

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2015/145024 A1

(43) Date de la publication internationale
1 octobre 2015 (01.10.2015)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
B23D 61/18 (2006.01) B23K 20/02 (2006.01)
B23D 65/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/050652
- (22) Date de dépôt international :
17 mars 2015 (17.03.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
14 52476 24 mars 2014 (24.03.2014) FR
- (71) Déposant : THERMOCOMPACT [FR/FR]; ZI Les Iles,
F-74370 Metz Tassy (FR).
- (72) Inventeur : SANCHEZ, Gérald; Moulin du Collet, 1065
route du Fier, F-74230 Dingy Saint Clair (FR).
- (74) Mandataires : COLOMBO, Michel et al.; 310 bis avenue
Berthelot, F-69008 Lyon (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR MANUFACTURING A CLOSED LOOP OF CUTTING WIRE

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE BOUCLE FERMEE DE FIL DE DECOUPE

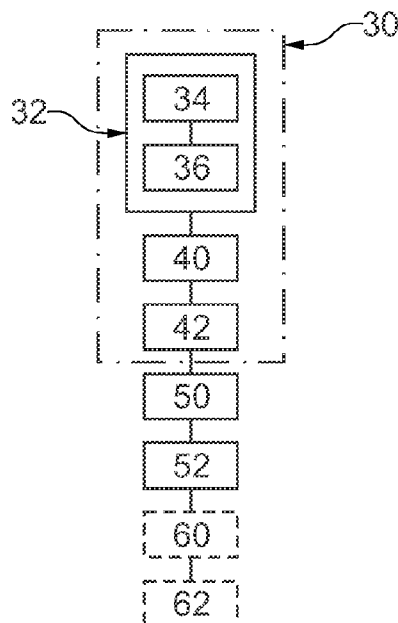


Fig. 4

(57) Abstract : The invention relates to a method for manufacturing a closed loop of cutting wire, wherein said method comprises: manufacturing (30) a cutting wire comprising a central core continuously extending between two free ends, said central core having a tensile strength greater than 1400 MPa, and welding (50) together both free ends so as to form the closed loop of cutting wire, wherein: - manufacture of the cutting wire comprises creating (32) the central core from a solid state weldable material; and - the welding (50) is a solid state welding operation that comprises crushing, at a temperature less than the melting temperature of the central core material, one of the free ends onto the other of the free ends thereof until both ends interpenetrate each other and no longer form a single uniform material unit.

(57) Abrégé : Ce procédé de fabrication d'une boucle fermée de fil de découpe comporte : - la fabrication (30) d'un fil de découpe comportant une âme centrale s'étendant continûment entre deux extrémités libres, cette âme centrale présentant une résistance à la traction supérieure à 1400 MPa, - le soudage (50) ensemble des deux extrémités libres pour former la boucle fermée de fil de découpe, dans lequel: - la fabrication du fil de découpe comporte la réalisation (32) de l'âme centrale dans un matériau soudable à l'état solide, et - le soudage (50) est une opération de soudage à l'état solide comportant l'écrasement, à une température inférieure à la température de fusion du matériau de l'âme centrale, de l'une des extrémités libres sur l'autre de ses extrémités libres jusqu'à ce que les deux extrémités s'interpénètrent et ne forment plus qu'un seul bloc de matière uniforme.



WO 2015/145024 A1

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

PROCEDE DE FABRICATION D'UNE BOUCLE FERMEE DE FIL DE DECOUPE

[001] L'invention concerne un procédé de fabrication d'une boucle fermée de fil de découpe ainsi qu'une boucle fermée de fil de découpe fabriquée par ce procédé.

5 [002] Les boucles fermées de fil de découpe sont utilisées dans des machines à découper des lingots de matériaux durs comme des lingots en silicium ou autres matériaux semi-conducteurs. Le fil découpe le lingot par frottement ou abrasion. Pour cela, la machine entraîne la boucle fermée en rotation. La vitesse de déplacement du fil dans sa direction longitudinale est typiquement comprise entre 5 m/s et 15 m/s. Le
10 fil est également tendu avec une force importante comprise, typiquement, entre 10 N et 50 N et, de préférence, entre 30 N et 40 N.

[003] L'avantage d'utiliser une boucle fermée de fil de découpe est que le fil se déplace toujours dans le même sens et qu'il n'est pas nécessaire de prévoir périodiquement un changement de sens de déplacement de ce fil. Des procédés
15 connus de fabrication d'une telle boucle fermée de fil de découpe comportent :

- la fabrication d'un fil de découpe comportant une âme centrale s'étendant continûment entre deux extrémités libres, cette âme centrale présentant une résistance à la traction supérieure à 1400 MPa, et
- le soudage ensemble des deux extrémités libres pour former la boucle fermée de fil
20 de découpe.

[004] Jusqu'à présent, la soudure pour former la boucle est réalisée en chauffant, par exemple à l'aide d'un faisceau laser ou d'un courant électrique, les extrémités du fil de découpe au-delà de la température de fusion de l'âme centrale. Ensuite, les deux extrémités chauffées sont raboutées. Le métal fondu de l'âme centrale présent
25 sur chacune de ces extrémités se mélange et forme la soudure après avoir refroidi. Un tel procédé est par exemple décrit dans le brevet US6311684B1.

[005] Il a été constaté que lors de l'utilisation sur des machines à découper de telles boucles fermées, les boucles ainsi réalisées ont tendance à se rompre à proximité de la soudure dans la zone affectée thermiquement. Pour remédier à ce
30 problème, le brevet US6311684B1 ou la demande WO99/28075 propose d'appliquer sur la soudure des traitements thermiques supplémentaires à des températures bien précises. Ces traitements thermiques supplémentaires complexifient la fabrication de la boucle fermée.

[006] De l'état de la technique est également connu de GB892874A et FR88121E.

35 [007] L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant un procédé de fabrication d'une boucle fermée de fil de découpe plus simple.

[008] Elle a donc pour objet un tel procédé conforme à la revendication 1.

[009] La soudure conventionnelle chauffe au-delà de sa température de fusion les extrémités de l'âme centrale en acier. Cet échauffement modifie localement les
40 propriétés mécaniques de l'âme centrale. Plus précisément, cela diminue sa

résistance à la traction et sa résistance en fatigue. C'est donc pour cela que la boucle casse généralement à proximité de la soudure et que US6311684B1 enseigne de réaliser des traitements thermiques supplémentaires pour restaurer les propriétés mécaniques initiales du fil de découpe même dans la zone affectée thermiquement par le soudage.

5 [0010] Au contraire, dans le procédé revendiqué, la soudure est une soudure à l'état solide réalisée sans échauffement au-delà de la température de fusion de l'âme centrale. Ainsi, lors du soudage à l'état solide, il n'y a pas de modification des propriétés mécaniques de l'âme centrale et, notamment, il n'y a pas de diminution de la résistance à la traction de l'âme centrale à proximité de la soudure. Il n'est ainsi pas nécessaire de mettre en œuvre des traitements thermiques supplémentaires pour restaurer les propriétés mécaniques du fil au niveau de la soudure et, notamment, pour rendre le fil plus dur et/ou moins fragile au niveau de la soudure.

10 [0011] Les déposants font également remarquer que le soudage à l'état solide est uniquement connu pour être applicable à des matériaux mous, tel que le cuivre, c'est-à-dire des matériaux qui, lorsqu'ils se présentent sous la forme d'une âme centrale d'un diamètre compris entre 0,4 mm et 0,6 mm, présentent une résistance à la traction inférieure à 500 MPa. De plus, le soudage à l'état solide est connu pour s'appliquer uniquement au matériau non-ferreux (voir par exemple l'enseignement du site internet suivant : <http://coldpressurewelding.com/cms/index.php/en/faq#Q5>). Ainsi, cet enseignement dissuade d'essayer cette technique de soudage à l'état solide dans le domaine des fils de découpe. En effet, l'âme centrale est réalisée dans un matériau aussi dur que possible et donc normalement dans un matériau a priori incompatible avec cette technique de soudage à l'état solide. Toutefois, les déposants ont également découvert que, de façon surprenante, ces techniques de soudage à l'état solide donnaient des résultats satisfaisants même avec des âmes réalisées dans des matériaux durs à partir du moment où l'âme centrale est réalisée dans un matériau susceptible d'être soudé à l'état solide.

25 [0012] Les modes de réalisation de ce procédé peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques des revendications dépendantes de procédé.

[0013] Ces modes de réalisation du procédé de fabrication présentent en outre les avantages suivants :

- la réalisation du soudage après le tréfilage de l'âme centrale simplifie la fabrication de la boucle fermée car il est alors possible de fabriquer le fil de découpe à partir d'une âme centrale s'étendant continûment entre ses deux extrémités libres ;
- le chauffage sur l'ensemble de la boucle fermée après le soudage permet l'accroître encore plus la dureté du fil de découpe sur toute la longueur de la boucle fermée.

35 [0014] L'invention a également pour objet une boucle fermée de fil de découpe réalisée à l'aide du procédé de fabrication ci-dessus.

[0015] Les modes de réalisation de cette boucle fermée peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques des revendications dépendantes de boucle fermée de fil de découpe.

[0016] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, 5 donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une illustration schématique d'une boucle fermée de fil de découpe ;
- la figure 2 est une illustration schématique, en coupe transversale, du fil de découpe de la boucle de la figure 1 ;

10 - la figure 3 est une illustration schématique, en coupe transversale, d'une particule abrasive du fil de découpe de la figure 2 ;

- la figure 4 est un organigramme d'un procédé de fabrication de la boucle fermée de la figure 1.

[0017] Dans ces figures, les mêmes références sont utilisées pour désigner les 15 mêmes éléments.

[0018] Dans la suite de cette description, les caractéristiques et fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détail.

[0019] Dans cette description, lorsque des valeurs de perméabilité relative d'un matériau magnétique sont données, elles le sont pour une fréquence nulle.

20 [0020] La figure 1 représente une boucle fermée 2 d'un fil 3 de découpe. Un fil de découpe est destiné à découper un matériau dur par frottement ou abrasion. Ici, on considère qu'un matériau est dur si sa microdureté sur l'échelle de Vickers est supérieure à 400 Hv50 ou supérieur ou égale à 4 sur l'échelle de Mohs. Dans cette description, les microduretés Vickers sont exprimées pour une charge de 50 gramme 25 force, c'est-à-dire pour une force de 0,49N. Toutefois, l'homme du métier sait qu'il faut ajuster la charge en fonction de l'épaisseur du matériau sur lequel les mesures sont réalisées pour que la taille de l'empreinte Vickers soit inférieure à l'épaisseur du matériau. Ici, ce fil de découpe est destiné à découper du silicium monocristallin ou polycristallin ou encore du saphir ou du carbure de silicium.

30 [0021] Le fil 3 s'étend continûment d'une extrémité 4A jusqu'à une extrémité opposée 4B. La longueur du fil 3 entre ses deux extrémités 4A, 4B est généralement supérieure à 20 cm ou 1 m et, typiquement, supérieure ou égale à 2 m ou 3m. Généralement, la longueur du fil 3 est inférieure à 10 m ou 5 m.

[0022] Pour former la boucle 2, les extrémités 4A et 4B sont raccordées 35 mécaniquement l'une à l'autre sans aucun degré de liberté par une soudure 5.

[0023] La figure 2 représente plus en détail une section transversale du fil 3. Le fil 3 comporte une âme centrale 4 sur la périphérie de laquelle sont fixées des particules abrasives 6 maintenues sur l'âme centrale par un liant 8.

[0024] Typiquement, l'âme centrale 4 se présente sous la forme d'un fil simple 40 présentant une résistance à la traction supérieure à 1200 MPa ou 1400 MPa et, de

préférence, supérieure à 2 000 ou 3 000 MPa. Généralement, la résistance à la traction de l'âme 4 est inférieure à 5 000 MPa.

[0025] L'allongement à la rupture de l'âme 4 est supérieur à 1 % et, de préférence, supérieur à 2 %. A l'inverse, l'allongement à la rupture de l'âme 4 ne doit pas être trop important et, par exemple, doit rester en dessous de 10 % ou 5 %. L'allongement à la rupture représente ici l'augmentation de la longueur de l'âme 4 avant que celle-ci ne se rompe.

[0026] Dans ce mode de réalisation, l'âme 4 a une section transversale circulaire. Par exemple, le diamètre de l'âme 4 est compris entre 70 μm et 1 mm. Le diamètre de l'âme 4 dépend souvent du matériau que l'on souhaite découper. Par exemple, le diamètre de l'âme 4 est compris entre 200 μm et 450 μm ou 200 μm et 1mm pour découper des lingots de silicium tandis qu'il est compris entre 70 μm et 100 μm ou entre 70 μm et 200 μm pour découper des tranches de silicium connues sous le terme anglais de « wafer ». Dans ce mode de réalisation, l'âme 4 est réalisée dans un matériau électriquement conducteur. On considère qu'un matériau est électriquement conducteur si sa résistivité est inférieure à $10^{-5} \Omega\cdot\text{m}$ à 20°C.

[0027] L'âme 4 est aussi réalisée dans un matériau soudable à l'état solide (« Solid-State welding » en anglais). Le soudage à l'état solide est bien connu. Cela regroupe les techniques de soudage où la température de l'âme 4 reste inférieure à la température de fusion du matériau de cette âme. Typiquement, la température de soudage est inférieure à $0,9 T_f$ et, de préférence, inférieure à $0,5T_f$ ou $0,25T_f$ ou $0,15T_f$, où T_f est la température de fusion du matériau de cette âme centrale. Par exemple, dans le cas du soudage à froid, la température de soudage est inférieure à $0,25T_f$ ou $0,15T_f$, c'est-à-dire typiquement inférieure à 50°C ou 100°C.

[0028] Lors du soudage à l'état solide, la soudure est réalisée sans apport de matière extérieure sur les extrémités à souder. Le soudage à l'état solide se fait typiquement en écrasant violemment l'une des extrémités libres 4A sur l'autre extrémité libre 4B. L'écrasement est réalisé avec une pression suffisante pour qu'au niveau du point d'impact, les matériaux des deux extrémités 4A et 4B s'interpénètrent pour former un seul bloc de matière uniforme. Typiquement, on considère que la pression est suffisante si le paramètre $Y=(S1-S_0)/S1$ est supérieur à 0,5 et, de préférence, à 0,7, où

- S_0 est la section transversale de l'âme 4 avant le soudage à l'état solide, et

- $S1$ est la section transversale de l'âme 4, au niveau de la soudure 5, après le soudage à l'état solide.

[0029] Cela correspond généralement à une pression en MPa supérieure à $Hv*5$ et, de préférence, à $Hv*10$, où Hv est la microdureté du matériau de l'âme 4 exprimée sur l'échelle de Vickers pour une charge de 50 gramme-force. Pour une grande partie des matériaux soudables à l'état solide, la pression au niveau du point d'impact est supérieure à 1000 MPa et, de préférence, supérieure à 4000 MPa.

[0030] Après le soudage à l'état solide, il n'est pas possible de discerner, même dans une coupe longitudinale de la soudure observée au microscope, une interface qui sépare d'un côté la matière qui, avant le soudage, appartenait à l'extrémité 4A et, de l'autre côté, la matière qui, avant le soudage, appartenait à l'autre extrémité 4B.

5 Ici, la soudure est réalisée par soudage à froid. Le soudage à froid est réalisé à l'aide d'une machine de soudage par pression (« pressure welding machine » en anglais). Cette machine est bien connue et elle ne sera pas décrite ici plus en détail. Il s'agit par exemple de la machine commercialisée sous la référence BM30 de la société P.W.M. (Pressure Welding Machines). Elle possède au travers d'une filière
10 compartimentée deux pinces qui saisissent chacune une extrémité respective de l'âme centrale. Elle possède également un mécanisme de vérins qui permet de rapprocher les pinces l'une de l'autre jusqu'au contact avec une force importante. Cette force est suffisante pour écraser l'une sur l'autre les extrémités de l'âme 4 saisie et maintenue par ces pinces. L'excédent de métal est expulsé latéralement, on
15 réitère cette action autant de fois que nécessaire pour atteindre le niveau de pression adéquat pour créer la liaison atomique entre les deux extrémités 4A, 4B.

[0031] Tous les matériaux ne sont pas soudables à l'état solide. Par exemple, les matériaux soudables à l'état solide sont souvent, mais pas toujours, des matériaux sans carbone ou avec très peu de carbone, c'est-à-dire avec moins de 0,2 % ou
20 0,4 % et, typiquement, moins de 0,04 % ou 0,02 % en masse de carbone.

[0032] Enfin, dans ce mode de réalisation particulier, l'âme 4 est également réalisée dans un matériau magnétique dont la perméabilité relative est supérieure à 50 et, de préférence, supérieure à 100 ou 200.

[0033] Par exemple, ici, le matériau utilisé pour réaliser l'âme 4 est un acier
25 inoxydable austénitiques. Typiquement, les aciers inoxydables sont un alliage de fer et de carbone contenant en plus au moins 10 % en masse de chrome et, typiquement, plus de 30 % ou 50 % en masse de fer. En effet, c'est le chrome qui protège l'acier de l'oxydation. Il forme un oxyde Cr_2O_3 protecteur à la surface de l'acier. Ils comporte également, généralement, moins de 1 % ou 0,5 % en masse de
30 particules céramiques telles que Fe_3C ou Cr_{23}C_6 . De préférence, l'acier inoxydable austénitique est dans sa structure cristalline cubique à face centrée ou forme γ (gamma) du fer. Les aciers inoxydables austénitiques qui conviennent sont typiquement choisis parmi les alliages contenant du fer et du nickel dans les proportions indiquées ci-dessus ainsi que moins de 26 % en masse de Chrome et
35 moins de 0,2 % en masse de Carbone.

[0034] Dans le cas des aciers inoxydables les plus courants, tels que les aciers inoxydables 304, 316, 316L, et 321, la structure « gamma » est obtenue en ajoutant au moins 6 % en masse et, souvent, au moins 10% en masse de nickel à l'acier. D'où la désignation grand public de ces aciers « 18-10 » (18% de chrome et 10% de
40 nickel). Par exemple, l'acier inoxydable est ici l'acier 316L. D'autres matériaux qu'un

acier inoxydable sont aussi possibles tels que les alliages Nickel-Chrome. Par exemple, il peut s'agir de l'Inconel® X750. L'Inconel X750 est un alliage Nickel-Chrome contenant :

- 70 % en masse de Nickel et de Cobalt,

5 - 14 % en masse de Chrome,

- 5 à 9 % en masse de Fer, et

- 2 à 2,5 % en masse de Titane.

[0035] D'autres matériaux possibles sont les matériaux en phase homogène alpha.

La phase homogène alpha est la phase alpha du diagramme de phase de ce

10 matériau. Ces matériaux peuvent être des alliages et, en particulier, des alliages Nickel-Chrome en phase homogène alpha .

[0036] La masse linéique m de l'âme 4 est, par exemple, comprise entre 10mg/m et 500mg/m et, de préférence, entre 50mg/m et 200mg/m.

[0037] Les particules abrasives 6 forment des dents à la surface de l'âme 4 qui vont
15 venir éroder le matériau à découper. Ces particules abrasives doivent donc être plus dures que le matériau à découper.

[0038] Le diamètre de ces particules 6 est compris entre 1 μm et 500 μm et inférieur au tiers du diamètre de l'âme 4. Ici, dans ce mode de réalisation, le diamètre des particules 6 est compris entre 10 et 22 μm pour une âme de diamètre 0,12mm.

20 Lorsque ces particules 6 ne sont pas des sphères, le diamètre correspond au plus grand diamètre hydraulique de ces particules.

[0039] Le liant 8 a pour fonction de maintenir les particules abrasives 6 fixées sans aucun degré de liberté sur l'âme 4.

[0040] De préférence, le liant 8 est un liant métallique car ces liants sont plus durs
25 que des résines et permettent donc de maintenir de façon plus efficace les particules abrasives sur l'âme 4. Ici, le liant est du nickel ou un alliage de nickel.

[0041] Dans ce mode de réalisation, le liant 8 est déposé en deux couches successives 10 et 12. L'épaisseur de la couche 10 est faible. Par exemple, elle est inférieure au quart du diamètre moyen des particules abrasives. Cette couche 10

30 permet juste de fixer faiblement les particules abrasives 6 sur l'âme centrale.

[0042] La couche 12 a une épaisseur plus importante. Par exemple, l'épaisseur de la couche 12, dans la direction radiale, est comprise entre 0,25 et 0,5 fois le diamètre moyen des particules abrasives. L'épaisseur de la couche 12 est généralement inférieure ou égale à 0,5 fois le diamètre moyen des particules abrasives 6.

35 L'épaisseur de la couche 12 reste cependant classiquement inférieure ou égale au diamètre moyen des particules abrasives.

[0043] Cette couche 12 permet d'empêcher l'arrachement des particules abrasives 6 lorsque le fil 3 est utilisé pour découper une pièce. La somme des épaisseurs des couches 10 et 12 est généralement inférieure à 0,7 fois le diamètre moyen des

40 particules abrasives 6.

[0044] La figure 3 représente plus en détail une particule 6 abrasive. Chaque particule abrasive 6 comporte un grain abrasif 16 réalisé dans un matériau plus dur que le matériau à scier. Par exemple, la dureté du grain abrasif 16 est supérieure à 430 Hv50 sur l'échelle de Vickers et, de préférence, supérieure ou égale à 1 000 Hv50. Sur l'échelle de Mohs, la dureté des grains 16 est supérieure à 7 ou 8. Par exemple, les grains 16 sont des grains de diamant.

[0045] Dans ce mode de réalisation particulier, chaque grain 16 est recouvert d'un revêtement 18 en matériau magnétique dont la perméabilité relative est supérieure ou égale à 50 et, de préférence, supérieure ou égale à 100. Le matériau magnétique utilisé est par exemple un matériau ferromagnétique ou ferrimagnétique. De préférence, le matériau est également un matériau électriquement conducteur pour faciliter la fixation des particules 6 par le liant 8 sur l'âme 4. Par exemple, le matériau utilisé est de préférence un matériau ferromagnétique comportant l'un des éléments suivants : du fer, du cobalt, du nickel ou un alliage de samarium-cobalt ou du Néodyme.

[0046] L'épaisseur du revêtement 18 est suffisante pour que le volume de matériau magnétique dans la particule abrasive 6 permette de soulever cette particule lorsqu'elle est placée dans un gradient d'induction magnétique de 30T/m et, de préférence, de 10T/m. Typiquement, pour cela, le volume du matériau magnétique représente plus de 1 % ou 5 % du volume de la particule abrasive 6. Par exemple, son épaisseur est comprise entre 0,5 et 100 % du diamètre du grain 16 de la particule abrasive 6 et, de préférence, entre 2 et 50 % du diamètre du grain 16 de la particule abrasive 6.

[0047] L'épaisseur est généralement supérieure à 0,05 μm et, de préférence, supérieure à 1 μm pour obtenir un revêtement 18 recouvrant plus de 90 % de la surface extérieure du grain 16.

[0048] A titre d'exemple, le revêtement 18 est ici du nickel. L'épaisseur du revêtement 18 est choisie de telle sorte qu'il représente plus de 10 % en masse et, de préférence, moins de 56 % en masse de la particule 6.

[0049] La fabrication de la boucle 2 va maintenant être décrite en référence au procédé de la figure 4.

[0050] Le procédé débute par une phase 30 de fabrication du fil 3 de découpe. Cette phase 30 débute par une étape 32 de réalisation de l'âme 4 dans un matériau soudable à l'état solide tel que l'un de ceux décrits précédemment.

[0051] Ici, l'étape 32 consiste à fournir, lors d'une opération 34, l'âme 4 réalisée dans ce matériau, avec un diamètre initial Φ_{ini} . Typiquement, le diamètre Φ_{ini} est supérieur ou égal à 1,1 fois ou 1,2 fois le diamètre final Φ_{final} souhaité pour l'âme 4. Par exemple, ici, on suppose que le diamètre Φ_{final} souhaité est égal à 0,5 mm. Dans ces conditions, le diamètre Φ_{ini} de l'âme 4 est choisi supérieur ou égal à 0,6 mm. Ici, le diamètre Φ_{ini} est égal à 0,7 mm.

[0052] A ce stade, la résistance à la traction de l'âme 4 est, de préférence, supérieure à 500 MPa et, avantageusement, supérieure à 700 MPa ou 800 MPa. Toutefois, la résistance à la traction est aussi généralement inférieure à la résistance à la traction souhaitée pour la boucle 2, c'est-à-dire inférieure 1200 MPa ou à 5 1400 MPa. De plus, lors de l'opération 34, l'allongement de la rupture de l'âme 4 est généralement très supérieur à 10 % ou 5 %. Par exemple, l'allongement à la rupture de l'âme 4 est à ce stade supérieur à 20 % ou 30 %.

[0053] Ensuite, lors d'une opération 36, l'âme 4 est tréfilée pour diminuer son diamètre jusqu'au diamètre souhaité Φ_{final} . Lors de l'opération 36, l'âme 4 est par 10 exemple étiré pour faire diminuer son diamètre. Cette opération provoque l'écrouissage de l'âme 4 et donc le durcissement du matériau de l'âme 4. Ainsi, à l'issue de l'opération 36, le diamètre de l'âme 4 est égal au diamètre Φ_{final} . De plus, à cause de l'écrouissage, la résistance à la traction de l'âme 4 dépasse maintenant les 1400 MPa ou les 1500 MPa. A ce stade, l'allongement à la rupture de l'âme 4 est 15 devenu inférieur à 10 % ou 5 %.

[0054] Après l'étape 32, on procède à une étape 40 de fixation, sans aucun degré de liberté, des particules abrasives 6 sur l'âme 4 précédemment réalisée.

[0055] Ici, les particules abrasives 6 sont déposées par électrolyse sur l'âme 4. On utilise à cet effet, l'une des techniques décrites dans la demande de brevet 20 FR 2 988 628. Ici, ces techniques sont mises en œuvre non pas sur un acier carboné mais sur une âme réalisée dans un matériau soudable à l'état solide. Ainsi, selon la nature du matériau de l'âme 4, il peut être nécessaire de prévoir le dépôt d'une couche d'accroche sur l'âme 4 avant de procéder au dépôt du liant 8 pour garantir 25 une bonne tenue mécanique de liant 8 sur l'âme 4. La réalisation d'une telle couche d'accroche est bien connue de l'homme du métier et n'est donc pas décrite ici en détail.

[0056] A l'issue de l'étape 40, on obtient le fil 3 de découpe comportant l'âme 4 sur laquelle sont fixées les particules abrasives 6. Les extrémités 4A, 4B sont libres. Si à ce stade le fil 3 est trop long, il est ensuite coupé à la longueur souhaitée pour la 30 boucle 2.

[0057] Lors d'une étape 42, au niveau de chaque extrémité libre 4A et 4B, le liant 8 et les particules abrasives 6 sont retirées pour mettre à nu l'âme 4. Ici, les extrémités 4A et 4B sont dénudées sur une longueur de 2 à 5 mm en partant de l'extrémité libre.

[0058] La fabrication du fil de découpe se termine et l'on procède alors à une étape 35 50 de soudage ensemble des extrémités libres 4A et 4B pour former la boucle 2. A cet effet, on utilise une machine de soudage par pression. Plus précisément, les pinces de la machine de soudage par pression prennent directement appui sur les parties dénudées de l'âme 4. Ensuite, la machine est actionnée pour rapprocher les pinces l'une de l'autre. Les extrémités 4A et 4B viennent alors s'écraser l'une sur l'autre avec 40 une pression suffisamment élevée pour que les matériaux de ces deux extrémités

s'interpénètrent l'un avec l'autre et ne forment plus qu'un seul bloc de matière uniforme.

[0059] Lors de l'écrasement des extrémités 4A et 4B l'une sur l'autre, une partie du matériau de ces extrémités flue radialement vers l'extérieur de la soudure et forme des bavures. Dans le cas où le matériau de l'âme 4 est un acier inoxydable austénitique, la couche d'oxyde Cr_2O_3 est expulsée vers l'extérieur hors de la zone de soudure. Ceci favorise le soudage à l'état solide car l'oxyde Cr_2O_3 est un oxyde qui ressemble plus à une céramique non soudable à froid qu'à un métal soudable à froid.

[0060] L'expulsion vers l'extérieur d'une partie de la matière de l'âme 4 lors de l'étape 50 a aussi pour effet collatéral, d'écrourir, et donc de durcir par déformation, la zone affectée par la soudure. Cette zone devient plus écrouie et donc plus dure que le reste de l'âme 4 sans qu'il y ait besoin pour cela d'appliquer un traitement supplémentaire. De plus, comme ce durcissement est obtenu par écrouissage, et non par trempe, la soudure 5 obtenue est à la fois plus dure que le reste de l'âme 4 tout en restant ductile, c'est-à-dire non-fragile. En particulier, on peut plier l'âme 4 au niveau de la soudure 5 sans la casser. Typiquement, la soudure reste sensiblement aussi ductile que le reste de l'âme 4. Par exemple, la soudure 5 est au moins aussi ductile que le reste de l'âme 4. Ainsi, à ce stade, on peut reconnaître la soudure 5 par rapport à d'autres types de soudures, en ce qu'elle est à la fois plus dure que le reste de l'âme 4 et, en même temps, non fragile. Par comparaison, une soudure à chaud, c'est-à-dire une soudure obtenue par fusion des extrémités 4A et 4B, est soit plus fragile que le reste de l'âme qui n'a pas été chauffé, soit moins dure que le reste de l'âme.

[0061] Ainsi, une fois le soudage réalisé, lors d'une étape 52, on procède à l'ébavurage de la soudure 5 pour éliminer ces bavures qui se sont formées. On ramène ainsi le diamètre de l'âme 4, au niveau de la soudure 5, au diamètre souhaité Φ_{final} .

[0062] Ensuite, dans le cas où l'âme 4 est réalisée dans un matériau dont la dureté augmente en réponse à un traitement thermique, comme par exemple l'Inconel® lors d'une étape 60 on procède, éventuellement, à ce traitement thermique sur la totalité de la boucle 2. Ce traitement thermique permet aussi d'égaliser la dureté de la soudure 5 avec le reste du fil 3. Lors de ce traitement thermique, la boucle 2 est chauffée. Toutefois, cet échauffement reste inférieur à la température T_f de fusion de l'âme 4. Par exemple, dans le cas où l'âme 4 est réalisée en Inconel X750, la boucle 2 est chauffée à 850°C pendant 4 h.

[0063] Ensuite, toujours éventuellement, lors d'une étape 62, on peut aussi fixer à nouveau des particules abrasives 6 sur les parties dénudées de l'âme 4 situées au niveau de la soudure 5. Par exemple, lors de l'étape 62, on procède de la même façon que lors de l'étape 40 sauf que le dépôt de particules abrasives est uniquement réalisé localement sur les parties dénudées de l'âme 4.

[0064] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles. Par exemple, en variante, les particules abrasives sont directement fixées sur l'âme centrale sans utiliser pour cela un liant. A cet effet, par exemple, les particules abrasives sont encastrées dans l'âme centrale. Dans une autre variante, les particules abrasives 6 et le liant 8 sont omis. Dans ce cas, les particules abrasives sont libres et c'est la friction de l'âme centrale 4 avec les particules transportées directement sur le lingot à découper qui permet de découper ce lingot. Ce dernier processus est classiquement appelé « découpe trois corps » a contrario des processus précédents appelés « découpe deux corps ».

10 [0065] D'autres procédés de fabrication du fil 3 sont possibles. Par exemple, un autre procédé est décrit dans la demande EP 2 428 317. Pour fabriquer le fil 3, il est également possible d'utiliser des techniques qui n'utilisent pas de champ magnétique pour attirer les particules abrasives sur l'âme centrale. Lorsqu'un tel procédé est mis en œuvre, il n'est alors pas nécessaire que l'âme centrale et/ou les particules
15 abrasives 6 soient réalisées à l'aide de matériau aimanté ou aimantable. Les particules abrasives peuvent être fixées sur l'âme centrale par d'autres moyens ne mettant pas en œuvre une électrolyse. Si aucune électrolyse n'est mise en œuvre, alors il n'est pas nécessaire que l'âme centrale soit réalisée dans un matériau électriquement conducteur.

20 [0066] Dans un autre mode de réalisation, le revêtement 18 des particules abrasives est remplacé par un revêtement simplement métallique et qui n'est pas nécessairement un matériau magnétique. En effet, un tel revêtement métallique augmente la force de liaison entre les particules et le liant. Par exemple, le revêtement est en Titane.

25 [0067] L'étape 42 qui consiste à dénuder les extrémités du fil de découpe peut être omise. Dans ce cas, les pinces de la machine de soudage par pression prennent appui directement sur les particules abrasives 6 et le liant 8. Ensuite, lors de l'écrasement des extrémités 4A et 4B l'une sur l'autre, le liant 8 et les particules abrasives 6 sont éjectées vers l'extérieur de la soudure en dehors de la zone où les
30 extrémités de l'âme 4 s'interpénètrent. Par conséquent, le fait de ne pas retirer le liant 8 ou les particules abrasives 6 ne gêne en rien la réalisation de la soudure 5. En particulier, aucune particule abrasive et aucun morceau du liant 8 ne se retrouvent coincés entre les deux extrémités 4A et 4B après le soudage à l'état solide.

[0068] D'autres techniques de soudage à l'état solide que la soudure à froid peuvent
35 être utilisées. Par exemple, il est possible d'utiliser la technique du soudage par impulsion électromagnétique (« magnetic pulse welding ») où la technique du soudage par explosion (« explosion welding »). Dans ces procédés, l'écrasement des deux extrémités l'une sur l'autre est obtenu en projetant avec violence l'une de ces extrémités sur l'autre extrémité. Dans le cas du soudage par impulsion
40 électromagnétique, ce sont des impulsions électromagnétiques qui sont utilisées pour

accélérer avec violence l'une des extrémités vers l'autre extrémité. Typiquement, au moment de l'impact des extrémités entre elles, l'une de ces extrémités peut se déplacer avec une vitesse supérieure à 300 m/s. Dans la technique de soudage par explosion, c'est l'explosion d'une charge explosive qui provoque l'accélération d'une

5 des extrémités vers l'autre.

[0069] L'étape 50 de soudage peut également être réalisée à d'autres moments. Par exemple, le soudage 50 peut être réalisé après l'opération 36 de tréfilage et avant l'étape 40 de fixation des particules abrasives. L'étape 50 de soudage peut aussi être réalisée avant l'opération 36 de tréfilage, c'est-à-dire à un stade où la dureté de l'âme

10 4 n'a pas encore été accrue. Par contre, l'opération 36 de tréfilage et l'opération de fixation des particules abrasives doivent alors être réalisées sur une boucle fermée au lieu d'un segment rectiligne de fil.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une boucle fermée de fil de découpe, ce procédé comportant :
 - 5 - la fabrication (30) d'un fil de découpe comportant une âme centrale s'étendant continûment entre deux extrémités libres, cette âme centrale présentant une résistance à la traction supérieure à 1400 MPa,
 - le soudage (50) ensemble des deux extrémités libres pour former la boucle fermée de fil de découpe,
 - 10 caractérisé en ce que :
 - la fabrication du fil de découpe comporte la réalisation (32) de l'âme centrale dans un matériau soudable à l'état solide, et
 - le soudage (50) est une opération de soudage à l'état solide comportant l'écrasement, à une température inférieure à la température de fusion du matériau de
 - 15 l'âme centrale, de l'une des extrémités libres sur l'autre de ses extrémités libres jusqu'à ce que les deux extrémités s'interpénètrent et ne forment plus qu'un seul bloc de matière uniforme.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fabrication (30) du fil de découpe
20 comporte :
 - le tréfilage (36) de l'âme centrale pour diminuer son diamètre et accroître sa dureté par écrouissage de manière à atteindre une résistance à la traction supérieure à 1400 MPa, puis
 - le soudage (50) ensemble des deux extrémités libres de l'âme centrale tréfilée pour
 - 25 former la boucle fermée.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, après l'étape de soudage (50), le procédé comporte le chauffage (60) de l'ensemble de la boucle fermée à une température inférieure à la température de fusion du
30 matériau de l'âme centrale.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comporte l'ébavurage (52) des bavures produites lors du soudage à l'état solide.
35

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fabrication du fil comporte la fixation (40) de particules abrasives sur l'âme centrale.

6. Boucle fermée de fil de découpe obtenue à l'aide d'un procédé conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, cette boucle fermée comportant :
- un fil (3) de découpe comprenant une âme centrale (4) s'étendant continûment entre deux extrémités (4A, 4B) et présentant une résistance à la traction supérieure à 5 1400 MPa, et
 - une soudure (5) reliant ensemble les deux extrémités ;
- caractérisé en ce que l'âme centrale (4) est réalisée dans un matériau soudable à l'état solide, et la soudure est une soudure à l'état solide ne formant qu'un seul bloc de matière uniforme avec l'âme central, cette soudure à l'état solide étant obtenue par 10 l'interpénétration des deux extrémités l'une dans l'autre.
7. Boucle selon la revendication 6, dans laquelle l'âme centrale (4) est réalisée dans un matériau à structure cristalline cubique à face centrée ou en phase homogène gamma du fer.
- 15
8. Boucle selon la revendication 7, dans laquelle l'âme centrale est réalisée en acier inoxydable austénitique.
9. Boucle selon la revendication 8, dans laquelle l'âme centrale est réalisée dans un 20 alliage de fer et de nickel comportant moins de 26 % en masse de Chrome et moins de 0,2 % en masse de carbone.
10. Boucle selon la revendication 6, dans laquelle l'âme centrale (4) est réalisée dans un alliage de Nickel et de Chrome contenant au moins 6 % en masse de Nickel.
- 25
11. Boucle selon la revendication 10, dans laquelle l'âme centrale (4) est réalisée dans un alliage contenant :
- 70 % en masse de Nickel et de Cobalt,
 - 14 % en masse de Chrome,
 - 30 - 5 à 9 % en masse de Fer, et
 - 2 à 2,5 % en masse de Titane.
12. Boucle selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, dans laquelle l'âme centrale est réalisée dans un matériau dont la résistance à la traction est supérieure à 35 1400 MPa lorsqu'il se présente sous la forme d'un fil de 0,2 à 1 mm de diamètre.

13. Boucle selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, dans laquelle le fil de découpe comporte des particules abrasives (6) fixées sans aucun degré de liberté sur l'âme centrale (4).

1/1

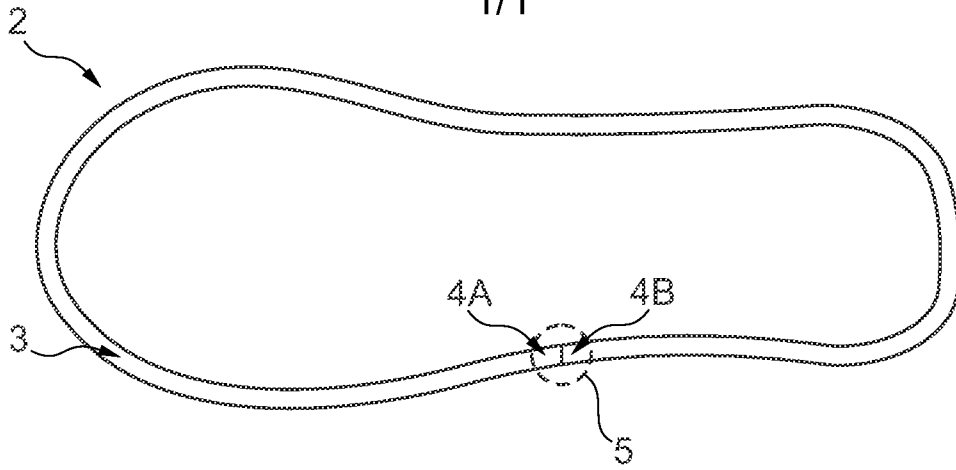


Fig. 1

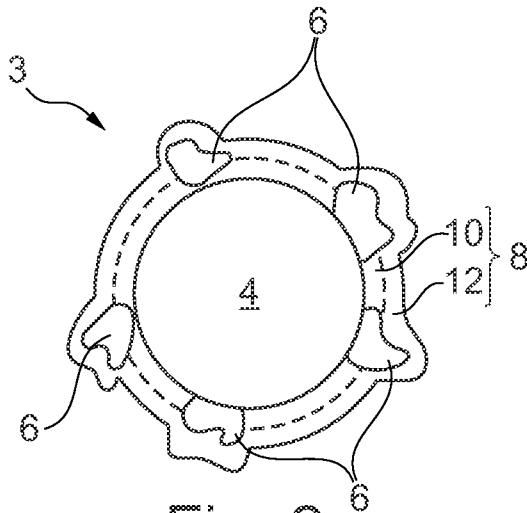


Fig. 2

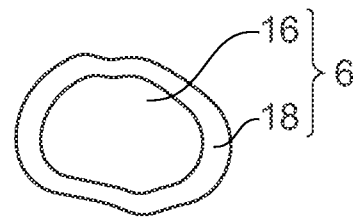


Fig. 3

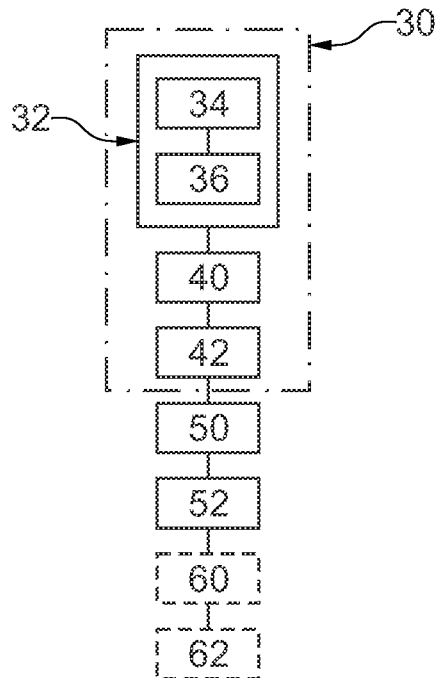


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/050652

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B23D61/18 B23D65/00 B23K20/02
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B23D B23K
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 99/28075 A2 (LASER TECHNOLOGY WEST LIMITED [US]) 10 June 1999 (1999-06-10) cited in the application page 10, line 3 - page 11, line 15 -----	1-13
Y	GB 892 874 A (STANDARD TELEPHONES CABLES LTD) 4 April 1962 (1962-04-04) cited in the application the whole document -----	1-13
A	FR 88 121 E (KELSEY HAYES CO) 15 April 1966 (1966-04-15) cited in the application the whole document -----	1,6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 27 May 2015	Date of mailing of the international search report 02/06/2015
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Garella, Mario
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/050652

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
WO 9928075	A2	10-06-1999	US 6065462 A	23-05-2000
			US 6311684 B1	06-11-2001
			WO 9928075 A2	10-06-1999

GB 892874	A	04-04-1962	CH 395702 A	15-07-1965
			GB 892874 A	04-04-1962

FR 88121	E	15-04-1966	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050652

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B23D61/18 B23D65/00 B23K20/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B23D B23K		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 99/28075 A2 (LASER TECHNOLOGY WEST LIMITED [US]) 10 juin 1999 (1999-06-10) cité dans la demande page 10, ligne 3 - page 11, ligne 15 -----	1-13
Y	GB 892 874 A (STANDARD TELEPHONES CABLES LTD) 4 avril 1962 (1962-04-04) cité dans la demande le document en entier -----	1-13
A	FR 88 121 E (KELSEY HAYES CO) 15 avril 1966 (1966-04-15) cité dans la demande le document en entier -----	1,6
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 27 mai 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 02/06/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Garella, Mario

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050652

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
WO 9928075	A2	10-06-1999	US	6065462 A	23-05-2000
			US	6311684 B1	06-11-2001
			WO	9928075 A2	10-06-1999

GB 892874	A	04-04-1962	CH	395702 A	15-07-1965
			GB	892874 A	04-04-1962

FR 88121	E	15-04-1966	AUCUN		
