



(11) **EP 2 367 642 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
27.03.2013 Bulletin 2013/13

(51) Int Cl.:
B08B 9/032 ^(2006.01) **F28F 13/12** ^(2006.01)
F28F 19/00 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09801738.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2009/052374

(22) Date de dépôt: **02.12.2009**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2010/076446 (08.07.2010 Gazette 2010/27)

(54) **DISPOSITIF POUR LA REDUCTION DE L'ENCRASSEMENT A L'INTERIEUR D'UN TUBE**

VORRICHTUNG ZUR REDUZIERUNG VON VERUNREINIGUNGEN IN EINEM ROHR

DEVICE FOR REDUCING FOULING INSIDE A TUBE

(84) Etats contractants désignés:
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 SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **19.12.2008 FR 0858848**

(43) Date de publication de la demande:
28.09.2011 Bulletin 2011/39

(73) Titulaire: **Total Raffinage Marketing 92800 Puteaux (FR)**

(72) Inventeurs:
• **COTTARD, Bernard**
F-76430 Saint Romain De Colbosc (FR)
• **AQUINO, Brice**
F-76600 Le Havre (FR)

(74) Mandataire: **Radault, Gabrielle**
Cabinet Jolly
38, avenue Hoche
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
FR-A- 1 468 099 FR-A1- 2 890 162

EP 2 367 642 B1

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

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif pour réduire l'encrassement à l'intérieur d'un tube dans lequel circule un fluide, du type comportant un élément rotatif générateur de turbulences, en particulier dans les tubes constituant les échangeurs thermiques.

[0002] La présente invention peut notamment trouver son application dans les industries, en particulier l'industrie pétrolière ou pétrochimique, qui mettent en oeuvre des échangeurs de chaleur tubulaires dans lesquels circulent des fluides pouvant être à haute température et/ou corrosifs.

[0003] On connaît depuis une vingtaine d'années environ, des dispositifs installés de manière mobile en rotation à l'intérieur de tubes d'échangeurs de chaleur dans le but de prévenir un éventuel encrassement, par exemple dû à des impuretés en suspension, à des dépôts de sels minéraux dissous dans le fluide, à du coke en formation dans un procédé de craquage thermique ou encore à des espèces soufrées solubles dans des hydrocarbures. Ces impuretés, coke ou autres dépôts, ont tendance, en particulier dans certaines conditions de températures et de pressions, à se déposer sur les parois internes des conduits empruntés par le fluide. Ceci peut provoquer des restrictions de débits préjudiciables au bon fonctionnement du procédé situé en aval et/ou des points chauds sur la surface interne du tube. Ces restrictions et/ou points chauds peuvent entraîner une détérioration de la structure métallique dudit tube et provoquer ainsi des fuites de produits qui peuvent être dangereuses pour l'exploitant et/ou le matériel.

[0004] Une autre conséquence de la formation de ces dépôts sur les parois internes des tubes d'échangeurs peut être la diminution au cours du temps de la qualité des transferts thermiques entre les fluides circulant dans et à l'extérieur des tubes, diminution susceptible de devenir in fine préjudiciable pour le rendement énergétique de l'unité de traitement ou de fabrication considérée.

[0005] Ils ont en commun un élément mobile, généralement en forme d'hélice constituée de plusieurs spires présentant toutes une même orientation de pas, fixé à l'extrémité amont du tube de façon telle que l'élément mobile puisse tourner librement dans le tube sous l'effet de l'écoulement du fluide. Dans de nombreux dispositifs décrits dans l'art antérieur, les dimensions de l'élément mobile et de l'intérieur du tube sont telles que l'élément mobile ne racle pas de façon continue la paroi interne du tube, afin d'éviter toutes conséquences néfastes sur la durée de vie de la structure métallique dudit tube et/ou de l'élément mobile.

[0006] La réduction de l'encrassement de l'intérieur des tubes est principalement due à l'augmentation de la turbulence du fluide qui diminue, voire empêche la formation des points chauds et la formation de dépôts. Sans vouloir être lié par cette théorie, il est possible que cette réduction de l'encrassement soit obtenue grâce à un effet d'homogénéisation thermique (rupture de la couche limite thermique isolante) et par un effet de cisaillement important à proximité de la paroi. Ceci pouvant permettre de diminuer, voire d'éviter, la formation de dépôt(s), et/ou de décrocher, en tout ou partie, les éventuels dépôts faiblement attachés à cette même paroi avant qu'ils commencent à croître en tailles et donc devenir plus résistants à leur arrachement.

[0007] La Demanderesse décrit en outre dans la demande EP 0 369 851, un élément mobile comportant, dans toutes ses sections transversales, au moins une arrête vive conformée spécifiquement afin de racle la surface interne du tube.

[0008] En plus des derniers perfectionnements apportée au dispositif par la Demanderesse, tels que décrits dans FR 2 890 162 qui décrit un dispositif selon le préambule de la revendication 1, et plus précisément l'utilisation d'un raccord souple longiligne pour relier l'élément mobile à l'élément amont fixe solidaire du tube, la Demanderesse a poursuivi ses recherches pour allonger la durée de fonctionnement desdits dispositifs réducteurs d'encrassement à l'intérieur des tubes et notamment des tubes d'échangeurs de chaleur utilisés dans les raffineries de pétrole. En effet, plus cette durée de fonctionnement sera allongée, moins il sera nécessaire de pourvoir au remplacement desdits dispositifs après une éventuelle rupture au niveau de l'élément amont fixe, c'est-à-dire que l'exploitant évitera ainsi l'ouverture de l'échangeur de chaleur considéré, évitera également de facto le risque d'un arrêt complet de l'installation dans laquelle ledit échangeur est implémenté, et donc in fine, évitera des risques humains, des dépenses et un manque à gagner.

[0009] En outre, lorsque la vitesse du fluide à l'intérieur du tube dépasse une valeur limite, par exemple supérieure à 1,5 m/s, la vitesse de rotation de l'élément mobile peut devenir très importante (supérieure à 1500 t/mn). Dans ce cas l'utilisation d'un tel élément mobile n'est pas recommandée car les phénomènes d'usures au niveau de l'élément amont fixe peuvent devenir trop importants et avoir pour conséquence une rupture prématurée de l'attache de l'élément mobile au niveau de cette partie amont fixe. Cette rupture pouvant entraîner une durée de fonctionnement insatisfaisante pour la plupart des exploitants par exemple limitée à 4 années.

[0010] Cela peut en particulier être l'application de ce couple vitesse fluide/vitesse de rotation de l'élément mobile, qui rend problématique l'utilisation des dispositifs de la Demanderesse pour des vitesses de fluides supérieures à 1,5 m/s, vitesses néanmoins rencontrées dans de nombreux échangeurs de chaleur.

[0011] Ainsi, la présente invention a pour objet un dispositif visant à remédier en tout ou partie aux problèmes évoqués ci-dessus, en particulier de présenter une fiabilité accrue et/ou une plage d'utilisation augmentée, tout en restant simple à fabriquer, peu cher et/ou facile à fixer.

[0012] Selon un premier aspect, l'invention a pour objet un dispositif réducteur d'encrassement de l'intérieur d'un tube

traversé par un fluide selon la revendication 1, du type comportant au moins un élément générateur de turbulences, ledit dispositif étant constitué d'un élément rotatif mobile relié à un élément fixe formant palier, apte à être rendu rigidement solidaire de l'extrémité amont du tube, ledit élément rotatif mobile, comprenant, voire étant constitué de :

- 5 - une partie amont formant un tourillon comprenant une liaison mécanique avec l'élément fixe formant palier et permettant la libre rotation de l'élément mobile sur lui-même autour de l'axe du tube,
- une partie aval en forme d'hélice constituée de plusieurs spires et conformée de manière à être entraînée en rotation par l'écoulement du fluide dans le tube, dans lequel :
- 10 - les parties amont et aval de l'élément rotatif mobile sont reliées l'une à l'autre par un raccord souple longiligne déformable sur toute sa longueur, et caractérisé en ce que
- la partie aval contient au moins une portion de spire dont le pas est inversé par rapport au pas des autres spires.

[0013] Ainsi, l'invention concerne un dispositif présentant une réduction de la vitesse de rotation de la partie mobile, associée à un système d'attache, par exemple tel que décrit dans FR 2 890 162, qui comporte un raccord souple reliant le tourillon de l'élément mobile, positionné au niveau de l'élément amont fixe, à la partie, généralement hélicoïdale, formée de plusieurs spires, s'étendant le long d'une portion ou sur la totalité de la longueur du tube et entraînée en rotation par l'écoulement du fluide circulant dans ledit tube.

[0014] Les recherches effectuées par la Demanderesse montrent que le dispositif connu peut présenter une résistance insuffisante au niveau de l'attache de l'élément mobile sur l'élément amont fixe. Ces études ont également montrés qu'une réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile peut permettre de minimiser les phénomènes d'usure au niveau dudit élément amont fixe, et en particulier aux endroits en contacts de frottement avec des arêtes vives d'un palier ou d'une rondelle d'usure, éventuellement présent.

[0015] De plus, une réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile peut permettre une utilisation pour des vitesses de fluides supérieures à 1,5 m/s tout en restant dans des domaines de vitesses de rotation limités à 1500 t/mn, domaine permettant de limiter les phénomènes d'usures.

[0016] L'invention a également pour objet un échangeur de chaleur comprenant une pluralité de tubes traversés par un fluide, comprenant au moins un dispositif réducteur d'encrassement selon l'invention installé à l'intérieur d'au moins un de ses tubes, en particulier fixé à l'extrémité amont d'au moins un de ces tubes.

[0017] Le raccord souple, utilisé dans la présente invention, par exemple celui tel que décrit dans FR 2 890 162, peut être en n'importe quel matériau pourvu qu'il présente une résistance chimique et mécanique suffisantes dans les conditions de fonctionnement du dispositif. Le raccord souple est de préférence en métal, en particulier en acier, et tout particulièrement en acier inoxydable.

[0018] Le raccord souple peut être, par exemple, un câble formé de brins tressés ou torsadés comprenant de préférence un nombre de brins compris entre 1 et 100, et de manière plus préférée entre 1 et 50.

[0019] Pour un élément mobile de 6 mètres, on peut préférer un raccord souple ayant une longueur comprise entre 1 cm et 5 cm, et de préférence entre 2 et 4 cm. Son diamètre peut aller de 2 à 10 mm et de préférence de 4 à 8 mm.

[0020] Ce raccord souple est fixé entre l'extrémité aval du tourillon et l'extrémité amont de la partie entraînée en rotation en forme d'hélice. La fixation à ces deux pièces peut se faire selon des techniques connues, par exemple par soudage, sertissage, vissage, ou encore par collage.

[0021] La partie aval en forme d'hélice entraînée en rotation peut en principe avoir n'importe quelle forme asymétrique appropriée permettant au fluide qui s'écoule à travers le tube de l'entraîner en rotation autour de l'axe dudit tube. La forme la plus efficace, créant une turbulence maximale pour une perte de charge minimale, est l'hélice qui est de ce fait utilisée dans la quasi-totalité des dispositifs du type décrit en introduction et est également préférée pour la présente invention.

[0022] Cette hélice doit avoir un diamètre extérieur inférieur au diamètre intérieur du tube pour ne pas racler en continu la paroi interne de celui-ci. Le diamètre extérieur de l'hélice peut toutefois être suffisamment proche du diamètre intérieur du tube pour créer, en plus des turbulences, des forces de cisaillement suffisantes à proximité de la surface du tube, par exemple pour décrocher des dépôts ou particules faiblement fixés à la paroi. On obtient généralement des effets de turbulence et de cisaillement satisfaisants pour des systèmes où le rapport du diamètre extérieur de l'hélice au diamètre intérieur du tube va de 0,5 à 0,9, de préférence de 0,6 à 0,8.

[0023] Des rapports compris entre les fourchettes ci-dessus se sont avérés suffisants pour éviter un contact de frottement trop important, voire pour empêcher un contact de frottement, entre le tube et l'hélice sur presque toute la longueur de celle-ci, à l'exception de la ou des première(s) spire(s) de l'hélice. Comme indiqué précédemment, la Demanderesse a constaté en effet que, pour les rapports du diamètre extérieur de l'hélice au diamètre intérieur du tube compris dans les fourchettes indiquées ci-dessus, au moins la première spire de l'hélice, et parfois également les deux ou trois spires suivantes, pouvait présenter des traces d'usure par frottement. Bien que ce phénomène soit atténué pour les systèmes d'attache à raccord souple tels que décrits dans la présente demande, il peut néanmoins persister dans

certaines conditions de fonctionnement du dispositif selon l'invention. Ce problème peut être résolu en tout ou partie grâce à l'utilisation d'une hélice dans laquelle le diamètre extérieur de la première spire, ou des premières spires, est inférieur au diamètre extérieur des autres spires de l'hélice. La première spire est celle qui est le plus proche de l'attache.

[0024] Le nombre de « premières » spires concernées par cette diminution de diamètre ne dépasse généralement pas 1 à 5 % de la totalité des spires de l'hélice. Pour ces spires, le rapport de leur diamètre extérieur au diamètre intérieur du tube peut être compris entre 0,1 et 0,6, de préférence entre 0,2 et 0,6. Lorsque plusieurs spires sont concernées, leur diamètre extérieur augmente de préférence progressivement de l'amont vers l'aval.

[0025] L'élément fixe formant palier, destiné à recevoir et à supporter le tourillon, peut présenter une grande variété de formes, dans la mesure où il remplit deux fonctions qui sont d'une part, d'assurer la robustesse de l'attache à l'extrémité du tube d'échangeur, et d'autre part, de minimiser les restrictions à l'écoulement du fluide. Il a de préférence la forme d'un étrier comportant une partie centrale percée d'un orifice destiné à recevoir le tourillon de l'élément mobile, et deux branches, symétriques l'une à l'autre, ayant une forme permettant de les fixer sur l'extrémité amont du tube. Cette forme en étrier de la pièce formant palier est connue et est décrite par exemple dans les demandes EP 0 233 092, EP 0 282 4 06, et EP 0 369 851 de la Demanderesse. Il peut s'agir par exemple d'un étrier dont les extrémités forment un cylindre creux destiné à enserrer l'extrémité du tube, tel que décrit dans EP 0 233 092, ou, de préférence, d'un étrier en un matériau rigide mais élastique, dont les extrémités des deux branches puissent être engagées de force dans l'extrémité amont du tube pour prendre élastiquement appui contre la paroi interne de celui-ci. L'invention englobe toutefois également tout autre système permettant de rendre une partie formant palier rigidement solidaire de l'extrémité amont du tube.

[0026] Dans un mode de réalisation particulier du dispositif selon l'invention, le tourillon est retenu dans l'orifice du palier grâce à une première butée prévue à son extrémité amont et solidaire de celle-ci. Une deuxième butée, tubulaire, peut être prévue sur la partie centrale de l'étrier en prolongement de l'orifice destiné à recevoir le tourillon de l'élément mobile. Cette deuxième butée, solidaire du palier, peut avoir une fonction de maintien du tourillon dans l'axe de rotation de l'élément mobile et est de préférence relativement longue. Lorsque l'élément mobile est entraîné en rotation par le fluide qui traverse le tube, la première butée solidaire du tourillon peut venir en contact de frottement avec la deuxième butée, tubulaire, solidaire de l'élément fixe.

[0027] Dans un mode de réalisation préféré du dispositif de la présente invention, une ou plusieurs rondelles d'usure sont prévues entre la première butée et la deuxième butée. Cette rondelle d'usure est libre, c'est-à-dire solidaire ni de l'élément mobile ni de l'élément fixe. Elle est constituée de préférence d'un matériau différent ou de dureté différente, ou encore de type anti-friction à très faible coefficient de frottement, généralement plus tendre que les matériaux des première et deuxième butées. On peut citer à titre d'exemples de tels matériaux, les aciers, notamment les aciers traités thermiquement, les alliages cuivreux, les céramiques, ainsi que les graphites.

[0028] Les rondelles d'usure connues par exemple de EP 0 233 092, EP 2 637 659 et EP 0 282 406, ont des surfaces de frottement plates ou complémentaires à la surface de frottement de la butée. De préférence, on cherchera à réduire le plus possible les surfaces en contact par l'adoption de formes spécifiques aux rondelles d'usure et/ou aux butées tubulaires.

[0029] Dans un autre mode préféré de l'invention, le tourillon métallique est remplacé par un prolongement du raccord souple dont l'extrémité aval est rendue solidaire de la butée. Bien sur, toutes les configurations possibles de la rondelle d'usure et de la butée s'appliquent à cette application particulière de la présente invention.

[0030] L'élément rotatif mobile et plus particulièrement sa partie aval en forme d'hélice peut être constitué de plusieurs spires et conformé de façon telle que ladite partie aval est mise en rotation par l'écoulement du fluide dans le tube. La vitesse de rotation de l'élément mobile dépend essentiellement du débit de fluide traversant le tube, ledit débit pouvant varier, par exemple dans les tubes d'échangeurs de chaleur, de 0,5 m/s à 3 m/s, pour une pression pouvant évoluer entre 5 et 30 bars.

[0031] C'est la disposition des spires et plus exactement le sens du pas des plus nombreuses spires présentant un pas identique qui détermine, au moins en partie, le sens de rotation de l'élément mobile. Ce sens de rotation peut être, suivant le montage des spires constituant la partie aval de l'élément mobile dans le sens (pas à droite) ou inverse (pas à gauche) au sens de rotation des aiguilles d'une montre, sans perturber l'efficacité du dispositif réducteur de l'encrassement de l'intérieur d'un tube.

[0032] Dans la présente description, la portion de spires présentant un pas inversé par rapport à celui des autres spires est représentée par un pourcentage de la longueur de l'élément mobile.

[0033] C'est ainsi que, dans la présente description, l'expression « X (par exemple 0,5%) de spires à pas inversé » signifie, pour un élément mobile d'une longueur totale de Y (par exemple 6 m) constitué d'un enroulement de spires ayant toutes un pas de Z cm (par exemple 3 cm), une longueur de pas inversé de $Y \times X$ cm (en l'occurrence 3 cm), soit un nombre de spires de $(Y \times X) / Z$ (dans le cas exemplifié : 1 spire complète).

[0034] La vitesse du fluide minimum traversant le tube, pour mettre en mouvement un dispositif de 6 m de longueur présentant une portion de pas inversé, sera d'autant plus importante que le % de spires à pas inversé est important.

[0035] Cette vitesse minimum sera toujours supérieure à celle d'un dispositif standard dont la partie aval de l'élément mobile est constituée d'une hélice comprenant seulement des spires présentant un pas dans le même sens. Cette

vitesse minimum peut se situer autour de 1,5 à 2 m/s alors qu'elle est en général de 0,5 m/s pour un dispositif standard.

[0036] La réduction de la vitesse de rotation par rapport à un dispositif standard, varie selon la vitesse du fluide et la quantité de spires à pas inversé. Plus la vitesse du fluide est lente associée à une quantité importante de spires présentant un pas inversé par rapport aux autres spires, plus le ralentissement de la vitesse de rotation de l'élément mobile est important. Ainsi les intervalles de réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile peuvent aller de 95% (vitesse du fluide 2,0 m/s) à 54% (vitesse du fluide 3,0 m/s) pour 15% de longueur de l'élément mobile constitué de spire présentant un pas inversé. La réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile peut varier de 56% pour une vitesse de fluide de 2,0 m/s à 16% pour une vitesse de fluide de 3,0 m/s pour 0,5% de spires à pas inversé. D'autres données sur la réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile sont indiquées dans l'exemple ci-dessous.

[0037] Si la cible de vitesse de rotation maximum de l'élément mobile est de 1500 t/mn pour minimiser l'usure de l'attache sur l'élément amont fixe, la mise en place de spires présentant un pas inversé sur 15% de la longueur totale de l'élément mobile d'une longueur totale de 6 m peut permettre d'utiliser le dispositif objet de la présente invention avec une vitesse de fluide de 2,85 m/s, alors que cette vitesse est limitée à 1,5 m/s pour un dispositif standard. Cette vitesse de rotation de 1500 t/mn peut également être atteinte avec 0,5% de spires à pas inversé pour une vitesse de fluide 2,25 m/s (cf. fig 1).

[0038] Il en est de même pour une vitesse cible de rotation de l'élément mobile de 1000 t/mn obtenue avec des vitesses de fluides variant de 2,05 m/s à 2,55 m/s, avec respectivement des longueurs de spires présentant des pas inversés de 0,5% à 15%. La vitesse du fluide admissible avec un dispositif standard pour une vitesse de rotation de 1000 t/mn est de 1,45 m/s, sans possibilité d'aller au-delà sans augmenter la vitesse de rotation de l'élément mobile.

[0039] L'utilisation de différentes quantités de spires à pas inversé sur la partie aval de l'élément mobile peut donc permettre de réduire la vitesse de rotation de l'élément mobile pouvant aller jusqu'à 95% de sa vitesse initiale, ou d'utiliser à iso vitesse (1500 tours ou 1000 tours/mn) ledit élément mobile pour des vitesses de fluide dans le tube de l'échangeur pouvant être plus de 50 % à 75% supérieure à la vitesse de fluide maximale admissible avec un dispositif standard. Cette amélioration procure la possibilité d'installer des dispositifs objet de l'invention dans des échangeurs ou le débit du fluide dans les tubes varie de 1,5 m/s à 3m/s.

[0040] En contrepartie de cette amélioration de l'utilisation de l'élément mobile comportant des spires à pas inversés, la perte de charge totale (c'est-à-dire la somme des pertes de charges dues à l'élément amont fixe tel que décrit dans FR 2 890 162, à la longueur du tube et au dispositif objet de la présente invention) peut être plus importante que celle d'un tube de même longueur équipé d'un dispositif standard. Ainsi l'augmentation de la perte de charge pour une vitesse de rotation de l'élément mobile fixé à 1500 t/mn peut varier 84% à 220% quand le % de spires à pas inversé varie de 0,5 à 15 %, passant respectivement de 500 à 920 mbars et de 500 à 1600 mbars.

[0041] Pour une vitesse de rotation de 1000 t/mn, la perte de charge totale peut varier de 93% à 206 %, passant de 440 à 850 mbars et de 440 à 1380 mbars quand le % spires à pas inversé varie de 0,5 % à 15 %.

[0042] En fonction des paramètres du fluide traversant les tubes de l'échangeur de chaleur et notamment son débit, on peut choisir de préférence des solutions intégrant des quantités de spires à pas inversés les plus faibles possibles par exemple pour minimiser les pertes de charges. C'est ainsi que pour un élément mobile de 6 m dont 0,5 % seulement de sa longueur totale est en pas inversé, une vitesse de rotation de 1500 T/mn peut être atteinte pour une vitesse de fluide de 2,25m/s soit une vitesse supérieure de 32% par rapport à un dispositif standard (1,5 m/s) pour une perte de charge totale correspondante de 950 mbars, c'est-à-dire supérieure de 40 % à celle enregistrée par rapport à un dispositif standard avec la même vitesse de fluide.

[0043] Il est intéressant de noter que cette perte de charge enregistrée pour le dispositif objet de l'invention est du même ordre de grandeur que celle obtenue avec un autre dispositif pour réduire l'encrassement à l'intérieur d'un tube et disponible dans l'art, tel que décrit dans FR 2 479 964.

Breve description des figures ;

[0044]

- la figure 1 représente un dispositif selon l'invention,
- la figure 2 est un diagramme représentant la vitesse de rotation en fonction de la vitesse du fluide pour différents % de longueur de spires ayant un pas inversé,
- la figure 3 est un diagramme représentant le % de réduction de la vitesse de rotation du dispositif pour différents % de longueur de spires ayant un pas inversé, et
- la figure 4 représente la perte de charge dans un tube en fonction de la vitesse pour différents % de longueur de spires ayant un pas inversé.

[0045] La présente invention est illustrée à présent en référence à la figure 1 ci-après, qui est une vue en coupe longitudinale d'un tube avec un dispositif pour la réduction de l'encrassement à l'intérieur d'un tube, objet de la présente

invention, fixé à l'extrémité amont dudit tube.

[0046] Sur cette figure 1, le dispositif est constitué d'une partie mobile 2 et d'une partie fixe 3, fixé au niveau de l'extrémité amont d'un tube 1. Dans l'ensemble de la présente demande, les termes « amont » et « aval » sont définis par rapport à la direction d'écoulement du fluide qui traverse le tube 1 représenté par la flèche F.

[0047] La partie fixe 3 du dispositif a la forme d'un étrier constitué d'un plateau 9 percé d'un orifice central, et de deux branches 10, en principe symétriques l'une de l'autre par rapport à l'axe du tube, dont les extrémités viennent s'appuyer contre la paroi interne du tube. La partie fixe comprend en outre une butée tubulaire 11 solidaire du plateau 9. Le canal de cette butée 11 est aligné avec l'orifice du plateau et forme avec celui-ci un canal unique assez long qui sert principalement à maintenir le tourillon 4 dans l'axe de rotation de l'élément mobile 2.

[0048] Dans la partie fixe 3 est montée, libre en rotation, l'élément mobile 2. Cet élément mobile est constitué, en partant de l'extrémité amont de celui-ci, d'une butée 5, d'un tourillon 4 solidaire de la butée 5, d'un raccord souple 7 en câble acier inox, et enfin de la partie hélicoïdale 6 entraînée en rotation, dans la direction de la flèche F, par l'écoulement du fluide.

[0049] On remarquera que toutes les spires de l'hélice n'ont pas la même taille mais que les deux premières ont un diamètre extérieur inférieur à celui des spires suivantes. Par ailleurs, une rondelle d'usure 12 est prévue entre la butée 5 solidaire du tourillon et la butée 11 solidaire de l'étrier.

[0050] Bien sûr, toutes les configurations possibles de la rondelle d'usure 11 et de la butée 4 décrites ci-dessus, peuvent s'appliquer à cette application particulière de la présente invention.

[0051] L'élément aval 6 de l'élément mobile 2 est constitué de plusieurs spires ayant un pas identique. Seule la spire 8 sur la figure 1 présente, conformément à l'invention un pas inversé à celui des autres spires.

[0052] Le montage de cette spire (ou de ces spires) peut être réalisé par un simple enroulement inversé du fil métallique, par exemple en acier inoxydable, constituant l'élément aval en forme d'hélice de l'élément mobile, ou peut être attachée à l'élément aval par tout moyen connu dans la technique tels que le soudage, le sertissage, le vissage, le collage, etc.

[0053] La seule contrainte à l'installation de cette ou ces spires à pas inversé(s) est que son axe longitudinal soit aligné avec l'axe longitudinal de la majorité des spires constituant l'élément aval.

[0054] L'invention est illustrée à présent à l'aide de l'exemple de réalisation suivant.

Exemple

[0055] Pour tester l'efficacité du dispositif selon l'invention, la Demanderesse a utilisé une maquette qui met en oeuvre de l'eau froide circulant dans un tube en plexiglas de 6 m de long et qui permet des mesures de débit de l'eau, de pertes de charges à différentes longueurs ainsi que la vitesse de rotation de l'élément mobile du dispositif objet de la présente invention.

[0056] Les paramètres des essais sont les suivants :

- diamètre intérieur du tube : 2,00 cm,
- vitesse de l'eau dans le tube pouvant varier de 0,5 à 3,0 m/s,
- pression du fluide à l'intérieur du tube : 16 bars,
- diamètre extérieur de l'élément mobile du dispositif : 1,96 cm,
- longueur de l'élément mobile : 6,0 m,
- diamètre du fil en acier inoxydable constituant l'élément mobile: 0,18 cm,
- composition de l'alliage constituant le fil : 64,9 % de nickel, 8,75 % de molybdène et 26,35 % de fer,
- angle de spire : 55°,
- pas des spires : 3,0 cm,
- sens du pas des spires : droite,
- longueur du raccord souple : 4,0 cm,
- diamètre du raccord souple : 0,5 cm,
- nombre de brins métalliques enroulés dans le sens de rotation de l'élément mobile constituant le raccord souple : 50,

[0057] La partie amont de l'élément mobile est constituée par un tourillon d'une longueur de 8,0 cm et d'un diamètre de 0,2 cm, conformément à la présente invention, et est relié par sertissage au raccord souple.

[0058] L'élément amont fixe est également constitué conformément à FR 2 890 162.

[0059] Les vitesses de rotations de l'élément mobile ont été enregistrées en fonction de la vitesse du fluide mesurée dans le tube (figure 2).

[0060] La figure 2 représente en ordonnée la vitesse de rotation (t/min) et en abscisse la vitesse du fluide (m/s). Ces données ont été mesurées pour des éléments mobiles d'une longueur de 6 m présentant respectivement (repère 1 sur la figure 2) 0 % de spires à pas inversé, (2) 0,5% de spires à pas inversé, (3) 2,0%, (4) 4,0%, (5) 10%, (6) 12,2%, (7) 13,5% et enfin (8) 15,0% de spires à pas inversé.

EP 2 367 642 B1

[0061] La figure 2 montre que plus le nombre de spires présentant un pas inversé augmente et plus la réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile est importante. Cette réduction augmente également quand la vitesse du fluide diminue.

[0062] Les tableaux 1, 2 et 3 ci-dessous regroupent pour des valeurs cibles de rotation de l'élément mobile égales à respectivement 1500 t/mn, 1000 t/mn et 500 t/mn, les vitesses de fluides admissibles en fonction du % pas inversé.

[0063] Il est rappelé que la vitesse de 1500 t/mn représente fréquemment la limite pour une vitesse d'usure jugée admissible de l'élément amont fixe avec un élément mobile ne comportant que des spires avec un pas dans un seul sens, et que cette vitesse de 1500 t/mn est obtenue seulement pour une vitesse de fluide égale à 1,5 m/s.

Tableau 1 : Vitesse de rotation de l'élément mobile 1500 t/mn

Vitesse du fluide dans le tube en m/s	% longueur de spires présentant un pas inversé
1,50	0,0
2,25	0,5
2,33	2,0
2,39	4,0
2,44	10,0
2,55	12,2
2,64	13,5
2,85	15,0

Tableau 2 : Vitesse de rotation de l'élément mobile 1000 t/mn

Vitesse du fluide dans le tube en m/s	% longueur de spires présentant un pas inversé
1,45	0,0
2,05	0,5
2,10	2,0
2,16	4,0
2,23	10,0
2,30	12,2
2,37	13,5
2,55	15,0

Tableau 3 : Vitesse de rotation de l'élément mobile 500 t/mn

Vitesse du fluide dans le tube en m/s	% longueur de spires présentant un pas inversé
1,25	0,0
1,83	0,5
1,90	2,0
1,93	4,0
1,99	10,0
2,04	12,2
2,10	13,5
2,23	15,0

[0064] De l'enseignement de ces 3 tableaux, on en déduit que lorsque l'élément mobile du dispositif comporte des spires à pas inversés, conformément à la présente invention, il est maintenant possible d'utiliser le dispositif conformément à l'invention, pour une vitesse de rotation de l'élément mobile déterminée, d'augmenter la vitesse du fluide dans les conditions ci-dessous :

- pour 1500 t/mn, de 1,50m/s à 2,85 m/s, soit une augmentation de la vitesse du fluide de 67%,
- pour 1000 t/mn, de 1,4 m/s à 2,55 m/s, soit une augmentation de la vitesse du fluide de 82%,
- pour 500 t/mn de 1,15 m/s à 2,23 m/s soit une augmentation de la vitesse du fluide de 93%.

[0065] La réduction de la vitesse de rotation en fonction du pourcentage de pas inversé est maintenant mesurée. La figure 3 représente en ordonnée le % de réduction de la vitesse de rotation du dispositif et en abscisse le % de longueur de spires inversées.

[0066] Ces données ont été mesurées pour des éléments mobiles d'une longueur de 6 m présentant respectivement (repère 1 sur la figure 2) 0 % de spires à pas inversé, (2) 0,5% de spires à pas inversé, (3) 2,0%, (4) 4,0%, (5) 10%, (6) 12,2%, (7) 13,5% et enfin (8) 15,0% de spires à pas inversé.

[0067] On voit que pour une vitesse de fluide de 1,5 m/s, on peut réduire la vitesse de rotation de l'élément mobile de 8% avec 0,5% de spires à pas inversés, et ceci jusqu'à 90% avec 12% de spires inversées. Ces réductions étant propices à la baisse de l'usure de la tête.

[0068] La figure 4 représente en ordonnée la perte de charge totale (mbars) enregistrée dans un tube de 6,00 m en fonction de la vitesse de rotation de l'élément mobile présentée en abscisse. Ces données ont été mesurées pour des éléments mobiles d'une longueur de 6 m présentant respectivement (repère 1 sur la figure 2) 0 % de spires à pas inversé, (2) 0,5% de spires à pas inversé, (3) 2,0%, (4) 4,0%, (5) 10%, (6) 12,2%, (7) 13,5% et enfin (8) 15,0% de spires à pas inversé.

[0069] Cette perte de charge est l'expression de la somme des pertes de charges correspondant à l'élément amont fixe (étrier de fixation), au tube par lui-même et au dispositif objet de la présente invention.

[0070] Cette perte de charge augmente quand la vitesse de rotation augmente. Elle est d'autant plus importante que la quantité de spires présentant un pas inversé augmente.

[0071] On choisira donc, pour minimiser cette perte de charge des quantités de spires à pas inversés les plus faibles possibles

[0072] Dans FR 2 890 162, la durée de fonctionnement du dispositif décrit était inférieure à 4 années. Dans ces mêmes conditions de fonctionnement dudit dispositif et avec en plus une réduction de la vitesse de rotation de l'élément mobile, par exemple pour un débit de fluide de 1,5 m/s et une vitesse de rotation de 1000 t/mn, la durée de vie du dispositif objet de la présente invention devrait atteindre 5 années ou plus, période requise par l'exploitant d'une raffinerie de pétrole.

Revendications

1. Dispositif réducteur d'encrassement de l'intérieur d'un tube (1) traversé par un fluide (F), du type comportant au moins un élément générateur de turbulences, ledit dispositif étant constitué d'un élément rotatif mobile (2) relié à un élément fixe formant palier (3), apte à être rendu rigidement solidaire de l'extrémité amont du tube (1), ledit élément rotatif mobile (2), comprenant :

- une partie amont (4) formant un tourillon comprenant une liaison mécanique (5) avec l'élément fixe formant palier (3) et permettant la libre rotation de l'élément mobile (2) sur lui-même autour de l'axe du tube (1),
- une partie aval (6) en forme d'hélice constituée de plusieurs spires et conformée de manière à être entraînée en rotation par l'écoulement du fluide (F) dans le tube (1), dans lequel
- les parties amont (4) et aval (6) de l'élément rotatif mobile (2) sont reliées l'une à l'autre par un raccord souple longiligne déformable sur toute sa longueur (7), et

caractérisé en ce que

- la partie aval (6) contient au moins une portion de spire dont le pas est inversé (8) par rapport au pas des autres spires.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le raccord souple (7) est de préférence en métal, en particulier en acier et de manière préférée en acier inoxydable.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le raccord souple (7) est un câble formé de brins tressés ou torsadés comprenant un nombre de brins compris entre 1 et 100, et de préférence entre 1 et 50.

EP 2 367 642 B1

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la longueur du raccord souple (7) est comprise entre 1 cm et 5 cm, et de préférence entre 2 et 4 cm.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le diamètre du raccord souple (7) est compris entre 2 et 10 mm et de préférence entre 4 et 8 mm.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le rapport du diamètre extérieur de l'hélice au diamètre intérieur du tube (1) est compris entre 0,5 et 0,9, de préférence entre 0,6 et 0,8.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le diamètre extérieur de la première spire ou des premières spires de l'hélice est inférieur au diamètre extérieur des autres spires de l'hélice.
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le rapport du diamètre extérieur de la première spire, ou des premières spires, au diamètre intérieur du tube (1) est compris entre 0,1 et 0,6, et de préférence entre 0,2 et 0,6.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément fixe (3) formant palier est un étrier comportant une partie centrale (9) percée d'un orifice destiné à recevoir le tourillon (4) de l'élément mobile (2), et deux branches (10), symétriques l'une à l'autre, ayant une forme permettant de les fixer sur l'extrémité amont du tube (1).
10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé par le fait qu'**une première butée (5) est prévue à l'extrémité du tourillon (4) et qu'une deuxième butée (11), tubulaire, est prévue sur la partie centrale (9) de l'étrier en prolongement de l'orifice destiné à recevoir le tourillon de l'élément mobile, formant avec celui-ci un canal de maintien du tourillon.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le tourillon (4) est remplacé par un prolongement du raccord souple (7).
12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'extrémité du raccord souple (7) est solidaire de la butée (5).
13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** une portion de l'élément mobile (2) est constituée de 15 % de spires à pas inversés.
14. Echangeur de chaleur comprenant une pluralité de tubes (1) traversés par un fluide, **caractérisé en ce qu'**il comprend un dispositif réducteur d'encrassement selon l'une quelconque des revendications précédentes, en particulier fixé à l'extrémité amont d'au moins un de ces tubes.

Claims

1. A device for reducing fouling inside a tube (1) through which a fluid (F) passes, of the type including at least one turbulence generating element, said device consisting of a movable rotary element (2) connected to a bearing forming fixed element (3), that can be rigidly joined to the upstream end of the tube (1), said movable rotary element (2) comprising:
- a journal forming upstream part (4) comprising a mechanical connection (5) with the bearing forming fixed element (3) and enabling the movable element (2) to be freely rotated on itself about the axis of the tube (1),
 - a propeller-shaped downstream part (6) consisting of several turns and designed so as to be rotatably driven by the flow of fluid (F) in the tube (1),
- wherein
- the upstream (4) and downstream (6) parts of the movable rotary element (2) are connected with each other through an elongated flexible connection being deformable throughout its length (7), and
- characterised in that**
- the downstream part (6) contains at least one turn portion the pitch of which is reversed (8) with respect to the pitch of the other turns.
2. The device according to claim 1, **characterised in that** the flexible connection (7) is preferably of metal, in particular of steel and more preferably of stainless steel.

3. The device according to claim 1 or 2, **characterised in that** the flexible connection (7) is a cable made of braided or twisted strands comprising a number of strands between 1 and 100, and preferably between 1 and 50.
- 5 4. The device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the length of the flexible connection (7) is between 1 cm and 5 cm, and preferably between 2 and 4 cm.
5. The device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the diameter of the flexible connection (7) is between 2 and 10 mm and preferably between 4 and 8 mm.
- 10 6. The device according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** the ratio of the outer diameter of the propeller to the inner diameter of the tube (1) is between 0.5 and 0.9, preferably between 0.6 and 0.8.
7. The device according to any of claims 1 to 6, **characterised in that** the outer diameter of the first turn or the first turns of the propeller is lower than the outer diameter of the other turns of the propeller.
- 15 8. The device according to claim 7, **characterised in that** the ratio of the outer diameter of the first turn, or the first turns, to the inner diameter of the tube (1) is between 0.1 and 0.6, and preferably between 0.2 and 0.6.
9. The device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the bearing forming fixed element (3) is a caliper including a centre part (9) drilled by a port for receiving the journal (4) of the movable element (2), and two branches (10), symmetrical with each other, having a shape enabling them to be attached to the upstream end of the tube (1).
- 20 10. The device according to claim 9, **characterised in that** a first stop (5) is provided at the end of the journal (4) and a tubular second stop (11) is provided on the centre part (9) of the caliper extending from the port for receiving the journal of the movable element, forming a journal holding channel therewith.
- 25 11. The device according to any of the preceding claims, **characterised in that** the journal (4) is replaced by an extension of the flexible connection (7).
- 30 12. The device according to claim 11, **characterised in that** the end of the flexible connection (7) is integral with the stop (5).
13. The device according to any of the preceding claims, **characterised in that** a portion of the movable element (2) consists of 15% reverse pitch turns.
- 35 14. A heat exchanger including a plurality of tubes (1) through which a fluid passes, **characterised in that** it comprises a fouling reducing device according to any of the preceding claims, in particular attached to the upstream end of at least one of these tubes.
- 40

Patentansprüche

- 45 1. Vorrichtung zum Verringern der Verschmutzung des Inneren eines Rohrs (1), das von einem Fluid (F) durchströmt wird, von dem Typ, der zumindest ein Element enthält, das Turbulenzen erzeugt, wobei die Vorrichtung gebildet ist aus einem beweglichen drehbaren Element (2), das mit einem festen Element (3) verbunden ist, das ein Lager bildet und geeignet ist, starr mit einem Stromaufwärtsende des Rohrs (1) verbunden zu werden, wobei das bewegliche drehbare Element (2) enthält:
- 50 einen Stromaufwärtsabschnitt (4), der einen Drehzapfen bildet, der eine mechanische Verbindung (5) mit dem ein Lager bildenden festen Element (3) enthält und die freie Drehung des beweglichen Elements (2) an demselben um die Achse des Rohrs (1) ermöglicht,
- 55 einen Stromabwärtsabschnitt (6) in Form einer Helix, die durch mehrere Windungen gebildet ist und so angepasst ist, dass sie durch das Strömen des Fluids (F) in dem Rohr (1) in Drehung versetzt wird, wobei der Stromaufwärtsabschnitt (4) und der Stromabwärtsabschnitt (6) des beweglichen Elements (2) über ein nachgiebiges, längliches, über seine gesamte Länge verformbares Verbindungsstück (7) miteinander verbunden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Stromabwärtsabschnitt (6) zumindest einen Windungsabschnitt enthält, dessen Gang (8) relativ zu dem Gang der anderen Windungen umgekehrt ist.

- 5 **2.** Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das nachgiebige Verbindungsstück (7) aus Metall ist, insbesondere aus Stahl und auf bevorzugte Weise aus Edelstahl.
- 10 **3.** Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das nachgiebige Verbindungsstück (7) ein Kabel ist, das aus geflochtenen oder verdrehten Drähten gebildet ist und eine Anzahl von Drähten enthält, die zwischen 1 und 100 liegt, vorzugsweise zwischen 1 und 50.
- 15 **4.** Vorrichtung gemäß einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge des nachgiebigen Verbindungsstücks (7) zwischen 1 cm und 5 cm liegt, vorzugsweise zwischen 2 und 4 cm.
- 20 **5.** Vorrichtung gemäß einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser des nachgiebigen Verbindungsstücks (7) zwischen 2 und 10 mm liegt, vorzugsweise zwischen 4 und 8 mm.
- 25 **6.** Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis des Außendurchmessers der Helix zu dem Innendurchmesser des Rohrs (1) zwischen 0,5 und 0,9 liegt, vorzugsweise zwischen 0,6 und 0,8.
- 30 **7.** Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Außendurchmesser der ersten Windung oder der ersten Windungen der Helix kleiner als der Außendurchmesser der der anderen Windungen der Helix ist.
- 35 **8.** Vorrichtung gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verhältnis des Außendurchmessers der ersten Windung oder der ersten Windungen der Helix zu dem Innendurchmesser des Rohrs (1) zwischen 0,1 und 0,6 liegt, vorzugsweise zwischen 0,2 und 0,6.
- 40 **9.** Vorrichtung gemäß einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feste Element (3), das ein Lager bildet, ein Bügel ist, der einen Mittelabschnitt (9), der von einer Öffnung durchbohrt ist, die dazu bestimmt ist, den Drehzapfen (4) des beweglichen Elements (2) aufzunehmen, und zwei Arme (10) enthält, die symmetrisch zueinander sind und eine Form haben, die es ermöglicht, sie an dem Stromaufwärtsende des Rohrs (1) zu befestigen.
- 45 **10.** Vorrichtung gemäß Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein erster Anschlag (5) an dem Ende des Drehzapfen (4) angeordnet ist und dass ein zweiter Anschlag (11), der rohrförmig ist, an dem Mittelabschnitt (9) des Bügels in Verlängerung der Öffnung, die dazu bestimmt ist, den Drehzapfen des beweglichen Elements aufzunehmen, angeordnet ist und mit diesem einen Kanal zum Halten des Drehzapfens bildet.
- 50 **11.** Vorrichtung gemäß einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzapfen (4) durch eine Verlängerung des nachgiebigen Verbindungsstücks (7) ersetzt ist.
- 55 **12.** Vorrichtung gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ende des nachgiebigen Verbindungsstücks (7) mit dem Anschlag (5) verbunden ist.
- 13.** Vorrichtung gemäß einem der vorigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Abschnitt des beweglichen Elements (2) aus 15 % Windungen mit umgekehrtem Gang gebildet ist.
- 14.** Wärmetauscher mit einer Mehrzahl von Rohren (1), die von einem Fluid durchströmt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine Vorrichtung zum Verringern der Verschmutzung gemäß einem der vorigen Ansprüche enthält, die insbesondere an dem Stromaufwärtsende zumindest eines dieser Rohre befestigt ist.

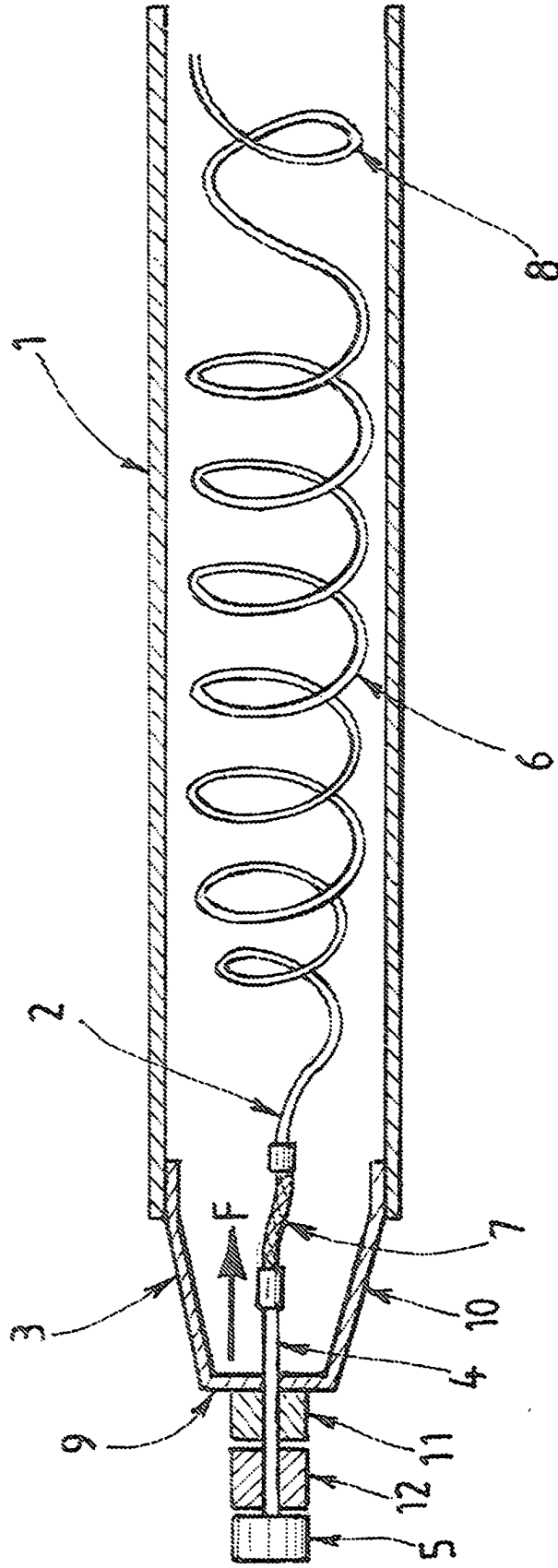


FIG.1

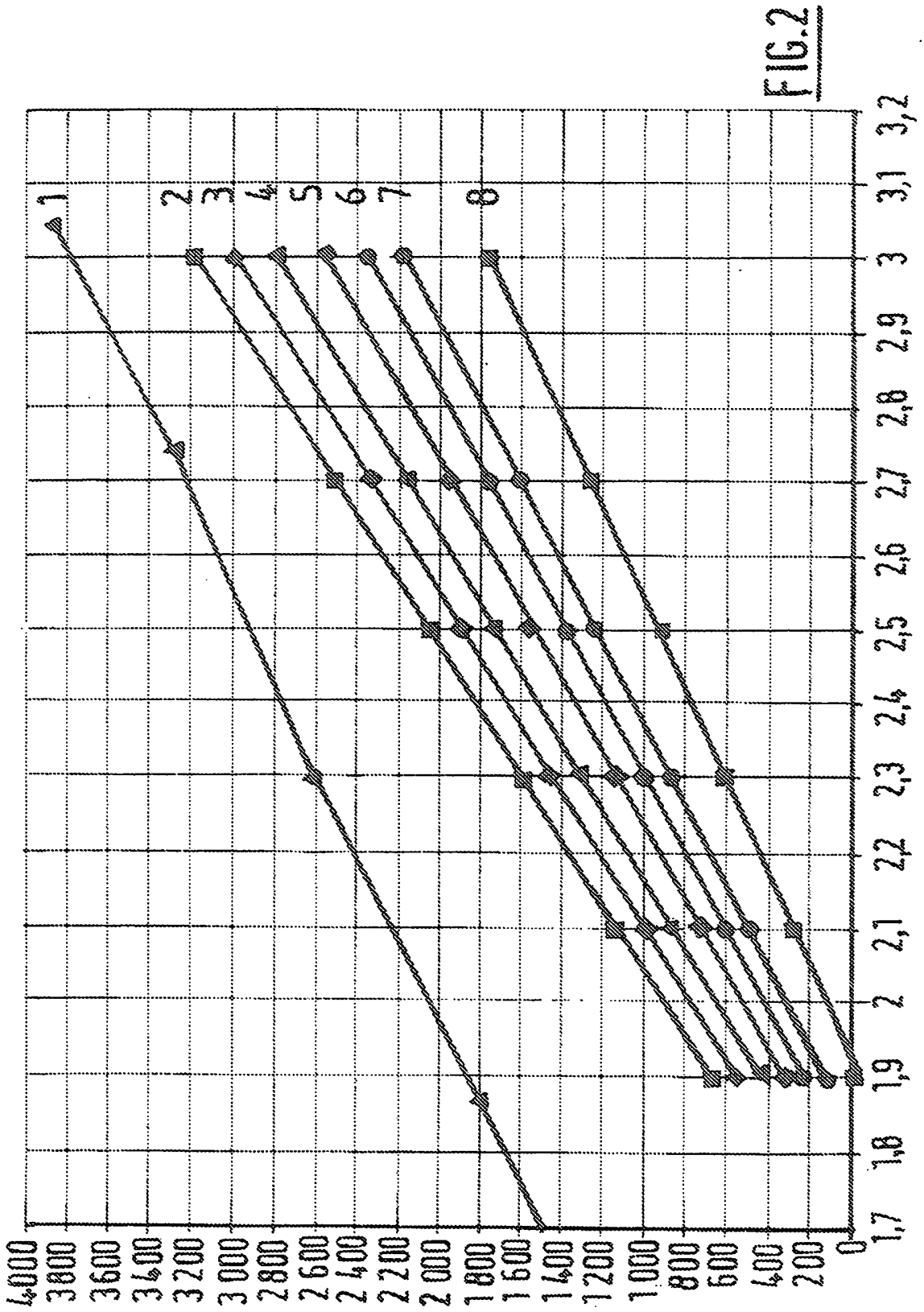


FIG.2

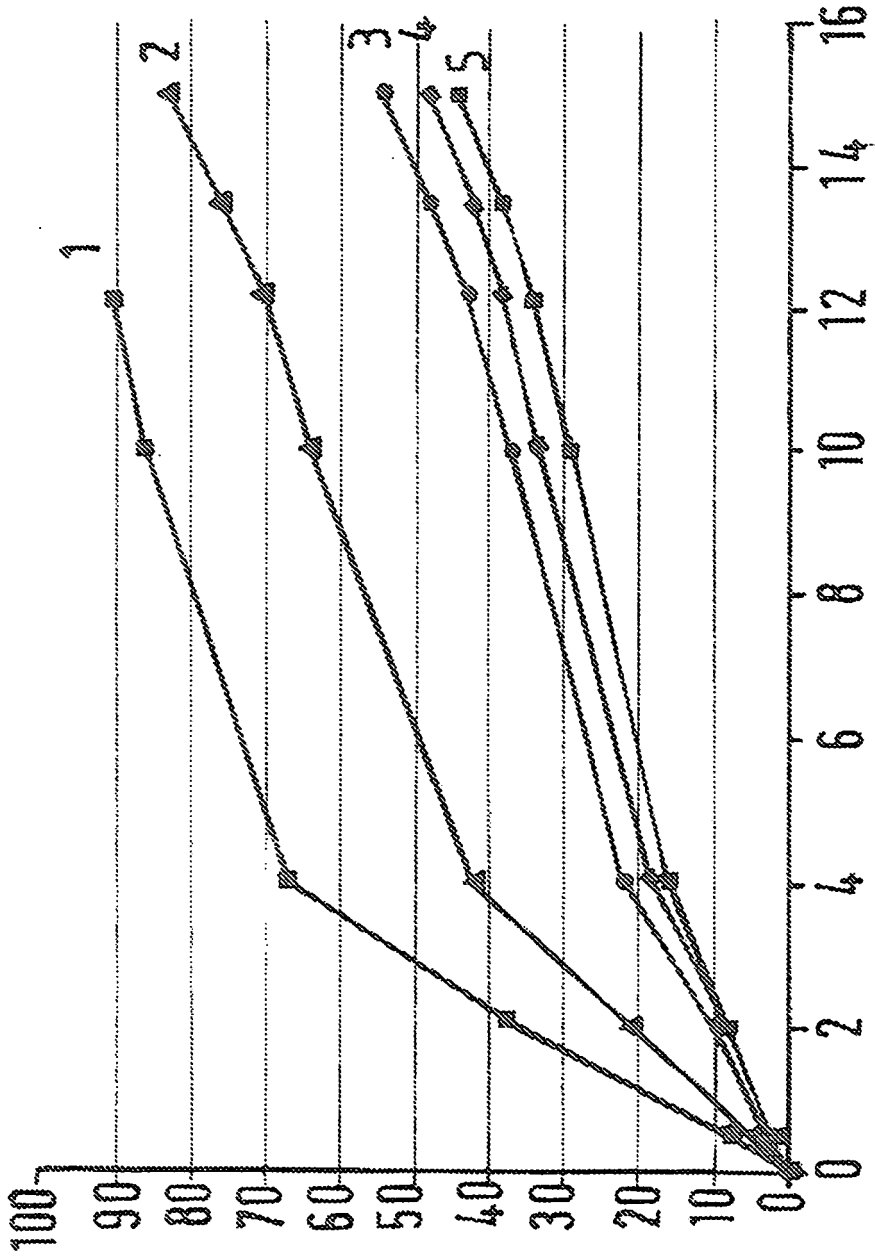


FIG.3

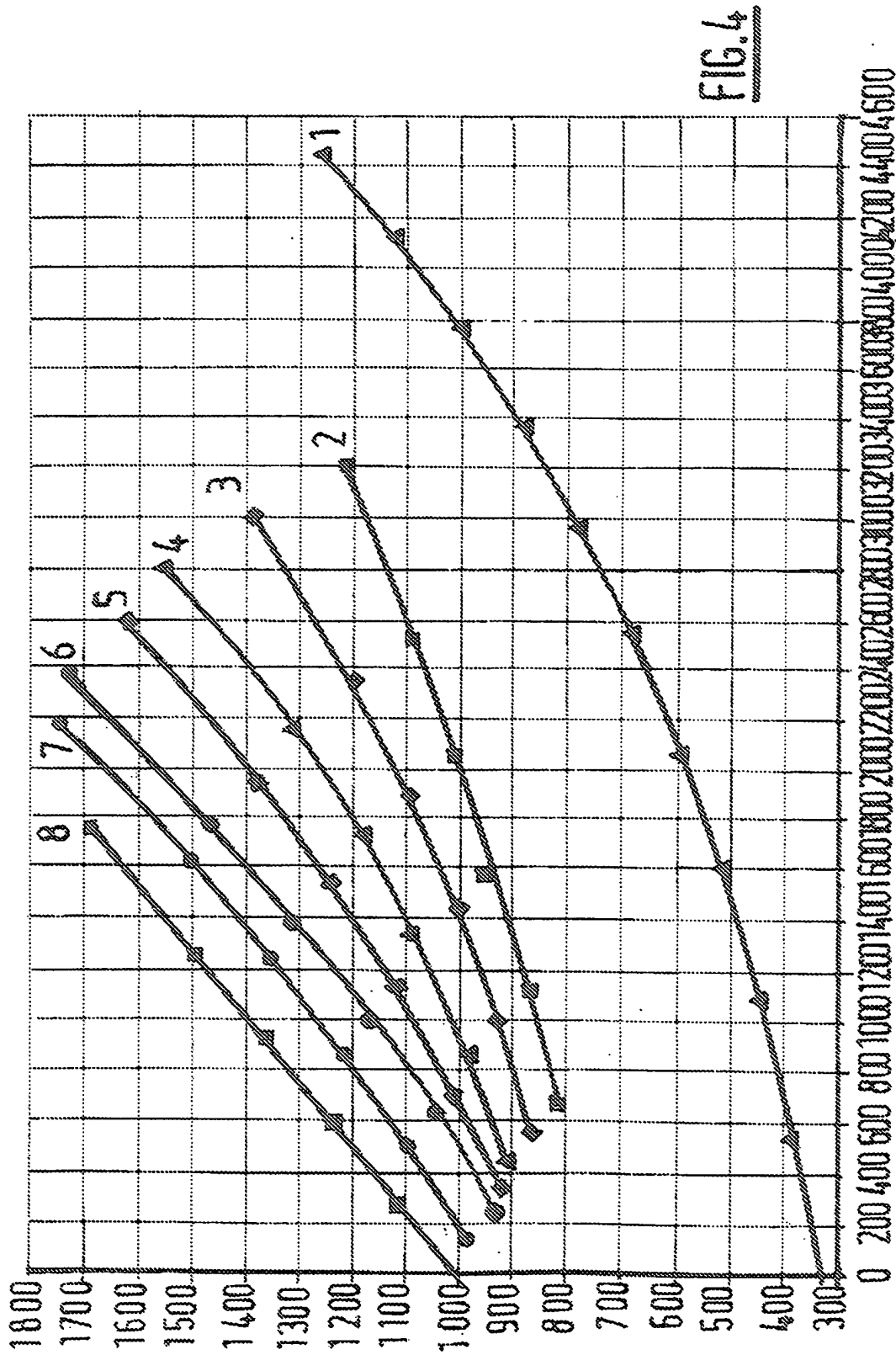


FIG. 4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0369851 A [0007] [0025]
- FR 2890162 [0008] [0013] [0017] [0040] [0058] [0072]
- EP 0233092 A [0025] [0028]
- EP 0282406 A [0025] [0028]
- EP 2637659 A [0028]
- FR 2479964 [0043]