



(11)

EP 4 092 371 A1

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.11.2022 Bulletin 2022/47

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F28D 15/04 ^(2006.01) **F28D 15/02** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22174302.4**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F28D 15/0233; F28D 15/0275; F28D 15/0283;
F28D 15/04; F28D 15/046; F28F 2220/00

(22) Date de dépôt: **19.05.2022**

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

(72) Inventeurs:

- **MOHAUPT, Mikael**
7181 FELUY (BE)
- **VAN OOST, Stéphane**
1331 ROSIERES (BE)
- **HARIVEL, Quentin**
1472 VIEUX GENAPPE (BE)

(30) Priorité: 20.05.2021 FR 2105276

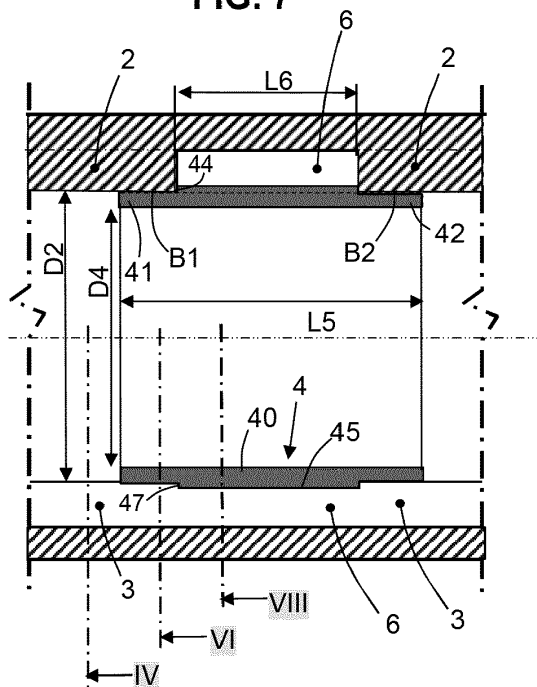
(74) Mandataire: **Plasseraud IP**
66, rue de la Chaussée d'Antin
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(71) Demandeur: **Euro Heat Pipes**
1400 Nivelles (BE)

(54) **CALODUC À PERFORMANCE AMÉLIORÉE SOUS DIVERSES RÉPARTITIONS DE CHARGES THERMIQUES**

(57) Caloduc (1) comprenant un corps profilé (10) extrudé, avec un corps creux fermé aux extrémités, rempli d'un volume prédéfini de fluide de travail diphasique, avec une pluralité de canaux longitudinaux (3), chacun ayant une section délimitée par un fond (76) formé par une paroi tubulaire périphérique (75) du corps profilé, et latéralement par deux murets longitudinaux (2). Il est prévu, à une position le long du parcours longitudinal (PX) et/ou à une extrémité, un canal circonférentiel de transfert (6), agencé transversalement à la direction axiale locale (X), qui met en communication fluide les canaux longitudinaux entre eux, les murets longitudinaux étant interrompus, partiellement ou totalement, à l'endroit du canal circonférentiel, avec utilisation optionnelle d'une bague de fermeture (4).

FIG. 7



Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne les caloducs, appareils de transfert thermique, notamment pour le refroidissement d'un organe chauffant.

Contexte

[0002] Un caloduc comprend généralement un canal axial central dans lequel se déplace du fluide de travail sous forme de vapeur, et des rainures longitudinales s'étendant axialement et autour du canal axial central, destinées à faire avancer le fluide de travail sous forme de liquide selon une direction opposée à celle de la vapeur.

[0003] Dans le cas d'une charge thermique non régulièrement répartie autour du caloduc, les rainures travaillent de manière très différenciée et les rainures les plus sollicitées peuvent s'assécher alors que les autres ne travaillent que faiblement. Ce phénomène peut également être la conséquence d'une répartition inégale et évolutive des sources chaudes et froides le long du caloduc, comme c'est fréquemment le cas dans un grand nombre de cas d'application des caloducs (réseaux de caloducs, étalement de chaleur sur les radiateurs, uniformisation de la température sur une surface relativement grande, etc ...)

[0004] Ce constat amène en pratique à surdimensionner le caloduc pour éviter un assèchement de rainure dans le cas d'un chargement thermique non régulièrement réparti, voire qui peut évoluer avec le temps.

[0005] Les inventeurs ont cherché à améliorer cette situation.

Exposé de l'invention

[0006] A cet effet, il est proposé un caloduc (1) configuré pour être utilisé sous gravité faible ou nulle, comprenant un corps profilé (10) obtenu généralement par extrusion, ledit corps profilé s'étendant le long d'un parcours longitudinal (PX), ledit corps profilé formant un corps creux fermé à au moins deux extrémités par des éléments de fermeture, formant ainsi un espace intérieur isolé hermétiquement de l'environnement extérieur, et rempli d'un volume prédéfini de fluide de travail diphasique,

ledit corps profilé comprenant une pluralité de canaux longitudinaux (3) (réalisés en pratique comme des rainures longitudinales), chacun desdits canaux ayant une section délimitée par un fond (76) formé par une paroi tubulaire périphérique (75) du corps profilé, et latéralement par deux murets longitudinaux (2) qui s'étendent radialement vers l'intérieur depuis la paroi tubulaire périphérique, les canaux longitudinaux entourant un canal axial (15) (con-

voyant de la vapeur), les canaux longitudinaux étant ouverts en direction du canal axial, caractérisé en ce qu'il est prévu, à au moins une première position (P1) le long du parcours longitudinal (PX), un canal circonférentiel de transfert (6), agencé transversalement à la direction axiale locale (X), et mettant en communication fluide tout ou partie de la pluralité des canaux longitudinaux entre eux, et en ce que les murets longitudinaux sont interrompus, partiellement ou totalement, à l'endroit du canal circonférentiel.

[0007] Grâce à ces dispositions, le canal circonférentiel de transfert permet de faire contribuer les rainures voisines de la ou des rainures les plus sollicitées, pour la fonction d'alimentation en fluide liquide. Du liquide transite par le canal circonférentiel de transfert depuis une rainure moins sollicitée vers une rainure plus sollicitée. On contribue ainsi à repousser les limites de charge thermique qui pourraient conduire à un assèchement partiel ou total d'une ou plusieurs rainures, les plus sollicitées. Les parties les plus sollicitées thermiquement sont celles où le flux/débit de vaporisation est le plus important.

[0008] Il faut noter que le parcours longitudinal (PX) peut être rectiligne ou non rectiligne. Si le parcours n'est pas rectiligne, la direction axiale est donc locale et non une direction absolue.

[0009] Il faut noter que le canal circonférentiel de transfert (6) se présente généralement comme un passage annulaire. En pratique, il se présente souvent comme une gorge annulaire.

[0010] Il faut noter que les canaux longitudinaux sont réalisés comme des rainures longitudinales, obtenues généralement par extrusion et venues de matière avec le corps profilé principal.

[0011] Il faut noter que le canal circonférentiel de transfert peut mettre en communication fluide tous les canaux longitudinaux, auquel le passage annulaire fait en effet un tour complet. Mais il n'est pas exclu que dans des configurations particulières avec des charges thermiques connues à l'avance, le canal circonférentiel de transfert mette en communication fluide les canaux longitudinaux sur la moitié de la circonférence (un demi-tour seulement) ou sur une ou plusieurs plages angulaires quelconques.

[0012] Il faut noter que la section des canaux longitudinaux peut présenter diverses formes possibles, le fond n'étant pas forcément plat, les murets n'étant pas forcément droits. Dans un exemple particulier la section des canaux longitudinaux présente une concavité générale. Dans un exemple particulier la section des canaux longitudinaux peut être généralement en arc de cercle ou en arc d'ovale. Dans un exemple particulier, la section des canaux longitudinaux peut être trapézoïdale.

[0013] Dans divers modes de réalisation de l'invention concernant le procédé, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions

suivantes, prises isolément ou en combinaison.

[0014] Selon une option, le canal circonférentiel de transfert fait tout le tour et met en communication fluide tous les canaux longitudinaux. Ceci permet d'avoir un comportement homogène et prédictible quelle que soit la répartition de chargement sur le pourtour du caloduc. Quelle que soit la partie la plus chargée thermiquement de la circonférence, la ou les rainures les plus sollicitées thermiquement reçoivent du liquide complémentaire en provenance des autres rainures via le canal circonférentiel de transfert.

[0015] Selon une option, on peut prévoir plusieurs canaux circonférentiels de transfert, agencés les uns à la suite des autres dans le sens longitudinal. Moyennant quoi, on peut multiplier l'effet de redistribution de liquide et augmenter la pression capillaire sur toute une zone.

[0016] Selon une option, selon des dimensions particulières de rainure, en particulier des rainures circonférentielles fines par exemple, on peut se passer de la bague de couverture dont il est question juste après ici.

[0017] Selon une option, le canal circonférentiel de transfert peut être délimité radialement vers l'intérieur par une bague de couverture, la bague de couverture étant alors interposée entre le canal circonférentiel de transfert et le canal axial. Avantagusement, la présence de la bague de couverture permet de favoriser la formation de ménisque de liquide sur sa paroi et les parois de murets adjacents. La présence de la bague de couverture permet d'augmenter la pression capillaire à cette position axiale du caloduc. Avantagusement, la conception de la bague est optimisée pour limiter les pertes de charges locales dans l'écoulement longitudinal, sur le liquide ou sur la vapeur.

[0018] Selon une option, le canal circonférentiel peut être agencé à une position intermédiaire, les murets (2) étant interrompus sur une longueur (L6) prédéfinie à cet endroit. Ainsi, pour un canal circonférentiel en position intermédiaire, on peut le réaliser comme passage annulaire moyennant une opération d'enlèvement de matière avec un outil de révolution comme une fraise centrifuge, ou par électro-érosion ou autre technique générale d'usinage.

[0019] Selon une option, à l'endroit du canal circonférentiel, la matière des murets (2) est enlevée de préférence sur une hauteur (H6) comprise entre 50% et 100% de la hauteur (H2) des murets.

[0020] Selon une option, à l'endroit du canal circonférentiel, il reste une semelle de muret sur une hauteur résiduelle (H7) comprise entre 0% et 50% de la hauteur normale (H2) des murets. La conservation d'une semelle de muret permet de garder des lignes de contact longitudinales pour canaliser le liquide par capillarité nonobstant la présence du canal circonférentiel de transfert.

[0021] Selon une option, les murets peuvent comprendre une première zone de portée (B1) pour recevoir une première extrémité longitudinale de la bague de couverture (4) et une deuxième zone de portée (B2) pour recevoir une deuxième extrémité longitudinale de la bague

de couverture. Moyennant quoi la bague est maintenue bien en place sur les zones de portée par rapport aux murets, de part et d'autre du canal circonférentiel de transfert.

5 **[0022]** Selon une option, la bague de couverture (4) peut comprendre une surépaisseur centrale (45) formant un épaulement radialement extérieur reçu entre les murets à l'endroit des première et deuxième zones de portée (B1, B2). Ceci est une solution simple et robuste, car en
10 effet l'usinage de la gorge annulaire est relativement simple à réaliser et on peut obtenir une telle bague avec surépaisseur par tournage/décolletage standard.

[0023] Selon une option, la bague de couverture (4) peut avoir une épaisseur constante et les première et
15 deuxième zones de portée sont alors formées comme des méplats (14) en retrait du sommet des murets. Moyennant l'utilisation d'une fraise adaptée ou de deux passes d'usinage pour former le canal circonférentiel, la bague est alors un simple cylindre obtenu par sciage d'un
20 tube, composant très bon marché.

[0024] Selon une option, la bague de couverture (4) peut être réalisée dans un matériau déformable, soit dans le domaine élastique soit dans le domaine plasti-
25 que, de manière que la bague de couverture peut être introduite depuis une extrémité du corps profilé jusqu'aux première et deuxième zones de portée, de sorte qu'en position cible la bague de couverture ferme le canal circonférentiel de transfert radialement vers l'intérieur. A la position cible, on relâche l'effort élastique ou on pratique
30 un effort plastique (déformation) vers l'extérieur pour réaliser le positionnement définitif.

[0025] Selon une option, la première position (P1) est choisie au voisinage d'une portion d'évaporation (71) du caloduc couplé à une source chaude (81). Ainsi on opti-
35 mise l'effet de l'égalisation des pressions de la phase liquide dans les canaux longitudinaux au plus près de la zone où il convient d'éviter l'assèchement sous forte charge thermique.

[0026] Selon une option, la première position (P1) est une position intermédiaire sur le parcours longitudinal. Ladite position intermédiaire étant quelconque sur le par-
40 cours longitudinal, on a ainsi toute liberté de positionner le canal circonférentiel de transfert (ou les canaux circonférentiels) au plus près du besoin.

45 **[0027]** Selon une option, la première position (P1) est une position d'extrémité sur le parcours longitudinal. Dans cette configuration, il est plus aisé d'enlever de la matière sur les murets pour former la gorge annulaire formant le canal de transfert.

50 **[0028]** Selon une option, le canal circonférentiel est formé dans un bouchon d'extrémité (5) fixé à une extrémité du corps profilé. Dans cette configuration, on ne pratique aucune opération de reprise sur le corps profilé issu d'extrusion. La complexité des formes et de la fixation est portée par le bouchon d'extrémité.

[0029] Selon une option, il est prévu un ou plusieurs autres canaux circonférentiels sur le parcours, à des positions axiales distinctes et différentes de la première po-

sition. Les multiples positions peuvent être déterminées avantageusement en fonction de l'application ou être réparties régulièrement dans le sens longitudinal, sur la totalité ou une partie du caloduc.

[0030] Selon une option, le caloduc peut comprendre une combinaison de canaux circonférentiels, certains agencés en position longitudinale intermédiaire et certains agencés en position d'extrémité. Autrement dit, il n'y a pas d'incompatibilité à faire coexister plusieurs canaux circonférentiels de type différent.

[0031] Selon une option, le caloduc peut comprendre une combinaison de différents types de canaux circonférentiels. Par exemple on peut avoir des canaux annulaires (360°) du côté du condenseur mais aussi des canaux partiellement annulaires (<360°) du côté de l'évaporateur. Si le chargement thermique est connu on peut adapter les canaux circonférentiels pour optimiser les performances thermo-hydrauliques.

[0032] Selon une option, il peut être prévu une pluralité de canaux circonférentiels sur le parcours, à des positions (P2,P3,P4) axiales régulièrement espacées, avec un pas prédéterminé, par exemple tous les 300 mm. Ceci permet d'égaliser les pressions de la phase liquide dans toutes les rainures à intervalles réguliers le long du caloduc.

[0033] Selon une option, il peut être prévu sur le parcours du caloduc, une ou plusieurs intersections, avec deux canaux circonférentiels agencés de part et d'autre de chaque intersection. Ainsi on minimise l'effet a priori néfaste de l'intersection du point de vue de la continuité hydraulique entre les canaux.

[0034] Selon une option, le caloduc peut se présenter comme un objet en trois dimensions. Il s'étend en alors dans l'espace dans les trois dimensions cartésiennes et pas seulement dans un plan. Avantageusement on obtient ainsi une liberté totale de design et configuration pour répondre parfaitement à toutes les applications possibles.

[0035] Avantageusement dans les solutions proposées, il n'y a pas de couche poreuse, de masse poreuse, ou de revêtement poreux dans les caloducs proposés, ni ponctuellement ni généralement sur la longueur du caloduc. Dit autrement, les caloducs proposés sont dépourvus de matériau poreux capillaire destiné à assurer un pompage capillaire.

Description des figures

[0036] D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif. L'invention sera également mieux comprise en regard des dessins joints sur lesquels :

La figure 1 représente schématiquement un caloduc couplé à une source chaude d'un côté et à une source froide du côté opposé.

La figure 2 représente schématiquement un caloduc couplé à une source chaude dans une position intermédiaire d'un côté et couplé à 2 sources froides aux extrémités.

La figure 3 représente schématiquement un caloduc couplé à une source froide continue sur la longueur, en partie supérieure du caloduc, et couplé à des sources chaudes en partie inférieure du caloduc, dans une configuration dite 'Heat Spreader'.

La figure 4 représente une section transversale générale du corps profilé selon un mode de réalisation, selon la ligne de coupe IV illustrée à la figure 7.

La figure 5 représente une section longitudinale du corps profilé.

La figure 6 montre une section transversale du caloduc au voisinage du canal circonférentiel de transfert, selon la ligne de coupe VI illustrée à la figure 7. La figure 7 représente une section longitudinale du caloduc à l'endroit du canal circonférentiel de transfert.

La figure 8 montre une section transversale du caloduc à l'endroit du canal circonférentiel de transfert, selon la ligne de coupe VIII illustrée à la figure 7.

La figure 9 représente une demi-coupe longitudinale du caloduc à l'endroit du canal circonférentiel de transfert.

La figure 10 est analogue à la figure 7 et représente pour une variante de réalisation, une section longitudinale du caloduc à l'endroit du canal circonférentiel de transfert.

La figure 11 montre une section transversale du caloduc, selon la ligne de coupe XI illustrée à la figure 12.

La figure 12 représente une section longitudinale du caloduc au voisinage d'une extrémité avec un bouchon rapporté, selon la ligne de coupe XII illustrée à la figure 11.

La figure 13 déclinée selon les figures 13A, 13B, 13C représente diverses formes du ménisque de la phase liquide du fluide de travail à l'intérieur d'un canal longitudinal.

La figure 14 déclinée selon les figures 14A, 14B représente diverses formes du ménisque de la phase liquide du fluide de travail à l'intérieur du canal circonférentiel de transfert.

La figure 15 représente, dans une variante de réalisation, une section longitudinale du caloduc au voisinage d'une extrémité, avec un bouchon rapporté.

La figure 16 représente une section transversale du corps profilé selon un second mode de réalisation.

La figure 17 illustre plus en détail un exemple de géométrie du canal longitudinal et des murets qui le bordent.

La figure 18 illustre l'exemple de parcours général d'un caloduc dans lequel l'invention peut être mise en œuvre.

La figure 19 représente une demi-coupe longitudinale du caloduc au voisinage d'un raccordement à

angle droit avec 2 canaux circonférentiels de transfert.

La figure 20 représente une demi-coupe longitudinale du caloduc au voisinage d'un raccordement en croix avec 4 canaux circonférentiels de transfert.

Description détaillée

[0037] Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires. Pour des raisons de clarté de l'exposé, certains éléments ne sont pas nécessairement représentés à l'échelle.

[0038] Sur la figure 1, il est représenté un caloduc **1** qui prélève des calories depuis une source chaude **81** et les rejette vers une source froide **82**. La source chaude **81** est en contact avec le caloduc au niveau d'une portion d'évaporation **71**. La source froide **82** est en contact avec le caloduc au niveau d'une portion de condensation **72**.

[0039] Le caloduc **1** se présente comme un dispositif allongé fermé à une première extrémité **11** par un élément de fermeture **50**, et à une deuxième extrémité **12** par un deuxième élément de fermeture **50**.

[0040] Sur la figure 2, un autre exemple est illustré où le caloduc reçoit les calories dans une portion intermédiaire et rejette les calories dans deux portions d'extrémité.

[0041] Sur la figure 3, un autre exemple est illustré où le caloduc reçoit les calories d'un côté de l'axe du caloduc (par-dessous dans l'exemple illustré) et rejette les calories de l'autre côté de l'axe du caloduc (par-dessus dans l'exemple illustré). Il s'agit d'une configuration connue dans le métier sous le vocable « Heat Spreader ».

[0042] Le caloduc **1** se comprend généralement un canal axial central **15** dans lequel se déplace du fluide de travail sous forme de vapeur, et des rainures longitudinales s'étendant axialement et autour du canal axial central. Comme illustré aux figures 4 et 5, les rainures longitudinales, aussi appelées canaux longitudinaux **3** sont destinées à faire avancer le fluide de travail sous forme de liquide selon une direction opposée à celle de la vapeur.

[0043] Le caloduc **1** est configuré pour être utilisé sous gravité faible ou nulle. Par exemple ce type de caloduc est utilisé dans les engins et appareils envoyés dans l'espace. En particulier, ce type de caloduc est utilisé dans les satellites de communication, les satellites de surveillance, les satellites ayant tous types d'autres fonctions. Le caloduc **1** peut être utilisé en apesanteur totale ou dans une situation de gravité faible par exemple à la surface d'un corps céleste comme la Lune ou Mars. Le caloduc **1** peut être utilisé avec une pression extérieure nulle ou très basse.

Profilé de base

[0044] Le caloduc **1** comprend un corps profilé **10** obtenu par extrusion. Des opérations complémentaires peuvent être réalisées comme il sera vu plus loin. Tou-

tefois, l'opération d'extrusion est l'opération principale de la fabrication. Grâce à une presse, on pousse un alliage d'aluminium au travers d'une filière ayant les formes désirées pour obtenir le corps profilé en sortie de filière.

[0045] Dans l'exemple illustré aux figures 4 à 11, le corps profilé forme un corps creux qui délimite un espace intérieur isolé hermétiquement de l'environnement extérieur, et qui va être mis à contribution pour contenir du fluide de travail.

[0046] Le corps profilé présente une section, qui après extrusion, s'étend à l'identique le long de l'axe longitudinal noté **X**. Le corps profilé pourra ensuite être cintré, de sorte que le caloduc fini n'est pas nécessairement rectiligne.

[0047] D'une façon générale, le corps profilé **10** s'étend le long d'un parcours longitudinal **PX**. Le parcours longitudinal **PX** peut être rectiligne ou courbe.

[0048] La longueur du parcours **PX** peut être comprise entre 0,5 mètre et 10 mètres.

[0049] Le corps profilé **10** comporte une paroi tubulaire périphérique **75**, à partir de laquelle s'étendent radialement vers l'extérieur, deux pieds **16,17** diamétralement opposés. Ces pieds se terminent chacun par un plan d'appui adapté pour échanger des calories avec la source froide ou chaude **82, 81**.

[0050] Dans une autre configuration, il ne pourrait y avoir qu'un seul pied et un seul plan d'appui pour couplage thermique, un pied conçu pour intégrer des fonctions d'intégration ou des fonctions mécaniques, ou pas de pied du tout.

[0051] Dans une autre configuration, il pourrait avoir quatre plans d'interface, et dans un cas particulier la délimitation extérieure du corps pourrait être substantiellement carrée ou totalement cylindrique.

[0052] Dans encore une autre configuration, les éléments de couplage thermique pourraient être distincts et rajoutés, comme illustré à la figure 16. Dans ce cas, le profilé est généralement de révolution autour de l'axe **X**, avec à l'intérieur une répétition du motif [rainure + muret] dans la direction circonférentielle.

[0053] Le corps profilé comprend une pluralité de canaux longitudinaux **3**. En pratique, les canaux longitudinaux sont réalisés comme des rainures longitudinales.

[0054] Chacun desdits canaux longitudinaux présente une section délimitée par un fond **76** formé par une paroi tubulaire périphérique **75** du corps profilé, et latéralement par deux murets longitudinaux **2** qui s'étendent radialement vers l'intérieur depuis la paroi tubulaire périphérique.

[0055] Les canaux longitudinaux entourent le canal axial central **15** convoyant de la vapeur. Les canaux longitudinaux **3** généralement sont ouverts en direction du canal axial,

[0056] Dans l'exemple illustré, nous avons seize murets longitudinaux **2** et seize canaux longitudinaux **3**. D'une manière générale, le nombre de canaux longitudinaux est compris entre 6 et 48.

[0057] Les canaux longitudinaux **3** sont disposées an-

nulairement autour de l'axe. Toutefois, des dispositions non circulaires sont aussi possibles.

[0058] La paroi tubulaire périphérique **75** présente un diamètre extérieur primitif **D0**. **D0** peut être compris entre 3 millimètres et 50 millimètres.

[0059] Le diamètre **D1** représente la dimension intérieure de la paroi tubulaire périphérique **75**, autrement dit le diamètre pris au niveau du fond des rainures.

[0060] Le diamètre **D2** représente la dimension intérieure du canal axial, autrement dit le diamètre du cercle circonscrit passant par le sommet **77** des murets.

[0061] On remarque que tout du long du corps profilé, l'espace intérieur est parfaitement isolé hermétiquement de l'environnement extérieur, car le profilé est monobloc et venu de matière d'extrusion, il entoure de matière continue l'espace intérieur, sans orifice.

[0062] Ainsi, la problématique d'étanchéité doit être gérée uniquement au niveau des extrémités longitudinales **11**, **12**. On verra plus loin le cas des raccordements d'aboutage de profilé à profilé.

[0063] Le fluide de travail peut être de l'ammoniac, du propylène, du méthanol ou tout autre média présentant un équilibre liquide vapeur en condition de saturation aux pressions d'utilisation définie par la température. On introduit une quantité prédéterminée de fluide de travail au travers d'un des éléments d'extrémité équipé d'un orifice de remplissage scellable. La pression régnant dans l'espace intérieur du caloduc peut aller de 0.1 bar jusqu'à plusieurs dizaines de bars.

[0064] La quantité prédéterminée de fluide de travail est définie pour avoir de préférence un excès de liquide limité du côté froid/condenseur, i.e. les rainures sont totalement remplies et cas échéant, emplissent l'extrémité du canal axial, côté froid.

[0065] Il faut noter que la section des canaux longitudinaux **3** peut présenter toute forme adaptée, le fond **76** n'étant pas forcément plat, les murets n'étant pas forcément droits. Dans un préféré, la section des canaux longitudinaux présente une concavité générale. Dans un exemple particulier, la section des canaux longitudinaux peut être généralement en arc de cercle ou en arc d'ovale, ou encore une forme de goutte ouverte vers le canal axial **15**. Dans l'exemple illustré aux figures, la section se présente comme une section trapézoïdale.

Passage/canal circonférentiel

[0066] Avantagusement, on prévoit au moins un canal circonférentiel de transfert **6**, agencé transversalement à la direction axiale locale. Le canal circonférentiel de transfert **6** se situe à une première position **P1** le long du parcours longitudinal **PX**.

[0067] Nous verrons ci-après plusieurs possibilités pour cette position **P1** le long du parcours longitudinal **PX**.

[0068] Le canal circonférentiel de transfert **6** met en communication fluide tous les canaux longitudinaux entre eux. Plus généralement Le canal circonférentiel de transfert **6** met en communication tout ou partie de la

pluralité des canaux longitudinaux entre eux.

[0069] Le canal circonférentiel de transfert **6** se présente généralement comme un passage annulaire. En pratique, il se présente souvent comme une gorge annulaire, qui fait un anneau complet (360°) sans exclure pour autant une ouverture angulaire plus faible.

[0070] En se référant aux figures **7**, **10** et **17**, on remarque que les murets longitudinaux **2** sont interrompus à l'endroit du canal circonférentiel **6**. La matière des murets a été enlevée sur une profondeur **H6**. Le long de l'axe **X**, le canal circonférentiel de transfert **6** présente une longueur axiale **L6**.

[0071] La longueur axiale **L6** du canal circonférentiel peut être, comme dans l'exemple illustré, supérieure à la hauteur **H2** des rainures.

[0072] Dans d'autres configurations, la longueur axiale **L6** du canal circonférentiel peut être inférieure à la hauteur **H2** des rainures.

[0073] Dans l'exemple illustré, une partie du muret n'a pas été enlevée (ceci correspond à la hauteur résiduelle **H7 = H2 - H6**).

[0074] Par exemple, **H6** peut être compris entre 50% et 100% de la hauteur **H2**. Par exemple, **H6** peut être compris entre 70% et 100% de la hauteur **H2**.

[0075] Dans d'autres configurations, on pourrait enlever toute la hauteur du muret (donc **H7=0**).

[0076] En pratique, il reste une semelle de muret sur une hauteur résiduelle **H7** comprise entre 0% et 50% de la hauteur **H2** des murets. La conservation d'une semelle de muret permet de garder des lignes de contact longitudinales pour canaliser le liquide par capillarité nonobstant la présence du canal circonférentiel de transfert.

[0077] On note qu'il peut être prévu plusieurs canaux circonférentiels de transfert, agencés les uns à la suite des autres dans le sens longitudinal **X**. On pourrait prévoir de réaliser une telle succession assez serrée de canaux transverses de petite dimension longitudinal (**L6** petit).

[0078] On remarque qu'il n'y a pas de couche poreuse, de masse poreuse, ou de revêtement poreux dans le ou les canaux circonférentiels de transfert, ni ponctuellement ni généralement sur la longueur du caloduc. Les caloducs proposés sont dépourvus de matériau poreux capillaire destiné à assurer un pompage capillaire et donc faciles à fabriquer.

Bague de couverture

[0079] Selon une option avantageuse, le canal circonférentiel de transfert **6** est délimité radialement vers l'intérieur par une bague de couverture **4**. La bague de couverture **4** est interposée entre le canal circonférentiel de transfert et le canal axial. La bague de couverture **4** ferme le canal circonférentiel de transfert **6** radialement vers l'axe **X**.

[0080] La bague de couverture **4** se présente généralement comme un corps tubulaire **40**, autrement appelé manchon.

[0081] La bague de couverture **4** présente une longueur axiale **L5**. La longueur axiale **L5** de la bague de couverture est en pratique choisie un peu plus grande que la longueur axiale **L6** du canal circonférentiel.

[0082] L'épaisseur radiale **E5** de la bague de couverture, au niveau du canal circonférentiel de transfert est comprise entre 0.1 millimètre et 1 millimètre.

[0083] En position d'utilisation, le diamètre interne de la bague est noté **D4**.

[0084] Le diamètre externe de la bague au niveau du canal circonférentiel est noté **D5**.

[0085] La bague de couverture **4** peut être réalisée dans un matériau déformable, soit dans le domaine élastique soit dans le domaine plastique, afin de pouvoir être installée en position pour couvrir et fermer radialement le canal circonférentiel **6**.

[0086] Selon l'option de déformation élastique, on contraint la bague radialement vers l'intérieur puis on l'insère par enfillement à l'intérieur du canal axial et une fois arrivée à la bonne position axiale (position cible), on libère la contrainte élastique, ce qui conduit à une expansion et au positionnement définitif.

[0087] Selon l'option de déformation plastique, on choisit un diamètre initial de la bague légèrement inférieur à **D2**, puis on insère la bague par enfillement à l'intérieur du canal axial et une fois arrivée à la bonne position axiale (position cible), on provoque une expansion radiale par introduction d'un outil déformable. Alors la bague de couverture vient plaquer contre les murets ou les portées/méplats prévus à cet effet.

[0088] Pour recevoir la bague de couverture dans la zone du canal circonférentiel, on aménage une première zone de portée **B1** pour recevoir une première extrémité longitudinale **41** de la bague de couverture **4** et une deuxième zone de portée **B2** pour recevoir une deuxième extrémité longitudinale **42** de la bague de couverture.

[0089] Selon une première solution, illustrée aux figures 7 et 9, la bague de couverture **4** peut comprendre une surépaisseur centrale **45** formant un épaulement radialement extérieur **47**. La surépaisseur centrale **45** est reçue entre les murets sur des fronts d'arrêt **44** à l'endroit des première et deuxième zones de portée.

[0090] Dans cette configuration on remarque que $D4 < D2 < D5$.

[0091] Selon une seconde solution, illustrée à la figure 10, la bague de couverture présente une épaisseur constante **E4** et les première et deuxième zones de portée **B1**, **B2** sont formées comme des méplats **14** en retrait du sommet des murets.

[0092] On remarque que dans ce cas, le diamètre **D4** est plus grand que **D2**, i.e. la bague est radialement en retrait du sommets **77** des murets.

[0093] Les méplats **14** sont obtenus par enlèvement de matière.

[0094] La bague de couverture forme une ligne de contact supplémentaire qui augmente la pression capillaire au niveau du canal circonférentiel **6**. Ainsi la pression capillaire au niveau du canal circonférentiel **6** est supé-

rieure à la pression capillaire le long des canaux longitudinaux **3**. La bague permet la récupération totale de la section hydraulique au niveau du canal circonférentiel pour assurer la continuité de l'écoulement liquide.

Bouchon

[0095] Dans le cas d'extrémité de caloduc standard, on a des éléments de fermetures **50** qui viennent simplement fermer le corps profilé. La présente invention prévoit toutefois d'utiliser les éléments de fermetures de manière astucieuse.

[0096] Selon un mode de réalisation, le canal circonférentiel est formé dans un bouchon d'extrémité **5** fixé à une extrémité du corps profilé.

[0097] Selon une première solution de bouchon, illustrée à la figure 12, le bouchon comprend un manchon intérieur **51** et un disque de fermeture **52**. On vient souder/sceller le disque sur l'extrémité du corps profilé **10** au niveau d'un joint **53** hermétique de fixation solide. Le disque de fermeture **52** est assez épais pour résister à la pression interne. En revanche, le manchon intérieur **51** ne supporte aucun effort substantiel, et il suffit que la longueur axiale **L65** du manchon soit supérieur à la longueur axiale **L6** du canal circonférentiel, pour venir affleurer sur les sommets **77** des murets **2**.

[0098] Le canal circonférentiel **6** est obtenu par enlèvement de matière des murets sur leur portion d'extrémité. Cet usinage est relativement standard, il suffit d'introduire une fraise au diamètre prescrit axialement dans la portion d'extrémité du corps **10**.

[0099] Selon une seconde solution de bouchon, illustrée à la figure 15, le bouchon comprend un manchon intérieur **51**. Le manchon intérieur **51** peut être distinct du disque de fermeture **52** ou bien réalisé selon une logique de monopiece. Lorsqu'il est distinct, le manchon intérieur **51** est reçu dans un logement circulaire **57** de fond du disque de fermeture, et se présente comme une pièce facile à obtenir : manchon tubulaire simple.

[0100] Là aussi on prévoit un joint de fermeture étanche **53** qui relie la virole extérieure **54** du bouchon **5** au corps profilé **10**.

[0101] On note qu'ici aussi les murets **2** longitudinaux sont interrompus à l'endroit du canal circonférentiel. La limite extérieure du canal circonférentiel est formée par une épaisseur **56** du bouchon faisant saillie radialement vers l'intérieur.

Fonctionnement et autres particularités

[0102] Dans une situation d'apesanteur, les forces de gravité sont négligeables vis-à-vis des forces engendrées par le phénomène de capillarité. Ainsi le phénomène physique de capillarité est prépondérant s'agissant des forces et pressions appliquées sur les différentes parties de liquide présents dans le caloduc.

[0103] La première position **P1** pour le canal circonférentiel de transfert est choisie au voisinage d'une portion

d'évaporation **71** du caloduc couplé à une source chaude. Le canal circonférentiel de transfert est rempli de liquide et les écarts de pressions des différentes rainures sont égalisés à cet endroit.

[0104] Des ménisques M se forment dans les canaux longitudinaux, ils sont d'autant plus creusés que la différence de pression est importante sur la longueur de la rainure, notamment dans le sens longitudinal, entre les sources froides correspondantes aux plus basses pressions et les sources chaudes correspondantes aux plus hautes pressions.

[0105] Ainsi à la figure 13A, le ménisque est quasi plat. A la figure 13B, le ménisque est plus creusé. A la figure 13C, le ménisque est encore plus creusé.

[0106] Un ménisque se forme dans le canal circonférentiel de transfert, ce qui permet à du liquide de se déplacer dans une direction circonférentielle et de transiter d'un canal longitudinal à un autre.

[0107] Au moment de l'amorçage, tel qu'illustré à la figure 14A, la bague autant que le fond du canal longitudinal amorcent un ménisque. La figure 14B illustre le régime établi où tout le volume du canal circonférentiel de transfert est rempli de liquide.

[0108] Autrement dit le ménisque se forme dans le canal circonférentiel uniquement en transitoire, et en régime établi, ce sont les ménisques des canaux longitudinaux, plus creusé en aval qu'en amont, qui génèrent le débit dans la rainure circonférentielle.

[0109] Ainsi, la rainure de recirculation est conçue pour avoir un pompage capillaire supérieur à la rainure longitudinale pour s'amorcer en liquide correctement.

[0110] En référence à la figure 16, le canal **C1** est le plus sollicité thermiquement, il reçoit les calories par un chemin conducteur court, c'est à cet endroit que le débit de vaporisation est le plus important. Les canaux voisins **C2**, **CG** participent aussi à la vaporisation, mais légèrement moins. Les canaux un peu plus éloignés **C2**, **CG** et suivants participent un petit peu moins à la vaporisation, en fonction de l'intensité du flux de chaleur, jusqu'à ne plus participer du tout à la vaporisation pour les rainures les plus lointaines, lorsque tout le flux entrant a été vaporisé. Avantagusement la présence d'un canal circonférentiel de transfert à proximité de la source de chaleur permet de faire transiter vers le canal **C1** du liquide qui n'est pas arrivé par **C1** sur sa longueur. Dit autrement les canaux voisins fournissent du liquide au premier canal **C1**.

[0111] Non seulement les voisins directs ou indirects, mais tous les autres canaux peuvent participer à la fourniture de liquide pour éviter un assèchement local au point le plus sollicité.

[0112] Ainsi dans un cas de chargement par le haut comme illustré à la figure 16, les canaux **CG, C1, C2** seront alimentés par tous les autres canaux, i.e. **C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, CA, CB, CC, CD, CE, CF**.

[0113] Exprimé autrement, le canal circonférentiel de transfert a une fonction de mise en commun et partage de l'approvisionnement en liquide. Il fournit en liquide le

canal longitudinal 3 le plus demandeur, à partir des autres canaux.

Divers autres points

[0114] La bague de fermeture favorise l'approvisionnement en liquide du canal circonférentiel de transfert.

[0115] Mais aussi la bague favorise aussi le passage en ligne droite dans un canal longitudinal particulier.

[0116] Si la bague de fermeture est en léger retrait par rapport au sommet des murets, elle a un effet favorable sur le passage en ligne droite du liquide dans un canal longitudinal.

[0117] En outre il est prévu un ou plusieurs autres canaux circonférentiels sur le parcours, à des positions (**P2, P3, P4**) axiales distinctes (**P2**) différentes de la première position.

[0118] Comme illustré la figure 18, le parcours **PX** peut comporter une ou plusieurs courbes 18, et le cas échéant peut même comporter un ou plusieurs angles droits 19.

[0119] La figure 19 représente une demi-coupe longitudinale du caloduc au voisinage d'un raccordement à angle droit avec 2 canaux circonférentiels de transfert. Dans le cas illustré, on a rabouté deux corps profilés coupés à 45° pour former un angle droit à cet endroit ; il y a un déséquilibre de formation de ménisque entre les rainures extérieures bien irriguées et les rainures intérieures plutôt asséchées. La présence d'un ou deux canaux circonférentiels de transfert au voisinage de l'angle permet d'égaliser les pressions entre les différents canaux longitudinaux.

[0120] La figure 20 représente une demi-coupe longitudinale du caloduc au voisinage d'un raccordement en croix avec 4 canaux circonférentiels de transfert. Cette configuration est une extrapolation du cas précédent illustré la figure 19, avec quatre profilés raboutés à une intersection en croix. La présence des quatre canaux circonférentiels au voisinage de l'intersection permet d'égaliser les pressions entre les différents canaux longitudinaux.

[0121] Au niveau des intersections, on prévoit des manchons extérieurs de fixation, permettant d'assurer la cohésion mécanique et l'étanchéité, généralement obtenue par soudure.

[0122] S'agissant des aspects dimensionnels, on peut choisir **L6** étant compris entre 0,1 D0 et 0,5 D0. On constate aussi $D0 > D1 > D2$.

[0123] S'agissant de la hauteur des murets, on peut choisir pour **H2** une valeur comprise entre 0,05 D1 et 0,2 D1.

Revendications

1. Caloduc (1) configuré pour être utilisé sous gravité faible ou nulle, comprenant un corps profilé (10) obtenu généralement par extrusion, ledit corps profilé s'étendant le long d'un parcours longitudinal (PX),

ledit corps profilé formant un corps creux fermé à au moins deux extrémités par des éléments de fermeture, formant ainsi un espace intérieur isolé hermétiquement de l'environnement extérieur, et rempli d'un volume prédéfini de fluide de travail diphasique,

ledit corps profilé comprenant une pluralité de canaux longitudinaux (3), chacun ayant une section délimitée par un fond (76) formé par une paroi tubulaire périphérique (75) du corps profilé, et latéralement par deux murets longitudinaux (2) qui s'étendent radialement vers l'intérieur depuis la paroi tubulaire périphérique, les canaux longitudinaux entourant un canal axial (15), les canaux longitudinaux étant ouverts en direction du canal axial,

caractérisé en ce qu'il est prévu, à au moins une première position (P1) le long du parcours longitudinal (PX), un canal circonférentiel de transfert (6), agencé transversalement à la direction axiale locale (X), et mettant en communication fluide tout ou partie de la pluralité des canaux longitudinaux entre eux.

et en ce que les murets longitudinaux sont interrompus, partiellement ou totalement, à l'endroit du canal circonférentiel.

2. Caloduc selon la revendication 1, dans lequel le canal circonférentiel de transfert est délimité radialement vers l'intérieur par une bague de couverture (4), la bague de couverture étant interposée entre le canal circonférentiel de transfert et le canal axial (15).
3. Caloduc selon la revendication 2, dans lequel le canal circonférentiel est agencé à une position intermédiaire, les murets (2) étant interrompus sur une longueur (L6) prédéfinie à cet endroit, avec de préférence la matière des murets (2) étant enlevée sur une hauteur (H6) comprise entre 50% et 100% de la hauteur (H2) des murets.
4. Caloduc selon la revendication 3, dans lequel les murets comprennent une première zone de portée (B1) pour recevoir une première extrémité longitudinale (41) de la bague de couverture (4) et une deuxième zone de portée (B2) pour recevoir une deuxième extrémité longitudinale (42) de la bague de couverture.
5. Caloduc selon la revendication 4, dans lequel la bague de couverture (4) comprend une surépaisseur centrale (45) formant un épaulement radialement extérieur reçu entre les murets à l'endroit des première et deuxième zones de portée (B1,B2).
6. Caloduc selon la revendication 4, dans lequel la bague de couverture (4) a une épaisseur constante et

les première et deuxième zones de portée sont formées comme des méplats (14) en retrait du sommet des murets.

7. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la première position (P1) est choisie au voisinage d'une portion d'évaporation (71) du caloduc couplé à une source chaude (81).
8. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la première position (P1) est une position intermédiaire sur le parcours longitudinal (PX).
9. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la première position (P1) est une position d'extrémité sur le parcours longitudinal.
10. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le canal circonférentiel est formé dans un bouchon d'extrémité (5) fixé à une extrémité du corps profilé.
11. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel il est prévu un ou plusieurs autres canaux circonférentiels sur le parcours, à des positions axiales (P2,P3,P4) distinctes et différentes de la première position.
12. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel il est prévu une pluralité de canaux circonférentiels sur le parcours, à des positions (P2,P3,P4) axiales régulièrement espacées, avec un pas prédéterminé, par exemple tous les 300 mm.
13. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 12, qui comprend une ou plusieurs intersections, avec deux canaux circonférentiels agencés de part et d'autre de chaque intersection.
14. Caloduc selon l'une des revendications 1 à 13, formé comme un objet en trois dimensions.

FIG. 1

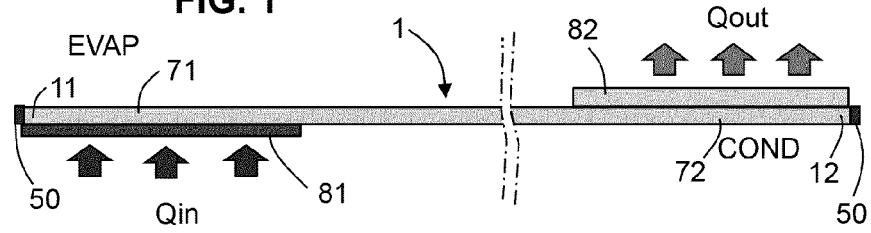


FIG. 2

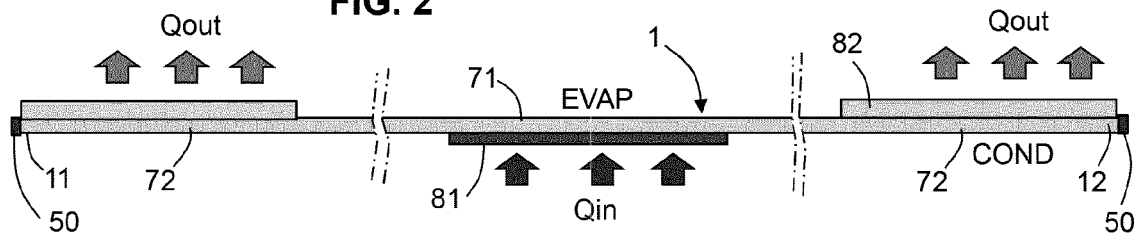


FIG. 3

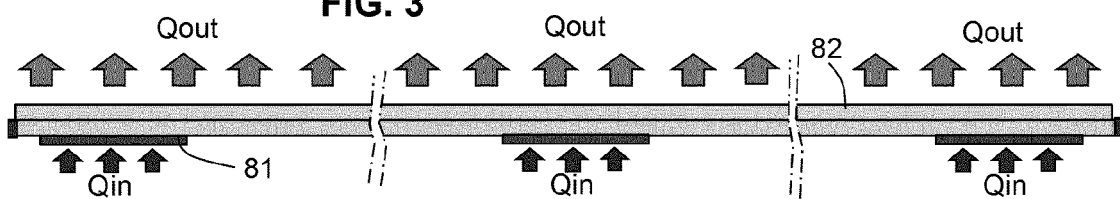


FIG. 4

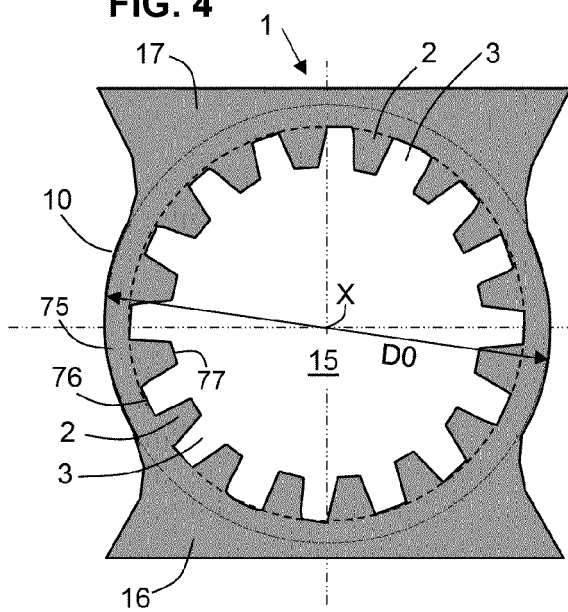


FIG. 5

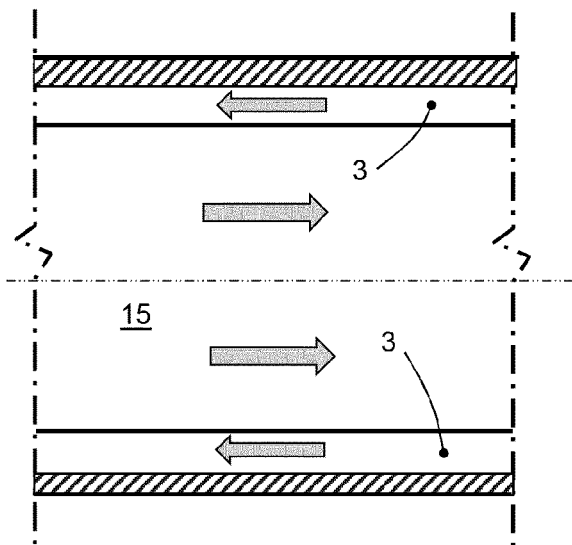


FIG. 6

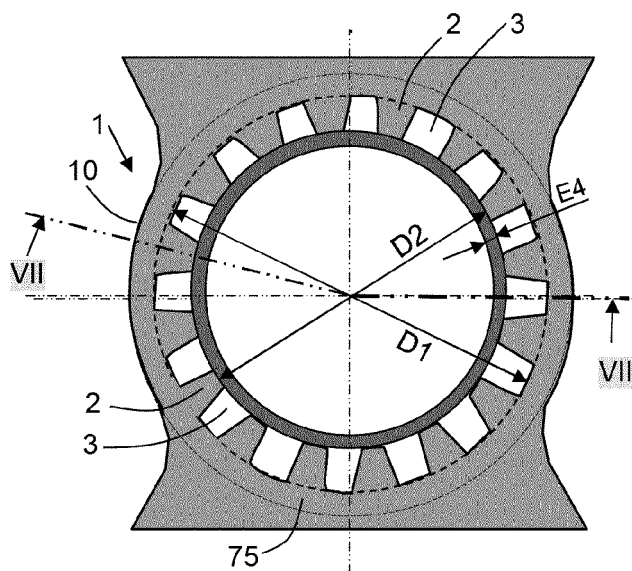


FIG. 7

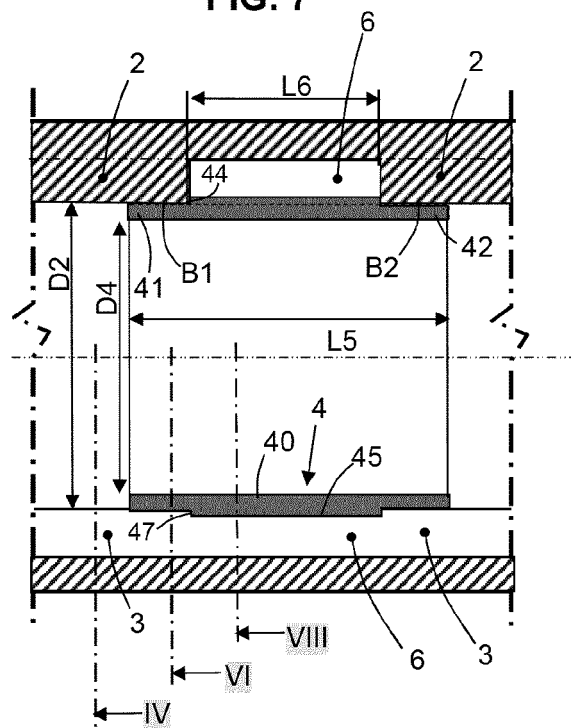


FIG. 8

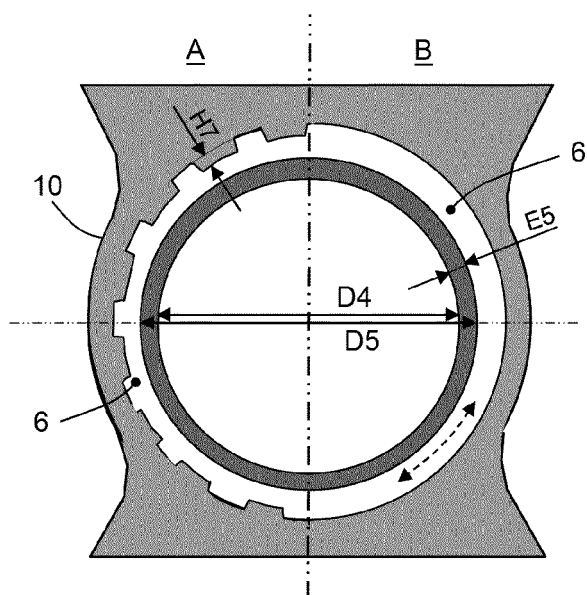


FIG. 9

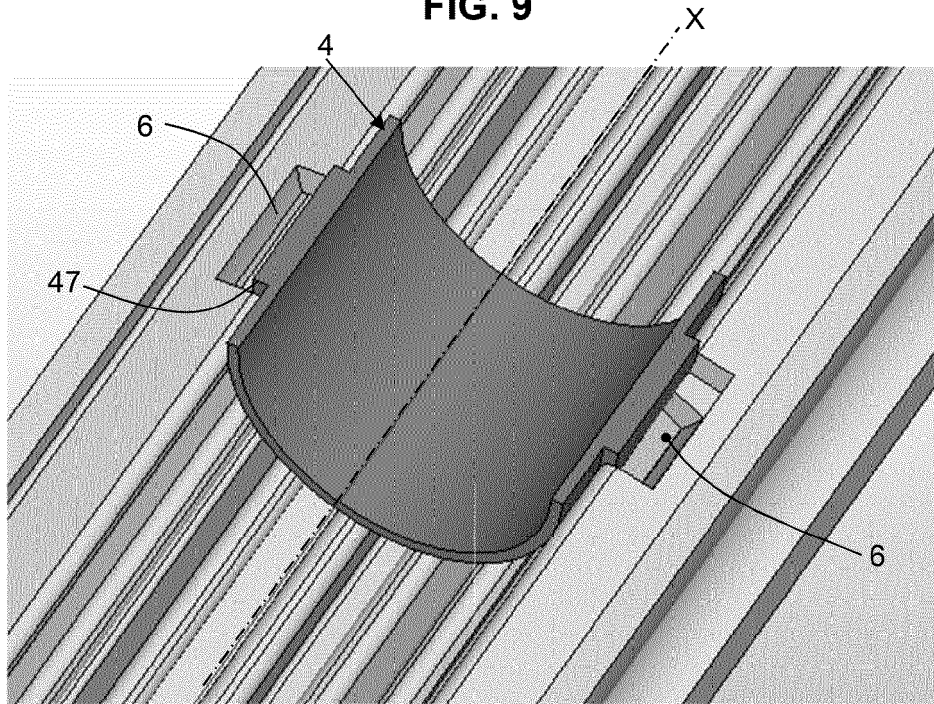
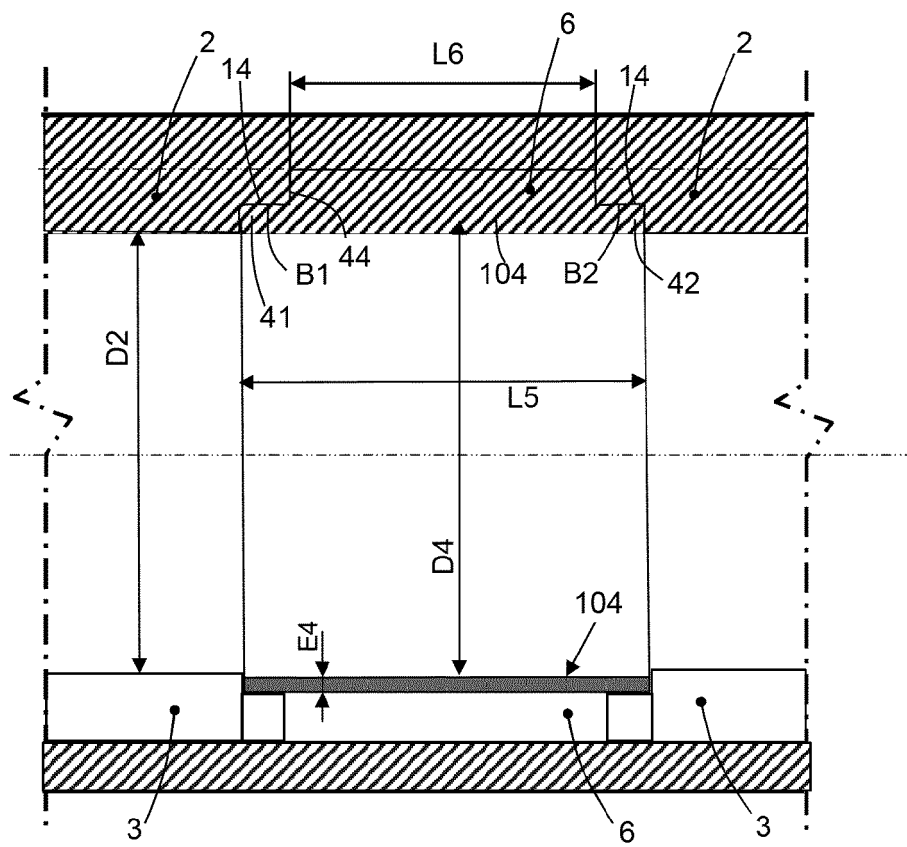


FIG. 10



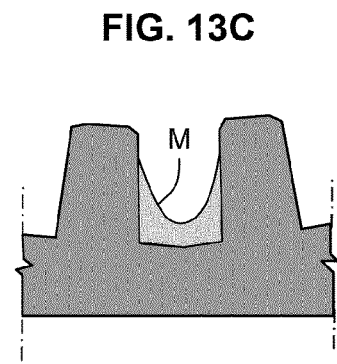
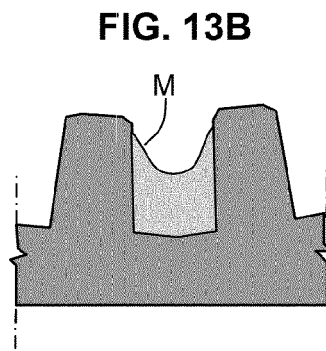
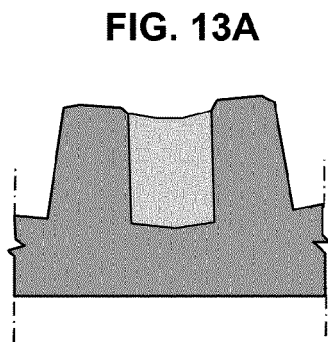
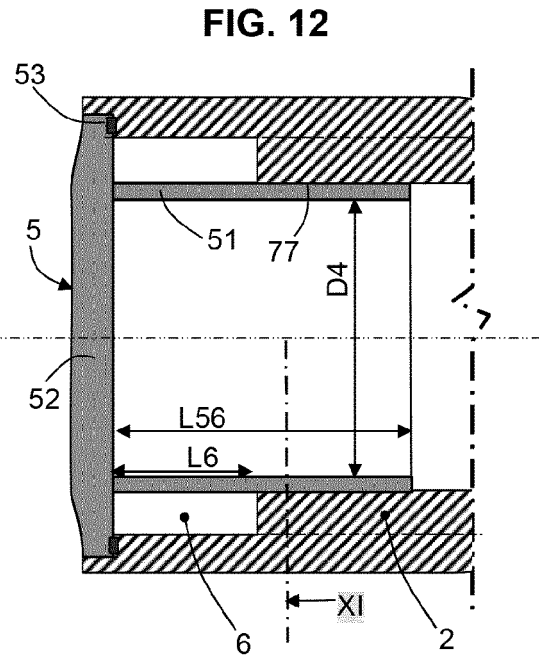
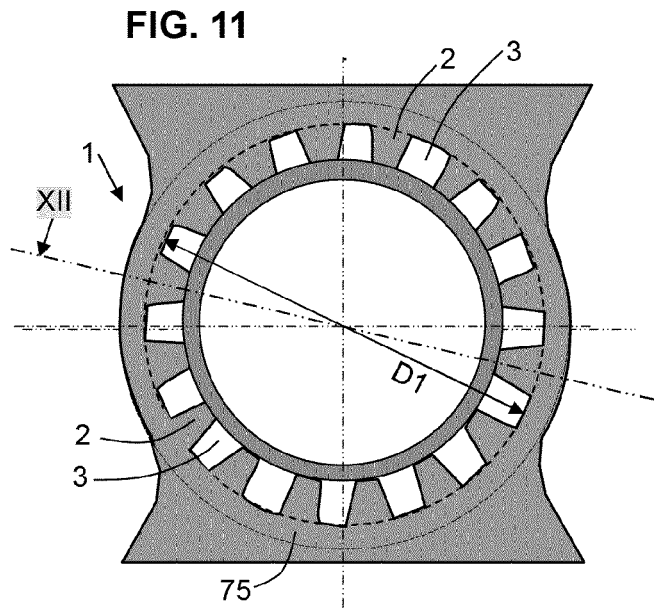


FIG. 14A

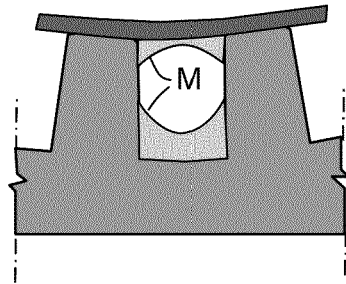


FIG. 14B

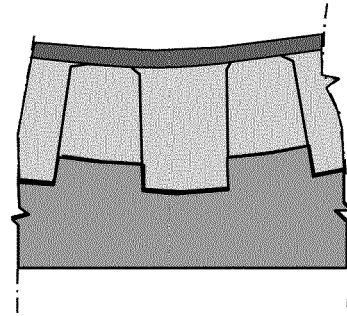


FIG. 15

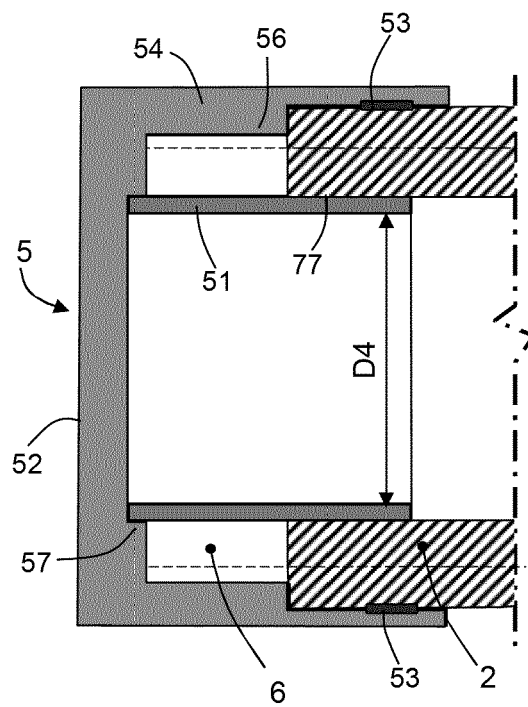


FIG. 16

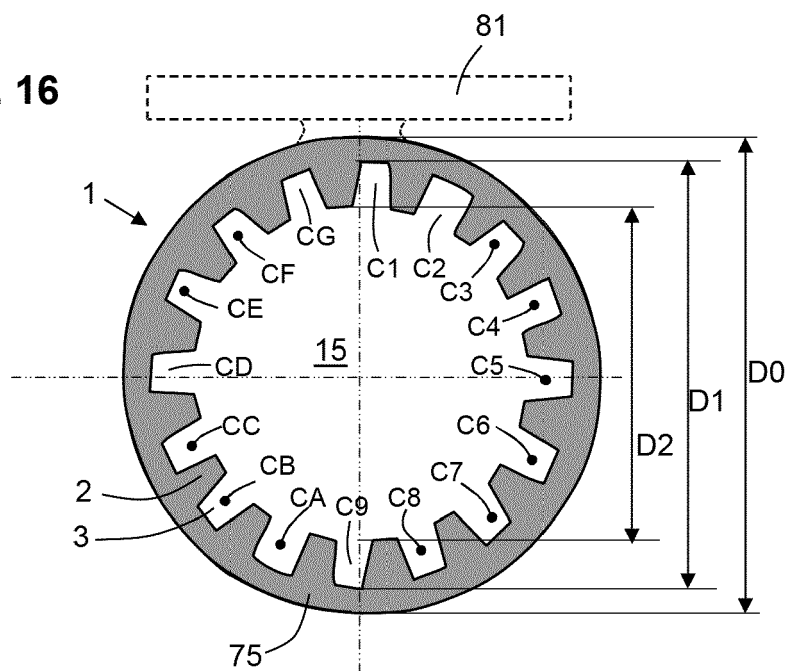


FIG. 17

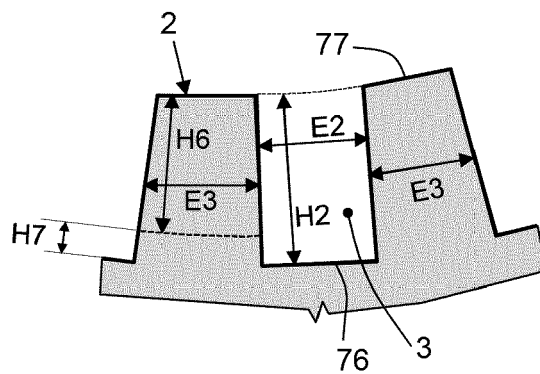


FIG. 18

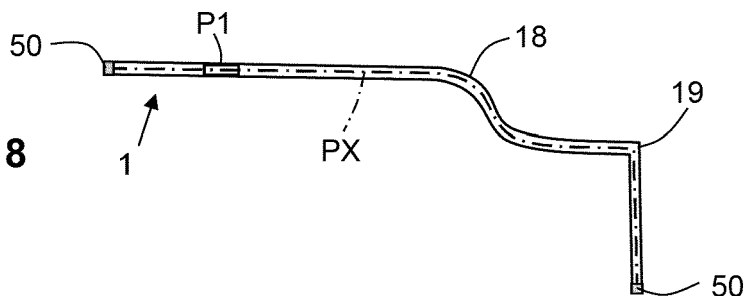


FIG. 19

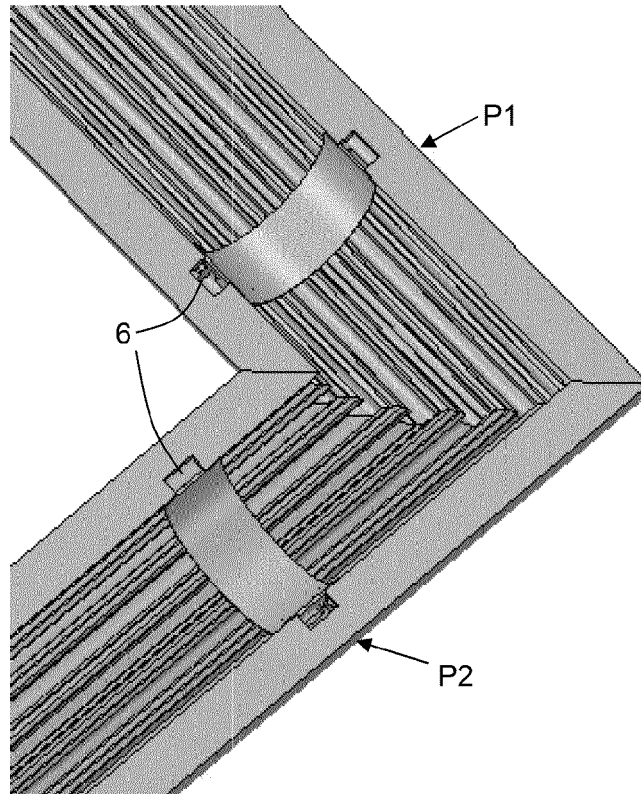
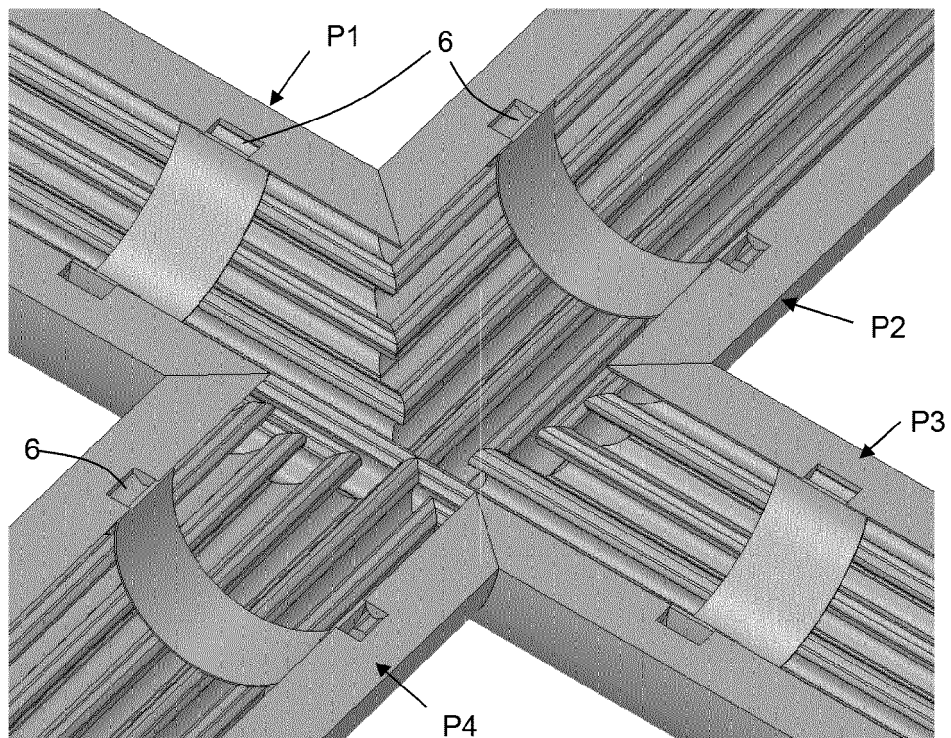


FIG. 20





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 17 4302

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	DE 20 2005 021911 U1 (OHB SYSTEM AG [DE]) 12 mai 2011 (2011-05-12)	1, 7-14	INV.
A	* figures 1, 2 *	2-6	F28D15/04 F28D15/02
A	US 2007/240855 A1 (HOU CHUEN-SHU [TW] ET AL) 18 octobre 2007 (2007-10-18) * figures 2-4 *	1-14	
A	US 2020/248970 A1 (CHEN CHIH-WEI [TW]) 6 août 2020 (2020-08-06) * figure 2 *	2-6	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28D
Lieu de la recherche			Examineur
Munich			Delaitre, Maxime
Date d'achèvement de la recherche			
5 octobre 2022			
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul			T : théorie ou principe à la base de l'invention
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie			E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date
A : arrière-plan technologique			D : cité dans la demande
O : divulgation non-écrite			L : cité pour d'autres raisons
P : document intercalaire			& : 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 22 17 4302

5 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.

05-10-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 202005021911 U1	12-05-2011	DE 102005040239 A1 DE 202005021911 U1	01-03-2007 12-05-2011
US 2007240855 A1	18-10-2007	CN 101055153 A US 2007240855 A1	17-10-2007 18-10-2007
US 2020248970 A1	06-08-2020	TW 202030447 A US 2020248970 A1	16-08-2020 06-08-2020

EPO FORM P0460

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