



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.09.2000 Bulletin 2000/36

(51) Int Cl.7: **B21D 26/02, B21D 51/24**

(21) Numéro de dépôt: **00400185.5**

(22) Date de dépôt: **24.01.2000**

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

(30) Priorité: **23.02.1999 FR 9902235**

(71) Demandeur: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME**
POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
GEORGES CLAUDE
75321 Paris Cédex 07 (FR)

(72) Inventeurs:
 • **Charleux, Louis**
38210 Polienas (FR)
 • **Faure, Alain**
38330 Saint Ismier (FR)
 • **Gourgeon, Laurent**
28000 Grenoble (FR)

(74) Mandataire: **Le Moenner, Gabriel et al**
L'Air Liquide S.A.,
DSPI,
Service Brevets et Marques,
75 Quai d'Orsay
75321 Paris Cedex 07 (FR)

(54) **Procédé de formage d'enveloppe, enveloppe ainsi obtenue, et utilisation de telles enveloppes**

(57) L'ébauche (5), immergée dans un bain (12) d'azote liquide, et pressurisée intérieurement par de l'azote liquide sous pression (13), pour la réalisation d'une enveloppe finale sensiblement sphérique, est réa-

lisée sous la forme d'un assemblage de cylindres (8) de troncs de cônes (9) et de disques frontaux réalisés à partir de tôles en acier inoxydable.

Application notamment à la réalisation de réservoirs de gaz embarqués.

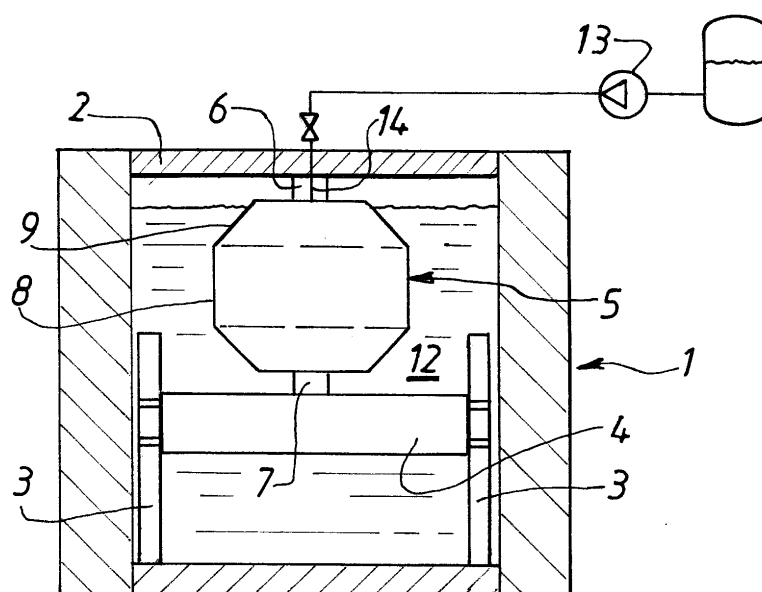


FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne le formage d'enveloppes de révolution, de configuration générale sensiblement sphérique, par pressurisation interne à température cryogénique d'une ébauche d'enveloppe.

[0002] Le cryoformage d'enveloppes consiste à former des pièces de révolution en métal, typiquement en acier inoxydable, sous pression et à température cryogénique. Lors du formage, le métal est écroui par étirement, cet écrouissage augmentant très fortement la résistance mécanique du matériau, en particulier pour certains aciers inoxydables austénitiques par transformation martensitique de la structure de l'acier. On obtient ainsi des enveloppes possédant un excellent rapport entre leur masse de métal et la pression de service utilisable.

[0003] Jusqu'à présent, les ébauches d'enveloppes à écrouir présentent la même configuration géométrique, cylindrique ou sphérique, que l'enveloppe finale à obtenir. Pour les enveloppes sphériques, la réalisation d'ébauches elles-mêmes sensiblement sphériques obère considérablement les coûts de fabrication.

[0004] La présente invention a pour objet de proposer un procédé de formage d'enveloppes sphériques ou sensiblement sphériques réduisant grandement les coûts de fabrication sans réduire les qualités de résistance mécanique des enveloppes finales obtenues.

[0005] Pour ce faire, selon une caractéristique de l'invention, l'ébauche utilisée est constituée sous forme d'au moins deux portions développables coaxiales réalisées à partir de tôles, c'est-à-dire typiquement des éléments tronconiques, cylindriques et disques plans.

[0006] Selon d'autres caractéristiques plus particulières de l'invention :

- L'ébauche est constituée d'au moins trois portions de révolution développables,
- La pressurisation interne est effectuée par de l'azote liquide sous pression.
- Pendant le formage, l'ébauche est immergée dans un bain d'azote liquide :
- La déformation en expansion de l'ébauche est guidée mécaniquement et, le cas échéant, assistée ou modulée mécaniquement.

[0007] La présente invention a également pour objet de proposer des enveloppes au moins sensiblement sphériques, notamment des réservoirs de gaz ou de liquide cryogénique embarqués nus ou sous la forme de "liner" ensuite bobinés extérieurement, obtenus par ce procédé, et l'utilisation de telles enveloppes comme réservoirs embarqués.

[0008] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation, donnés à titre illustratif mais nullement limitatif, faite en relation avec les dessins annexés, sur lesquels :

La figure 1 est une vue très schématique en coupe verticale d'une installation de mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention, l'ébauche étant mise en place mais non pressurisée ;

La figure 2 est une vue analogue à la figure 1 montrant la fin de la mise en oeuvre du procédé, avec l'enveloppe mise en forme ;

La figure 3 superpose les contours de l'ébauche de départ selon l'invention et de l'enveloppe finale.

La figure 4 est une vue analogue à la Figure 1 montrant une variante de réalisation pour la mise en oeuvre d'un procédé particulier selon l'invention.

[0009] Sur les figures 1 et 2 on a représenté une cuve thermiquement isolée 1 fermée par un couvercle thermiquement isolant 2 et définissant une chambre intérieure dans laquelle est disposé un bâti fixe avec notamment des colonnes de guidage 3 pour guider verticalement un châssis mobile 4.

[0010] Dans le procédé selon l'invention, une ébauche d'enveloppe 5 est accrochée par sa partie supérieure au couvercle 2 par l'intermédiaire d'un dispositif d'accrochage 6 et, de façon similaire, est accrochée par son extrémité inférieure au châssis mobile 4 par l'intermédiaire d'un dispositif d'attache 7 aligné verticalement avec le dispositif d'attache 6.

[0011] Selon l'invention, pour l'obtention d'une enveloppe sphérique 50 (figures 2 et 3) on part d'une ébauche 5 cylindro-conique constituée, dans l'exemple représenté, par assemblage ou soudage d'au moins une virole cylindrique centrale 8 et de deux portions d'extrémité tronconiques 9 chacune fermée par un disque plan transversal 10, toutes coaxiales d'axe 11. Comme on peut voir sur la figure 3, le profil hors tout de l'ébauche 5 est sensiblement inscrit dans un cercle de rayon légèrement inférieur, de l'ordre de 4 à 5% de celui de la sphère de l'enveloppe finale recherchée. Lors de la mise en pression, l'ébauche se transforme sous l'effet de la pression en une première sphère dans laquelle l'ébauche de départ s'inscrit. Les tailles de la virole cylindrique, des parties tronconiques et des disques sont calculées de manière à ce que la transformation en sphère résulte en une déformation du métal équivalente dans chaque portion de l'ébauche (taux d'écrouissage de l'ordre de 5 à 6 %). Selon la forme de l'enveloppe finale recherchée (sphérique ou quasi-sphérique), les moitiés tronconiques 9 et la virole cylindrique 8 peuvent avoir des proportions différentes. Afin de limiter les déformations initiales (transformation de l'ébauche en première sphère), la virole cylindrique 8 peut être réduite et les parties tronconiques 9 peuvent être dédoublées en deux troncs de cônes successifs. La mise en oeuvre du procédé selon l'invention est la suivante :

[0012] Les dispositifs d'attache 6 et 7 sont fixés sur les disques d'extrémité 10, coaxialement à l'axe 11, puis accrochés au couvercle 2 et au châssis mobile 4 en position haute dans ses colonnes ou glissières de guidage 3.

[0013] La cuve 1, ainsi que l'ébauche 5 sont remplies d'azote liquide 12 à la pression ambiante enveloppant complètement l'ébauche 5. De l'azote liquide est ensuite injecté, sous pression croissante, par une pompe 13, via une canalisation 14 passant dans le dispositif de suspension 6, pour pressuriser intérieurement l'ébauche 5. Celle-ci se déforme plastiquement, en s'arrondissant pour venir progressivement adopter la forme finale sphérique 50.

[0014] Les matériaux particulièrement adaptés sont ceux qui présentent, parmi les aciers inoxydables austénitiques, une bonne capacité de transformation martensitique. L'acier inoxydable austénitique AISI 301 présente les meilleures capacités à cette transformation martensitique et possède, une fois cryoformé, des caractéristiques de résistance mécanique élevées (de 1500 MPa à 1800 MPa). Dans le cas d'applications cryogéniques, l'acier inoxydable AISI 301 cryoformé peut présenter une fragilisation dans le cadre d'une utilisation au-dessous de 77 K. On préférera alors utiliser comme métal de base de l'acier inoxydable AISI 304 L qui présente une moins bonne aptitude au cryoformage (résistance mécanique de 1000 à 1200 MPa) mais qui, en contrepartie, permet une utilisation à 4 K. Les autres aciers inoxydables austénitiques de la série AISI 300 peuvent aussi être utilisés.

[0015] La taille de l'enveloppe finale est contrôlée par un dispositif de mesure afin de terminer la pressurisation lorsque la taille est souhaitée est atteinte. La durée de la pressurisation est variable en fonction du type de pompe utilisée, elle est typiquement de l'ordre de 30 à 45 minutes. La pression maximale en fin de formage peut varier de 50 bars à 800 bars en fonction de l'application finale visée. La concentricité des pôles 6 et 7 est garantie par le guidage 3, 4. Une fois la dimension finale atteinte, la pression est maintenue pendant environ 5 minutes puis l'enveloppe est dépressurisée rapidement jusqu'à la pression atmosphérique. La structure 2 est ensuite retirée du bain d'azote liquide 12 et l'enveloppe finale 50 vidangée de son azote liquide par balayage à l'azote gazeux. L'enveloppe 50 est ensuite démontée de la structure 2 pour pouvoir installer une nouvelle ébauche 5 et économiser ainsi le bain d'azote. L'enveloppe 50 remonte ensuite en température par convection naturelle.

[0016] Dans la variante illustrée sur la figure 4, un vérin à double action 15 est disposé entre le bâti fixe 1, 2 et le châssis mobile 4, par exemple via une structure de transmission de force en étrier 16. Les opérations sont similaires à celles décrites précédemment. Au cours de la pressurisation de l'ébauche 5 par de l'azote liquide, on applique en plus un effort avec le vérin 15 entre la structure 2 et le châssis 4, en traction ou en compression, permettant ainsi de modifier et ajuster le diamètre aux pôles 6 et 7 de l'enveloppe finale. Cette variante sera utilisée si l'application visée nécessite pour l'enveloppe finale des caractéristiques de résistance structurale en plus de sa résistance à la pression (application

de forces et de moments aux pôles durant l'utilisation). Par exemple, en augmentant le diamètre aux pôles 6 et 7, on augmentera la résistance au flambage de l'enveloppe finale dans l'axe de ces pôles.

[0017] Dans un exemple de réalisation, on réalise une sphère finale 50 d'un diamètre d'environ 1 mètre en acier inoxydable 304L d'épaisseur finale 1,62mm à partir d'une ébauche réalisée en tôles d'épaisseur 2 mm, avec la séquence suivante :

- pressurisation de l'ébauche immergée par de l'azote liquide jusqu'à une pression maximale d'environ 100 bars sur une période d'environ 45 minutes; on maintient la pression maximale pendant une durée de 5 minutes,
- puis on dépressurise l'enveloppe jusqu'à Pa, sur une période inférieure à 1 minute.

[0018] Le matériau de l'enveloppe ainsi formée présente une limite élastique d'environ 1000 MPa et une résistance à la rupture de l'ordre de 1200 MPa.

[0019] Dans un autre exemple, on réalise une sphère finale d'un diamètre de 700 mm en acier inoxydable 301 et d'épaisseur 4.1 mm à partir de tôles d'acier inoxydable 301 d'épaisseur 4.7 mm. Cette sphère est destinée à être utilisée comme réservoir de pressurisation hélium. La sphère a une pression de service de 240 bars à 100 K (hélium stocké à 100 K) et un coefficient de sécurité sur la rupture de 2.

[0020] Dans un dernier exemple, on réalise une sphère finale d'un diamètre de 660 mm et d'épaisseur 3.6 mm à partir de tôles d'acier inoxydable 301 d'épaisseur 4.1 mm. Cette sphère est destinée à être utilisée comme réservoir de pressurisation hélium. La sphère a une pression de service de 230 bars à 100 K (hélium stocké à 100 K) et un coefficient de sécurité sur la rupture de 2; son poids est équivalent à celui d'une sphère de même diamètre en alliage de titane TA5E-ELI.

[0021] Les caractéristiques mécaniques des enveloppes ainsi réalisées permettent de réaliser à moindre coût des réservoirs de gaz haute pression notamment des stockages d'hélium pour lanceur de satellite ou des réservoirs de xénon ou d'hélium pour satellites avec des performances similaires aux réservoirs en alliage de titane et ce pour des coûts, bien inférieurs. Le procédé est aussi particulièrement adapté à la réalisation de "liners" (enveloppe métallique interne assurant l'étanchéité et sur laquelle des fibres de Kevlar™, des fibres de verre et/ou le carbone sont bobinées) pour réservoirs composites bobinés, en se substituant ainsi avantageusement aux liners actuels qui sont réalisés en titane ou en aluminium et obèrent grandement le coût du réservoir finale, car ils sont usinés à partir d'ébauche matriquées. Selon les formes finales requises, au moins une matrice de conformage final peut être disposée, dans la cuve 1, autour d'une zone de l'ébauche pour imposer à cette dernière, lors de son expansion, le profil général de la matrice.

Revendications

1. Procédé de formage d'enveloppe sensiblement sphérique par pressurisation interne à une température cryogénique d'une ébauche d'enveloppe, caractérisé en ce que l'ébauche (5) est constituée sous forme d'au moins deux portions développables (9, 101, 8) coaxiales réalisées à partir de tôles. 5
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'ébauche est constituée sous formes d'au moins trois portions de révolution développables coaxiales. 10
3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisée en ce que l'ébauche (5) est pressurisée intérieurement par de l'azote liquide sous pression (13). 15
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisée en ce que l'ébauche (5) est immergée dans un bain (12) d'azote liquide. 20
5. Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisée en ce que la déformation en expansion de l'ébauche est guidée (4,3). 25
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'ébauche (5) est suspendue à un point haut fixe (6) et a son extrémité inférieure solidaire d'un châssis mobile (4) guidé à coulissement. 30
7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on sollicite en outre (15) le châssis mobile (14) parallèlement à l'axe de l'ébauche (5) pendant la pressurisation de cette dernière. 35
8. Enveloppe obtenue par un procédé selon l'une des revendications précédentes. 40
9. Enveloppe selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en acier inoxydable austénitique. 45
10. Enveloppe selon la revendication 9, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en acier inoxydable de la série AISI 300. 50
11. Enveloppe selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisée en ce qu'elle est entourée d'un bobinage d'au moins une fibre choisie dans le groupe comprenant le Kevlar, la fibre de verre ou le carbone. 55
12. Utilisation d'une enveloppe selon les revendications 8 à 11 comme réservoir de gaz embarqué.

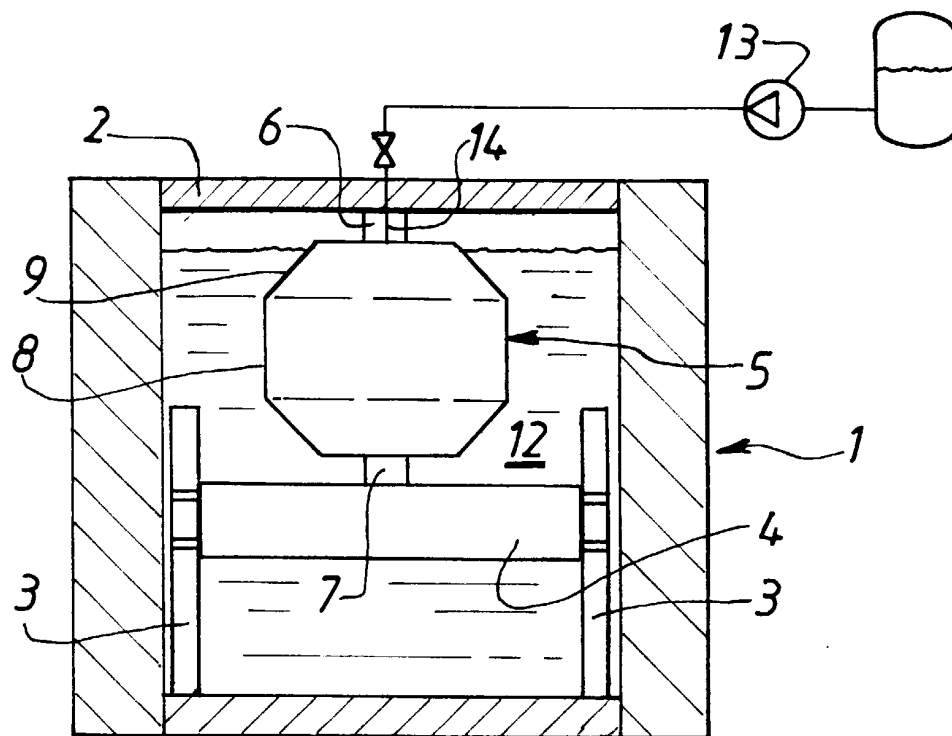


FIG. 1

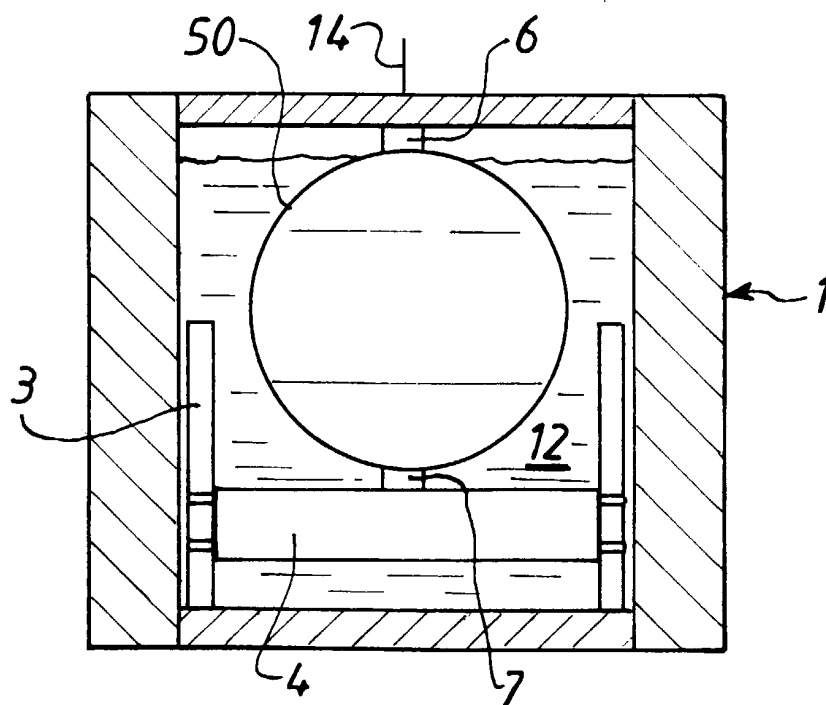


FIG. 2

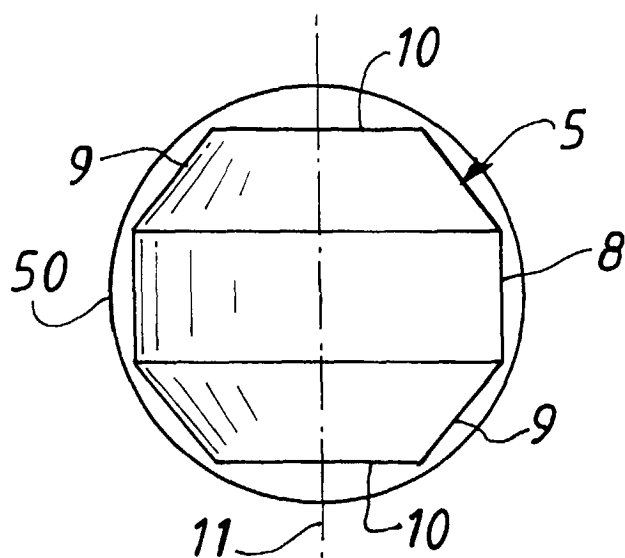


FIG. 3

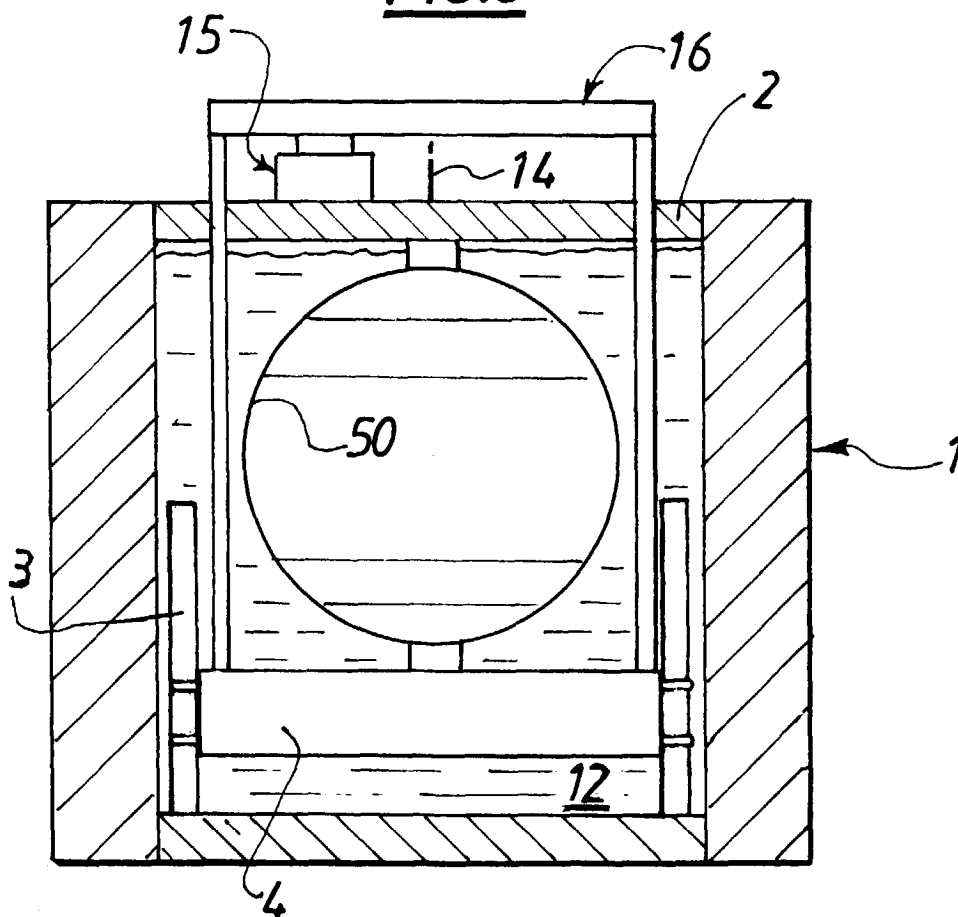


FIG. 4



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 00 40 0185

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	US 3 805 567 A (AGIUS SINERCO J) 23 avril 1974 (1974-04-23) * le document en entier *	1,8	B21D26/02 B21D51/24
A	FR 2 228 551 A (ETA SA) 6 décembre 1974 (1974-12-06) * le document en entier *	1,8	
A	FR 1 187 964 A (THOMSON) 17 septembre 1959 (1959-09-17)	1,8	
A	WO 86 03436 A (DYNATRANS TECHNOLOGY LTD) 19 juin 1986 (1986-06-19) * le document en entier *	1,8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			B21D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 27 avril 2000	Examineur Peeters, L
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 00 40 0185

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.

27-04-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3805567 A	23-04-1974	BE 788517 A CA 983834 A CA 983835 A DE 2243984 A FR 2152682 A GB 1413146 A JP 48036063 A NL 7212190 A	07-03-1973 17-02-1976 17-02-1976 05-04-1973 27-04-1973 05-11-1975 28-05-1973 09-03-1973
FR 2228551 A	06-12-1974	AUCUN	
FR 1187964 A	17-09-1959	AUCUN	
WO 8603436 A	19-06-1986	SE 447707 B EP 0203988 A SE 8406352 A	08-12-1986 10-12-1986 14-06-1986

EPO FORM P0460

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