

(19)



(11)

EP 3 551 376 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
08.12.2021 Bulletin 2021/49

(51) Int Cl.:
B24B 13/01 (2006.01) B24D 13/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17800905.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2017/052965

(22) Date de dépôt: **27.10.2017**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2018/104601 (14.06.2018 Gazette 2018/24)

(54) OUTIL DE SURFAÇAGE À QUALITÉ OPTIQUE

WERKZEUG FÜR OPTISCHE OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

OPTICAL-GRADE SURFACING TOOL

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **09.12.2016 FR 1662259**

(43) Date de publication de la demande:
16.10.2019 Bulletin 2019/42

(73) Titulaire: **Essilor International
94220 Charenton-le-Pont (FR)**

(72) Inventeurs:
• **GACOIN, Eric
94220 Charenton-Le-Pont (FR)**

- **KRESS, Pierre
94220 Charenton-Le-Pont (FR)**
- **STEPHANE, Jean
94220 Charenton-Le-Pont (FR)**
- **SAULNY, Jonathan
94220 Charenton-Le-Pont (FR)**

(74) Mandataire: **Santarelli
49, avenue des Champs-Élysées
75008 Paris (FR)**

(56) Documents cités:
**DE-A1- 3 416 186 FR-A1- 2 900 356
GB-A- 1 188 381 US-A- 3 583 111**

EP 3 551 376 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

DescriptionDOMAINE DE L'INVENTION

5 **[0001]** L'invention a trait au surfaçage à qualité optique, pour des surfaces telles qu'une face d'un verre ophtalmique ou d'une lentille d'appareil photographique ou d'un instrument destiné à l'observation des objets éloignés ou encore une face d'un substrat semi-conducteur.

10 **[0002]** Par surfaçage, on entend toute opération visant à modifier l'état d'une surface préalablement façonnée. Il s'agit notamment d'opérations de polissage, doucissage ou dépolissage visant à modifier (diminuer ou augmenter) la rugosité de la surface et/ou à en diminuer l'ondulation.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE

15 **[0003]** On connaît déjà, notamment par la demande de brevet japonais 2000-317797, par la demande de brevet français 2 834 662 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2005/0101235, par la demande de brevet français 2 857 610 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2006/0154581, par la demande de brevet français 2 900 356 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2008/0171502, par la demande de brevet français 2 918 911 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2010/0178858, par la demande de brevet français 2 935 627 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2011/0136416, par la demande de brevet français 2 935 628 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2011/0136415 et par la demande de brevet français 2 953 433 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2012/0231713, un outil de surfaçage d'une surface optique, comportant : un support rigide présentant une surface transversale d'extrémité ; une interface élastiquement compressible assujettie au support rigide et présentant une première surface transversale d'extrémité, une seconde surface transversale d'extrémité et une surface latérale s'étendant de la périphérie de la première surface d'extrémité à la périphérie de la seconde surface d'extrémité, ladite première surface d'extrémité de l'interface étant appliquée contre et recouvrant ladite surface d'extrémité du support rigide ; ainsi qu'un tampon flexible apte à être appliqué contre la surface optique et qui est appliqué contre et recouvre au moins en partie la seconde surface d'extrémité de l'interface à l'opposé et au droit de ladite surface d'extrémité du support rigide.

25 **[0004]** Pour diminuer la rugosité de la surface optique, on amène l'outil au contact de celle-ci en maintenant sur elle une pression suffisante de l'outil pour que, par déformation de l'interface, le tampon épouse la forme de la surface optique.

30 **[0005]** Tout en arrosant la surface optique au moyen d'un fluide, on l'entraîne en mouvement relatif par rapport à l'outil de manière à ce qu'elle soit entièrement balayée par ce dernier.

35 **[0006]** Généralement, on entraîne en rotation la surface optique, son frottement contre l'outil étant suffisant pour entraîner conjointement celui-ci en rotation, un décentrement variable au cours de l'opération assure le mouvement relatif et le balayage.

[0007] L'opération de surfaçage nécessite un abrasif qui peut être contenu dans le tampon ou dans le fluide.

[0008] Au cours du surfaçage, l'interface, élastiquement compressible, permet de compenser la différence de courbure entre la surface d'extrémité du support de l'outil et la surface optique.

OBJET DE L'INVENTION

40 **[0009]** L'invention vise à fournir un outil de surfaçage performant en matière de productivité et de qualité d'aspect obtenue tout en restant simple, commode et économique à fabriquer.

45 **[0010]** Elle propose à cet effet un outil de surfaçage à qualité optique, comportant :

- une embase comportant un support rigide et une collerette flexible entourant ledit support rigide, lequel support rigide présente une surface transversale d'extrémité, laquelle collerette présente une surface transversale d'extrémité située du même côté que la surface transversale d'extrémité du support rigide ;
- une interface élastiquement compressible comportant une première surface transversale d'extrémité, une seconde surface transversale d'extrémité et une surface latérale s'étendant de la périphérie de la première surface transversale d'extrémité à la périphérie de la seconde surface transversale d'extrémité, la première surface transversale d'extrémité de l'interface élastiquement compressible étant assujettie à la surface transversale d'extrémité du support rigide et à la surface transversale d'extrémité de la collerette ; et
- un tampon flexible présentant une première surface transversale d'extrémité assujettie à la seconde surface transversale d'extrémité de l'interface élastiquement compressible et une seconde surface transversale d'extrémité configurée pour être appliqué contre une surface à travailler, lequel tampon comporte une partie centrale qui se trouve au droit de la surface transversale d'extrémité du support rigide et une partie périphérique qui se trouve transversalement au-delà de cette surface transversale d'extrémité ;

caractérisé en ce que ladite partie périphérique est raccordée au support exclusivement par ladite interface et par ladite collerette, laquelle collerette est configurée pour que l'outil soit déformable élastiquement entre une position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation et une position de référence où la seconde surface transversale d'extrémité du tampon flexible est plaquée contre une surface de référence qui est sphérique à rayon compris entre 40 mm et 1500 mm.

[0011] Contrairement par exemple à l'outil de surfacage connu notamment par la demande de brevet français 2 900 356, laquelle est la base pour le préambule de la revendication 1 et à laquelle correspond la demande de brevet américain 2008/0171502, il n'y a pas de moyens de rappel élastique tels qu'une pièce étoilée raccordant la partie périphérique du tampon au support.

[0012] Bien que cela soit surprenant, il s'avère qu'en fait il est possible de configurer la collerette, par exemple ainsi qu'exposé ci-après, pour que la collerette soit suffisamment déformable élastiquement pour qu'il ne soit pas besoin de tels moyens de rappel élastique.

[0013] Le caractère élastique de la déformation de l'outil entre la position de repos et la position de référence signifie que l'outil n'est pas déformé de façon permanente, c'est-à-dire que quand on cesse de plaquer l'outil contre la surface de référence il revient à la position de repos, avec éventuellement un délai de quelques secondes.

[0014] Grâce à son nombre de composants réduit, l'outil selon l'invention est simple, commode et économique à fabriquer.

[0015] En outre, il est possible de configurer l'outil selon l'invention, par exemple ainsi qu'expliqué ci-après, pour que l'outil ait la capacité d'exercer une pression relativement uniforme sur la surface à travailler, ce qui est favorable aux performances de productivité et de qualité d'aspect du surfacage effectué.

[0016] Selon des caractéristiques avantageuses, ladite collerette est configurée pour que l'outil soit déformable élastiquement entre ladite position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation et :

- dans le cas où ladite surface à travailler est concave, aussi bien jusqu'à une première position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité du tampon flexible est plaquée contre une première surface de référence concave qui est sphérique concave à rayon de 1500 mm que jusqu'à une deuxième position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité du tampon flexible est plaquée contre une deuxième surface de référence concave qui est sphérique concave à rayon de 40 mm ; ou
- dans le cas où ladite surface à travailler est convexe, aussi bien jusqu'à une première position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité du tampon flexible est plaquée contre une première surface de référence convexe qui est sphérique convexe à rayon de 40 mm que jusqu'à une deuxième position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité du tampon flexible est plaquée contre une deuxième surface de référence convexe qui est sphérique convexe à rayon de 1500 mm.

[0017] L'outil est ainsi capable de se déformer élastiquement aussi bien de la position de repos jusqu'à la première position de référence que de la position de repos jusqu'à la deuxième position de référence, et donc de se déformer élastiquement sur une gamme de courbure particulièrement étendue.

[0018] Grâce à la capacité qu'a l'outil de se déformer élastiquement sur une plage de courbures aussi étendue, un ensemble formé par une machine de surfacage et par un outil selon l'invention peut surfer la plupart des lentilles ophtalmiques courantes.

[0019] On notera à ce sujet qu'au contraire, avec les outils déjà connus, il faut généralement trois modèles différents d'outils, à courbures différentes en position de repos, pour pouvoir surfer la même plage de courbures.

[0020] Le caractère universel de l'outil selon l'invention est particulièrement avantageux en matière de productivité puisqu'il n'est pas besoin de changer d'outil lorsqu'on change de courbure de la surface à travailler.

[0021] Selon des caractéristiques avantageuses :

- la valeur de l'effort appliqué sur le support coaxialement à l'outil alors que l'outil est coaxial à la surface de référence pour faire passer l'outil de la position de repos à la position de référence est compris entre 30 N et 180 N ;
- ladite collerette est configurée pour que le ratio effort sur déplacement entre, d'une part, la valeur de l'effort appliqué sur le support coaxialement à l'outil alors que l'outil est coaxial à la surface de référence pour faire passer l'outil de la position de repos à la position de référence et, d'autre part, la valeur du déplacement du support entre la position de repos et la position de référence est compris entre 3 N/mm et 15 N/mm avec une vitesse de déplacement imposée de 25 mm/s ;
- ledit ratio effort sur déplacement est compris entre 5 N/mm et 8 N/mm avec une vitesse de déplacement imposée de 25 mm/s ;
- la surface transversale d'extrémité de la collerette est à fleur de la surface transversale d'extrémité du support ;
- la collerette est subdivisée en pétales ;
- lesdits pétales sont subdivisés par des fentes orientées radialement ;
- chaque pétale prend racine latéralement audit support rigide ;

EP 3 551 376 B1

- chaque pétale a une épaisseur qui varie en fonction de la distance x à son extrémité distale, avec pour chaque distance x l'épaisseur qui est constante ;
- à chaque distance x , l'épaisseur $h(x)$ du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \int_0^x \left(\int_0^x b(x) dx \right) dx$$

avec $b(x)$ qui est la largeur du pétale à la distance x et K une constante ;

- la largeur du pétale en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme d'un polynôme :

$$b(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

de sorte qu'à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} + \dots + \frac{a_n x^{n+2}}{(n+1)(n+2)} \right) ;$$

- les pétales sont en forme de tronc de secteur angulaire de sorte que la largeur du pétale en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme du polynôme :

$$b(x) = a_0 + a_1 x$$

de sorte qu'à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} \right) ;$$

- à chaque distance x de l'extrémité distale du pétale, l'épaisseur du pétale est inférieure à :

$$h_{MAX} = \frac{R \sigma_{MAX}}{2E}$$

avec σ_{MAX} qui est la limite en traction de la matière des pétales, E qui est le module d'élasticité de la matière des pétales et R qui est l'inverse de la différence de courbure entre la position de repos et la position de référence de l'outil ; et/ou

- le ratio entre l'aire de la surface transversale d'extrémité de la collerette, c'est-à-dire l'aire totale de la surface des pétales, et l'aire de la surface annulaire correspondante est compris entre 30 et 80%.

[0022] L'invention vise également un ensemble comportant une machine de surfacage et un outil tel qu'exposé ci-dessus, dans lequel ladite machine est configurée pour appliquer sur le support de l'outil un effort machine prédéterminé de valeur constante, et ledit outil est configuré pour que la valeur de l'effort appliqué sur le support coaxialement à l'outil alors que l'outil est coaxial à la surface de référence pour faire passer l'outil de la position de repos à la position de référence est compris entre 85% et 100% de ladite valeur constante de l'effort machine.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0023] L'exposé de l'invention sera maintenant poursuivi par la description détaillée d'exemples de réalisation, donnée ci-après à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés. Sur ceux-ci :

- les figures 1 et 2 sont des vues respectivement en perspective et en coupe d'un premier mode de réalisation d'un outil de surfacage selon l'invention, en position de repos ;
- la figure 3 est une vue semblable à la figure 2, mais montrant cet outil en cours de surfacage d'une surface d'un verre ophtalmique ;
- 5 - la figure 4 est une vue en perspective-coupe de l'embase d'un deuxième mode de réalisation de l'outil dont la surface transversale d'extrémité du support rigide et de la collerette sont planes (et non convexes) en position de repos ;
- la figure 5 est une vue schématique en coupe illustrant ce mode de réalisation de l'outil de surfacage en position de repos sur une surface de référence concave ;
- la figure 6 est une vue schématique en coupe illustrant une autre surface de référence concave ;
- 10 - la figure 7 est un graphe illustrant, pour ce mode de réalisation de l'outil, la relation entre l'effort F appliqué, porté en ordonnées, et le déplacement z correspondant, porté en abscisses, les différentes courbes correspondant à différents échantillons de ce mode de réalisation de l'outil ;
- la figure 8 est un graphe semblable à la figure 7, mais montrant uniquement deux courbes ainsi que deux lignes correspondant à un certain effort et à une certaine distance, afin d'expliquer le comportement des échantillons correspondant de l'outil ;
- 15 - la figure 9 est une vue schématique en coupe de l'embase de ce mode de réalisation de l'outil appliquée sur la surface de référence concave de la figure 5, montrée en trait mixte, la position de repos de l'embase étant montrée en trait interrompu ;
- les figures 10 et 11 sont des vues semblables aux figures 4 et 5 pour un troisième mode de réalisation de l'outil dont la surface transversale d'extrémité du support rigide et de la collerette sont concaves en position de repos ;
- 20 - la figure 12 est une vue schématique en coupe illustrant une surface de référence convexe différente de celle illustrée sur la figure 11 ; et
- les figures 13 à 17 sont des vues en perspective de l'embase d'autres modes de réalisation de l'outil de surfacage.

25 DESCRIPTION DETAILLEE D'EXEMPLES DE REALISATION

[0024] L'outil 10 illustré sur les figures 1 et 2 comporte :

- une embase 11 comportant un support rigide 12 et une collerette flexible 13 entourant le support rigide 12, lequel support rigide 12 présente une surface transversale d'extrémité 14, laquelle collerette 13 présente une surface transversale d'extrémité 15 située du même côté que la surface transversale d'extrémité 14 du support rigide 12 ;
- 30 - une interface élastiquement compressible 16 comportant une première surface transversale d'extrémité 17, une seconde surface transversale d'extrémité 18 et une surface latérale 19 s'étendant de la périphérie de la première surface transversale d'extrémité 17 à la périphérie de la seconde surface transversale d'extrémité 18, la première surface transversale d'extrémité 17 de l'interface élastiquement compressible 16 étant assujettie à la surface transversale d'extrémité 14 du support rigide 12 et à la surface transversale d'extrémité 15 de la collerette 13 ; et
- 35 - un tampon flexible 20 présentant une première surface transversale d'extrémité 21 assujettie à la seconde surface transversale d'extrémité 18 de l'interface élastiquement compressible 16 et une seconde surface transversale d'extrémité 22 configurée pour être appliquée contre une surface à travailler 23 (figure 3), lequel tampon 20 comporte
- 40 une partie centrale 24 qui se trouve au droit de la surface transversale d'extrémité 14 du support rigide 12 et une partie périphérique 25 qui se trouve transversalement au-delà de cette surface transversale d'extrémité 14.

[0025] Dans l'embase 11 la collerette flexible 13 est transversalement au-delà du support rigide 12, qui est disposé centralement.

45 **[0026]** La collerette flexible 13 a un diamètre externe (grand diamètre) semblable au diamètre externe de l'interface 16 et du tampon 20.

[0027] Le diamètre interne (petit diamètre) de la collerette flexible 13 correspond au diamètre externe du support 12, la collerette 13 prenant racine latéralement au support 12.

50 **[0028]** Le support rigide 12 et la collerette périphérique flexible 13 sont en matière plastique moulée d'une seule pièce, le support 12 étant massif au moins au voisinage de la surface 14 afin de présenter la rigidité requise tandis que la collerette 13 est à faible épaisseur de paroi afin d'être flexible.

[0029] La collerette 13 présente huit fentes 26 orientées radialement et réparties équi-angulairement, de sorte que la collerette 13 est subdivisée en huit pétales 27 chacun conformé globalement en tronc de secteur angulaire.

55 **[0030]** La subdivision de la collerette 13 en pétales contribue à permettre à cette collerette d'être flexible afin de se conformer à différentes courbures de surfaces à polir.

[0031] La surface 14 du support 12 est à fleur de la surface 15 de la collerette 13 située du même côté.

[0032] De l'autre côté, le support 12 présente un fût saillant 28 qui sert à raccorder l'outil 10 à la broche d'une machine de surfacage 29 montrée de façon simplifiée sur la figure 3 par les flèches 30 et 31 qui symbolisent les efforts d'entraî-

nement appliqués sur l'outil 10 par la machine 29, qui seront décrits plus loin.

[0033] Le fût 28 présente une cavité 32 d'accueil de la tête de broche. La cavité 32 présente une portion sphérique 33 conformée globalement comme trois-quarts d'une sphère et une nervure annulaire 34.

[0034] La tête de broche prévue pour être accueillie dans la cavité 32 comporte une extrémité en portion de sphère conformée comme la portion 33 et une portion cylindrique de plus petit diamètre que la nervure 34.

[0035] L'assemblage entre le fût 28 et la broche de la machine se fait par simple encliquetage, l'épaisseur de paroi du fût 28 étant suffisamment faible pour pouvoir se déformer afin que la partie sphérique de la tête de broche se loge dans la portion 33.

[0036] Lorsque la tête de broche est engagée dans la cavité 32, l'outil 10 coopère en liaison rotule par rapport à la broche.

[0037] Comme indiqué ci-dessus, le diamètre de l'interface 16 et du tampon 20 correspond au diamètre externe de la collerette 13.

[0038] L'assujettissement entre l'interface 16 et l'embase 11 s'effectue par collage entre la surface 17 de l'interface 16 et les surfaces 14 et 15 de l'embase 11.

[0039] Dans l'exemple illustré, l'interface élastiquement compressible 16 est une mousse ayant une épaisseur de l'ordre de 9 mm et le tampon souple 20 a une épaisseur de l'ordre de 1 mm.

[0040] Le diamètre de l'interface 16 et du tampon 20 est de l'ordre de 55 mm.

[0041] Lorsque l'embase 11 est au repos, c'est-à-dire en l'absence de sollicitations externes, la surface 15 de la collerette 13 qui, comme indiqué ci-dessus, est à fleur de la surface 14, est conformée dans le prolongement de la surface 14. Ici, les surfaces 14 et 15 sont conformées comme une même portion de sphère.

[0042] Dans l'exemple illustré sur les figures 1 à 3, lorsque l'outil 10 est en position de repos, la surface d'extrémité 14 du support 12 et la surface d'extrémité 15 de la collerette 13 sont conformées comme une portion de sphère ayant un rayon de courbure de l'ordre de 110 mm.

[0043] Grâce à la collerette 13, la surface de contact entre l'interface 16 et l'embase 11 est particulièrement importante puisque cette surface de contact correspond à la surface 14 et à la surface 15.

[0044] La figure 3 montre une lentille ophtalmique 35 dont la surface optique 23 est en cours de surface par l'outil 10, afin d'en diminuer la rugosité.

[0045] La machine 29 met l'outil 10 au contact de la surface 23 par la surface 22 du tampon 20. La machine 29 maintient sur la surface 23, par l'exercice de l'effort 31, une pression suffisante de l'outil 10 pour que, par déformation de l'interface 16, le tampon 20 épouse la forme de la surface optique 23.

[0046] Tout en arrosant la surface optique 23 au moyen d'un fluide, on entraîne en rotation la lentille 35 comme montré par la flèche 36, le frottement contre l'outil 10 étant suffisant pour entraîner l'outil 10 en rotation.

[0047] Un décentrement variable au cours de l'opération, grâce à l'effort d'entraînement à va-et-vient 30, assure le mouvement relatif et le balayage.

[0048] L'opération de surfacage nécessite un abrasif qui peut être contenu dans le tampon 20 ou dans le fluide.

[0049] Au cours du surfacage, l'interface 16, élastiquement compressible, permet de compenser la différence de courbure entre la surface d'extrémité 14 du support 12 de l'outil et la surface optique 23.

[0050] La partie périphérique 25 du tampon 20 est raccordée au support 12 exclusivement par l'interface 16 et par la collerette 13.

[0051] Contrairement par exemple à l'outil de surfacage connu notamment par la demande de brevet français 2 900 356 à laquelle correspond la demande de brevet américain 2008/0171502, il n'y a pas de moyens de rappel élastique tels qu'une pièce étoilée raccordant la partie périphérique du tampon au support.

[0052] La collerette 13 est en effet configurée pour être suffisamment déformable élastiquement pour qu'il ne soit pas besoin de tels moyens de rappel élastique.

[0053] L'embase 11, qui doit à la fois être rigide au voisinage de la surface d'extrémité 14, flexible au niveau du fût 28 pour permettre l'encliquetage de la broche de la machine et élastique au niveau de la collerette 13, est avantageusement en PA11, en POM, en PA66, en PUR ou en ELASTOLLAN®.

[0054] Par exemple, il existe une nuance de PA11 qui a un module d'élasticité E (module d'Young) de 1320 N/mm² et une limite élastique en traction σ_{MAX} de 35 N/mm²; et la nuance 1164D de l'ELASTOLLAN® a un module d'élasticité E de 300 N/mm² et une limite élastique en traction σ_{MAX} de 40 N/mm².

[0055] On notera que ces matières offrent un ratio σ_{MAX}/E relativement élevé, qui les rend particulièrement appropriées pour mettre en œuvre la collerette 13, ainsi qu'expliqué ultérieurement.

[0056] Une autre matière intéressante est par exemple le PA66, dont une nuance a un module d'élasticité de 2500 N/mm².

[0057] La collerette 13 est configurée pour que l'outil 10 soit déformable élastiquement entre la position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation (figures 1 et 2) et une ou plusieurs positions de référence où la surface 22 est entièrement plaquée contre une surface de référence concave ou différentes surfaces de référence concaves, de même que sur la figure 3 où toute la surface 22 de l'outil 10 est plaquée contre la surface 23.

[0058] L'outil 10 est ici capable de se déformer élastiquement sur une plage de courbures particulièrement étendue, puisqu'il est configuré pour se déformer élastiquement de la position de repos aussi bien :

- jusqu'à une première position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité 22 du tampon flexible 20 est entièrement plaquée contre une première surface de référence concave 37 (figure 6) qui est sphérique concave à rayon de 1500 mm ;
- que jusqu'à une deuxième position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité 22 du tampon flexible 20 est entièrement plaquée contre une deuxième surface de référence concave 40 (figure 5) qui est sphérique concave à rayon de 40 mm.

[0059] La première surface de référence concave 37 fait partie d'un support d'essai 38. La deuxième surface de référence 40 fait partie d'un support d'essai 41.

[0060] Le caractère élastique de la déformation de l'outil entre la position de repos et chacune des première et deuxième positions de référence signifie que l'outil n'est pas déformé de façon permanente, c'est-à-dire que quand on cesse de plaquer l'outil contre la surface de référence 37 ou 40, il revient à la position de repos, avec éventuellement un délai de quelques secondes.

[0061] Ce caractère élastique de l'outil 10 est fourni par l'interface 16 et par la collerette 13, ici grâce à sa subdivision en pétales et à la géométrie des pétales qui a été conçue en conséquence, ainsi qu'expliqué ultérieurement.

[0062] Grâce à la capacité qu'a l'outil 10 de se déformer élastiquement sur une plage de courbures aussi étendue, l'ensemble formé par la machine 29 et par l'outil 10 peut surfaçer la plupart des lentilles ophtalmiques courantes.

[0063] On notera à ce sujet qu'avec les outils déjà connus, il faut généralement trois modèles différents d'outils, à courbures différentes en position de repos, pour pouvoir surfaçer la même plage de courbures.

[0064] Le mode de réalisation de l'outil 10 illustré sur les figures 4 et 5 est identique au mode de réalisation illustré sur les figures 1 à 3 si ce n'est qu'en position de repos la surface transversale d'extrémité 14 du support 12 et la surface transversale d'extrémité 15 de la collerette 13 sont planes.

[0065] La figure 5 montre cet outil 10 en position de repos sur la deuxième surface de référence concave 40.

[0066] Comme indiqué ci-dessus, la surface de référence concave 40 a un rayon de 40 mm.

[0067] Le support 41 auquel appartient la surface de référence 40 fait partie d'un dispositif d'essai 42 qui est utile à la mise au point de l'outil de surfaçage 10 pour sélectionner les meilleurs candidats parmi des échantillons (outils prototypes) réalisés avec différents dimensionnements et différentes matières.

[0068] Le dispositif d'essai 42 comporte un organe dynamique d'application d'un effort linéaire symbolisé par la flèche 43. Cet organe comporte à son extrémité distale une tête semblable à la tête d'une broche d'une machine de surfaçage qui est engagée dans la cavité 32 du fût 28.

[0069] La tête de l'organe 43 est déplacée à une vitesse contrôlée prédéterminée, par exemple 25 mm/s, coaxialement à l'outil 10 alors que l'outil 10 est coaxial à la surface 40. Ainsi, un effort d'intensité F est appliqué sur le support 12 coaxialement à l'outil 10 alors que l'outil 10 est coaxial à la surface 40.

[0070] L'intensité de l'effort F est mesurée et enregistrée pendant le déplacement de l'organe 43. L'on cesse d'entraîner l'organe 43 quand un seuil prédéterminé est atteint, par exemple 160 N.

[0071] La figure 7 est un graphe montrant le résultat de tels essais, réalisés à une vitesse de 25 mm/s jusqu'à atteindre une valeur d'effort de 160 N.

[0072] Le déplacement z de l'organe 43 est porté en abscisses et l'effort F en ordonnées.

[0073] Les courbes C1 à C10 correspondent chacune à un échantillon différent.

[0074] Les courbes à suffixe impair, par exemple C1 et C3, concernent des échantillons ayant une même interface 16 d'une première nature. Les courbes à suffixe pair, par exemple C2 et C4, concernent des échantillons ayant la même interface 16 d'une deuxième nature, plus souple que l'interface 16 de première nature.

[0075] Les courbes ayant deux suffixes successifs dont le premier est impair et le second est pair, par exemple C1 et C2, concernent des échantillons ayant la même embase 11, par exemple les courbes C1 et C2 concernent des échantillons ayant une embase 11 d'une première nature et les courbes C3 et C4 des échantillons ayant une même embase 11 d'une deuxième nature. Les embases 11 des différentes natures diffèrent les unes des autres uniquement par l'épaisseur moyenne des pétales 27, qui décroît avec les suffixes des courbes (les courbes C1 et C2 concernent les échantillons ayant les pétales 27 de plus grande épaisseur moyenne tandis que les courbes C9 et C10 concernent les échantillons ayant les pétales 27 de plus petite épaisseur moyenne).

[0076] Tous les échantillons ont le même tampon flexible 20.

[0077] Tant que la distance d (figure 5) entre le centre de la surface 22 du tampon 20 et la surface 40 n'est pas nulle, c'est-à-dire tant que la surface 22 n'est pas entièrement plaquée contre la surface 40, la distance d varie comme le déplacement z . Ensuite, le déplacement z correspond à la compression de l'interface 16.

[0078] On voit que pour les outils les plus flexibles, les courbes (par exemple C9 et C10) présentent un changement de pente assez net, à partir de l'effort pour lequel la surface 22 a entièrement été plaquée contre la surface 40.

[0079] La figure 8 est un graphe semblable à la figure 7, mais montrant uniquement les courbes C1 et C10 ainsi qu'une ligne horizontale correspondant à l'intensité fixe prédéterminée de l'effort 31 exercé par la machine 29 sur l'outil 10 (intensité de l'ordre de 80 N) et une ligne verticale correspondant à la distance d quand l'outil 10 est en position de repos (distance de l'ordre de 12 mm).

[0080] Comme le montre la double flèche 44, l'outil que concerne la courbe C1 ne fléchit pas assez sous l'effort 31 pour être entièrement plaqué contre la surface 40 : pour l'intensité de l'effort 31 le déplacement z est très inférieur à la distance d en position de repos de l'outil.

[0081] Il en résulte qu'avec l'effort 31, l'outil que concerne la courbe C1 exerce sur la surface 40 une pression de contact trop localisée au bord.

[0082] Comme le montre la double flèche 45, l'outil que concerne la courbe C10 est plaqué contre la surface 40 bien en-dessous de l'intensité de l'effort 31.

[0083] Il en résulte qu'avec l'effort 31, l'outil que concerne la courbe C10 exerce sur la surface 40 une pression trop localisée au centre.

[0084] On comprend qu'un outil dont la courbe passe par le point d'intersection entre les deux lignes de la figure 8 exerce une pression relativement uniforme sur la surface 40.

[0085] C'est le cas de l'outil que concerne la courbe C6.

[0086] On notera qu'un outil capable d'exercer une pression uniforme sur la surface à travailler aura un excellent comportement au surfaçage, qui lui conférera d'excellentes performances en matière de qualité d'aspect obtenue sur la surface travaillée et aussi en matière de rapidité d'exécution, l'uniformité de la pression favorisant la rapidité de l'atteinte de l'enlèvement suffisant de matière sur l'ensemble de la surface travaillée.

[0087] D'une façon générale, il est en pratique avantageux de configurer un outil 10 prévu pour travailler une surface concave de sorte que soit comprise entre 30 N et 180 N la valeur de l'effort appliqué sur le support 12 coaxialement à l'outil 10 alors que l'outil 10 est coaxial à une surface de référence concave semblable à la surface 40 (rayon de 40 mm).

[0088] Dans un ensemble tel que celui illustré sur la figure 3 où la machine 29 est configurée pour appliquer sur le support 12 de l'outil 10 un effort machine 31 prédéterminé de valeur constante, il est intéressant que l'outil 10 soit configuré pour que la valeur de l'effort appliqué sur le support 12 coaxialement à l'outil 10 alors que l'outil 10 est coaxial à une surface de référence telle que la surface 40 pour faire passer l'outil de la position de repos à une position où l'outil est plaqué contre cette surface, soit comprise entre 85% et 100% de cette valeur constante de l'effort machine.

[0089] Il ressort du graphe de la figure 7 qu'il est intéressant que la collerette 13 soit configurée pour que soit compris entre 3 N/mm et 15 N/mm avec une vitesse de déplacement imposée de 25 mm/s, le ratio effort sur déplacement entre, d'une part, la valeur de l'effort F appliqué sur le support 12 coaxialement à l'outil 10 alors que l'outil 10 est coaxial à la surface 40 pour faire passer l'outil de la position de repos à la position où la surface 22 est plaquée contre la surface 40 et, d'autre part, la valeur du déplacement z du support entre la position de repos et la position où la surface 22 est plaquée contre la surface 40.

[0090] Il ressort également du graphe de la figure 7 que des valeurs particulièrement intéressantes de ce ratio sont comprises entre 5 N/mm et 8 N/mm avec une vitesse de déplacement imposée de 25 mm/s.

[0091] Bien entendu, les essais décrits ci-dessus à l'appui des figures 5, 7 et 8 sont effectués à température ambiante.

[0092] On va maintenant décrire comment sont agencés les pétales 27 pour procurer à l'outil 10 la capacité de déformation élastique décrite ci-dessus.

[0093] Chaque pétale 27 a une épaisseur qui varie en fonction de la distance x à son extrémité distale, avec pour chaque distance x l'épaisseur qui est constante.

[0094] En pratique, l'épaisseur de chaque pétale augmente entre son extrémité distale et sa racine par laquelle il se raccorde latéralement au support rigide 12.

[0095] On va maintenant décrire un exemple de détermination de la géométrie des pétales 27.

[0096] On suppose, comme montré sur la figure 9, que l'embase 11 illustrée sur la figure 4 est appliquée sur la surface 40, montrée en trait mixte (la position de l'embase 11 quand l'outil 10 est au repos est montrée en trait interrompu).

[0097] La surface d'extrémité 14 du support rigide 12 n'est pas déformable et ne se conforme donc pas à la surface 40.

[0098] On suppose que la flexibilité de la collerette 13 est telle que la surface 15 de la collerette 13 se conforme à la surface 40, c'est-à-dire que la surface 15 est entièrement plaquée sur la surface 40.

[0099] Ainsi, pour chaque pétale 27 la surface 15 prend la même courbure que la surface 40, c'est-à-dire que pour chaque pétale 27 la surface 15 adopte un rayon de 40 mm.

[0100] On cherche dans ces conditions comment faire varier l'épaisseur des pétales 27 en fonction de la distance x à leur extrémité distale pour que la pression exercée par chaque pétale 27 sur la surface 40 soit uniforme.

[0101] On démontre qu'il en va ainsi quand, à chaque distance x, l'épaisseur h(x) du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \int_0^x \left(\int_0^x b(x) dx \right) dx$$

EP 3 551 376 B1

avec $b(x)$ qui est la largeur du pétale à la distance x et K une constante.

$$\frac{12 R Q_{sp}}{E}$$

[0102] On démontre que la constante K est égale à $\frac{12 R Q_{sp}}{E}$ avec R qui est le rayon de la surface 40 (ici 40 mm) ; Q_{sp} qui est la charge surfacique des pétales 27, supposée constante ; et E qui est le module d'élasticité (module d'Young) de la matière des pétales 27.

[0103] Ici où la surface 14 est considérée comme à l'écart de la surface 40 (la surface 14 ne se déforme pas et reste donc plane), la charge surfacique Q_{sp} des pétales 27 est le ratio entre l'effort prévu pour être appliqué sur le support 12 (par exemple l'intensité de l'effort 31, de l'ordre de 80 N) et l'aire de la surface 15.

[0104] Si la largeur d'un pétale 27 en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme d'un polynôme :

$$b(x) = \sum_{i=0}^n a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

alors à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} + \dots + \frac{a_n x^{n+2}}{(n+1)(n+2)} \right)$$

[0105] Ici, les pétales sont en forme de tronc de secteur angulaire. En faisant l'approximation (assez précise) que chaque pétale est en forme de trapèze, la largeur du pétale en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme du polynôme :

$$b(x) = a_0 + a_1 x$$

[0106] Ainsi, à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} \right)$$

[0107] En ce qui concerne les valeurs de a_0 et a_1 , pour chaque pétale la corde de l'arc suivant lequel est conformée l'extrémité distale est ici de 18 mm, la corde de l'arc suivant lequel est conformé l'extrémité proximale est ici de 5,4 mm, et la distance entre ces deux arcs est ici de 19 mm. Il en résulte que a_0 est égal à 18 mm (à l'extrémité distale, x est égal à 0) et que a_1 est égal à - 0,663 (à l'extrémité distale, x est égal à 19 et b est égal à 5,4).

[0108] En ce qui concerne la constante K , on choisit ici, pour avoir une marge de sécurité, de prendre des conditions plus sévères que celles mentionnées ci-dessus.

$$\frac{12 R Q_{sp}}{E}$$

[0109] On rappelle (voir ci-dessus) que K est égale à $\frac{12 R Q_{sp}}{E}$ avec R qui est le rayon de la surface 40 ; Q_{sp} qui est la charge surfacique des pétales 27 considérée ici comme constante et égale au ratio entre l'effort prévu pour être appliqué sur le support 12 et l'aire de la surface 15 ; et E qui est le module d'élasticité de la matière des pétales.

[0110] Par sécurité, pour R on prend 35 mm (au lieu de 40 mm) et pour l'effort prévu pour être appliqué sur le support 12 on prend 100 N (au lieu 80 N). L'aire de la surface 15 est de 1780 mm² au total pour les huit pétales 27. Le module d'élasticité de la matière des pétales est de 2500 N/mm². La constante K est alors égale à 0,0094.

[0111] On obtient ainsi la formule :

$$h(x)^3 = \frac{0,0094}{18 - 0,663x} (9x^2 - 0,1105x^3)$$

[0112] Le tableau suivant donne la valeur de h (en mm) en fonction de x (en mm) :

EP 3 551 376 B1

5
10
15
20
25
30

x	h
0	0
1	0,17
2	0,27
3	0,36
4	0,44
5	0,51
6	0,59
7	0,66
8	0,73
9	0,80
10	0,87
11	0,94
12	1,01
13	1,09
14	1,16
15	1,24
16	1,33
17	1,42
18	1,52
19	1,63

35
40
45
50

[0113] Avec une telle géométrie des pétales 27 (loi de variation de l'épaisseur liée au contour des pétales), quand on force les pétales 27 à se déformer conformément aux hypothèses de calcul, alors les pétales 27 exerceront sur la surface contre laquelle ils sont plaqués une pression uniforme (de valeur constante). On rappelle à cet égard qu'une des hypothèses de calcul est que la charge surfacique Q_{sp} est constante.

[0114] Si la surface sphérique contre laquelle les pétales 27 sont plaqués a un rayon R différent de celui retenu pour le calcul (par exemple 40 mm au lieu de 35 mm), la pression exercée sur cette surface par les pétales 27 reste uniforme, mais évidemment d'intensité différente (plus le rayon R est petit plus la pression est élevée).

[0115] De même, si l'intensité de l'effort appliqué sur le support 12 est différente (par exemple 80 N au lieu de 100 N), la pression exercée par les pétales 27 reste uniforme mais d'intensité différente.

[0116] En pratique, dans l'outil 10, entre la surface à travailler et la surface 15 de la collerette 13, il y a le tampon flexible 20 et l'interface élastiquement compressible 16.

[0117] On comprend que si la surface 22 du tampon 20 est entièrement plaquée contre une surface sphérique par un effort exercé sur le support 12 coaxialement à l'outil alors que l'outil est coaxial à la surface à travailler, alors la surface 15 de la collerette 13 va prendre une conformation sphérique ou à peu près sphérique, et par conséquent la pression exercée par les pétales 27 sur l'interface élastiquement compressible sera uniforme ou à peu près uniforme. En conséquence, au droit de la collerette 13, la pression exercée par l'outil 10 sur la surface à travailler (via la surface 22 du tampon 20) sera uniforme ou à peu près uniforme.

[0118] En pratique, l'embase 11 exerce également une pression sur l'interface élastiquement compressible 16 par la surface transversale d'extrémité 14 du support 12. En conséquence, l'outil 10 exerce également (via la surface 22 du tampon 20) sur la surface à travailler une pression au droit du support 12.

[0119] Comme le support 12 n'exerce pas sur l'interface 16 d'effort dû à sa déformation (il est configuré pour ne pas se déformer), la pression exercée par le support 12 sur l'interface 16 (qui la transmet à la surface à travailler via le tampon 20) est en principe égale au ratio entre l'intensité de l'effort appliqué sur le support 12 et l'aire de la surface 14.

[0120] Pour tenir compte de la pression exercée par le support 12 sur l'interface 16, il est possible de configurer la géométrie des pétales 27 en prenant comme hypothèse que pour une surface à travailler ayant un rayon de courbure

prédéterminé, par exemple 35 mm comme ci-dessus, la charge surfacique exercée par les surfaces 14 et 15 est uniforme, c'est-à-dire que la charge surfacique Q_{sp} de la surface 15 des pétales 27 est égale à la charge surfacique de la surface 14 du support 12.

[0121] Par exemple, si comme ci-dessus l'intensité de l'effort exercé sur le support 12 est égale à 100 N et l'aire totale de la surface 15 (pour les huit pétales 27) est égale à 1780 mm², et que l'aire de la surface 14 est égale à 201 mm², alors la charge surfacique Q_{sp} de la surface 15 sera prise égale à $100/(1780 + 201) = 0,050$ N/mm².

[0122] Pour le rayon R sélectionné pour configurer la géométrie des pétales 27 (par exemple 35 mm comme ci-dessus), la pression exercée par l'outil 10 sur la surface à travailler (via la surface 22 du tampon 20) sera la même au droit du support 21 et au droit de la collerette 13.

[0123] On rappelle (voir ci-dessus) que le caractère uniforme de la pression exercée par l'outil sur la surface à travailler permet de surfer rapidement la surface à travailler et d'obtenir une qualité d'aspect.

[0124] Pour les rayons différents du rayon R sélectionné, la pression exercée par l'outil 10 sur la surface à travailler (via la surface 22 du tampon 20) sera différente au droit du support 21 et au droit de la collerette 13. Par exemple, pour les rayons plus grands que le rayon R sélectionné, la pression au droit de la collerette 13 sera plus petite que la pression au droit du support 12.

[0125] En pratique, l'outil est décentré par rapport à la surface à travailler et il est relativement fréquent que la surface à travailler ne soit pas sphérique, mais le comportement de l'outil dont les pétales sont configurés comme il vient d'être expliqué reste excellent.

[0126] On notera à cet égard que les surfaces que l'outil 10 est en mesure de surfer ne se limitent pas aux surfaces sur lesquelles la surface 22 du tampon 20 peut être entièrement plaquée lorsque l'outil 10 et la surface à travailler sont centrées l'une par rapport à l'autre. Au contraire, l'outil 10 est en mesure de surfer de nombreuses surfaces sur lesquelles la surface 22 est alors plaquée en grande partie, mais pas en totalité.

[0127] En outre de ce qui vient d'être expliqué, afin de permettre aux pétales de fléchir sans se gêner mutuellement tout en ayant une surface d'encollage suffisante entre l'interface 16 et l'embase 11, le ratio entre l'aire totale de la surface 15 des pétales et l'aire de la surface annulaire correspondante est compris entre 30 et 80%.

[0128] En outre de ce qui vient d'être expliqué, il convient également que la déformation de la matière des pétales 27 reste dans le domaine élastique.

[0129] On démontre que cette condition est satisfaite lorsqu'à chaque distance x de l'extrémité distale du pétale, l'épaisseur du pétale est inférieure à :

$$h_{MAX} = \frac{R\sigma_{MAX}}{2E}$$

avec σ_{MAX} qui est la limite élastique en traction de la matière des pétales, E qui est le module d'élasticité (module d'Young) de la matière des pétales et R qui est le rayon mentionné ci-dessus.

[0130] Si par exemple la matière de la collerette 13 (et donc de l'embase 11) est la nuance 1164D de l'ELASTOLLAN® qui, comme indiqué ci-dessus a un module d'élasticité E de 300 N/mm² et une limite élastique en traction σ_{MAX} de 40 N/mm², pour un rayon de courbure R de 35 mm, l'épaisseur maximale h_{MAX} est de 2,33 mm.

[0131] On voit que plus le ratio σ_{MAX}/E est élevé, plus l'épaisseur maximale possible pour le pétale pourra être élevée, ce qui est important pour obtenir le comportement recherché pour l'outil, ainsi qu'expliqué ci-dessus à l'appui des figures 7 et 8.

[0132] Dans les exemples ci-dessus, le rayon R a été sélectionné comme représentant les conditions d'utilisation les plus sévères de l'outil, ici le plus petit rayon d'une surface concave.

[0133] L'outil sera alors capable de travailler également dans des conditions moins sévères.

[0134] On voit par exemple que si le rayon R est plus grand, l'épaisseur maximale h_{MAX} des pétales est plus grande, de sorte que des pétales configurés pour le rayon le plus petit conviendront pour les autres rayons.

[0135] On notera que les formules données ci-dessus s'appliquent également lorsqu'au repos la surface 15 des pétales est courbée, à condition que R soit alors l'inverse de la différence de courbure entre la surface 15 en position de repos et la position courbée à atteindre.

[0136] Par exemple, si la surface transversale d'extrémité 15 de la collerette 13 a un rayon de 400 mm au repos et que la position courbée à atteindre a un rayon de 40 mm, alors $R = 1/(1/40 - 1/400) = 1/(9/400) = 400/9 = 44,44$ mm.

[0137] Le mode de réalisation de l'outil 10 illustré sur les figures 10 et 11 est semblable aux modes de réalisation illustrés sur les figures 1 à 3 et sur les figures 4 et 5, si ce n'est qu'en position de repos la surface d'extrémité 14 du support 12 et la surface d'extrémité 15 de la collerette 13 sont concaves (et non convexes comme sur les figures 1 à 3 ou planes comme sur les figures 4 et 5).

[0138] Ici, la surface 14 et la surface 15 sont conformées comme une portion de sphère ayant un rayon de courbure de l'ordre de 110 mm.

[0139] Alors que le mode de réalisation de l'outil 10 illustré sur les figures 1 à 3 et le mode de réalisation illustré sur les figures 4 et 5 sont prévus pour des surfaces à travailler concaves, le mode de réalisation illustré sur les figures 10 et 11 est prévu pour des surfaces à travailler convexes.

[0140] Ici, la collerette 13 est configurée pour que l'outil 10 soit déformable élastiquement entre la position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation (figures 10 et 11) et une ou plusieurs positions de référence où la surface 22 est entièrement plaquée contre une surface de référence convexe ou différentes surfaces de référence convexes.

[0141] Ici, l'outil 10 illustré sur les figures 10 et 11 est capable de se déformer élastiquement sur une plage de courbures particulièrement étendue, puisqu'il est configuré pour se déformer élastiquement de la position de repos aussi bien :

- jusqu'à une première position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité 22 du tampon flexible 20 est entièrement plaquée contre une première surface de référence convexe 46 (figure 12) qui est sphérique convexe à rayon de 40 mm ;
- que jusqu'à une deuxième position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité 22 du tampon flexible 20 est entièrement plaquée contre une deuxième surface de référence convexe 47 (figure 11) qui est sphérique convexe à rayon de 1500 mm.

[0142] La première surface de référence convexe 46 fait partie d'un support d'essai 48. La deuxième surface de référence convexe 47 fait partie d'un support d'essai 49.

[0143] D'une façon générale, la description donnée ci-dessus pour le mode de réalisation de l'outil 10 illustré sur les figures 1 à 3 et pour le mode de réalisation illustré sur les figures 4 et 5 s'applique au mode de réalisation de l'outil 10 illustré sur les figures 10 et 11, à condition de tenir compte de l'inversion de courbure.

[0144] Dans ces différents modes de réalisation de l'outil 10 ou dans d'autres modes de réalisation agencés de façon semblable, il est intéressant de mettre en œuvre la collerette 13 (et plus généralement l'embase 11) avec les caractéristiques suivantes :

- module d'élasticité E de la matière de la collerette 13 (et donc de l'embase 11) compris entre 200 N/mm² et 5000 N/mm² ;
- diamètre extérieur de la collerette 13 (et donc de l'embase 11) compris entre 20 et 90 mm ;
- rayon de courbure de la surface transversale d'extrémité 15 dans la position de repos compris entre 30 et 500 mm ;
- nombre de pétales compris entre 6 et 16 ;
- longueur de chaque pétale comprise entre 10 et 30 mm ; et/ou
- épaisseur de chaque pétale comprise entre 0,5 et 5 mm.

[0145] Dans des modes de réalisation semblables la constante K des formules ci-dessus est sélectionnée au moins partiellement de façon expérimentale, par exemple comme montré sur les figures 7 et 8.

[0146] Dans des variantes de l'outil 10, dans les positions de référence la surface 22 du tampon 20 n'est pas entièrement plaquée contre une surface de référence telle que 37, 40, 46 ou 47 mais n'est que partiellement plaquée, par exemple avec la partie de la surface 22 plaquée sur la surface à travailler qui a un rayon (si la partie plaquée comporte le centre de la surface 20) ou (si la partie plaquée est annulaire) qui présente une différence entre le rayon interne et le rayon externe égal(e) à au moins la moitié du rayon de la surface 22. Par exemple, si la surface 22 a un rayon de 55 mm et la partie plaquée comporte le centre de la surface 20, la partie plaquée a un rayon d'au moins 27,5 mm ; et si la partie plaquée est annulaire, la différence entre le rayon externe et le rayon interne de la partie plaquée est au moins de 27,5 mm.

[0147] Les figures 11 à 15 montrent différentes variantes de l'embase 11 où les pétales sont conformés différemment.

[0148] Dans la variante illustrée sur la figure 13, les fentes 26 entre les pétales 27 ont une plus grande amplitude angulaire et le nombre de pétales est plus élevé.

[0149] Dans la variante illustrée sur la figure 14, chaque pétale 27 comporte du côté du fût 28 (et donc du côté opposé à la surface transversale d'extrémité 15) une nervure saillante 50 orientée radialement.

[0150] Dans la variante illustrée sur la figure 15, chaque pétale 27 est en forme de Y rattachée par sa base au support rigide 12.

[0151] Dans la variante illustrée sur la figure 16, les pétales 27 sont subdivisés par des fentes 26 incurvées.

[0152] Dans la variante illustrée sur la figure 17, chaque pétale 27 prend racine sur une extrémité d'un bras 51 à section en U disposé transversalement à ce pétale, l'autre extrémité de ce bras prenant racine sur le support rigide 12.

[0153] Dans des variantes non illustrées :

- les fentes 26 délimitant les pétales 27 présentent des formes différentes, par exemple avec des ondulations ; et/ou
- dans l'embase 11, la collerette 13 est remplacée par une collerette flexible et élastique, mais non subdivisée en pétales.

[0154] De nombreuses autres variantes sont possibles en fonction des circonstances, et on rappelle à cet égard que l'invention ne se limite pas aux exemples décrits et représentés, mais est limitée par les revendications ci-après.

Revendications

1. Outil de surfaçage à qualité optique, comportant :

- une embase (11) comportant un support rigide (12) et une collerette flexible (13) entourant ledit support rigide (12), lequel support rigide (12) présente une surface transversale d'extrémité (14), laquelle collerette (13) présente une surface transversale d'extrémité (15) située du même côté que la surface transversale d'extrémité (14) du support rigide (12) ;
- une interface élastiquement compressible (16) comportant une première surface transversale d'extrémité (17), une seconde surface transversale d'extrémité (18) et une surface latérale (19) s'étendant de la périphérie de la première surface transversale d'extrémité (17) à la périphérie de la seconde surface transversale d'extrémité (18), la première surface transversale d'extrémité (17) de l'interface élastiquement compressible (16) étant assujettie à la surface transversale d'extrémité (14) du support rigide (12) et à la surface transversale d'extrémité (15) de la collerette (13) ; et
- un tampon flexible (20) présentant une première surface transversale d'extrémité (21) assujettie à la seconde surface transversale d'extrémité (18) de l'interface élastiquement compressible (16) et une seconde surface transversale d'extrémité (22) configurée pour être appliquée contre une surface à travailler (23), lequel tampon (20) comporte une partie centrale (24) qui se trouve au droit de la surface transversale d'extrémité (14) du support rigide (12) et une partie périphérique (25) qui se trouve transversalement au-delà de cette surface transversale d'extrémité (14) ;

caractérisé en ce que ladite partie périphérique (25) est raccordée au support (12) exclusivement par ladite interface (16) et par ladite collerette (13), laquelle collerette (13) est configurée pour que l'outil (10) soit déformable élastiquement entre une position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation et une position de référence où la seconde surface transversale d'extrémité (22) du tampon flexible (20) est plaquée contre une surface de référence (37, 40, 46, 47) qui est sphérique à rayon compris entre 40 mm et 1500 mm.

2. Outil selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite collerette (13) est configurée pour que l'outil (10) soit déformable élastiquement entre ladite position de repos qu'il prend en l'absence de sollicitation et :

- dans le cas où ladite surface à travailler est concave, aussi bien jusqu'à une première position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité (22) du tampon flexible est plaquée contre une première surface de référence concave (37) qui est sphérique concave à rayon de 1500 mm que jusqu'à une deuxième position de référence concave où la seconde surface transversale d'extrémité (22) du tampon flexible est plaquée contre une deuxième surface de référence concave (40) qui est sphérique concave à rayon de 40 mm ;
- ou
- dans le cas où ladite surface à travailler est convexe, aussi bien jusqu'à une première position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité (22) du tampon flexible est plaquée contre une première surface de référence convexe (46) qui est sphérique convexe à rayon de 40 mm que jusqu'à une deuxième position de référence convexe où la seconde surface transversale d'extrémité (22) du tampon flexible est plaquée contre une deuxième surface de référence convexe (47) qui est sphérique convexe à rayon de 1500 mm.

3. Outil selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la valeur de l'effort appliqué sur le support (12) coaxialement à l'outil (10) alors que l'outil (10) est coaxial à la surface de référence (40, 47) pour faire passer l'outil (10) de la position de repos à la position de référence est compris entre 30 N et 180 N.

4. Outil selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** ladite collerette (13) est configurée pour que le ratio effort sur déplacement entre, d'une part, la valeur de l'effort appliqué sur le support (12) coaxialement à l'outil alors que l'outil (10) est coaxial à la surface de référence (40, 47) pour faire passer l'outil (10) de la position de repos à la position de référence et, d'autre part, la valeur du déplacement du support (12) entre la position de repos et la position de référence est compris entre 3 N/mm et 15 N/mm avec une vitesse de déplacement imposée de 25 mm/s.

5. Outil selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la surface transversale d'extrémité

(15) de la collerette (13) est à fleur de la surface transversale d'extrémité (14) du support (12).

6. Outil selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la collerette (13) est subdivisée en pétales (27).

7. Outil selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** lesdits pétales (27) sont subdivisés par des fentes (26) orientées radialement.

8. Outil selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** chaque pétale (27) prend racine latéralement audit support rigide (12).

9. Outil selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** chaque pétale (27) a une épaisseur qui varie en fonction de la distance x à son extrémité distale, avec pour chaque distance x l'épaisseur qui est constante.

10. Outil selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'à** chaque distance x , l'épaisseur $h(x)$ du pétale (27) est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \int_0^x \left(\int_0^x b(x) dx \right) dx$$

avec $b(x)$ qui est la largeur du pétale à la distance x et K une constante.

11. Outil selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la largeur du pétale (27) en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme d'un polynôme :

$$b(x) = \sum_{i=0}^n a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

de sorte qu'à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} + \dots + \frac{a_n x^{n+2}}{(n+1)(n+2)} \right)$$

12. Outil selon la revendication 11, caractérisé que les pétales (27) sont en forme de tronc de secteur angulaire de sorte que la largeur du pétale en fonction de la distance x à l'extrémité distale du pétale est exprimable sous la forme du polynôme :

$$b(x) = a_0 + a_1 x$$

de sorte qu'à chaque distance x l'épaisseur du pétale est donnée par la formule :

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} \right)$$

13. Outil selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, **caractérisé en ce qu'à** chaque distance x de l'extrémité distale du pétale (27), l'épaisseur du pétale est inférieure à :

$$h_{MAX} = \frac{R \sigma_{MAX}}{2E}$$

avec σ_{MAX} qui est la limite en traction de la matière des pétales, E qui est le module d'élasticité de la matière des

pétales et R qui est l'inverse de la différence de courbure entre la position de repos et la position de référence de l'outil.

14. Outil selon l'une quelconque des revendications 6 à 13, **caractérisé en ce que** le ratio entre l'aire de la surface transversale d'extrémité (15) de la collerette (13), c'est-à-dire l'aire totale de la surface des pétales (27), et l'aire de la surface annulaire correspondante est compris entre 30 et 80%.

15. Ensemble comportant une machine de polissage (29) et un outil selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel ladite machine (29) est configurée pour appliquer sur le support (12) de l'outil (10) un effort machine prédéterminé (31) de valeur constante, et ledit outil (10) est configuré pour que la valeur de l'effort (31) appliqué sur le support (12) coaxialement à l'outil (10) alors que l'outil est coaxial à la surface de référence (40) pour faire passer l'outil (10) de la position de repos à la position de référence est compris entre 85% et 100% de ladite valeur constante de l'effort machine (31).

Patentansprüche

1. Werkzeug für Oberflächenbehandlung mit optischer Qualität, umfassend:

- eine Basis (11), die eine starre Stütze (12) und einen flexiblen Bund (13) aufweist, der die starre Stütze (12) umgibt, wobei die starre Stütze (12) eine Querendfläche (14) aufweist, wobei der Bund (13) eine Querendfläche (15) aufweist, die an derselben Seite wie die Querendfläche (14) der starren Stütze (12) angeordnet ist,
- eine elastisch zusammendrückbare Schnittstelle (16), die eine erste Querendfläche (17), eine zweite Querendfläche (18) und eine Seitenfläche (19) aufweist, die sich von dem Umfang der ersten Querendfläche (17) zu dem Umfang der zweiten Querendfläche (18) erstreckt, wobei die erste Querendfläche (17) der elastisch zusammendrückbaren Schnittstelle (16) an der Querendfläche (14) der starren Stütze (12) und an der Querendfläche (15) des Bunds (13) festgeklammert ist, und
- einen flexiblen Puffer (20), der eine erste Querendfläche (21), die an der zweiten Querendfläche (18) der elastisch zusammendrückbaren Schnittstelle (16) festgeklammert ist, und eine zweite Querendfläche (22) aufweist, die dazu ausgestaltet ist, gegen eine zu bearbeitende Fläche (23) angelegt zu werden, wobei der Puffer (20) einen mittleren Teil (24), der in einer Linie mit der Querendfläche (14) der starren Stütze (12) liegt, und einen Umfangsteil (25) aufweist, der quer jenseits dieser Querendfläche (14) liegt,

dadurch gekennzeichnet, dass der Umfangsteil (25) ausschließlich über die Schnittstelle (16) und über den Bund (13) mit der Stütze (12) verbunden ist, wobei der Bund (13) dazu ausgestaltet ist, dass das Werkzeug (10) zwischen einer Ruheposition, die es bei nicht vorliegender Beaufschlagung einnimmt, und einer Bezugsposition elastisch deformierbar ist, in der die zweite Querendfläche (22) des flexiblen Puffers (20) fest gegen eine Bezugsfläche (37, 40, 46, 47) gedrückt ist, die kugelförmig mit einem Radius zwischen 40 mm und 1500 mm ist.

2. Werkzeug nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bund (13) so ausgestaltet ist, dass das Werkzeug (10) elastisch deformierbar ist zwischen der Ruheposition, die es bei nicht vorliegender Beaufschlagung einnimmt, und,

- wenn die zu bearbeitende Fläche konkav ist, sowohl bis zu einer ersten konkaven Bezugsposition, in der die zweite Querendfläche (22) des flexiblen Puffers fest gegen eine erste konkave Bezugsfläche (37) gedrückt ist, die konkav kugelförmig mit einem Radius von 1500 mm ist, als auch bis zu einer zweiten konkaven Bezugsposition, in der die zweite Querendfläche (22) des flexiblen Puffers fest gegen eine zweite konkave Bezugsfläche (40) gedrückt ist, die konkav kugelförmig mit einem Radius von 40 mm ist, oder
- wenn die zu bearbeitende Fläche konvex ist, sowohl bis zu einer ersten konvexen Bezugsposition, in der die zweite Querendfläche (22) des flexiblen Puffers fest gegen eine erste konvexe Bezugsfläche (46) gedrückt ist, die konvex kugelförmig mit einem Radius von 40 mm ist, als auch bis zu einer zweiten konvexen Bezugsposition, in der die zweite Querendfläche (22) des flexiblen Puffers fest gegen eine zweite konvexe Bezugsfläche (47) gedrückt ist, die konvex kugelförmig mit einem Radius von 1500 mm ist.

3. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Größe der auf die Stütze (12) koaxial zu dem Werkzeug (10) ausgeübten Kraft, während das Werkzeug (10) koaxial zu der Bezugsfläche (40, 47) ist, um das Werkzeug (10) aus der Ruheposition in die Bezugsposition zu bewegen, zwischen 30 N und 180 N liegt.

4. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bund (13) so ausgestaltet ist,

dass das Kraft-Weg-Verhältnis zwischen der Größe der auf die Stütze (12) coaxial zu dem Werkzeug (10) ausgeübten Kraft, während das Werkzeug (10) coaxial zu der Bezugsfläche (40, 47) ist, um das Werkzeug (10) aus der Ruheposition in die Bezugsposition zu bewegen, einerseits, und der Länge des Wegs der Stütze (12) zwischen der Ruheposition und der Bezugsposition andererseits zwischen 3 N/mm und 15 N/mm mit einer auferlegten Verschiebungsgeschwindigkeit von 25 mm/s beträgt.

5. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querendfläche (15) des Bunds (13) mit der Querendfläche (14) der Stütze (12) bündig ist.

6. Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bund (13) in Blätter (27) unterteilt ist.

7. Werkzeug nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Blätter (27) durch radial ausgerichtete Schlitzte (26) unterteilt sind.

8. Werkzeug nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Blatt (27) seitlich an der starren Stütze (12) wurzelt.

9. Werkzeug nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Blatt (27) eine Dicke hat, die abhängig von dem Abstand x zu seinem distalen Ende variiert, mit einer Dicke für jeden Abstand x, die konstant ist.

10. Werkzeug nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei jedem Abstand x die Dicke h(x) des Blatts (27) durch folgende Formel gegeben ist:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \int_0^x \left(\int_0^x b(x) dx \right) dx$$

wobei b(x) die Breite des Blatts bei dem Abstand x und K eine Konstante ist.

11. Werkzeug nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Breite des Blatts (27) als Funktion des Abstands x am distalen Ende des Blatts in der Form eines Polynoms ausgedrückt werden kann:

$$b(x) = \sum_{i=0}^n a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

so dass bei jedem Abstand x die Dicke des Blatts durch die folgende Formel gegeben ist:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} + \dots + \frac{a_n x^{n+2}}{(n+1)(n+2)} \right)$$

12. Werkzeug nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Blätter (27) winkelsektorstumpfförmig sind, so dass die Breite des Blatts als Funktion des Abstands x am distalen Ende des Blatts in der Form des folgenden Polynoms ausgedrückt werden kann:

$$b(x) = a_0 + a_1 x$$

so dass bei jedem Abstand x die Dicke des Blatts durch die folgende Formel gegeben ist:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} \right)$$

13. Werkzeug nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei jedem Abstand x von dem

distalen Ende des Blatts (27) die Dicke des Blatts kleiner

$$h_{\text{MAX}} = \frac{R \sigma_{\text{MAX}}}{2E}$$

ist,

wobei σ_{MAX} die Zugfestigkeit des Materials der Blätter ist, E der Elastizitätsmodul des Materials der Blätter ist und R der Kehrwert der Krümmungsdifferenz zwischen der Ruheposition und der Bezugsposition des Werkzeugs ist.

14. Werkzeug nach einem der Ansprüche 6 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis zwischen dem Flächeninhalt der Querendfläche (15) des Bunds (13), d. h. dem Gesamtflächeninhalt der Oberfläche der Blätter (27), und dem Flächeninhalt der entsprechenden ringförmigen Oberfläche zwischen 30 und 80% beträgt.

15. Anordnung, aufweisend eine Poliermaschine (29) und ein Werkzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Maschine (29) dazu ausgestaltet ist, eine vorbestimmte Maschinenkraft (31) konstanter Größe auf die Stütze (12) des Werkzeugs (10) auszuüben, und das Werkzeug (10) so ausgestaltet ist, dass die Größe der auf die Stütze (12) koaxial zu dem Werkzeug (10) ausgeübten Kraft (31), während das Werkzeug koaxial zu der Bezugsfläche (40) ist, um das Werkzeug (10) aus der Ruheposition in die Bezugsposition zu bewegen, zwischen 85% und 100 % der konstanten Größe der Maschinenkraft (31) liegt.

Claims

1. Optical quality surfacing tool comprising:

- a base (11) comprising a rigid support (12) and a flexible collar (13) surrounding said rigid support (12), which rigid support (12) has a transverse end surface (14), which collar (13) has a transverse end surface (15) situated on the same side as the transverse end surface (14) of the rigid support (12) ;

- an elastically compressible interface (16) comprising a first transverse end surface (17), a second transverse end surface (18) and a lateral surface (19) extending from the periphery of the first transverse end surface (17) to the periphery of the second transverse end surface (18), the first transverse end surface (17) of the elastically compressible interface (16) being secured to the transverse end surface (14) of the rigid support (12) and to the transverse end surface (15) of the collar (13); and

- a flexible buffer (20) having a first transverse end surface (21) secured to the second transverse end surface (18) of the elastically compressible interface (16) and a second transverse end surface (22) configured to be applied against a surface that is to be worked (23), which buffer (20) comprises a central part (24) which is located in line with the transverse end surface (14) of the rigid support (12) and a peripheral part (25) which is located transversely beyond said transverse end surface (14) ;

characterized in that said peripheral part (25) is connected to the support (12) exclusively by said interface (16) and by said collar (13), which collar (13) is configured so that the tool (10) is elastically deformable between a rest position that it adopts in the absence of stressing and a reference position in which the second transverse end surface (22) of the flexible pad (20) is pressed firmly against a reference surface (37, 40, 46, 47) which is spherical having a radius of between 40 mm and 1500 mm.

2. Tool according to Claim 1, **characterized in that** said collar (13) is configured so that the tool (10) is elastically deformable between said rest position that it adopts in the absence of stressing, and:

- when said surface to be worked is concave, both as far as a first concave reference position in which the second transverse end surface (22) of the flexible pad is pressed firmly against a first concave reference surface (37) which is concave spherical with a radius of 1500 mm, and as far as a second concave reference position in which the second transverse end surface (22) of the flexible pad is pressed firmly against a second concave reference surface (40) which is concave spherical with a radius of 40 mm; or

- when said surface to be worked is convex, both as far as a first convex reference position in which the second transverse end surface (22) of the flexible pad is pressed firmly against a first convex reference surface (46) which is convex spherical with a radius of 40 mm, and as far as a second convex reference position in which the second transverse end surface (22) of the flexible pad is pressed firmly against a second convex reference

surface (47) which is convex spherical with a radius of 1500 mm.

3. Tool according to either one of Claims 1 and 2, **characterized in that** the magnitude of the force applied to the support (12) coaxial to the tool (10) while the tool (10) is coaxial with the reference surface (40, 47) in order to cause the tool (10) to move from the rest position to the reference position is between 30 N and 180 N.
4. Tool according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** said collar (13) is configured so that the force-to-displacement ratio between, on the one hand, the magnitude of the force applied to the support (12) coaxial to the tool when the tool (10) is coaxial with the reference surface (40, 47) in order to cause the tool (10) to move from the rest position to the reference position and, on the other hand, the magnitude of the displacement of the support (12) between the rest position and the reference position is between 3 N/mm and 15 N/mm with an imposed rate of displacement of 25 mm/s.
5. Tool according to any one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the transverse end surface (15) of the collar (13) is flush with the transverse end surface (14) of the support (12).
6. Tool according to any one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the collar (13) is subdivided into petals (27).
7. Tool according to Claim 6, **characterized in that** said petals (27) are subdivided by radially oriented slots (26).
8. Tool according to Claim 7, **characterized in that** each petal (27) is rooted laterally to said rigid support (12).
9. Tool according to Claim 8, **characterized in that** each petal (27) has a thickness that varies according to the distance x to its distal end, with, for each distance x, the thickness that is constant.
10. Tool according to Claim 9, **characterized in that**, at each distance x, the thickness h(x) of the petal (27) is given by the formula:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \int_0^x \left(\int_0^x b(x) dx \right) dx$$

where b(x) is the width of the petal at the distance x and K is a constant.

11. Tool according to Claim 10, **characterized in that** the width of the petal (27) as a function of the distance x to the distal end of the petal can be expressed in the form of a polynomial:

$$b(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

such that, at each distance x, the thickness of the petal is given by the formula:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} + \dots + \frac{a_n x^{n+2}}{(n+1)(n+2)} \right)$$

12. Tool according to Claim 11, **characterized in that** the petals (27) are in the form of a truncated angular sector so that the width of the petal as a function of the distance x to the distal end of the petal can be expressed in the form of the polynomial:

$$b(x) = a_0 + a_1 x$$

so that, at each distance x, the thickness of the petal is given by the formula:

$$h(x)^3 = \frac{K}{b(x)} \left(\frac{a_0 x^2}{2} + \frac{a_1 x^3}{6} \right)$$

13. Tool according to any one of Claims 9 to 12, **characterized in that**, at each distance x from the distal end of the petal (27), the thickness of the petal is less than:

$$h_{MAX} = \frac{R\sigma_{MAX}}{2E}$$

where σ_{MAX} is the ultimate tensile strength of the material of the petals, E is the elastic modulus of the material of the petals and R is the inverse of the difference in curvature between the rest position and the reference position of the tool.

14. Tool according to any one of Claims 6 to 13, **characterized in that** the ratio between the area of the transverse end surface (15) of the collar (13), namely the total surface area of the petals (27), and the area of the corresponding annular surface is between 30 and 80%.

15. Assembly comprising a polishing machine (29) and a tool according to any one of Claims 1 to 14, wherein said machine (29) is configured to apply to the support (12) of the tool (10) a predetermined machine force (31) of constant magnitude, and said tool (10) is configured so that the magnitude of the force (31) applied to the support (12) coaxial to the tool (10) when the tool is coaxial with the reference surface (40) in order to cause the tool (10) to move from the rest position to the reference position is between 85% and 100% of said constant magnitude of the machine force (31).

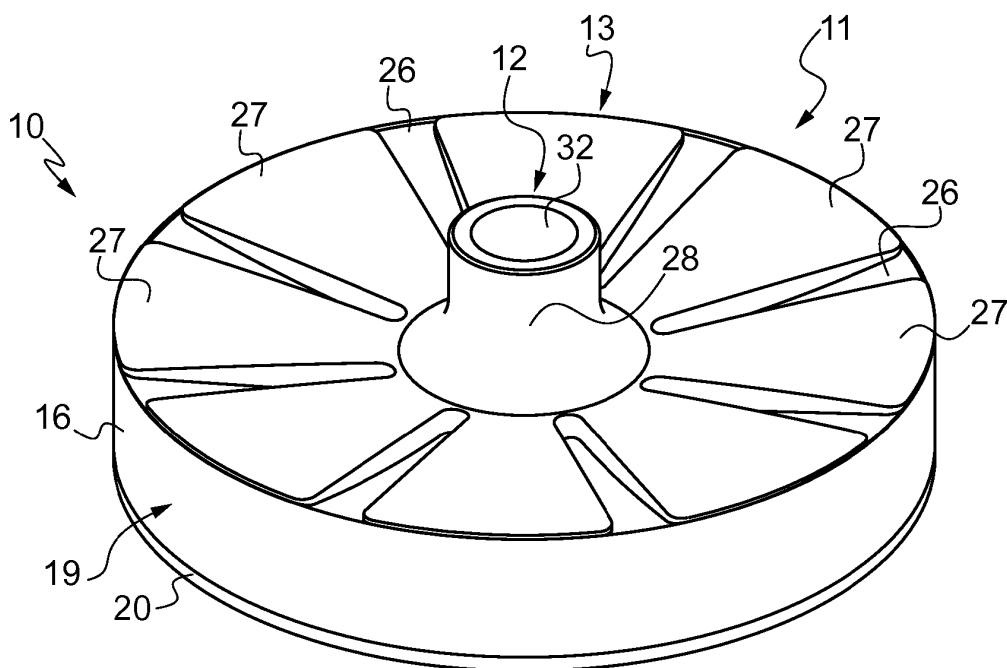


Fig. 1

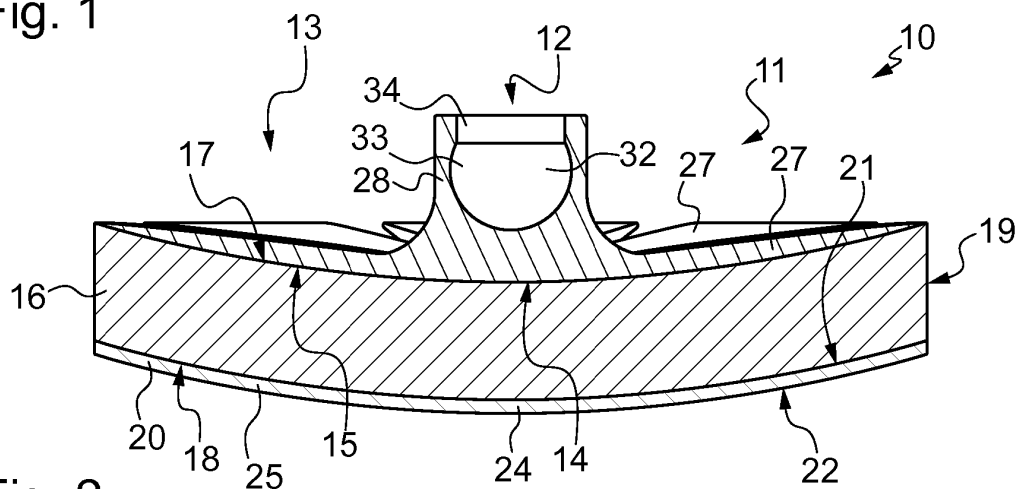


Fig. 2

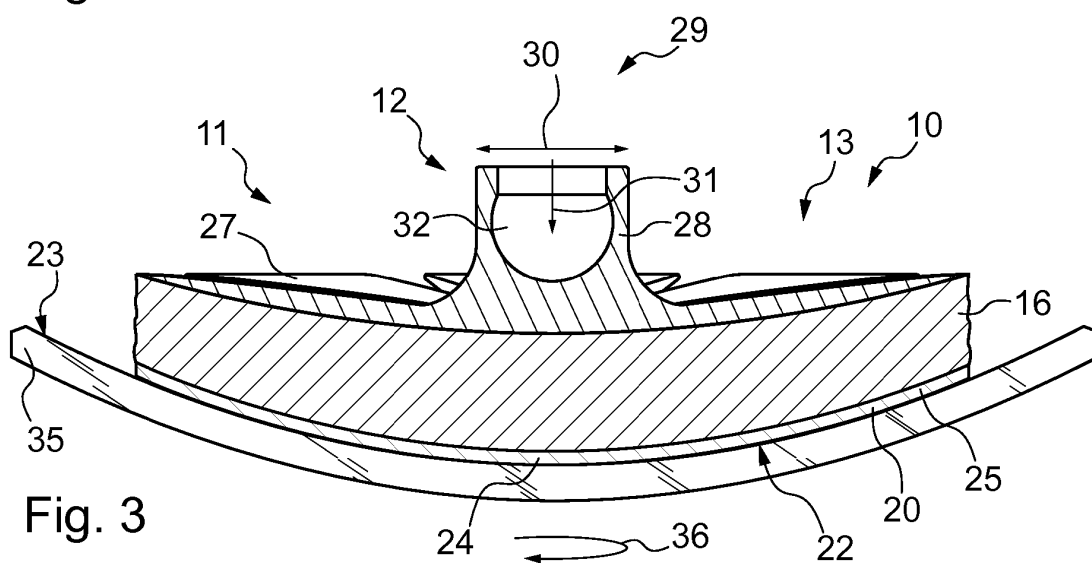
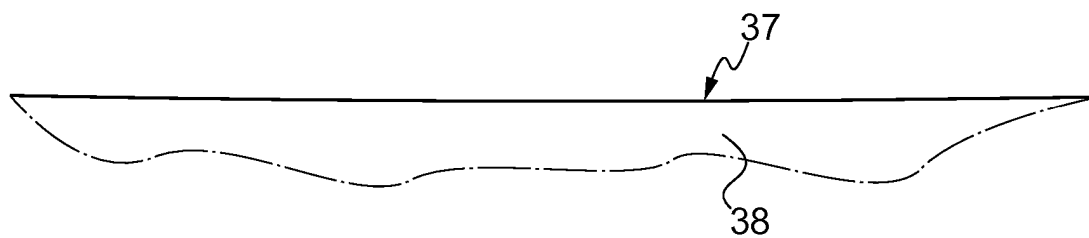
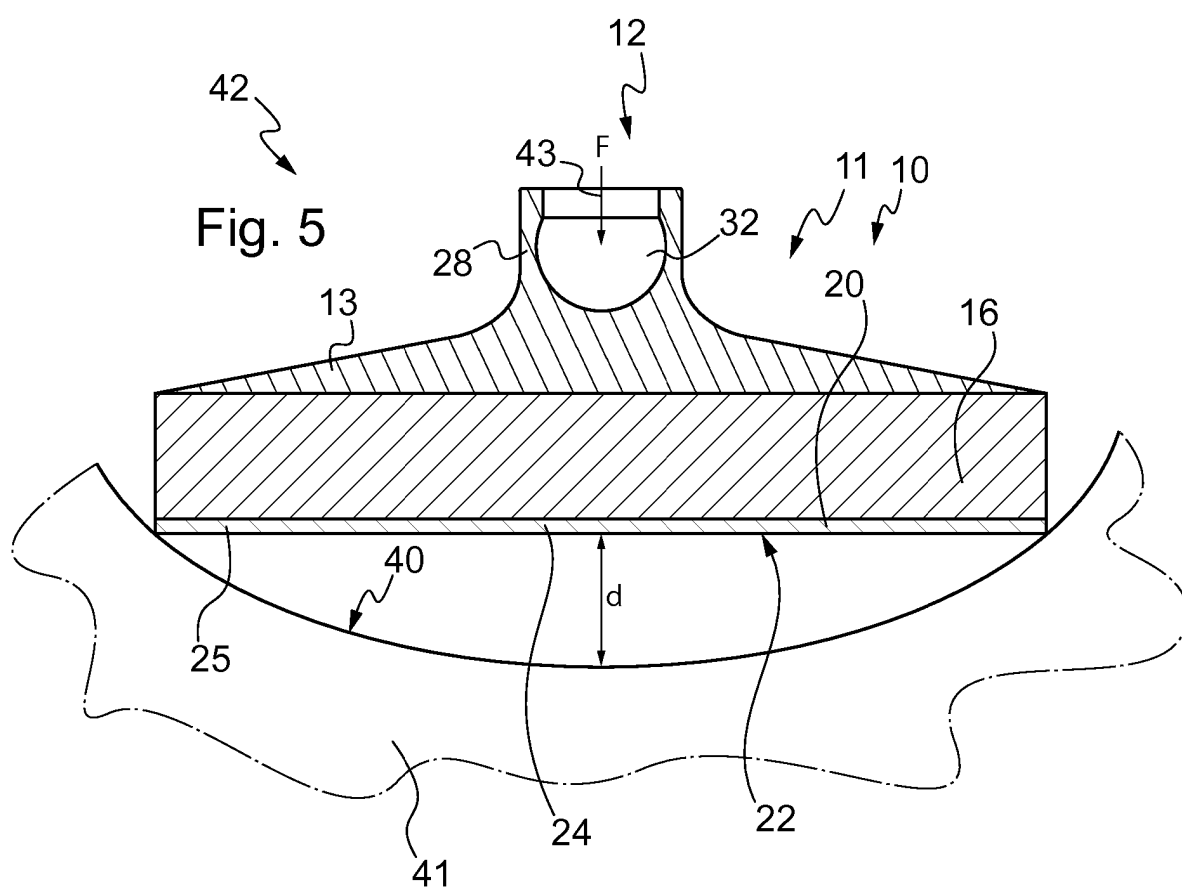
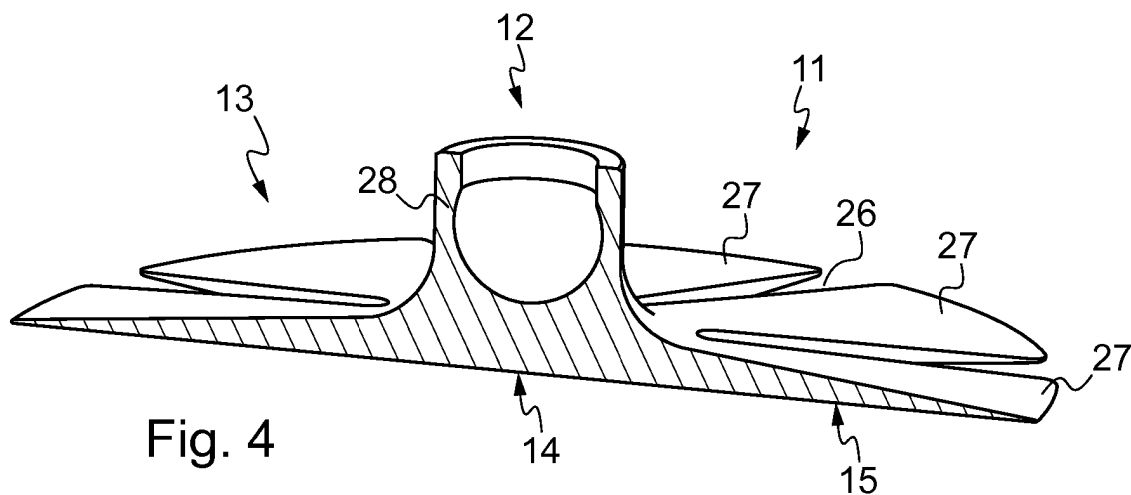


Fig. 3



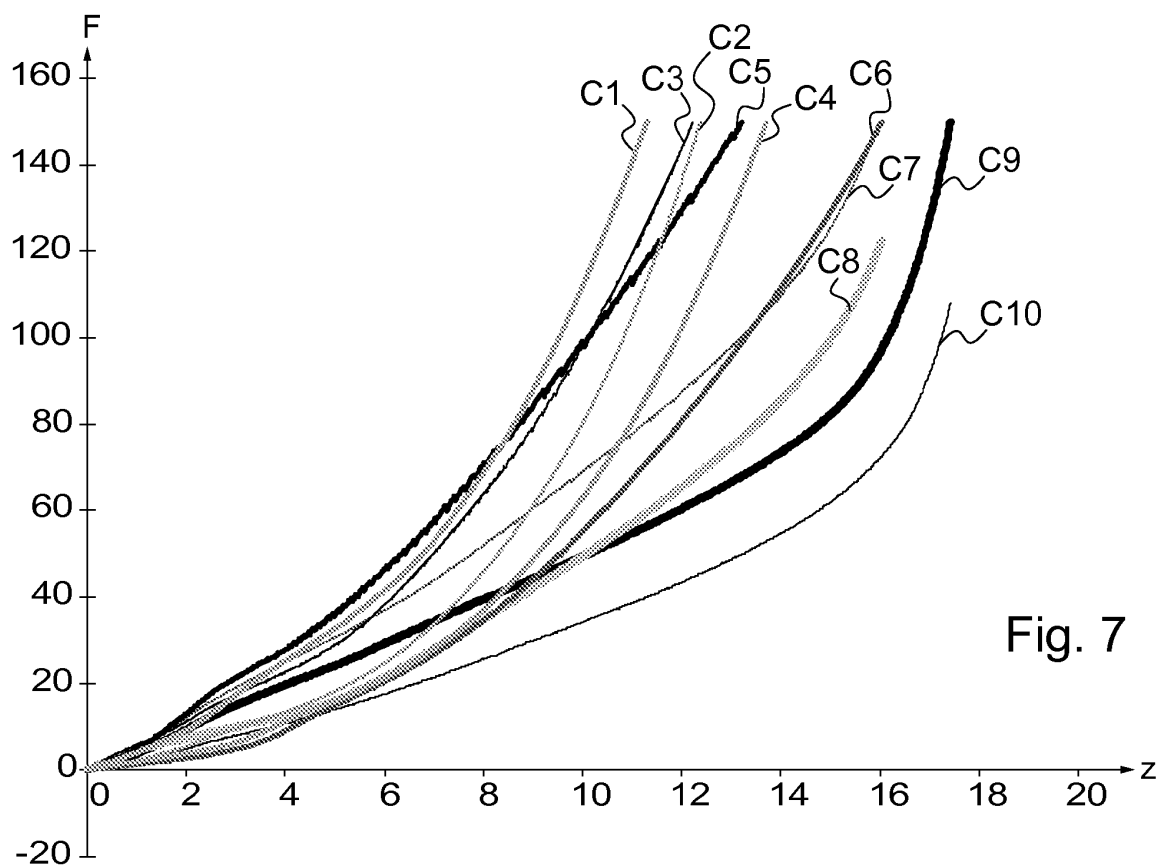


Fig. 7

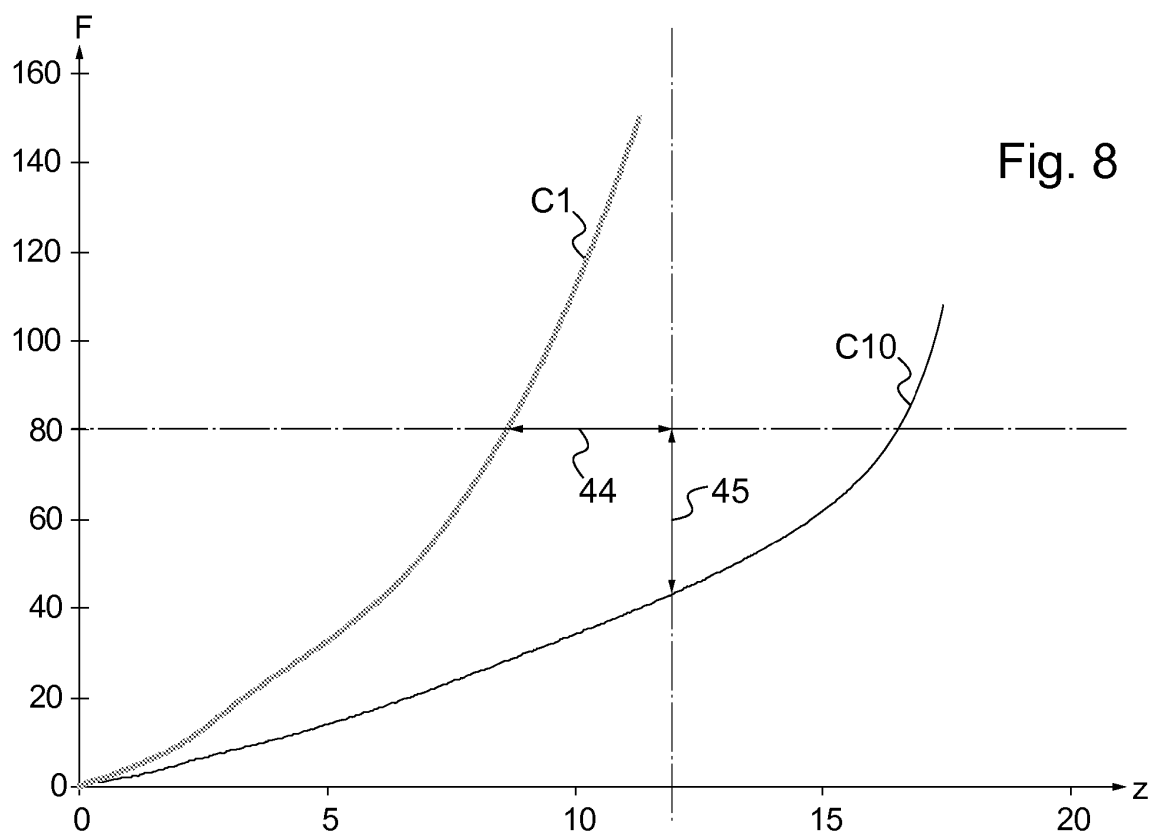


Fig. 8

Fig. 9

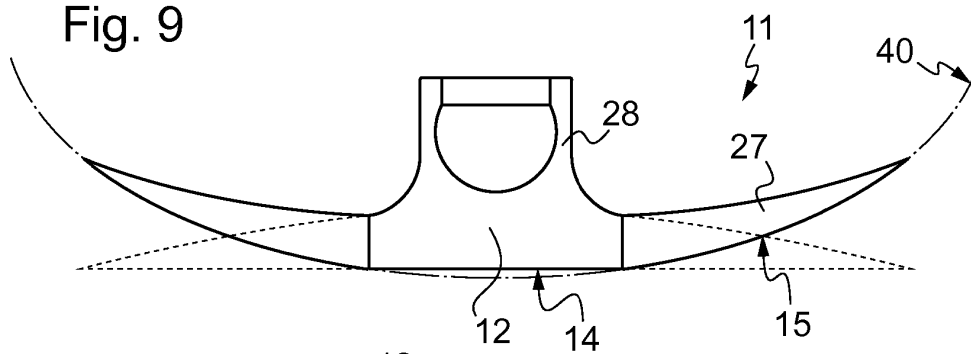


Fig. 10

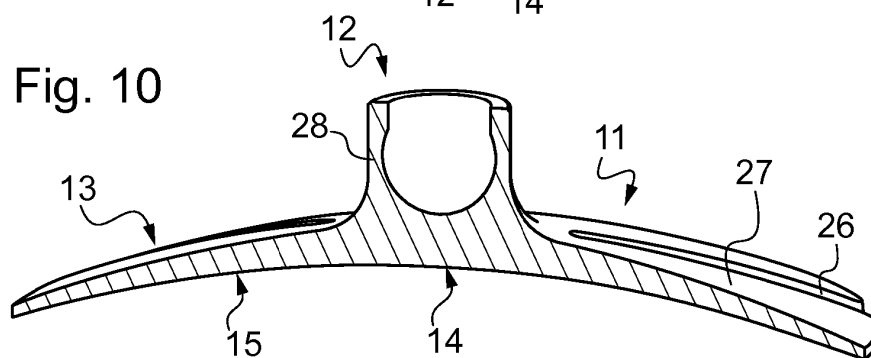


Fig. 11

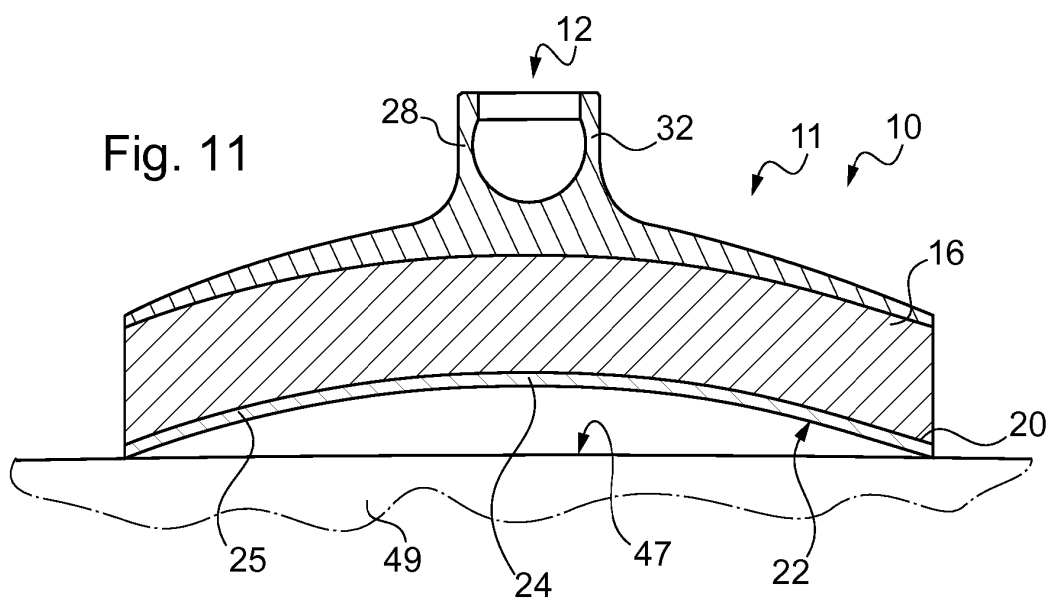
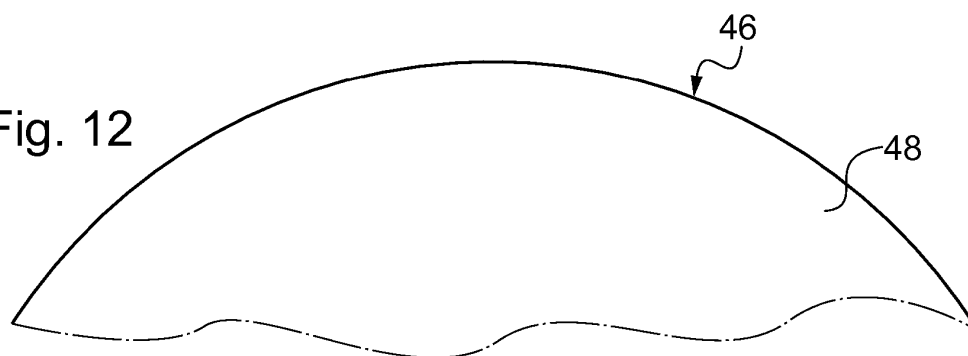
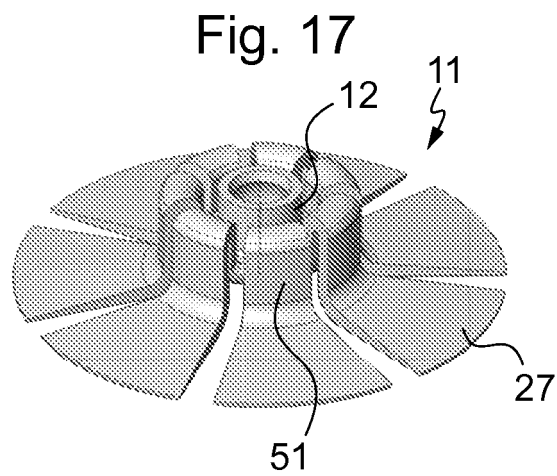
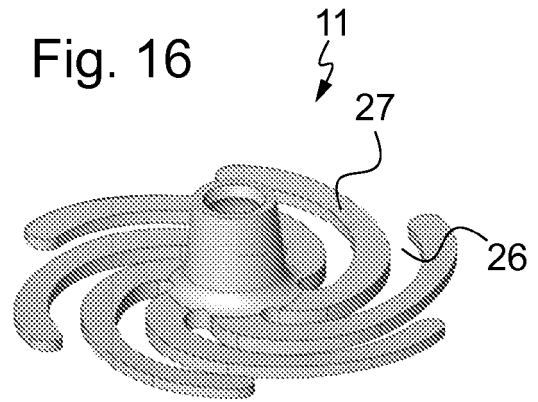
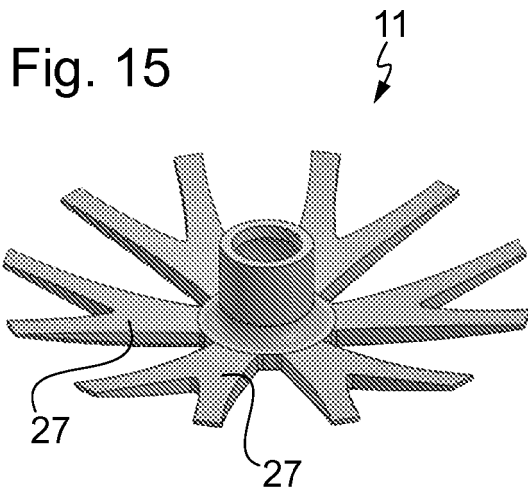
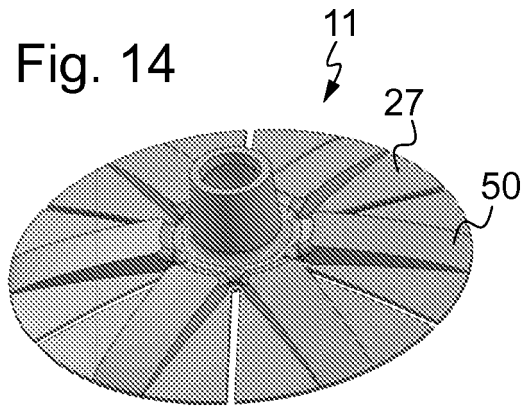
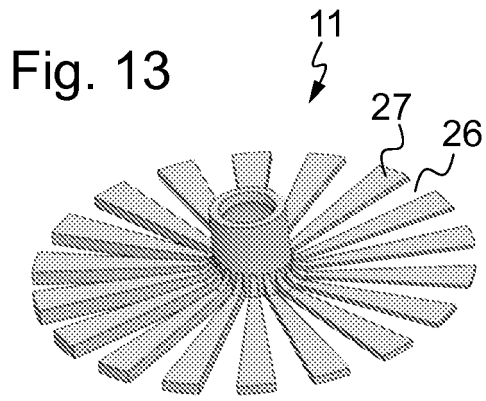


Fig. 12





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

- JP 2000317797 A [0003]
- FR 2834662 [0003]
- US 20050101235 A [0003]
- FR 2857610 [0003]
- US 20060154581 A [0003]
- FR 2900356 [0003] [0011] [0051]
- US 20080171502 A [0003] [0011] [0051]
- FR 2918911 [0003]
- US 20100178858 A [0003]
- FR 2935627 [0003]
- US 20110136416 A [0003]
- FR 2935628 [0003]
- US 20110136415 A [0003]
- FR 2953433 [0003]
- US 20120231713 A [0003]