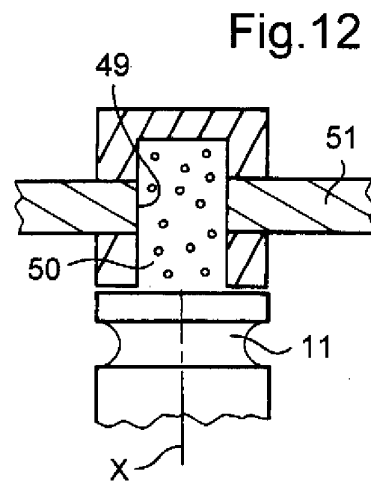
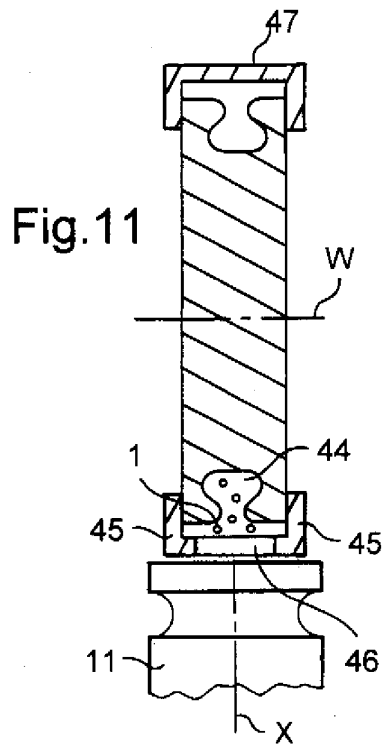
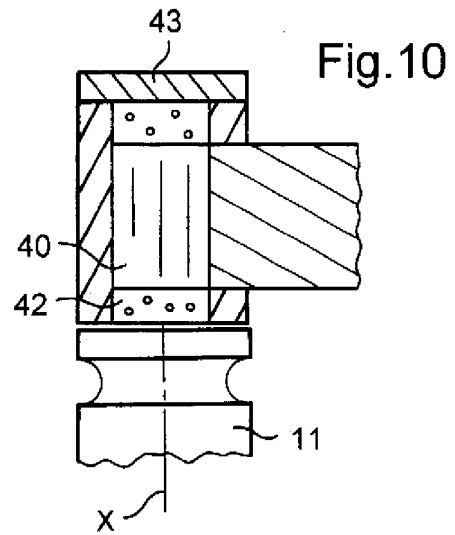
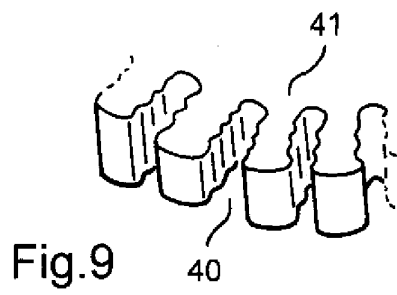


Fig.8





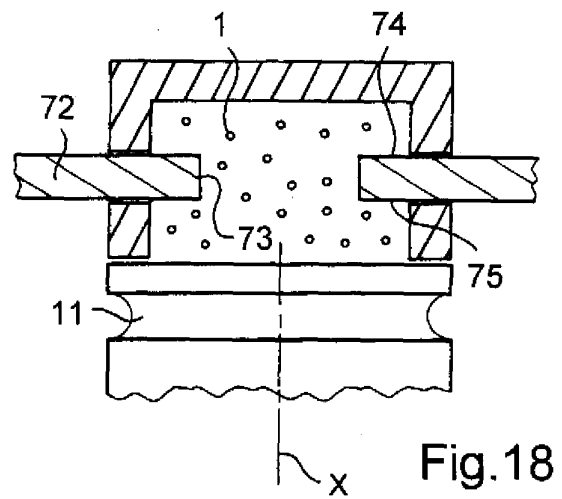
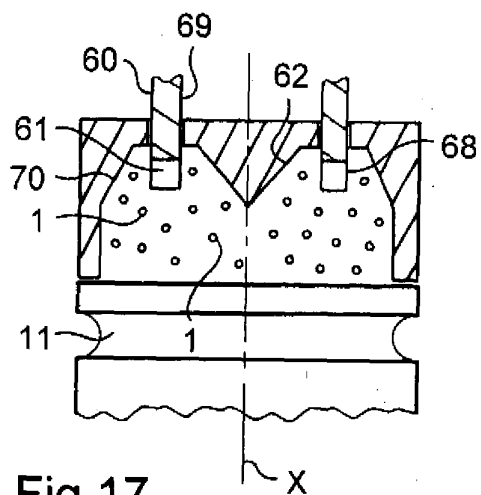
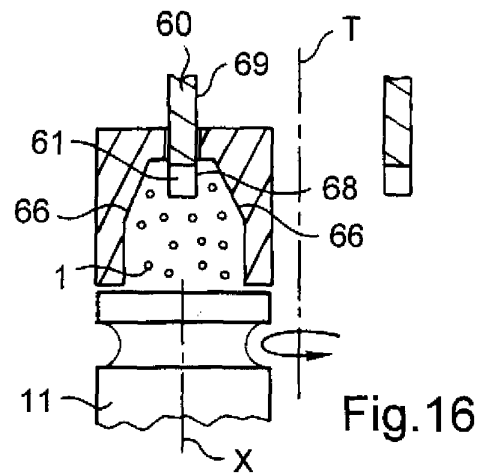
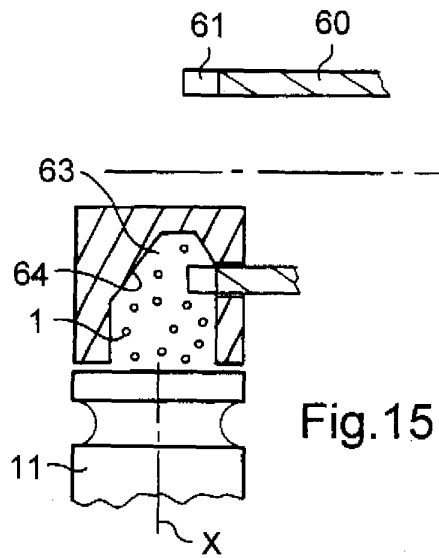


Fig. 17

Fig. 19

