



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 443 153 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
04.08.2004 Bulletin 2004/32

(51) Int Cl.7: **E04B 1/19**

(21) Numéro de dépôt: **03405043.5**

(22) Date de dépôt: **29.01.2003**

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

(72) Inventeur: **Fest, Etienne**
1020 Renens (CH)

(74) Mandataire: **Ganguillet, Cyril et al**
ABREMA
Agence Brevets & Marques
Ganguillet & Humphrey
Avenue du Théâtre 16
Case postale 2065
1002 Lausanne (CH)

(71) Demandeur: **ECOLE POLYTECHNIQUE
FEDERALE DE LAUSANNE (EPFL)**
1015 Lausanne (CH)

(54) **Noeud d'assemblage d'éléments en compression pour structure spatiale réticulée**

(57) Le noeud comprend une bille sphérique centra-
le (7) sur laquelle s'appuient les extrémités de six barres

(6) en compression par simple contact sans liaison mé-
canique. Les faces frontales (12) des extrémités des
barres (6) sont de forme conique.

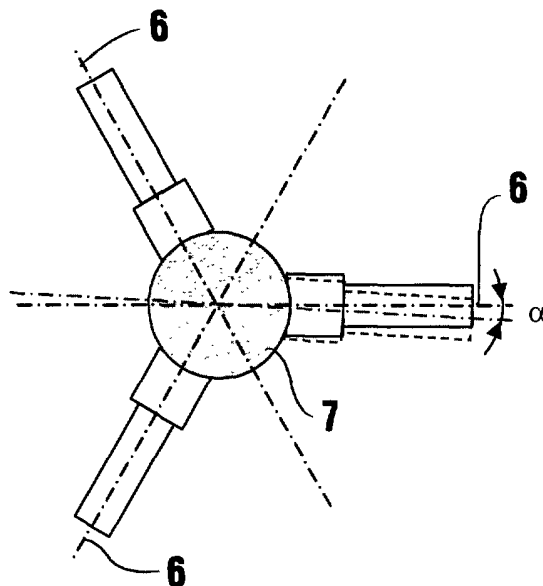


FIG. 4

Description

[0001] La présente invention concerne un noeud d'assemblage d'éléments en compression pour structure spatiale réticulée, en particulier pour une structure de type tensegrité.

[0002] Une structure de tensegrité (de l'anglais "tensegrity", qui résulte de la contraction des mots "tensile" et "integrity") est une structure spatiale réticulée formée de barres et de câbles, et dont la rigidité et la stabilité proviennent de son état d'autocontrainte due à la combinaison de compressions dans les barres et de tractions dans les câbles. Il s'agit d'une structure légère, facilement démontable, et qui offre au constructeur des opportunités de modularité, de réutilisation et de réalisations architecturales inédites, très élancées. Ce type de structure n'a été utilisé jusqu'ici que pour la réalisation d'oeuvres d'art, du fait que l'une des difficultés majeures pour sa réalisation réside dans la conception des noeuds d'assemblage qui doivent être réalisés sous forme de rotules pour que les éléments agissent comme des éléments-barre à rigidité unilatérale.

[0003] Dans de tels assemblages réunissant les éléments comprimés, deux conditions principales doivent être résolues, à savoir :

- faire converger l'axe longitudinal des éléments en compression, et
- minimiser les frottements et phénomènes non linéaires.

[0004] Il convient par conséquent de proposer une solution qui permette de minimiser l'excentricité des éléments comprimés, de façon à éviter les moments parasites dans le noeud ou dans les éléments comprimés. En d'autres termes, le problème consiste à réussir à faire sensiblement converger en un point unique les résultantes des forces de compression de chacun des éléments. Du fait qu'une structure de type tensegrité se doit d'être une structure légère et flexible, les noeuds d'assemblage massifs et lourds sont à éviter.

[0005] Aucun des noeuds d'assemblage qui ont été proposés jusqu'ici ne permet de remplir ces conditions.

[0006] Parmi les noeuds d'assemblage que l'on connaît, le noeud probablement le plus connu pour son application dans de multiples treillis est le noeud de Mero, décrit dans le brevet américain no 3,826,584. Le succès de ce type de noeud réside dans son potentiel d'adaptation, dû à sa forme sphérique de faible rayon. Toutefois, la fixation des barres par vissage ne paraît de loin pas adaptée à supporter les déformations très importantes des structures de tensegrité.

[0007] On connaît d'autre part des noeuds d'assemblage pour barres à têtes sphériques proposés dans le brevet américain no 4,480,418. Ce type de noeuds permet la réalisation de grillage spatiaux de n'importe quelle géométrie. Toutefois, dès que la géométrie désirée est atteinte, le mouvement de certaines barres est blo-

qué par les deux calottes (voir figure 17, élément 5). Dans ce cas, quatre des barres (sur les douze que compte le noeud) sont encastrées dans le noeud, ce qui implique que ce type de noeud n'est pas adapté pour les grands déplacements intervenant dans les structures de tensegrité, qui induiraient alors la plastification du noeud, ce qui provoquerait une instabilité du noeud de la structure. De plus, les huit barres qui ne sont pas encastrées ne peuvent tourner autour du noeud que dans le plan vertical, mais pas dans le plan horizontal. Par conséquent, les résultantes des forces agissant sur les barres ne sont pas toujours concourantes.

[0008] Un autre type de noeud d'assemblage destiné à des applications générales de treillis est proposé dans la demande de brevet internationale no WO 94/13895. Il s'agit d'un noeud d'assemblage à rotules, qui a été notamment utilisé dans la toiture de l'aéroport de Milan - Malpensa 2000 et qui est commercialisé sous la marque déposée VESTRUT. Ce type de noeud a été développé pour éviter aux éléments du treillis de reprendre des efforts de flexion. Le principe consiste à rapprocher le plus possible les extrémités elliptiques des barres contenues dans un châssis, dont la forme intérieure est sphérique. En fait, ce type d'assemblage part de l'hypothèse que la combinaison des rotules locales forme une rotule globale. Compte tenu de la forme sphérique de l'intérieur du châssis, ce système paraît plutôt adapté pour des éléments uniquement en traction, où l'axe longitudinal des barres reste convergent, cette dernière condition n'étant pas forcément réalisée dans le cas de compression. De plus, compte tenu du fait que cette technique de fabrication consiste à partir d'un élément de matière plein dans lequel sont usinées des cavités elliptiques, ce type de noeud est relativement coûteux à réaliser.

[0009] Le but de la présente invention est de proposer un noeud d'assemblage d'éléments en compression pour structure spatiale réticulée, en particulier pour une structure de type tensegrité, permettant de remédier aux inconvénients des noeuds d'assemblage connus et permettant notamment d'assurer l'aptitude au service de ladite structure.

[0010] A cet effet, la présente invention concerne un noeud d'assemblage d'éléments en compression pour structure spatiale réticulée, caractérisé par un élément central présentant des portions de surfaces arrondies à centres de courbure confondus, sur lesquelles viennent s'appuyer l'extrémité de chacun des éléments en compression par simple contact en au moins un point, de façon à constituer une rotule, de façon que les résultantes des forces de compression de chacun desdits éléments en compression convergent sensiblement au centre de l'élément central.

[0011] La description qui suit, d'un exemple de mode de réalisation du noeud d'assemblage selon l'invention, se réfère aux dessins, sur lesquels :

- la fig. 1 illustre de façon schématique un premier

type de rotule pour l'assemblage d'éléments en compression, consistant en une forme sphérique venant s'appuyer sur un cône;

- la fig. 2 illustre de façon schématique un second type de rotule pour l'assemblage d'éléments en compression, consistant en un élément en forme de cône venant s'appuyer sur une forme sphérique;
- la fig. 3 illustre l'association de rotules du type de la fig. 1;
- la fig. 4 illustre de façon schématique un noeud d'assemblage selon la présente invention;
- les fig. 5a et 5b sont respectivement une vue en élévation et une vue en plan d'un noeud d'assemblage selon la présente invention;
- la fig. 6 illustre de façon schématique un exemple de barre du noeud d'assemblage selon la présente invention;
- les fig. 7a et 7b sont respectivement une vue en élévation et une vue en plan d'un noeud d'assemblage selon la présente invention équipé d'un cylindre de montage; et
- la fig. 8 est une vue schématique en coupe d'une variante du noeud des fig. 7a et 7b avec le dispositif de montage.

[0012] Le noeud d'assemblage selon la présente invention a été conçu de façon que les résultantes des forces de compression de chacun des éléments comprimés soient convergentes, d'une part afin de limiter les excentricités induisant des moments parasites dans le noeud ou dans les éléments comprimés, et d'autre part de façon à autoriser des rotations et translations desdits éléments comprimés par rapport à l'élément central qui peuvent se produire lors du montage et de la mise en service de la structure, ainsi que lorsque la structure est ensuite soumise à de fortes sollicitations. Dans le cas où cette convergence des résultantes des forces ne serait pas assurée, le noeud ne serait pas stable et aurait tendance à tourner. Ce noeud doit de ce fait être réalisé sous forme de rotule.

[0013] A cet effet, deux types de rotules peuvent théoriquement être réalisées, à savoir une rotule d'un premier type, consistant en une forme 1 arrondie, par exemple sphérique ou hémisphérique, venant s'appuyer sur un cône 2, telle que représentée à la fig. 1, et une rotule d'un second type sous la forme d'un élément conique 3 venant s'appuyer sur une forme 4 arrondie, par exemple sphérique ou hémisphérique, telle que représentée à la fig. 2. Sur chacune des fig. 1 et 2, la pièce fixe 2, 4 est représentée hachurée.

[0014] Or, la réalisation d'un noeud à l'aide de rotules

du premier type ci-dessus, telle que représenté à la fig. 3, n'est pas satisfaisante. On peut en effet remarquer tout de suite que les barres 5 ne convergent pas toujours, ce qui implique une possible rotation du noeud. En revanche, dans un noeud réalisé à l'aide d'une rotule du second type ci-dessus, tel que représenté à la fig. 4, on voit immédiatement que les barres 6 convergent toujours au centre de la sphère.

[0015] Par conséquent, le noeud d'assemblage selon la présente invention est réalisé sous la forme d'une rotule du second type mentionné ci-dessus.

[0016] L'exemple de noeud d'assemblage selon la présente invention représenté aux fig. 4, 5a et 5b, comprend une bille sphérique 7 en acier trempé, lubrifiée, sur laquelle viennent s'appuyer les extrémités coniques de six barres 6 comprimées. Comme on l'a représenté à la fig. 4, pour toute translation ou rotation α de l'une des barres, la barre reste toujours centrée. De plus, la redondance d'un tel système accentue sa stabilité. A cet égard, on peut noter que trois barres correctement disposées seraient suffisantes à assurer la stabilité directionnelle du noeud dans l'espace. Il est ainsi possible de réaliser des noeuds d'assemblage selon l'invention avec un nombre quelconque de barres, supérieur ou égal à trois. Toutefois, plus le nombre de barres est élevé, plus le diamètre de la bille doit être grand ou respectivement plus le diamètre des barres doit être petit relativement au diamètre de la bille pour éviter que les barres n'entrent en contact.

[0017] La bille, qui peut être remplacée par une boule creuse, peut également être réalisée en tout autre métal ou en céramique ou en tout autre matériau adéquat. Les extrémités des barres peuvent être réalisées en acier ou tout autre métal ou en matériaux composites ou en tout autre matériau adéquat.

[0018] Selon une variante de réalisation, non représentée sur les dessins, la bille peut ne pas être de forme sphérique, mais réalisée par exemple à base d'un cube ou autre figure géométrique, et dont la surface est usinée ou agencée de façon à présenter des portions de surface sphériques ou arrondies aux endroits d'appui des barres, toutes ces surfaces ayant le même centre de courbure.

[0019] Un exemple de réalisation d'une barre de compression pour un noeud d'assemblage selon la présente invention est représenté à la fig. 6. Cette barre comporte une extrémité 10 présentant une face usinée 11 de forme conique pour coopérer avec la bille sphérique. Cette barre comporte une partie filetée 12, sur laquelle sont montés un écrou 13 et un contre-écrou 14 destinés à permettre le réglage de la longueur de l'élément de compression, l'autre extrémité 15 de la barre étant montée de façon à pouvoir coulisser à l'intérieur d'un tube de compression 16 par l'intermédiaire d'un manchon 17. Une rondelle 18 est disposée derrière l'écrou de façon que la barre s'appuie, lorsqu'elle est comprimée, contre ledit manchon. L'ensemble est réalisé sans liaison mécanique autre que le contact rondelle/manchon. Bien

entendu, la partie filetée de la barre et l'écrou pourraient être remplacées par un simple épaulement de la barre agencé pour coopérer avec le manchon. Toute autre forme de barres de compression est bien entendu également possible.

[0020] L'extrémité 11, destinée au contact avec la bille, de la barre représentée à la fig. 6 comporte une surface conique très ouverte, avec un angle de cône de 170°. La forme conique est pratique pour des raisons de facilité d'usinage et l'angle de 170° s'est révélé bien adapté. Mais d'autres angles, supérieurs ou inférieurs à 170°, peuvent être utilisés. De même, la forme de la surface d'extrémité de la barre pourrait être différente, comme par exemple tétraédrique, sphérique, ou tout autre courbe, ou même en forme de méplat.

[0021] Comme on l'a mentionné plus haut, la bille sphérique est lubrifiée de manière à permettre des rotations et/ou translations des extrémités des barres à sa surface, notamment au moment de la mise en place pour le service ou lors de fortes sollicitations en service. Cette lubrification peut par exemple être obtenue au moyen d'un graisseur qui passe par un canal prévu à cet effet à l'intérieur de l'une ou de plusieurs des barres.

[0022] Du fait que la liaison entre les barres de compression et la bille sphérique est réalisée par simple contact sans liaison mécanique, le montage de l'ensemble nécessite un dispositif de montage supplémentaire qui peut être réalisé sous la forme d'un cylindre 20 tel que représenté aux figs 7a, 7b et 8, disposé autour de la bille sphérique 4 et traversé par les extrémités des six barres. A cet effet, des lumières 21 sont usinées dans le cylindre. Comme représenté à la fig. 8, la bille sphérique 7 peut être bloquée dans le cylindre de montage par deux vis de réglage 22, 23 permettant d'ajuster la hauteur de la bille sphérique et de la bloquer, lesdites vis pouvant être montées sur des traverses taraudées 24, 25 disposées aux deux extrémités du cylindre de montage. Afin que les extrémités des barres soient retenues par le cylindre 20, les barres 6 comportent une partie 8 de diamètre réduit en-deçà de leurs extrémités 10, de façon à constituer un épaulement 9 qui est retenu à l'intérieur du cylindre.

[0023] Dès que les éléments qui sont au contact de la bille sphérique sont légèrement comprimés, ledit cylindre peut être retiré. Cependant, lorsque le noeud d'assemblage selon l'invention est utilisé dans des structures destinées à subir de grands déplacements, on peut prévoir de conserver à demeure le cylindre sur le noeud qui constitue alors un cylindre de sécurité. Dans un tel cas, le cylindre peut être remplacé en état de service par une "coquille" en matière flexible que l'on injecte autour de la bille, par exemple en une matière élastomère. Bien entendu, le cylindre peut être remplacé par tout autre dispositif adéquat, par exemple une calotte.

[0024] Le noeud d'assemblage selon la présente invention, qui permet la convergence en un point, comme on l'a vu, des résultantes des forces des éléments com-

primés, ceci uniquement par contact sans liaison mécanique, est une solution peu coûteuse, puisque aucune soudure, aucun perçage ni pliage n'est nécessaire. Cette solution peut être appliquée non seulement aux structures spatiales réticulées comportant des barres telles que décrites dans l'exemple ci-dessus, mais également à tout autre type de structures, comme par exemple les structures déployables, des manèges et aussi dans le domaine médical, pour la réalisation de prothèses, par exemple de prothèses de la hanche. Les éléments comprimés ne sont ainsi pas forcément des barres, mais peuvent être des éléments de forme quelconque, un même élément pouvant avoir plus d'un point de contact avec l'élément central du noeud.

Revendications

1. Noeud d'assemblage d'éléments en compression pour structure spatiale réticulée, **caractérisé par** un élément central (7) présentant des portions de surfaces arrondies à centres de courbure confondus, sur lesquelles viennent s'appuyer les extrémités de chacun des éléments en compression (6) par simple contact en au moins un point, de façon à constituer une rotule, de façon que les résultantes des forces de compression de chacun desdits éléments en compression convergent toujours sensiblement au centre de l'élément central.
2. Assemblage selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les éléments en compression sont des barres.
3. Assemblage selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'élément central est de forme sphérique (7).
4. Assemblage selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les éléments en compression sont des barres (6) dont l'extrémité de contact (10) est conique (11).
5. Assemblage selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre un dispositif de montage et/ou de sécurité disposé autour de l'élément central et agencé d'une part pour permettre le passage des barres et d'autre part pour empêcher l'extrémité de la barre de s'éloigner de l'élément central, mais sans empêcher les autres mouvements des barres.
6. Assemblage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit dispositif est un cylindre (20).
7. Assemblage selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ledit cylindre est agencé de façon à per-

mettre le blocage de l'élément central (7) lors du montage.

8. Assemblage selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre un dispositif flexible entourant l'élément central ainsi que les extrémités des barres, de façon à empêcher les extrémités des barres de s'éloigner de l'élément central, sans empêcher les autres mouvements des barres.
9. Assemblage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ledit dispositif est constitué par une matière élastomère.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

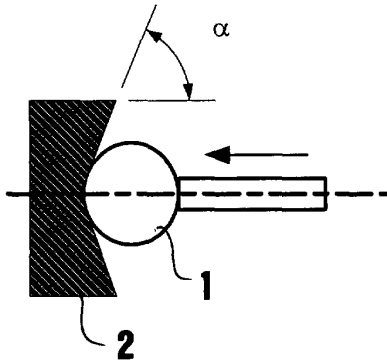


FIG. 1

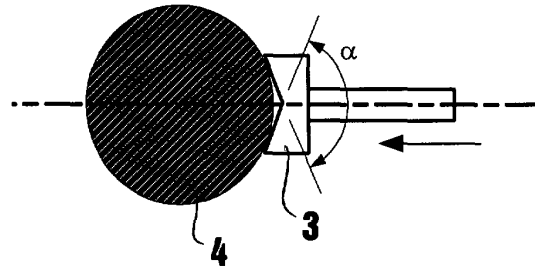


FIG. 2

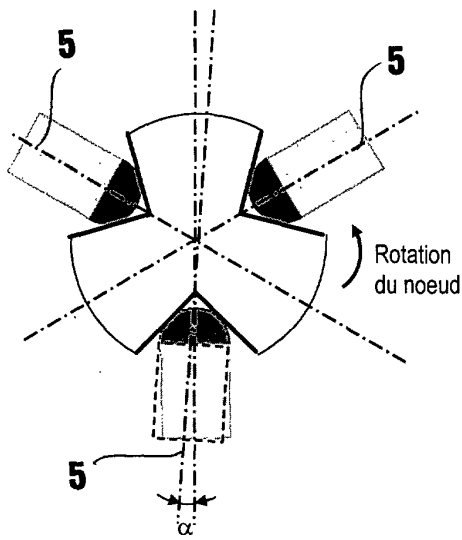


FIG. 3

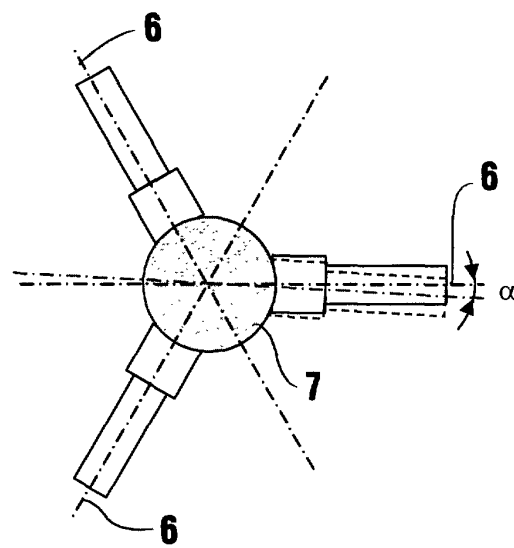


FIG. 4

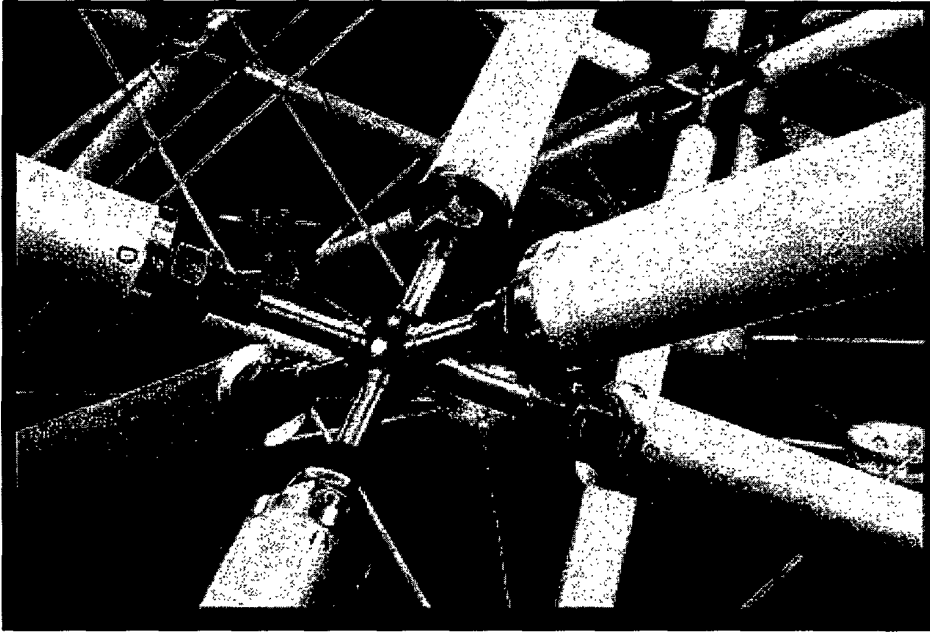


FIG. 5a

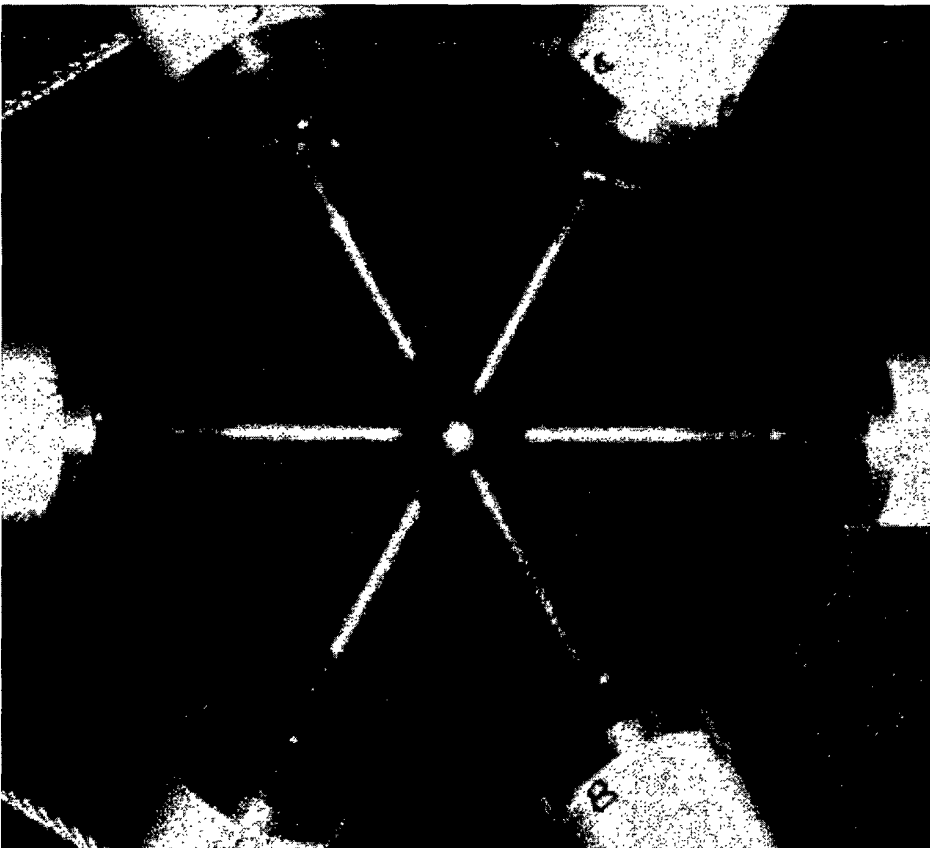


FIG. 5b

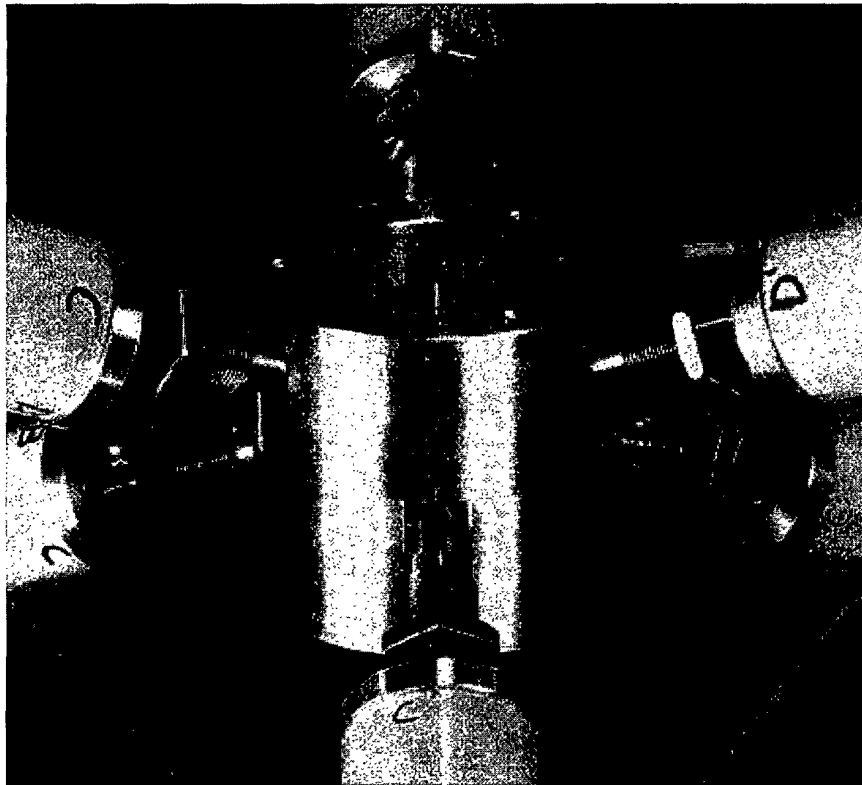


FIG. 7a

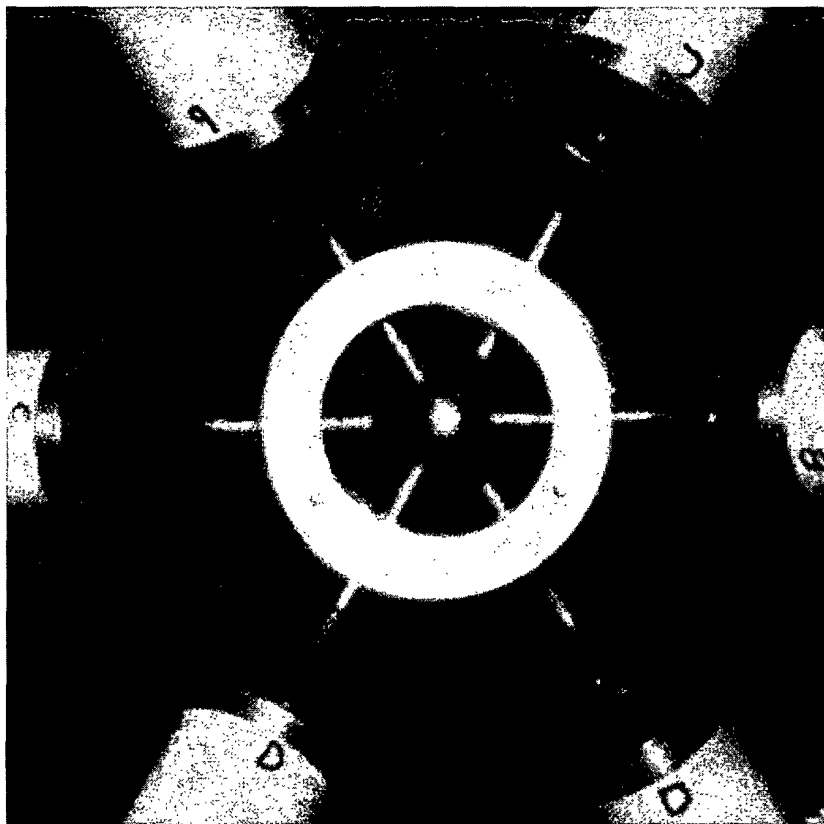


FIG. 7b

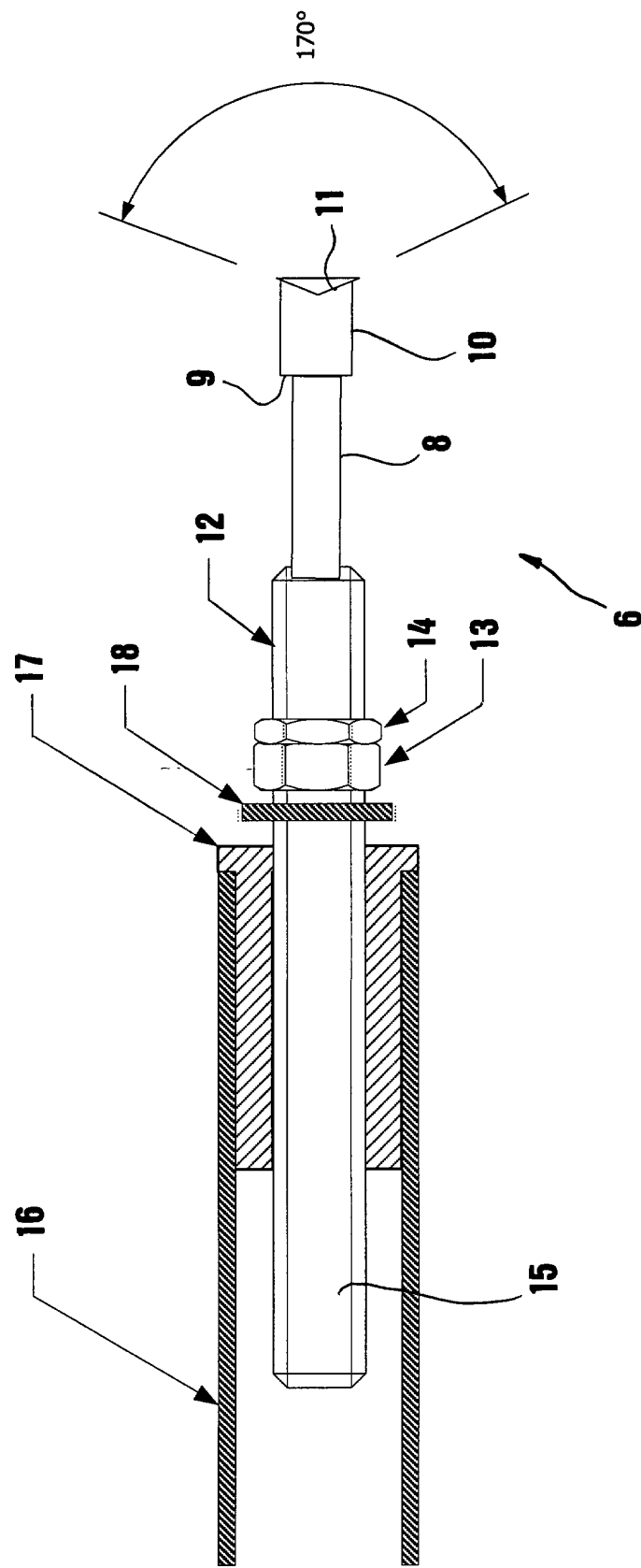


FIG. 6

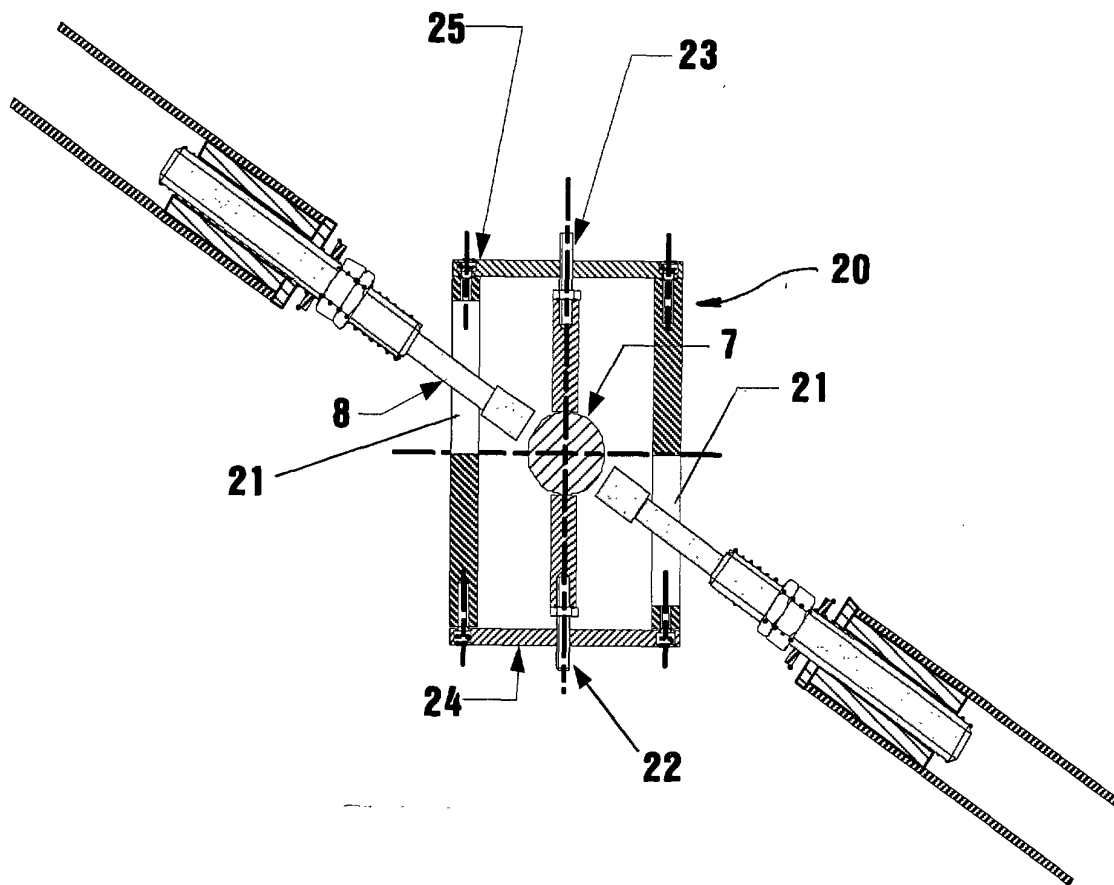


FIG. 8



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 03 40 5043

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.CI.7)
X	GB 2 315 286 A (KAFAFI AHMED MAHMOUD) 28 janvier 1998 (1998-01-28) * page 20, dernier alinéa - page 22, alinéa 3; figures 23A,23B *	1,2,4	E04B1/19
X	DE 22 32 378 A (HAMM WILFRIED) 10 janvier 1974 (1974-01-10) * page 7, ligne 1 - page 10, alinéa 1; figures 3,4 *	1,2,5	
A	DE 20 47 271 A (VEB) 9 juin 1971 (1971-06-09) * le document en entier *	1	
A	DE 24 21 758 B (HORN) 6 mars 1975 (1975-03-06) * le document en entier *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CI.7)
			E04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 20 juin 2003	Examineur Fordham, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 03 40 5043

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

20-06-2003

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
GB 2315286	A	28-01-1998	AUCUN		
DE 2232378	A	10-01-1974	DE	2232378 A1	10-01-1974
DE 2047271	A	09-06-1971	AT	309042 B	15-06-1973
			DE	2047271 A1	09-06-1971
			HU	163313 B	28-07-1973
			SU	382304 A3	22-05-1973
DE 2421758	B	06-03-1975	DE	2421758 B1	06-03-1975

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82