



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : B25B 5/06, 9/00, B23P 15/00, C22F 1/00, B25J 9/10, G02B 6/38, A61F 2/06, A61M 25/01</p>	A2	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 98/24594</p> <p>(43) Date de publication internationale: 11 juin 1998 (11.06.98)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/EP97/06966</p> <p>(22) Date de dépôt international: 4 décembre 1997 (04.12.97)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 96/15013 6 décembre 1996 (06.12.96) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): ANDROMIS S.A. [CH/CH]; 5, route du Chêne, CH-1207 Genève (CH).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BELLOUARD, Yves [CH/CH]; 54, chemin de Renens, CH-1004 Lausanne (CH). BIDAUX, Jacques-Eric [CH/CH]; 43, rue de Lausanne, CH-1028 Préverenges (CH). SIDLER, Thomas [CH/CH]; 6, Chabannes, CH-1304 Cossonay (CH).</p> <p>(74) Mandataire: SOCIETE DE PROTECTION DES INVENTIONS; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, brevet ARIPO (GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Publiée <i>Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.</i></p>

(54) Title: PREHENSILE DEVICE IN SHAPE MEMORY MATERIAL AND CONSTRUCTION PROCESS

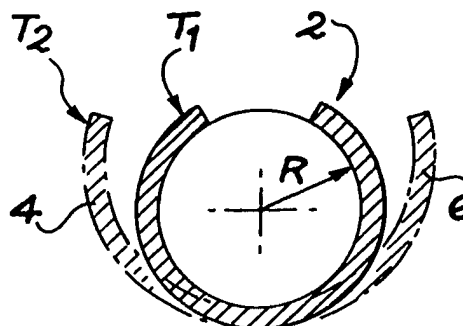
(54) Titre: DISPOSITIF DE PREHENSION EN MATERIAU A MEMOIRE DE FORME ET PROCEDE DE REALISATION

(57) Abstract

The invention concerns a prehensile and/or fastening device (2) containing a first (4) and a second (6) prehensile element capable of motion with respect to one another, these first and second elements being entirely constructed of a single block of shape memory material. The invention also relates to a construction process for a shape memory material.

(57) Abrégé

L'invention a pour objet un dispositif de préhension et/ou de fixation (2) comportant un premier (4) et un second (6) éléments de préhension pouvant subir un mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, l'ensemble des premier et second éléments étant réalisé en un matériau monobloc à mémoire de forme. L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un matériau à mémoire de forme.



UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	B Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

DISPOSITIF DE PREHENSION EN MATERIAU A MEMOIRE DE FORME
ET PROCEDE DE REALISATION

DESCRIPTION

5

Domaine technique

L'invention concerne le domaine des préhenseurs et/ou des dispositifs de fixation pour des objets de petites tailles, comprises sensiblement entre quelques
10 dizaines de micromètres et quelques millimètres.

L'invention concerne également le domaine des pinces à corps étrangers, des pinces à biopsie et des micro-ciseaux chirurgicaux.

L'invention concerne également le domaine des
15 matériaux à mémoire de forme, et la fabrication de dispositifs, en particulier de préhenseurs, à partir de ces matériaux.

L'invention trouve une application dans le domaine de la fabrication d'endoscopes, en particulier
20 pour la préhension et/ou la manipulation de lentilles et/ou de microlentilles et/ou de fibres multicoeurs.

L'invention trouve aussi des applications dans les domaines suivants :

- préhension de micro-systèmes en général, c'est-à-dire
25 d'objets de taille inférieure au millimètre,
- assemblage de petits composants optiques (de dimensions inférieures ou de l'ordre de quelques millimètres). Exemple : lentille Selfoc dans le cas de l'assemblage automatisé de micro-endoscopes
30 flexibles,
- réalisation d'outils actifs de chirurgie mini-invasive, comme par exemple des pinces à biopsie, des pinces à corps étrangers ou encore des micro-ciseaux,

- manipulation de tissus vivants ou devant être maintenus dans un milieu biologique. C'est par exemple le cas dans l'étude du comportement biomécanique des artérioles.

5

Art antérieur

Des préhenseurs mettant en oeuvre des matériaux à mémoire de forme sont connus par l'article de K. Escher et al. intitulé "Robots grippers : An application of two way shape memory" paru dans Progres in Shape memory Alloys, S. Oucken Editor, DGM Informationsgesellschaft Verlag, 1992, pages 301-316. On connaît également de tels dispositifs par l'article de D. Grant paru dans IEEE International Conference on Robotics and automation, 1995, intitulé "Design of Shape Memory Alloy with High Strain and Variable Structure Control", pages 2305-2312. Enfin, d'autres préhenseurs sont connus par l'article de K. Ikuta intitulé "Microminiature Shape Memory Alloy Actuator", paru dans IEEE, Int. Conf. On Robotics and Automation, Cincinatti, 1990, pages 2156-2161.

Tous ces articles décrivent des préhenseurs de formes assez complexes, et dont la technique de fabrication est lourde et difficile à mettre en oeuvre.

En particulier, le dispositif décrit dans l'article de D. Grant est un exemple de préhenseur utilisant des fils en un matériau à mémoire forme comme actionneurs. Le dispositif décrit dans l'article de K. Ikuta est aussi du type dans lequel des ressorts de rappel en un matériau à mémoire de forme sont utilisés, les branches du préhenseur étant par ailleurs en un matériau classique. Dans ces dispositifs, dans lesquels les parties "d'activation" sont en matériau à mémoire

de forme, se pose le problème de réduire les frictions ou frottements dans les parties articulées : dans le cas de micropréhenseurs, ceci est un problème important, du fait de la petite taille des composants. En outre, ces dispositifs nécessitent une phase délicate d'assemblage.

L'article de K. Escher décrit des préhenseurs dont seul un des éléments d'activation est en un matériau à mémoire de forme, ou bien un préhenseur dans lequel des bras sont en un matériau à mémoire de forme, ces bras ayant un aspect de fil torsadé monté sur un support. Un tel dispositif est très difficile à mettre en oeuvre dans le cadre d'une application industrielle, car il est très imprécis. De plus, un tel système est difficilement miniaturisable : il nécessite en effet un assemblage délicat.

Il est donc nécessaire de trouver un nouveau dispositif de préhension ou de fixation, en particulier adapté à la saisie d'objets de petite taille, de structure et d'assemblage plus simples que les dispositifs connus.

Il se pose également le problème de trouver des dispositifs de préhension et/ou de fixation permettant d'éviter ces problèmes de friction.

Exposé de l'invention

L'invention a pour objet un dispositif de préhension ou de fixation dont la structure est beaucoup plus simple que les dispositifs connus, et dans lequel les problèmes de friction ne se posent pas.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif de préhension ou de fixation comportant un premier et un second éléments de préhension pouvant

subir un mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, l'ensemble des premier et second éléments étant réalisé en un matériau monobloc à mémoire de forme.

5 L'ensemble des premier et second éléments étant en un matériau monobloc, à mémoire de forme, aucun problème de friction ne se pose. Par ailleurs, la structure réalisée est simple.

10 Afin de réaliser un dispositif de préhension adapté à des objets de petite taille, l'amplitude du mouvement relatif des deux éléments est prévue comme étant au plus égale à quelques millimètres (par exemple 10 mm) ou au plus égale à 1 mm, ou au plus égale à 500 μm , ou encore au plus égale à 100 μm .

15 De préférence, le dispositif de préhension est obtenu par découpe dans le plan d'une lame de matériau à mémoire de forme, le mouvement relatif ayant lieu dans ce plan.

20 On peut aussi prévoir une structure géométrique adaptée à une meilleure dissipation de l'énergie calorifique ou à un meilleur transfert thermique : ainsi, les premier et second éléments peuvent être par exemple munis d'ailettes.

25 Le dispositif peut en outre comporter des moyens de manipulation ou de fixation ou de positionnement de l'ensemble des premier et second éléments, avec lesquels ils peuvent constituer un ensemble monobloc, constitué du même matériau à mémoire de forme.

30 Là encore, on peut prévoir une géométrie adaptée à un transfert thermique efficace (ailettes, excroissances, trous, ...etc.). On peut aussi prévoir une géométrie, ou découper une forme particulière, qui

serve de symbole visuel de référence pour une production particulière.

Ces moyens de manipulation peuvent être reliés à des moyens de contrôle de la température des premier et second éléments du dispositif de préhension : ceci permet de commander l'ouverture, ou la fermeture, de ce dispositif.

Ces moyens de contrôle peuvent être par exemple du type à effet Peltier, par chauffage par effet Joule (courant électrique), par chauffage par induction ou encore par chauffage laser.

L'invention concerne également un dispositif de manutention comportant un dispositif de préhension tel que décrit ci-dessus, ainsi que des moyens de commande des moyens de contrôle de la température des premier et second éléments, et des moyens de contrôle visuel de la position relative des premier et second éléments du dispositif de préhension.

L'invention a également pour objet un dispositif de préhension ou de fixation comportant au moins trois éléments de préhension pouvant chacun subir un mouvement de flexion dans un plan, l'ensemble des éléments de préhension étant réalisé de manière monobloc, en un matériau à mémoire de forme. Là encore on a un dispositif de préhension de structure plus simple que les dispositifs connus et dans lequel les problèmes de friction ne se posent pas.

Un élément de support des éléments de préhension peut être prévu.

Les éléments de préhension peuvent avoir chacun la forme, par exemple d'un doigt, qui peut être muni d'un ou de plusieurs évidement(s) de flexion.

Selon un autre aspect, le dispositif est obtenu par découpe dans le plan d'une lame de matériau à mémoire de forme, puis par contrainte de la forme découpée obtenue, par exemple autour d'un cylindre ou
5 d'un tube.

Des moyens de contrôle de la température peuvent être prévus : par exemple, un élément à effet Peltier, ou un laser ou des moyens pour induire un courant dans le matériau à mémoire de forme ou des
10 moyens pour faire circuler un courant dans le matériau à mémoire de forme.

L'invention concerne également un dispositif de manutention comportant un dispositif de préhension tel que ci-dessus, ainsi que des moyens de commande des
15 moyens de contrôle de la température et des moyens de contrôle visuel de la position relative des éléments de préhension.

Les procédés connus de préparation d'éléments à mémoire de forme sont incompatibles avec la réalisation
20 de microsystemes. Par ailleurs, les procédés de fabrication de couches minces ne permettent pas de réaliser des couches supérieures à 100 μm .

De plus, tous ces procédés font intervenir une
25 opération de recuit de petits échantillons qui est une opération délicate, coûteuse et parfois longue. Par ailleurs, la production d'une grande quantité de pièces est difficile et les formes que l'on peut réaliser sont limitées.

30 Afin de résoudre ces problèmes, l'invention propose également un procédé de préparation d'un élément en un matériau à mémoire de forme, adapté en

particulier à la réalisation du dispositif de préhension selon l'invention.

L'invention a donc pour objet un procédé de préparation d'un élément en un matériau à mémoire de forme comportant les étapes suivantes :

- a) recuit d'un substrat du matériau à mémoire de forme, puis
- b) découpe de l'élément dans le substrat.

Ce procédé permet d'obtenir n'importe quelle forme d'élément. Il permet par ailleurs de produire une très grande quantité de pièces pour une seule opération de recuit. De ce fait, ce procédé garantit une excellente reproductibilité des propriétés des matériaux de chacune des pièces produites (température de transformation, taux de dislocation, etc...). Enfin, pour les microsystemes, c'est le seul procédé qui permette d'obtenir des objets à mémoire de forme d'épaisseur importante, notamment supérieure à 100 μm .

L'étape de découpe peut être réalisée par laser ou par électroérosion ou encore par jet d'eau, ou par laser et jet d'eau couplés ou par toute autre méthode permettant de ne pas perturber la structure microscopique du matériau du substrat obtenu après recuit : par exemple, elle est réalisée de manière à ne pas perturber la structure du substrat sur plus de 10 μm ou plus de 5 μm au-delà de la découpe.

L'invention a également pour objet un procédé de manutention d'un objet comportant la saisie et le transport de l'objet à l'aide d'un dispositif selon l'invention. Cet objet peut être par exemple une lentille ou une microlentille.

Ce procédé est particulièrement intéressant dans le cas de la réalisation d'un assemblage fibre multicoeur (ou multifibre)-lentille, cet assemblage étant alors réalisé par déplacement et positionnement de la lentille, face à une extrémité de la fibre, conformément au procédé de manutention selon l'invention, puis par fixation, par exemple par collage, de la lentille sur l'extrémité de la fibre. Ainsi, on évite tout contact entre la lentille et la main d'un opérateur, ce qui peut conduire à un ébrèchement de la lentille ou au dépôt de poussière à sa surface.

Brève description des figures.

De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 à 3B représentent des préhenseurs selon l'invention, en forme d'anneau,
- la figure 4 est un dispositif pour le contrôle d'un préhenseur,
- la figure 5 représente schématiquement un endoscope,
- la figure 6 représente un autre exemple de préhenseur,
- les figures 7A à 7C représentent diverses étapes d'un procédé de fabrication selon l'art antérieur,
- les figures 8A à 8D représentent des étapes d'un procédé selon l'invention,

- la figure 9 est un schéma d'un dispositif de découpe par laser,
- les figures 10A et 10B représentent des dispositifs d'usinage par électroérosion,
- 5 - les figures 11 à 12B représentent un autre type de préhenseur selon l'invention, à plusieurs éléments de préhension,
- les figures 13a à 13C représentent l'application d'un préhenseur selon l'invention à un système de ressort permettant l'obstruction d'une artère,
- 10 - la figure 14 représente l'application de l'invention à une pince à biopsie,
- la figure 15 représente l'application de l'invention à un dilatateur,
- 15 - la figure 16 représente la réalisation d'un dispositif de connexion selon l'invention.

20 Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

Un premier exemple d'un préhenseur selon l'invention va être décrit en liaison avec la figure 1.

Sur cette figure, le système de préhension est constitué d'un seul bloc en un matériau à mémoire de forme. Il se présente sous la forme d'une bague ouverte 2 comportant une première et une seconde branches 4, 6. Cette forme présente l'intérêt de répartir les contraintes de façon uniforme dans la bague, et permet par ailleurs de saisir des objets avec des tolérances 30 larges quant à leur diamètre ($\pm 50 \mu\text{m}$ pour des lentilles de $250 \mu\text{m}$ de diamètre). Le rayon R de la bague dépend de la plage de températures dans laquelle le système se trouve. Ainsi, pour une température T_2 , le système

s'ouvre et permet l'insertion, ou la prise d'un objet. Pour une température T_1 , le système se referme sur l'objet, assurant ainsi la fonction de fixation ou de préhension selon le cas.

5 Le matériau choisi peut être par exemple un alliage à mémoire de forme NiTi. Cet alliage présente la caractéristique d'être biocompatible.

L'anneau de la figure 1 est représenté en perspective sur la figure 2, monté sur un support de manipulation et/ou de fixation 8. Typiquement, 10 l'épaisseur e des branches de l'anneau est comprise par exemple entre 70 et 80 μm , ou entre 45 et 50 μm . Le diamètre D de l'anneau est par exemple inférieur ou égal à 3 mm ; un anneau a été réalisé, de diamètre 15 200 μm . Les dimensions du support peuvent être par exemple les suivantes : $50\mu\text{m} \leq h \leq 500\mu\text{m}$, $500 \mu\text{m} \leq L \leq 1\text{mm}$, $100\mu\text{m} \leq l \leq 1\text{mm}$

Ainsi, selon un exemple de réalisation : $L=500 \mu\text{m}$, $h=180 \mu\text{m}$, $250 \mu\text{m} \leq D \leq 300\mu\text{m}$, $e \cong 70 \mu\text{m}$. Selon un 20 autre exemple de réalisation, les dimensions sont les mêmes sauf pour e qui est de l'ordre de 50 μm .

La force de serrage théorique moyenne d'un tel dispositif est de l'ordre de 0,2 N.

De préférence le support 8 est lui-même réalisé 25 dans le même matériau à mémoire de forme que celui utilisé pour la réalisation du préhenseur 2.

Un autre exemple de réalisation d'un préhenseur, monté sur ses moyens de fixation et/ou de manipulation, est illustré en figure 3A. Les moyens de 30 fixation sont désignés par la référence 10 et comportent une première partie 12, de forme approximativement parallélépipédique, et une seconde partie 14 qui va en se rétrécissant, en direction de

l'anneau 2, à partir de la première partie 12. Dans cette seconde partie 14, un trou, ou ouverture, 16 permet de limiter l'accumulation de contraintes dues à l'encastrement de l'anneau. En outre, le trou permet
5 d'avoir une meilleure compliance du système de bras 4, 6.

Comme illustré sur la figure 3A, les moyens de fixation peuvent être reliés à des moyens de contrôle de la température de l'anneau. Sur la figure 3A, ces
10 moyens de contrôle de la température comportent successivement un doigt 18 en cuivre et un élément, ou microélément, Peltier 20. Ce dernier peut avoir par exemple une taille de 7 mmx5 mm.

L'utilisation d'un micromodule à effet Peltier
15 est particulièrement avantageuse pour les raisons suivantes. Tout d'abord un tel micromodule permet de chauffer ou de refroidir le matériau à mémoire de forme, donc d'ouvrir ou de fermer l'anneau ou le préhenseur en fonction des besoins.

20 Par ailleurs, les éléments à effet Peltier permettent d'atteindre une large plage de températures ; typiquement, on peut couvrir une plage comprise entre -100°C et $+200^{\circ}\text{C}$, compatible avec l'utilisation de nombreux matériaux à mémoire de forme.

25 Enfin, ce type de dispositif constitue, du point de vue de sa commande, un système du premier ordre, simple et très robuste.

Une autre structure simple de préhenseur, basée sur le même principe, est illustrée sur la figure 3B.
30 Comme sur la figure 1, le préhenseur se présente sous la forme d'une bague ouverte 2 comportant une première et une seconde branches 4, 6. Cet ensemble est réalisé en un matériau à mémoire de forme, et d'un seul bloc.

Il comporte en outre deux pattes 15, 17. Une zone 7 située entre l'anneau et les pattes 15, 17 est de faible largeur et l'effet de chauffage du courant (effet Joule) y est le plus important. La zone 7 est donc la plus chaude lors du passage d'un courant électrique i . Pour réaliser l'interface électrique avec un circuit de commande, on peut utiliser la technique de "bonding" traditionnellement utilisée pour les connexions des micro-puces. Les zones de contact sont alors par exemple situées à l'extrémité des pattes 15, 17. Cette technique de commande permet de contrôler l'anneau ou le préhenseur lors, soit de l'ouverture, soit de sa fermeture.

Selon un autre mode de réalisation, un contrôle de la température de l'anneau, par exemple celui de la figure 2, peut être réalisé par chauffage du support 8, par exemple à l'aide d'un faisceau laser. Selon d'autres modes de réalisation, on peut réaliser un chauffage par induction, ou bien monter une résistance, soit directement sur l'anneau, soit sur un support sur lequel repose l'anneau, tel que le support 8 de la figure 2. Dans ce dernier cas, la circulation d'un courant dans la résistance entraîne un échauffement de celle-ci par effet Joule, une partie de la chaleur ainsi produite étant transférée à l'anneau ou à son support.

La figure 4 représente schématiquement un dispositif de contrôle d'un préhenseur selon l'invention. Le préhenseur est désigné par la référence 22, et peut être un préhenseur tel que décrit ci-dessus en liaison avec les figures 1 à 3A. Ce préhenseur est en contact avec un élément Peltier 20, lui-même

supporté par un bras de positionnement 26 pour effectuer divers mouvements, par exemple des déplacements suivant trois axes X, Y, Z. Ce bras permet d'amener ce préhenseur 22 au contact d'un objet 24 à saisir et à déplacer. Un système de commande 28 permet, à l'aide d'une mesure de la température de l'élément Peltier (et donc, du préhenseur), de commander l'ouverture et la fermeture de celui-ci. Une caméra vidéo 30 est reliée à un dispositif 32 d'acquisition vidéo et permet de visualiser sur un écran 36 l'état d'ouverture ou de fermeture du préhenseur 22. En fonction de cet état, une commande peut être transmise au dispositif 28 pour faire varier la température de l'élément Peltier 20, et donc l'ouverture et la fermeture du préhenseur 22.

On peut aussi remplacer la caméra vidéo par une fibre multicoeur munie d'une lentille SELFOC et couplée à un système d'acquisition vidéo.

Selon une variante, l'ouverture ou la fermeture de l'anneau est commandée par un courant circulant dans le matériau de l'anneau ou par chauffage par laser ou par induction ou par une résistance appliquée au préhenseur. Un dispositif de contrôle comme celui de la figure 4 peut donc encore être mis en oeuvre, le système de commande 28 agissant non plus sur un élément Peltier mais sur un laser ou un système d'induction ou un courant circulant dans une résistance montée sur l'anneau ou circulant dans l'anneau lui-même.

Un tel dispositif de préhension, avec ses moyens de contrôle, peut être avantageusement mis en oeuvre dans le cadre d'un procédé de fabrication d'objets pour lequel des pièces de petites tailles

doivent être transportées, par exemple d'une station d'assemblage à une autre.

C'est le cas en particulier, pour le montage de microlentilles cylindriques (microlentilles GRIN),
5 utilisées en endoscopie.

L'endoscopie est une technique d'investigation du corps humain qui permet aux praticiens d'acquérir des informations, ou images, des parties intérieures au corps, telles que l'estomac, les poumons ou le coeur.

10 Un dispositif pour la mise en oeuvre d'une telle technique est représenté schématiquement sur la figure 5, où la référence 40 désigne une source de lumière qui est focalisée par une lentille 42 à l'entrée d'un guide de lumière 46. Ce dernier est en
15 fait le plus souvent relié à une pluralité de fibres optiques 48, 50 disposées à la périphérie d'une fibre multicoeurs 52. Un faisceau d'éclairage 54 peut ainsi être dirigé sur une zone 56 d'un objet ou d'un organe à observer, qui réfléchit un rayonnement 58 à l'entrée 60
20 de la fibre multicoeurs 52. Cette dernière comportant un faisceau cohérent de coeurs individuels, ceux-ci transmettent donc la lumière de manière ordonnée entre eux, et l'image obtenue en sortie 62 de la fibre multicoeurs correspond à l'image formée à l'entrée 60.
25 Des moyens 64, 66 pour mémoriser, analyser et/ou représenter l'image peuvent être également prévus en combinaison avec ce dispositif.

Cette technique d'imagerie est décrite par exemple dans les articles de A. Katzir : "Optimal
30 Fibers in Medicine", Scientific American, vol.260(5), p. 120-125, 1989 et "Optimal Fiber Techniques (Medicine)", Encyclopédia of Physical Science and Technology, vol. 9, p. 630-646, 1987.

Pratiquement, une fibre multicoeurs telle que la fibre 12 peut comporter environ 700 à 10000 coeurs, pour des applications à la microendoscopie.

La notion de fibre multicoeurs est à distinguer de celle de multifibres, qui est un assemblage ou un faisceau de fibres indépendantes placées conjointement et éventuellement collées en bout.

Aussi bien les fibres multicoeurs que les multifibres peuvent être utilisées en endoscopie.

Dans les deux cas, une lentille 60 (voir figure 5), en général de type GRIN, est montée sur une face d'entrée de la fibre, du côté qui va dans l'être humain. Actuellement, le montage d'une telle lentille sur la multifibre ou sur la fibre multicoeur se fait manuellement. Cette manipulation peut conduire à un ébrèchement de la lentille, ou à un apport de poussières à sa surface. Il convient donc de trouver une technique permettant, d'une manière générale, la manipulation des lentilles, mais aussi le positionnement d'une lentille, en face d'une fibre, sans intervention manuelle.

Le dispositif qui a été décrit ci-dessus, en liaison avec la figure 4, convient à cette manipulation et permet de transporter les microlentilles, par exemple à partir d'une zone de stockage, vers une zone où elles sont alignées avec les fibres, de manière à être collées sur celles-ci. Le préhenseur étant du type à mémoire de forme, son ouverture est commandée par une variation de température, ce qui permet d'éviter tout contact entre un opérateur et les lentilles. On diminue ainsi fortement le risque d'ébrécher des lentilles ou de déposer des poussières à leur surface.

L'invention a été décrite dans le cas d'un préhenseur ayant une forme sensiblement annulaire (figures 1-3). On peut envisager également des préhenseurs ayant une forme différente, par exemple dans lequel les deux bras du préhenseur constituent un "V", monobloc et en matériau à mémoire de forme.

La figure 6 représente un autre type de préhenseur, réalisé en un matériau à mémoire de forme. Ce préhenseur comporte une zone 100 de fixation du préhenseur, et un bras flexible 102 qui vient s'articuler sur la zone 100 de fixation. La zone 100 définit en fait un second bras 104, rigide, par rapport auquel le bras flexible peut être déplacé. L'extrémité des bras définit une zone de préhension 106. Ces extrémités peuvent avoir des formes adaptées à tel ou tel type d'objets à saisir par le préhenseur. Ainsi, sur la figure 6, le bras fixe 104 présente un évidement 108, à section triangulaire. Cet évidement permet, en combinaison avec le mouvement du bras 102, de venir saisir des objets, en particulier de type cylindrique, par exemple des lentilles GRIN, et de les positionner de façon précise dans le préhenseur.

Le dispositif décrit sur la figure 6 peut être commandé par un microélément Peltier, avec les mêmes avantages que ceux déjà décrits ci-dessus.

Les dispositifs de préhension selon l'invention sont réalisés en un matériau à mémoire de forme. Les alliages à mémoire de forme sont des matériaux qui possèdent deux phases solides, pour deux plages de température caractéristiques. Le changement de phase s'accompagne d'un changement des propriétés physiques et de l'organisation atomique du matériau, ce qui peut

engendrer des déformations macroscopiques importantes (jusqu'à 8% en élongation pour le NiTi). Il est possible de "mémoriser", pour chacune des deux phases, une forme donnée, par un procédé dit "d'éducation", et par un traitement thermique approprié. Des procédés d'éducation sont décrits par exemple dans le document de J. Perkins et al. Intitulé "the Two-Way Shape Memory Effect" paru dans Engineering Aspect of Shape Memory Alloys, Butterworth Heinemann, London, 1990, pages 195-206. On obtient alors un dispositif à effet mémoire double sens, bien adapté à la réalisation d'un préhenseur.

D'une manière générale, on utilise l'expression "austénite" pour désigner la phase solide haute température d'un alliage à mémoire de forme. L'expression "martensite" désigne la phase solide basse température. Les températures caractéristiques de début, et de fin, de la transformation austénite-martensite sont désignées par M_s et M_f . Les températures caractéristiques de début, et de fin, de la transformation martensite-austénite sont désignées par A_s et A_f .

En ce qui concerne l'alliage à choisir, l'alliage NiTi présente l'avantage d'être biocompatible, ce qui présente un intérêt dans le cas des applications médicales du type endoscopie. Un alliage NiTi ayant une composition proche de la composition équiatomique offre en outre l'avantage de présenter, à haute température, une structure cubique centrée de type B_2 . Cet alliage présente une transformation de phase martensitique vers des structures monocliniques, orthorhombiques, ou rhomboédriques, après trempe. Un même alliage peut

présenter plusieurs transitions successives. Les températures de transition peuvent être réglées à volonté en changeant la composition et, dans une moindre mesure, les traitements thermiques. Ainsi, un alliage riche en Ti présentera une température de transition M_s élevée, tandis qu'un alliage riche en Ni présentera une température M_s basse. L'alliage est de préférence trempé, ou au moins refroidi rapidement, afin d'éviter des risques de décomposition, notamment par précipitation. Dans certains cas, on produit une précipitation contrôlée, afin de favoriser l'effet mémoire double sens. De préférence, on utilise pour cela un alliage dont la concentration en Ni est supérieure à 50,6% atomiques. Dans le cas où on cherche à utiliser l'effet mémoire de l'alliage afin de réaliser un préhenseur, les températures de transition M_s et A_s sont de préférence supérieures à la température ambiante.

D'autres matériaux à mémoire de forme tels que CuZnAl ou bien NiTiCu peuvent être utilisés. On peut également utiliser les matériaux décrits par C.M. Wayman et al. dans "Introduction to martensite and Shape Memory", paru dans Engineering Aspect of Shape Memory Alloys, Butterworth Heinemann, London, 1990.

La méthode traditionnelle de fabrication des éléments ayant des propriétés à mémoire de forme est représentée schématiquement sur les figures 7A à 7C. Un matériau sélectionné 110, à mémoire de forme (figure 7A) est d'abord mis en forme suivant la structure que l'on souhaite mémoriser (figure 7B). Ainsi, dans le cas d'un anneau, on contraint le matériau sélectionné 110 autour d'une forme cylindrique, avant toute opération

de recuit. Ce n'est qu'après, au cours d'une deuxième étape (figure 7C) que le matériau est recuit, en général autour de 500°C, afin de le figer dans la forme voulue. Il est souvent nécessaire de contraindre le matériau pour parvenir à un tel résultat : on utilise
5 alors un gabarit ou un moule. Cette méthode présente des inconvénients :

- Pour des microsystèmes, en raison de leur petitesse, la mise en forme est une opération difficile. Ce
10 problème se pose en particulier dans le cas de la réalisation de micropréhenseurs (dont l'amplitude du déplacement relatif de ses éléments de préhension est inférieure à 1 mm), par exemple pour saisir des microlentilles.
- 15 - De plus, effectuer des recuits de petits échantillons est une opération délicate et longue.
- En outre, la production d'une grande quantité de pièces est difficile, en raison entre autres de la délicatesse des opérations de mise en forme, et
20 surtout de recuit. De plus, chaque opération de recuit est coûteuse en temps de production.
- Enfin, la forme que l'on peut réaliser est limitée : on ne peut faire que des pièces simples. Ainsi, un préhenseur du type de celui illustré sur la figure 3
25 ou sur la figure 6 est impossible à réaliser avec une telle méthode.

Afin de résoudre ces problèmes, les inventeurs proposent une autre technique de préparation des matériaux à mémoire de forme, qui va être décrite en
30 liaison avec les figures 8A à 8D.

Dans une première étape, on sélectionne un matériau de base 120 (figure 8A). Au cours d'une seconde étape (figure 8B) ce matériau 120 est recuit

dans un four 122. Ensuite (figure 8C) on découpe la forme souhaitée directement dans la lame recuite : cette découpe est réalisée à l'aide d'une technique qui, de préférence, ne perturbe le matériau que de manière très locale. Une telle technique peut être une technique de découpe laser ou une technique de découpe par électroérosion ou par jet, qui sont des méthodes peu destructives. Ainsi, on obtient les formes 125, 127, 129 souhaitées (figure 8D), dont les empreintes 124, 126, 128, après découpe, sont laissées dans la plaque de matériau 120. Ce procédé présente les avantages suivants :

- Il est possible d'obtenir n'importe quelle forme de matériau.
- Dans les microsystemes, c'est la seule technologie qui permette d'obtenir des objets à mémoire de forme d'épaisseur importante, par exemple de l'ordre de 500 μm dans le cas d'une découpe laser.
- A partir de la matière de base, on peut produire une très grande quantité de pièces pour une seule opération de recuit.
- Les propriétés du matériau dépendent de la qualité du recuit. Le recuit est donc une opération critique si on effectue le recuit élément après élément. Dans le cas présent, un seul recuit est effectué pour l'ensemble de la lame. En outre, l'intérêt de pouvoir produire un grand nombre de pièces du même recuit garantit une reproductibilité des propriétés physiques d'une pièce à une autre.

Le procédé selon l'invention permet de réaliser des pièces de forme quelconque, en particulier du type de celles déjà décrites ci-dessus, en liaison avec les figures 3 ou 6.

En ce qui concerne la découpe après recuit, l'utilisation de la technique d'électroérosion permet de découper des pièces plus épaisses que si l'on utilise la technique de découpe par laser : cette
5 dernière convient bien pour des lames d'épaisseur inférieure à environ 1 mm, mais se trouve moins bien adaptée pour des lames d'épaisseur plus importante.

Les propriétés du matériau peuvent être caractérisées au moyen de la calorimétrie
10 différentielle à balayage : pour une variation de température ΔT donnée, on compare les quantités de chaleur fournies, d'une part à un porte-échantillon de référence, et d'autre part à un porte-échantillon contenant le matériau à étudier, l'un et l'autre se
15 présentant sous la forme de petits échantillons de masse de l'ordre de quelques microgrammes. En fait, on mesure l'émission et/ou l'absorption de chaleur liées à la transformation de phase sur ces échantillons. Cette technique permet de mesurer précisément les
20 températures de transition (M_s , M_f , A_s , A_f).

Le procédé décrit ci-dessus offre en outre l'avantage d'éviter une étape de mémorisation de la forme haute température. Classiquement, la forme est mémorisée au cours du recuit à haute température, le
25 matériau étant contraint, préalablement, à prendre une certaine forme au moyen d'un gabarit. Par la suite, quelle que soit la déformation que le matériau subira dans l'état martensitique, il retrouvera la forme mémorisée par un simple réchauffement au-dessus de la
30 température de transformation martensite-austénite. Un gros avantage de la technique décrite ci-dessus est qu'elle permet d'éviter cette étape de mémorisation

préalable : l'usinage est réalisé après recuit, et la forme mémorisée est directement celle usinée.

Comme à l'issue du procédé classique, le produit obtenu par le procédé selon l'invention ne possède que l'effet mémoire simple sens : s'il est déformé dans l'état martensitique (température $T < M_s$), il retrouve sa forme par réchauffement au-dessus de la température de transformation martensite-austénite ($T > A_f$). Mais, s'il est à nouveau refroidi au-dessous de M_s , aucun changement de forme ne se produit. Un tel matériau convient à la réalisation d'un dispositif de fixation selon l'invention.

Pour que l'effet mémoire se produise dans les deux sens (pour un préhenseur) on peut utiliser un ressort, ou un poids, qui restaure la déformation au refroidissement ; on peut également, selon une autre technique, créer une microstructure particulière de l'alliage qui permet de sélectionner certaines variantes lors de la transformation. Cette dernière technique est appelée technique "d'éducation". La première méthode n'est pas facile à appliquer pour les dispositifs microscopiques, car elle nécessite l'assemblage de plusieurs composants, et on préfère donc la deuxième méthode. Plusieurs méthodes d'éducation peuvent être appliquées. L'une d'elles est le cyclage pseudoélastique dans l'état austénitique.

Un dispositif va être décrit, en liaison avec la figure 9, pour procéder à la découpe laser du matériau, après recuit. Ce dispositif comporte essentiellement un laser Nd:YAG 130, fonctionnant en mode impulsif. Une cavité résonnante en "Z" est constituée par quatre miroirs M_1 , M_2 , M_3 , M_4 . Le faisceau généré par le laser traverse successivement

une lame quart d'onde 132 et un télescope 133, ce dernier permettant d'agrandir le faisceau. Avec ce dispositif, on peut obtenir des taches lumineuses de 15 μm de diamètre, en sortie d'une tête de découpe 134.

5 Le système est en outre équipé d'une table 136, contrôlée numériquement, avec une résolution de l'ordre du μm . Cette table permet de réaliser une découpe laser efficace (à une vitesse typiquement comprise entre 30 et 60 mm par minute), et avec une tache lumineuse de

10 diamètre environ 24 μm , pour un matériau d'épaisseur 0,3 mm ou moins. La zone affectée par la chaleur, le long de la découpe, est de taille inférieure à 2 à 3 μm . La précision absolue et la reproductibilité, sur une surface de 10x10 mm², est de l'ordre de 2 μm . La

15 table est contrôlée par des moyens de contrôle 138 et un micro-ordinateur 140. Un microscope binoculaire 142 permet par ailleurs de contrôler la position de focalisation du faisceau sur la table 136.

Des dispositifs vont maintenant être décrits,

20 qui permettent de réaliser une découpe par électroérosion. Un premier dispositif est illustré sur la figure 10A et permet de réaliser un enlèvement de matière par érosion, par enfonçage. Une électrode 142 ayant une forme complémentaire à la forme désirée

25 (ici : la forme du préhenseur à réaliser) est enfoncée dans la pièce 144 à usiner (ici : le matériau à mémoire de forme).

Afin que cette électrode puisse pénétrer dans la pièce, des étincelles vont localement faire fondre

30 la matière : lors de l'éclatement de l'étincelle, l'énergie électrique transformée en chaleur par l'effet Joule, va libérer suffisamment d'énergie thermique pour permettre une vaporisation locale de la matière.

Un second dispositif est illustré sur la figure 10B et concerne le découpage par fil.

Si le principe d'enlèvement de matière est identique à celui de l'enfonçage, l'utilisation du processus d'électroérosion dans le cas du fil est différent.

Au lieu d'une électrode qui s'imprime dans la pièce 144, c'est un fil 146 (une électrode) qui découpe celle-ci. Du fait de l'usure de l'électrode, le fil est constamment renouvelé, à l'aide de moyens 148, 150 permettant de le faire défiler.

Cette différence (amenée et récupération du fil) amène des solutions mécaniques assez différentes des machines d'étincelage. Les caractéristiques de l'étincelle sont également spécifiques au processus d'électroérosion par fil.

Une commande numérique permet de contrôler les différents axes de la machine (x, Y, U, V) ainsi que la vitesse de défilement du fil et la distance entre les guides du fil.

Les axes U et V permettent de repérer l'inclinaison du fil et permettent le découpage de pièces non-cylindriques. Grâce à cet angle de dépouille il est possible d'usiner des surfaces réglées et donc des pièces très complexes.

La technique par jet d'eau peut être réalisée avec un jet d'eau pure ou mélangée avec un abrasif, focalisé en un jet de faible diamètre de 0,08 à 0,8 mm à des pressions de l'ordre de 3500 à 4000 bars. La vitesse du jet est par exemple d'environ 600 m/s, délivrant ainsi une importante puissance surfacique de l'ordre de 120 kW/mm². En comparaison, celle d'un laser de 4 kW se situe aux environs de 1 kW/mm². L'ajout de

particules abrasives par effet Venturi permet de découper des matériaux très durs et compacts sans modifier thermiquement la structure physico-chimique du matériau.

5 On peut également utiliser une technique combinée laser-jet d'eau, telle que par exemple décrite dans Industrie et Technique, n° 780, MARS 1997, pages 9-10.

Les procédés exposés ci-dessus conviennent pour
10 réaliser la découpe d'un matériau à mémoire de forme; de préférence le procédé choisi ne perturbe pas la structure microscopique du matériau, en tout cas pas au-delà de quelques μm (par exemple 5 μm ou 10 μm) par rapport à la zone ou à la trace de la découpe. Un moyen
15 de contrôle de la structure du matériau est la microscopie électronique, qui permet de réaliser une observation à l'échelle du μm , donc qui permet d'observer si le matériau est perturbé, ou pas.

20 EXEMPLE

Un exemple de réalisation de préhenseur concerne un alliage NiTiCu. La présence du Cu donne une hystérèse plus petite, et une meilleure stabilité au cours du cyclage thermique. Dans cet alliage, la
25 précipitation de Ni ne se produit pas. L'alliage se présente sous la forme d'une lame ayant une épaisseur d'environ 300 μm .

L'alliage a d'abord été recuit pendant 10 minutes à 450°C dans un four à atmosphère contrôlée
30 d'argon, et trempé dans de l'eau à 20°C. Après trempe, l'alliage est dans l'état martensitique. Les températures de transformation telles que mesurées par

calorimétrie différentielle sont les suivantes :
 $M_s=47^\circ\text{C}$, $M_f=31^\circ\text{C}$, $A_s=51^\circ\text{C}$, $A_f=70^\circ\text{C}$.

Par découpe de la feuille de NiTiCu par usinage laser, on peut ensuite obtenir un préhenseur ayant la
5 forme voulue, par exemple la forme en anneau de la figure 1. La forme découpée est la forme mémorisée. Le préhenseur peut ensuite être déformé au moyen d'une aiguille conique, que l'on introduit par exemple dans l'anneau. L'augmentation du diamètre de l'anneau est
10 telle que la déformation est de l'ordre de 1 à 5%. La déformation ne doit pas dépasser, de préférence, 8%, pour éviter une déformation irréversible de l'alliage. En chauffant ce dernier au moyen d'un élément à effet Peltier, la transformation martensite-austénite se
15 produit, et l'alliage retrouve la forme qu'il avait avant déformation, c'est-à-dire la forme après découpe laser. Dans le cas où un objet est inséré dans l'anneau, l'effet mémoire de forme ne se produit que partiellement, jusqu'au moment où l'anneau de
20 préhension rentre en contact avec l'objet. Ensuite, l'anneau génère une force dépendant de l'état de transformation de la matière lors du passage austénite-martensite. Au refroidissement, l'anneau ne s'ouvre en principe pas : la lentille reste coincée dans le
25 préhenseur. Pour que l'anneau s'ouvre, on lui donne un effet mémoire double sens : une des manières d'obtenir cet effet double sens est d'éduquer le matériau. On peut le faire en ouvrant et en fermant l'anneau à une température supérieure à la température A_s , de façon
30 répétée, par exemple environ une dizaine de fois. Ceci permet d'obtenir par la suite une ouverture spontanée de l'anneau lors du refroidissement.

Un autre type de préhenseur, ou de dispositif de fixation, est illustré sur la figure 11. Les dispositifs illustrés sur les figures précédentes comportent des éléments de préhension travaillant essentiellement dans un seul plan. Le dispositif des figures 11 et suivantes comportent plusieurs éléments de préhension, chacun pouvant effectuer un mouvement dans un plan. Par exemple, le dispositif de la figure 11 comporte trois éléments de préhension 162, 164, 166, travaillant chacun dans un plan P_1 , P_2 , P_3 , les plans faisant entre eux des angles de $2\pi/3$. L'ensemble est réalisé en un matériau à mémoire de forme, et est monobloc. Un support 160 supporte les trois doigts 162, 164, 166. Sur chacun de ces doigts, ou éléments de préhension, sont réalisées deux gorges, ou cous circulaires 162-1, 162-2, 164-1, 164-2, 166-1, 166-2 qui facilitent l'inclinaison ou la flexion de chaque doigt dans le plan correspondant.

Un trou, ou une ouverture, 168 peut être pratiqué(e) dans la base 160, ce trou ou cette ouverture permettant le passage d'un faisceau lumineux, ou d'un capteur, ou de moyens permettant de commander l'ouverture et/ou la fermeture du dispositif de préhension ou de fixation. De tels moyens peuvent être, comme déjà décrit ci-dessus, un élément Peltier, ou un faisceau laser, ou la circulation d'un courant (soit directement, dans le matériau à mémoire de forme, soit dans une ou plusieurs résistances montées ou collées sur le dispositif de préhension ou de fixation). Par ailleurs un tel dispositif peut être utilisé en liaison avec un dispositif de contrôle du type de celui déjà décrit ci-dessus en liaison avec la figure 4.

Le diamètre de la base 160 du préhenseur de la figure 11 peut être de l'ordre de quelques millimètres (par exemple : 2 mm) ou de l'ordre du millimètre ou inférieur à 1mm (par exemple : 500 μm). L'épaisseur l_2 de chaque élément de préhension peut être, dans la zone de la gorge 162-1, comprise entre par exemple 10 μm et 100 μm .

L'usinage d'un tel dispositif peut se faire par technique d'électro-érosion, en plusieurs passes. Cette technique a déjà été décrite ci-dessus. On part par exemple d'un barreau en un matériau à mémoire de forme, que l'on sectionne à la longueur voulue, puis dans lequel on dégage, par passes successives, les différents doigts ou éléments de préhension 162, 164, 166. Ensuite, par étapes successives, on réalise les gorges 162-1, 166-2.

La présence de deux gorges 162-1, 162-2 permet à chaque doigt d'être plié ou d'effectuer une flexion en deux endroits. Il est également possible de réaliser trois ou plusieurs gorges, ou une seule gorge, ou pas de gorge du tout, en fonction du degré de flexibilité requis.

Un autre mode de réalisation est illustré sur les figures 12A et 12B. Il s'agit d'un préhenseur portant trois doigts 182, 184, 186, réalisé dans un plan, également en un matériau à mémoire de forme. Un dispositif de découpe, par exemple par laser, permet de dégager trois doigts 182, 184, 186 et une zone 180 qui sert de support. Il est également possible, comme illustré sur la figure 12A, de réaliser des évidements 182-1, 182-2, ... 186-2, 187. Des zones 188, 190 permettent d'établir un contact électrique avec un dispositif d'alimentation. Un courant électrique,

circulant dans les différents doigts, permet de chauffer ceux-ci par effet Joule et d'obtenir la flexion appropriée des éléments 182, 184, 186 en matériau à mémoire de forme. Les ouvertures 182-1, 182-2, 187 permettent de délimiter le passage du courant. Le dispositif peut toutefois également fonctionner sans ces ouvertures. Par ailleurs, lorsque les ouvertures sont réalisées, les épaisseurs latérales e_1 , e_2 de chacun des doigts du préhenseur peuvent être égales ou différentes : la réalisation d'épaisseurs différentes a pour conséquence une transformation différente des parties droite et gauche de l'élément de préhension correspondant lorsque le courant circule. On peut également réaliser un chauffage par d'autres méthodes, par exemple par laser ou par induction ou par élément Peltier.

Une fois réalisé sous une forme plane, le préhenseur peut être contraint, par exemple autour d'un tube ou d'un cylindre 192 de diamètre d (figure 12B) : dans ce cas, on choisit de réaliser le système initial, sous sa forme plane, avec une longueur L_1 (figure 12A) telle que $L_1 < \pi \cdot d$. Chaque doigt 182, 184, 186 peut ensuite travailler en flexion dans un plan. Dans les modes de réalisation illustrés sur la figure 12B, chacun des trois plans de flexion P'_1 , P'_2 , P'_3 forme avec les deux autres un angle de $2\pi/3$. Un tel système peut avantageusement être utilisé sur un endoscope ou un cathéter.

Un dispositif de préhension ou de fixation tel qu'il vient d'être décrit peut être utilisé pour la mise en oeuvre d'un procédé de manutention d'un objet.

Dans le domaine médical, les préhenseurs à mémoire de forme selon l'invention permettent, soit de fixer un implant (de type orthopédique, cardiaque, neurochirurgical ou concernant d'autres parties du corps humain), soit de libérer un implant à un endroit précis du corps ("coil", "stent" ou autres), soit enfin de réaliser des micro-instruments chirurgicaux (ciseaux, pinces classiques ou à corps étranger ou à biopsie). On peut aussi, à l'aide du dispositif de fixation, réaliser des agrafes chirurgicales (pour des sutures) ou des "clips" (pinces ou pinces hémostatiques). On peut utiliser un clip par exemple pour bloquer du sang dans une artère en la pinçant.

Les préhenseurs sont reproductibles, et par ailleurs de très petites tailles (inférieures à 0,5 mm ou à 0,7 mm). On peut donc réaliser des instruments médicaux ou chirurgicaux ayant les mêmes caractéristiques, notamment de taille, ce qui est impossible à obtenir par la technique micromécanique classique (mettant en oeuvre des micro-charnières).

Un premier exemple d'application dans le domaine médical est illustré sur les figures 13A et 13C. Sur la figure 13A, un micro-préhenseur 202, du type des préhenseurs à mémoire de forme selon l'invention, déjà décrit ci-dessus, est introduit dans un cathéter 200. Le micro-préhenseur 202 peut saisir et maintenir un ressort 204. L'ensemble peut être par exemple mis en place à l'intérieur d'une artère. Le micro-préhenseur 202 est fixé à un guide métallique 203.

Une fois le système mis en place, et le ressort 204 positionné à l'endroit voulu dans l'artère, ce

dernier est libéré par l'ouverture du micro-préhenseur 202.

La figure 14 représente une autre application, à des pinces à biopsie, qui permettent de prélever du tissu afin de l'analyser. Ces pinces sont composées de deux cupules 206 qui bougent à l'extrémité d'un tube 207. Conformément à l'invention, on peut réaliser une pince à l'aide d'un dispositif de préhension à mémoire de forme. On peut ainsi réaliser une pince à biopsie de petite taille.

La figure 15 illustre une autre application de l'invention, dans le domaine médical. Un micro-préhenseur 212, conforme à l'invention, permet d'amener un dilatateur, ou "stent" 214 (ou un "coil", figures 13A, 13B, 13C) en un endroit voulu, par exemple à l'intérieur d'une artère ou de l'uretère. Le dilatateur 214 permet d'exercer une force mécanique s'opposant à la contraction de la paroi 210 du conduit de l'artère ou de l'uretère. Une fois le dilatateur mis en place, le préhenseur 212 est actionné en ouverture, et est extrait du conduit dans lequel il est introduit. Cette technique peut être utilisée par exemple après dilatation d'une artère sténosée par une plaque d'athérome. Ainsi, un micro-préhenseur selon l'invention permet de réaliser des "stent" de très petites dimensions.

Dans les exemples donnés ci-dessus, le préhenseur peut être commandé par chauffage laser (par l'intermédiaire d'une fibre optique) ou par circulation d'un courant.

Un autre exemple d'application d'un dispositif selon l'invention concerne le domaine de la réalisation de connexions ou de connecteurs, par exemple électriques ou optiques. Un exemple de réalisation d'un connecteur est illustré sur la figure 16. Le connecteur présente une partie mâle 216, qui peut être par exemple une fibre optique ou la partie mâle métallique d'un connecteur électrique. La partie femelle 218 comporte deux lèvres 220, 222, qui sont en fait les éléments de préhension d'un dispositif de préhension ou de fixation selon l'invention, tel que déjà décrit ci-dessus. La partie femelle est commandée à l'ouverture et/ou à la fermeture par l'un des moyens déjà décrits ci-dessus. La partie mâle 216 est introduite dans la partie femelle 218, les éléments de préhension 220, 222 sont actionnés à la fermeture et viennent donc assurer le contact entre la partie mâle et la partie femelle. Le préhenseur ou le dispositif de fixation formant la partie femelle peut être lui-même relié à d'autres éléments métalliques ou optiques.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de préhension ou de fixation (2, 22) comportant un premier et un second éléments (4, 6, 102, 104) de préhension pouvant subir un mouvement
5 relatif l'un par rapport à l'autre, l'ensemble des premier et second éléments étant réalisé en un matériau monobloc à mémoire de forme.

2. Dispositif de préhension ou de fixation selon la revendication 1, l'amplitude du mouvement
10 relatif des deux éléments étant au plus égale à 10 mm.

3. Dispositif de préhension ou de fixation selon l'une des revendications 1 ou 2, obtenu par découpe dans le plan d'une lame (120) de matériau à mémoire de forme, le mouvement relatif ayant lieu dans
15 ce plan.

4. Dispositif de préhension ou de fixation selon l'une des revendications 1 à 3, comportant en outre des moyens (8, 10) de manipulation de l'ensemble des premier et second éléments.

20 5. Dispositif de préhension ou de fixation selon la revendication 4, les moyens de manipulation de l'ensemble des premier et second éléments constituant avec ceux-ci un ensemble monobloc.

25 6. Dispositif de préhension ou de fixation selon la revendication 4 ou 5, les moyens de manipulation étant reliés à des moyens (15, 17, 20) de contrôle de la température des premier et second éléments du dispositif de préhension.

30 7. Dispositif selon la revendication 6, les moyens (15, 17, 20) de contrôle de la température comportant un élément à effet Peltier, ou un laser ou des moyens pour induire un courant dans le matériau à mémoire de forme ou des moyens (15, 17) pour faire

circuler un courant dans le matériau à mémoire de forme.

8. Dispositif selon la revendication 6 ou 7 comportant en outre des moyens de commande (26) des
5 moyens de contrôle (15, 17, 20) de la température des premier et second éléments et des moyens (30, 32, 36) de contrôle visuel de la position relative des premier et second éléments du dispositif de préhension.

9. Dispositif de préhension ou de fixation
10 selon l'une des revendications précédentes, l'amplitude du mouvement relatif des premier et second éléments l'un par rapport à l'autre étant inférieure à 500 µm.

10. Dispositif de préhension ou de fixation
15 selon l'une des revendications précédentes, l'amplitude du mouvement relatif des premier et second éléments l'un par rapport à l'autre étant inférieure à 100 µm.

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, le matériau étant à effet mémoire double sens ou ayant subi un processus d'éducation permettant
20 d'obtenir l'effet mémoire double sens.

12. Dispositif de préhension ou de fixation (158, 178) comportant au moins trois éléments de préhension (162, 164, 166, 182, 184, 186) pouvant
25 chacun subir un mouvement de flexion dans un plan, l'ensemble des éléments de préhension étant réalisé de manière monobloc, en un matériau à mémoire de forme.

13. Dispositif selon la revendication 12, comportant en outre un élément (160, 180) de support des éléments de préhension.

30 14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, les éléments de préhension ayant la forme d'un doigt.

15. Dispositif selon la revendication 14, un ou plusieurs doigt(s) étant muni(s) d'un ou plusieurs évidement(s) de flexion (162-1, ..., 166-2).

5 16. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 14, obtenu par découpe dans le plan d'une lame de matériau à mémoire de forme, puis par contrainte du plan.

17. Dispositif selon l'une des revendications 12 à 14, comportant en outre des moyens de contrôle de la température des éléments de préhension.

18. Dispositif selon la revendication 17, les moyens de contrôle de la température comportant un élément à effet Peltier, ou un laser ou des moyens pour induire un courant dans le matériau à mémoire de forme ou des moyens (188, 190) pour faire circuler un courant dans le matériau à mémoire de forme.

19. Dispositif selon la revendication 18, comportant en outre des moyens de contrôle de la température des éléments de préhension.

20 20. Dispositif selon la revendication 19, comportant en outre des moyens de contrôle visuel des éléments de préhension.

21. Dispositif de manipulation comportant un dispositif de préhension ou de fixation (202) selon l'une des revendications 1 à 20 et un cathéter (200) dans lequel il peut être introduit.

22. Dispositif de pinces à biopsie (206) comportant un dispositif de préhension selon l'une des revendications 1 à 20.

30 23. Agrafe ou pince, en particulier chirurgicale, comportant un dispositif selon l'une des revendications 1 à 20.

24. Dispositif de connexion (218) comportant une partie mâle (216) et une partie femelle (218), cette dernière comportant un dispositif selon l'une des revendications 1 à 20.

5 25. Procédé de préparation d'un élément en un matériau à mémoire de forme comportant les étapes suivantes :

- a) recuit d'un substrat (120) du matériau à mémoire de forme, puis
- 10 b) découpe de l'élément (125, 127, 129) dans le substrat.

26. Procédé selon la revendication 25, la découpe étant réalisée de manière à ne pas perturber la structure microscopique du matériau du substrat obtenu
15 après recuit.

27. Procédé selon la revendication 25 ou 26, la découpe étant réalisée de manière à ne pas perturber la structure microscopique du matériau du substrat sur plus de 5 µm au-delà de la découpe.

20 28. Procédé selon l'une des revendications 25 à 27, la découpe de l'élément dans le substrat étant réalisée par laser.

29. Procédé selon l'une des revendications 23 à 27, la découpe de l'élément dans le substrat étant
25 réalisée par électroérosion.

30. Procédé selon l'une des revendications 23 à 27, la découpe de l'élément dans le substrat étant réalisé par jet d'eau.

31. Procédé de manutention d'un objet
30 comportant la saisie et le transport de l'objet à l'aide d'un dispositif selon l'une des revendications 1 à 20.

32. Procédé selon la revendication 31, l'objet étant une (24, 60) microlentille ou une fibre optique.

33. Procédé de réalisation d'un assemblage d'une fibre multicoeur (52), ou d'une multifibre, avec
5 une lentille (60), comportant :

- le déplacement et le positionnement de la lentille face à une extrémité de la fibre, conformément au procédé selon la revendication 32,
- la fixation de la lentille sur l'extrémité de la
10 fibre.

34. Procédé selon la revendication 31, l'objet étant un dispositif pour l'obstruction d'une artère.

35. Procédé selon la revendication 34, le dispositif étant un ressort "coil" (204).

15 36. Procédé de prélèvement d'un tissu comportant :

- une étape d'introduction d'un dispositif de préhension selon l'une des revendications 1 à 20, à l'endroit où ce tissu doit être prélevé,
- 20 - une étape de prélèvement du tissu à l'aide de ce dispositif de préhension.

37. Procédé de dilatation d'un conduit (210) comportant :

- une étape d'introduction et de positionnement d'un
25 dilatateur (214) à l'endroit où le conduit doit être dilaté, à l'aide d'un dispositif de préhension selon l'une des revendications 1 à 20,
- une étape d'ouverture du dispositif de préhension après positionnement du dilatateur (214).

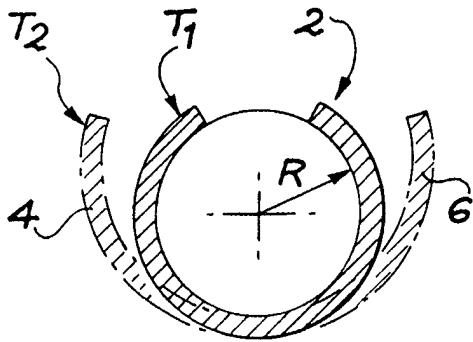


FIG. 1

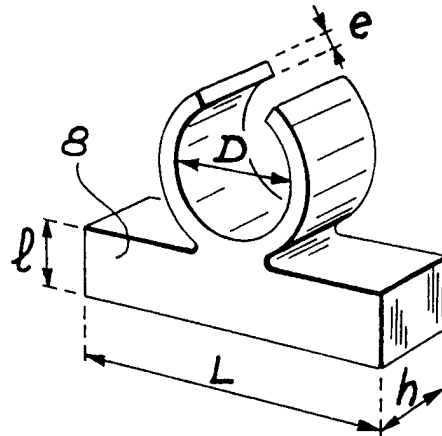


FIG. 2

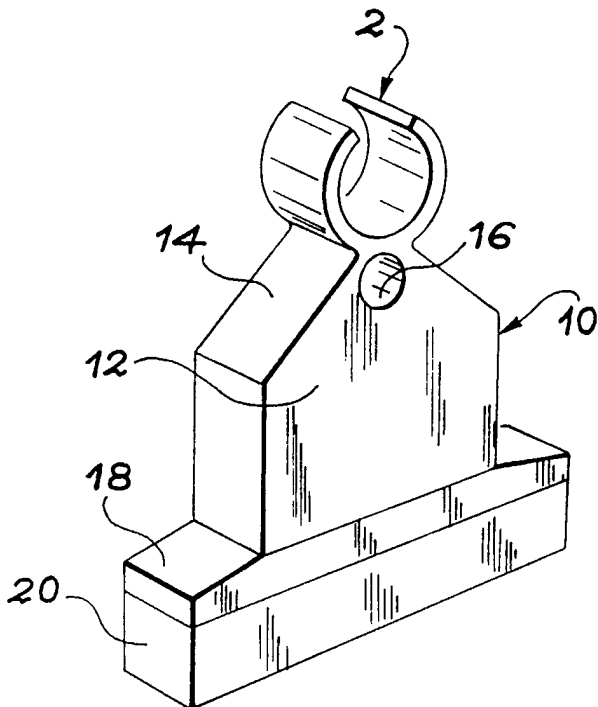
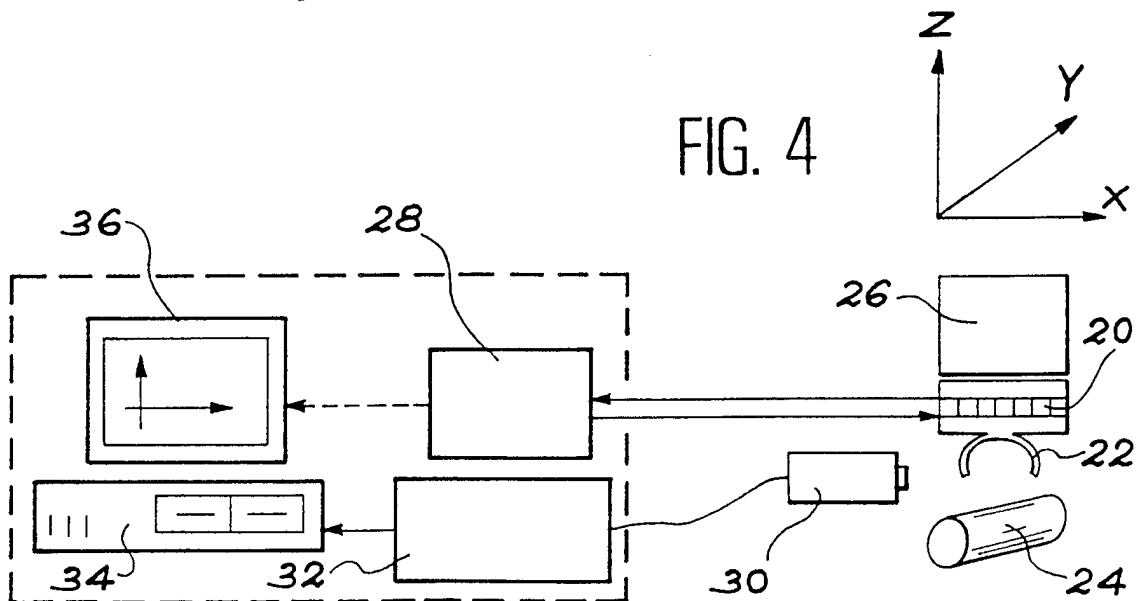


FIG. 3A

FIG. 4



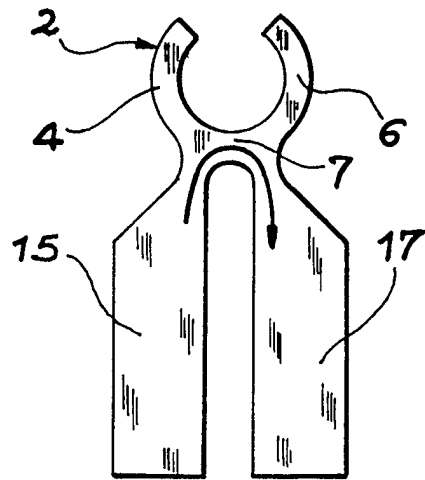


FIG. 3 B

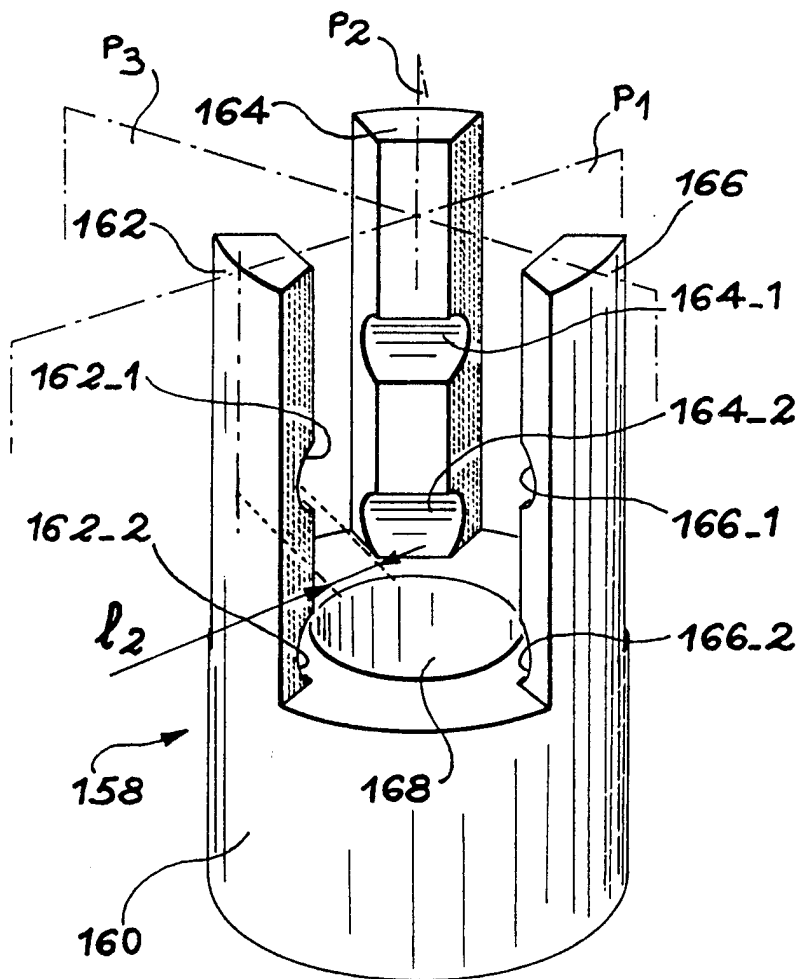


FIG. 11

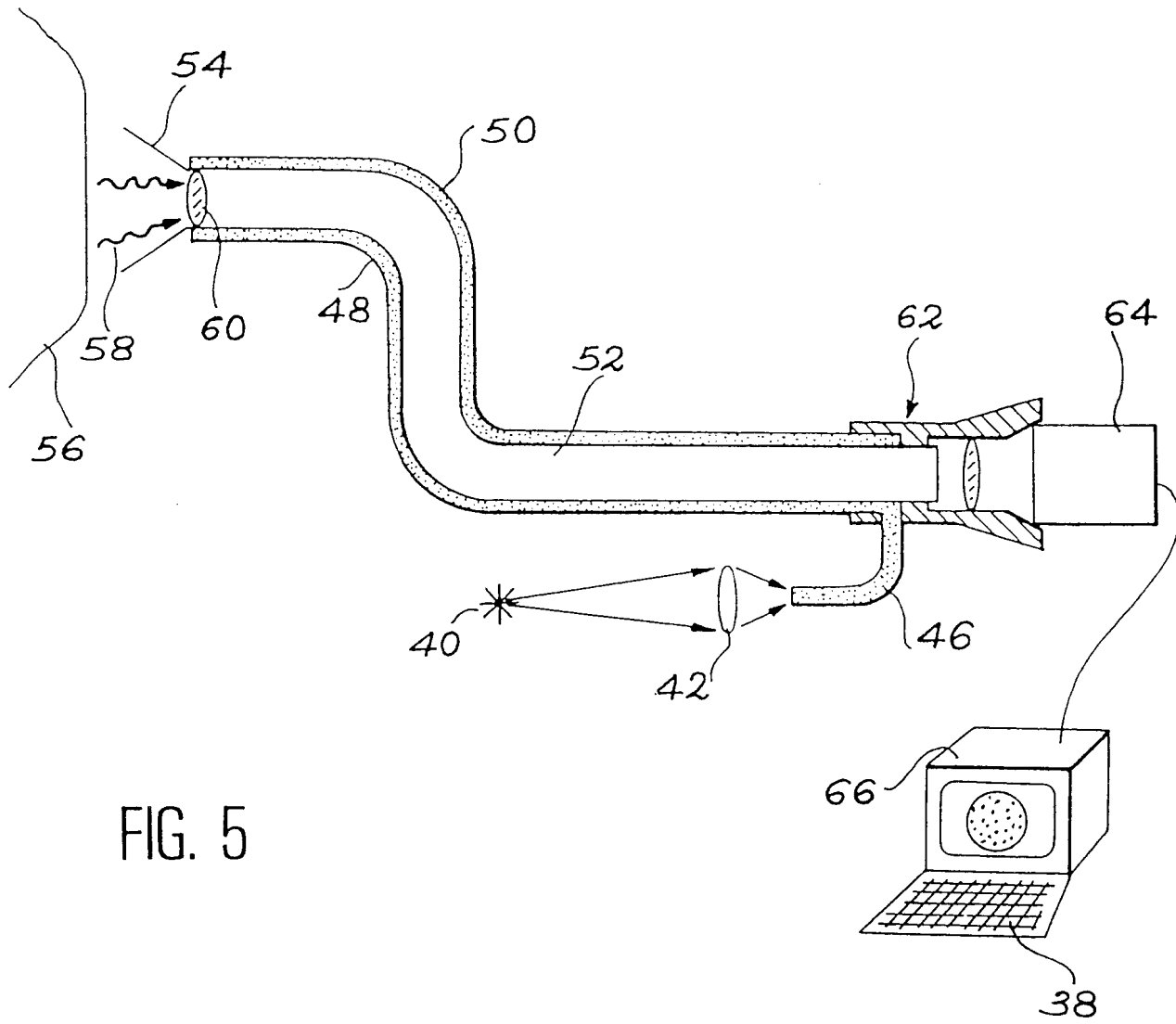


FIG. 5

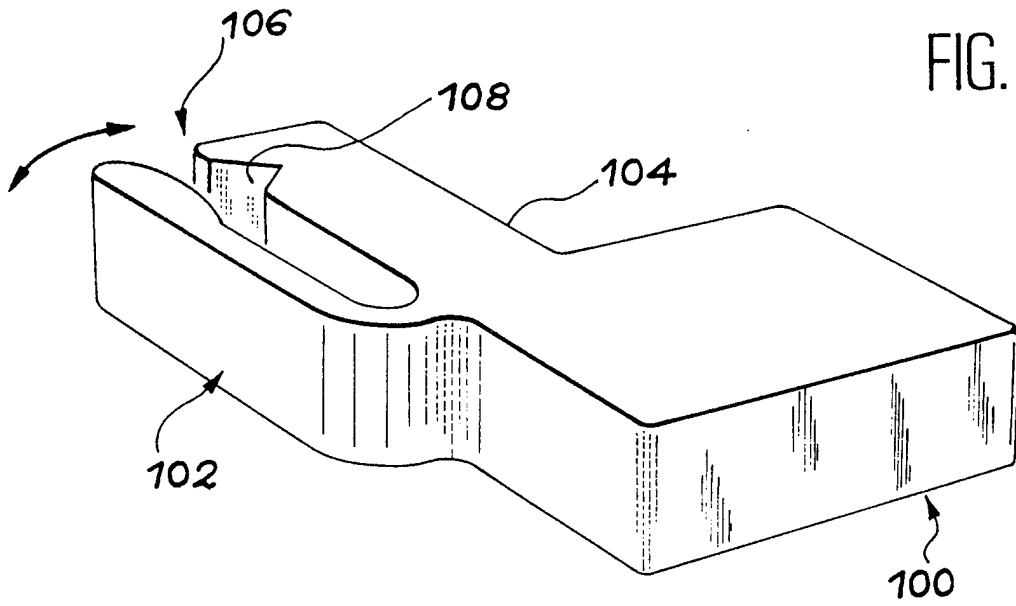


FIG. 6

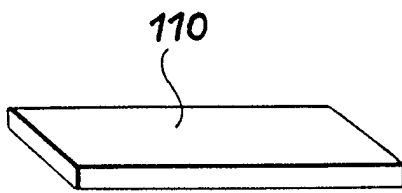


FIG. 7A

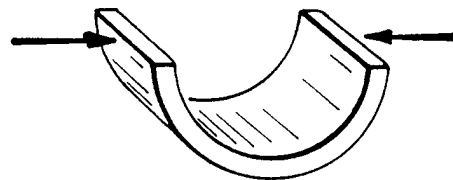


FIG. 7B

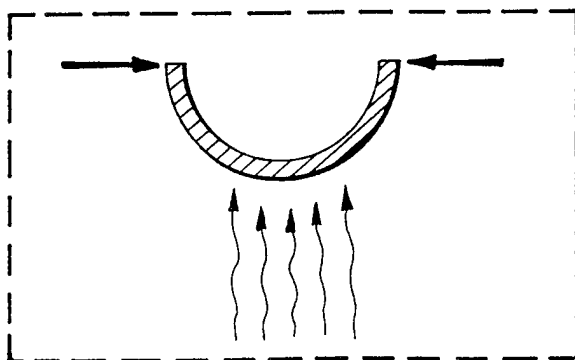


FIG. 7C

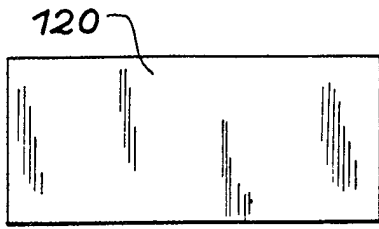


FIG. 8A

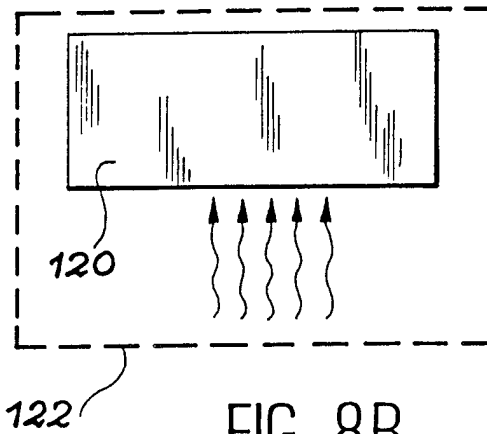


FIG. 8B

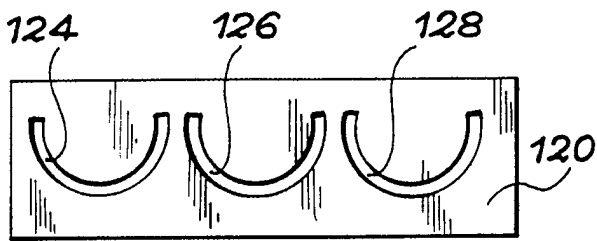


FIG. 8C

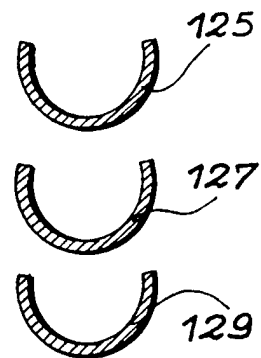


FIG. 8D

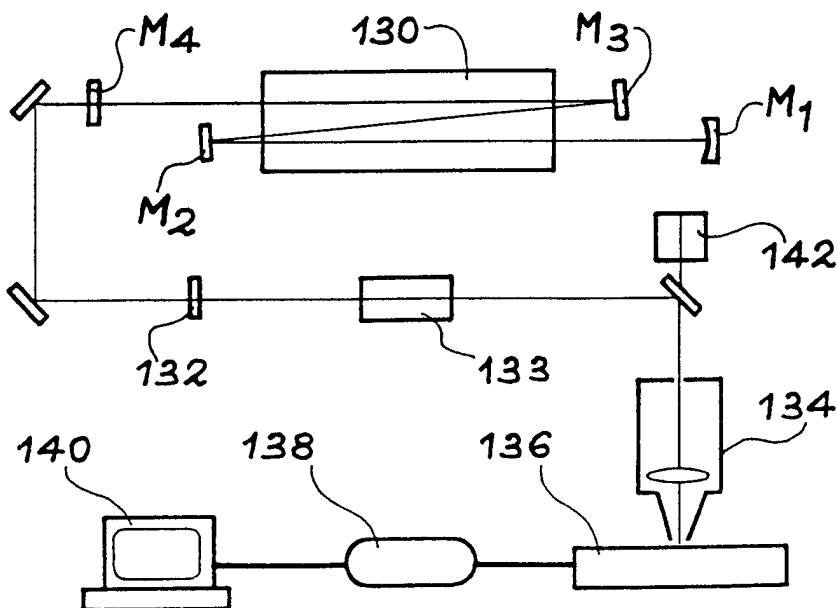


FIG. 9

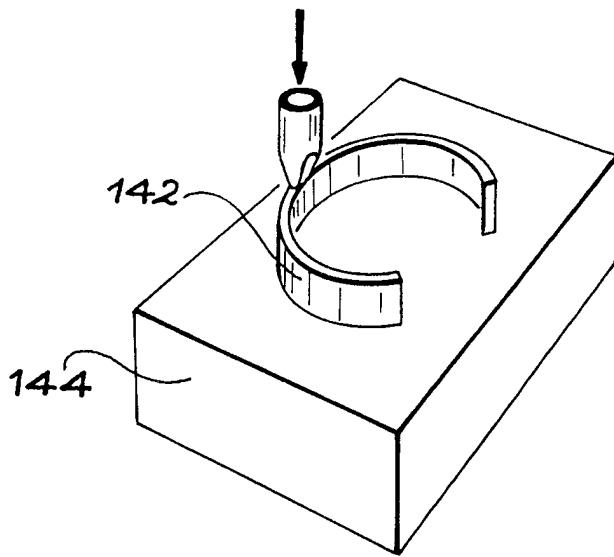


FIG. 10A

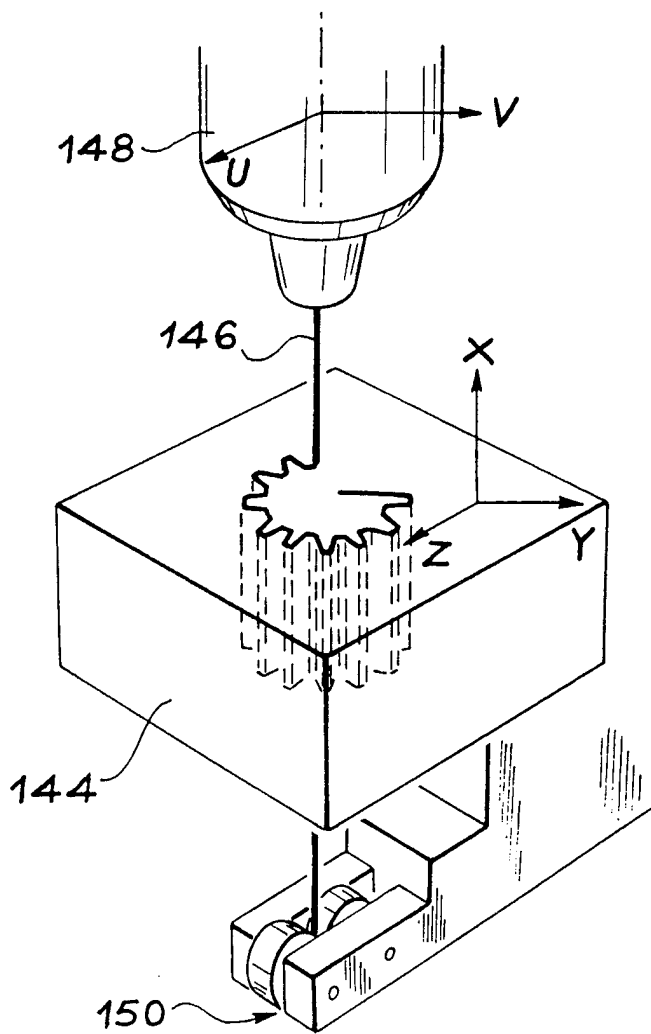


FIG. 10B

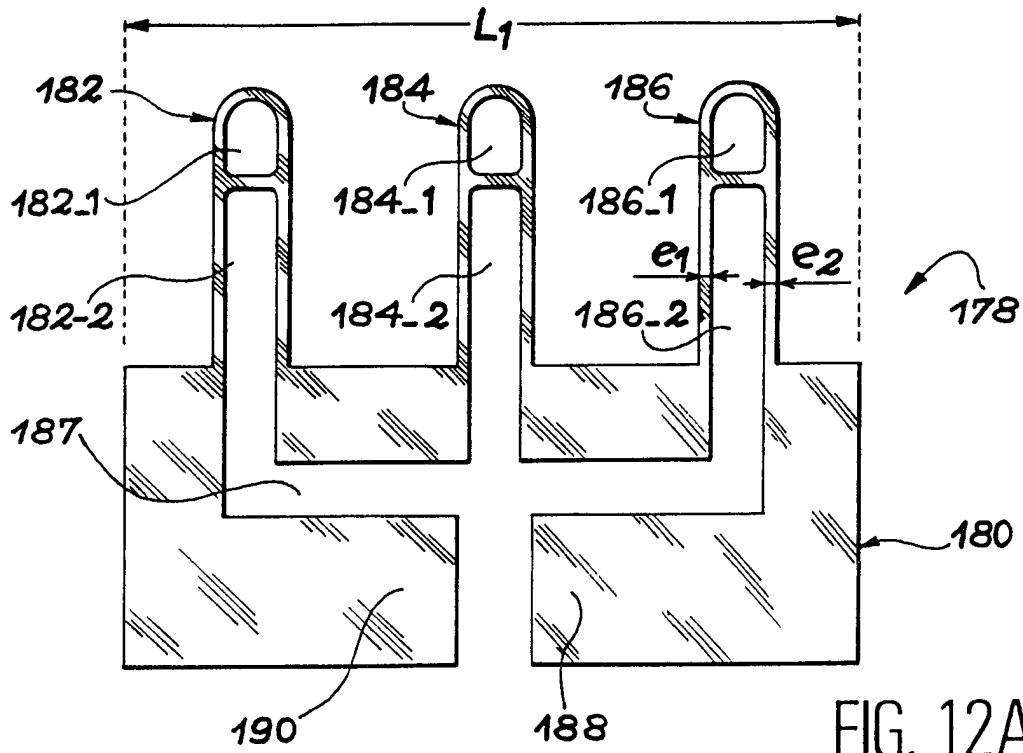


FIG. 12A

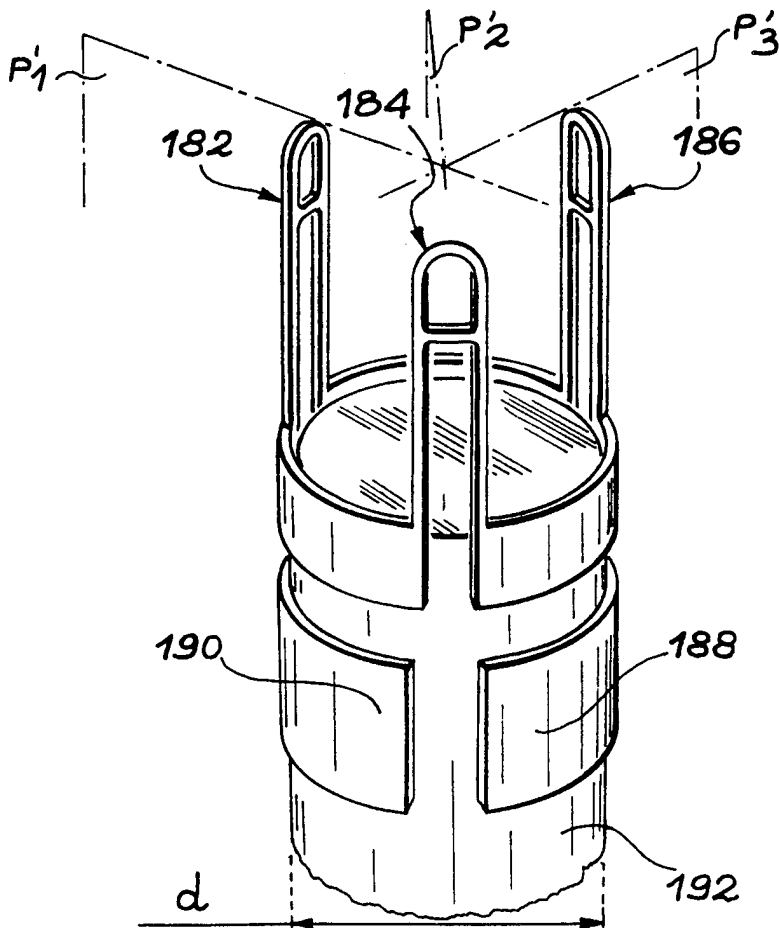


FIG. 12B

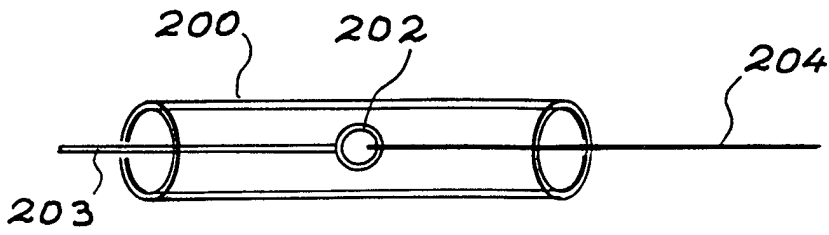


FIG. 13A

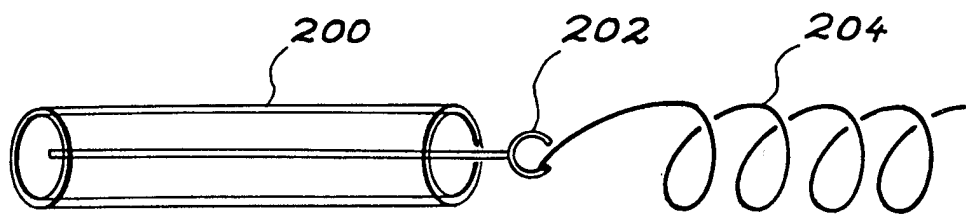


FIG. 13B

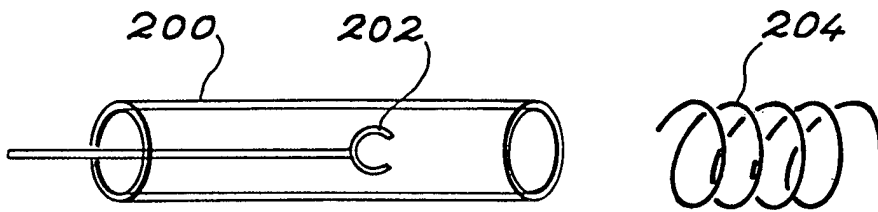


FIG. 13C

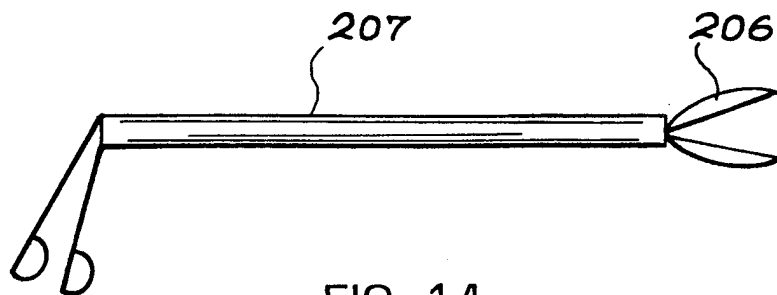


FIG. 14

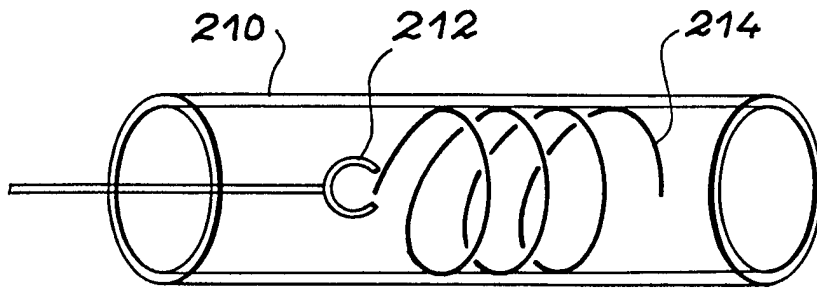


FIG. 15

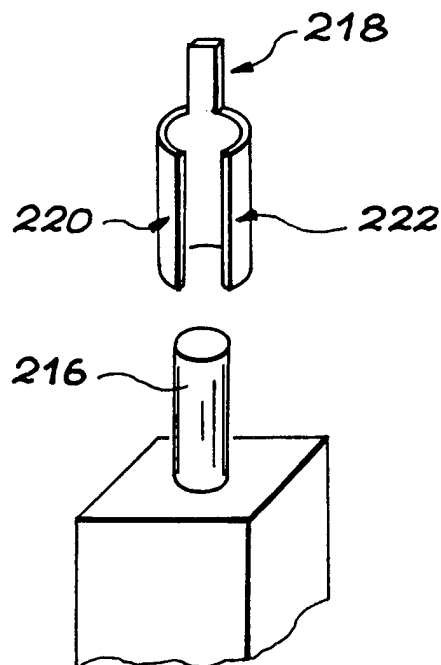


FIG. 16