



(11)

EP 4 050 116 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
31.08.2022 Bulletin 2022/35

(21) Numéro de dépôt: 22162181.6

(22) Date de dépôt: 18.12.2017

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

C22C 37/00 (2006.01)	C22C 37/04 (2006.01)
C21D 1/30 (2006.01)	C22C 37/06 (2006.01)
C22C 37/10 (2006.01)	C21D 9/00 (2006.01)
C21D 9/08 (2006.01)	C21C 1/00 (2006.01)
C21C 1/10 (2006.01)	C21D 5/00 (2006.01)
C21D 5/14 (2006.01)	B22D 13/00 (2006.01)
B22D 13/02 (2006.01)	C21D 6/00 (2006.01)
B22C 3/00 (2006.01)	B22D 27/04 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
C22C 37/00; B22D 13/023; C21C 1/10;
C21C 1/105; C21D 1/30; C21D 5/00; C21D 9/08;
C22C 37/04; C22C 37/06; C22C 37/10

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: 19.12.2016 FR 1662781

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
17823092.6 / 3 555 335

(71) Demandeur: Saint-Gobain Pam Canalisation
54700 Pont-à-Mousson (FR)

(72) Inventeurs:
• BRUNEAUX, Fabien
54700 Jezainville (FR)

- NASEDKINA, Yana
54000 Nancy (FR)
- RIMLINGER, Rémi
54000 Nancy (FR)

(74) Mandataire: Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 15-03-2022 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN OBJET EN FONTE À GRAPHITE SPHÉROÏDAL, ET ÉLÉMENT CORRESPONDANT

(57) Ce procédé de fabrication d'un objet comprend les étapes successives: faire couler de la fonte liquide dans un moule (10), laisser solidifier la fonte liquide en obtenant une ébauche de l'objet, faire subir un traitement thermique à l'ébauche de l'objet, en obtenant l'objet en fonte (16). La fonte à graphite sphéroïdal comprend au moins, en % en poids, les éléments suivants : Carbone au plus 3,65% et Silicium entre 3,3% et 3,7%. La fonte peut comprendre : phosphore ≤ 0,1%, manganèse ≤ 0,6%, chrome ≤ 0,2%, Titane ≤ 0,15 %, Soufre ≤ 0,05%, Magnésium entre 0,005% et 0,07%, Cuivre ≤ 0,3%, Nickel ≤ 0,4%, Molybdène ≤ 0,02%, Aluminium ≤ 0,02%,

et/ou Vanadium ≤ 0,04%. Le reste étant du Fer (Fe). La fonte a un équivalent carbone C_{EQ} d'au plus 4,75% et une résilience (E) d'au moins 9,49 J. Le traitement thermique comprend: une étape (EW2) de refroidissement à l'air jusqu'à une température inférieure à 100°C, et une étape (EW3) de relaxation consistant à chauffer l'ébauche de l'objet à une température de relaxation comprise entre 600°C et 700°C, puis de maintenir l'ébauche de l'objet à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes. Application aux éléments de tuyauterie ou éléments de voirie.

Description

[0001] La présente invention concerne un objet en fonte à graphite sphéroïdal fabriqué dans un moule.

[0002] Les tuyaux en fonte ductile actuels ont des propriétés mécaniques qui doivent répondre à des normes, telles que les normes EN545 et EN598.

[0003] Les tuyaux en fonte ductile doivent avoir généralement les caractéristiques suivantes :

une résistance à la traction supérieure ou égale à 420 MPa et notamment comprise entre 420 MPa et 460 MPa,

un allongement à la rupture A supérieur ou égal à 10% pour les diamètres nominaux en dessous de ou égaux à 1000 mm et supérieur à 7% pour les diamètres nominaux supérieurs à 1000 mm, et une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 230.

[0004] Les tuyaux en fonte ductile connus conduisent à une épaisseur de paroi importante et à une consommation importante de matière première afin d'obtenir une résistance à l'écrasement donnée.

[0005] Des alliages de fonte sont connus par exemple des documents FR 2 139 866 ; US 3,891,432 ; DE 101 01 159 et JP-H-082 69614.

[0006] Le but de l'invention est de proposer un objet, et notamment un élément de tuyauterie ou un élément de voirie qui soit plus économique que les objets connus et notamment qui ait des propriétés mécaniques optimisées et un faible poids pour des dimensions données.

[0007] En particulier, un but de l'invention est une augmentation de la résistance mécanique de la fonte, afin de permettre soit de réduire l'épaisseur des tuyaux par rapport aux tuyaux actuels en maintenant la résistance à la pression à une valeur donnée, soit d'atteindre une résistance à la pression supérieure à celle des tuyaux actuels pour une épaisseur de tuyau identique.

[0008] Le but de l'invention s'applique également à d'autres objets en fonte ductile à graphite sphéroïdal que des tuyaux, tels que des raccords tubulaires et des pièces de voirie obtenus en fonderie. L'invention cherche à réduire leur poids et/ou leurs épaisseurs de paroi tout en conservant une résistance mécanique donnée.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet un objet en fonte à graphite sphéroïdal fabriqué dans un moule,

la fonte à graphite sphéroïdal comprenant, en % en poids, les éléments suivants :

- Carbone (C) inférieur ou égal à 3,65%,
- Silicium (Si) entre 3,3% et 3,7%,

optionnellement :

- Phosphore (P) ≤ 0,1%, et/ou
- Manganèse (Mn) ≤ 0,6%, et/ou
- Chrome (Cr) ≤ 0,2%, et/ou

- Titane (Ti) ≤ 0,15 %, et/ou
- Soufre (S) ≤ 0,05%, et/ou
- Magnésium (Mg) entre 0,005% inclus et 0,07% inclus, et/ou
- Cuivre (Cu) ≤ 0,3%, et/ou
- Nickel (Ni) ≤ 0,4%, et/ou
- Molybdène (Mo) ≤ 0,02%, et/ou
- Aluminium (Al) ≤ 0,02%, et/ou
- Vanadium (V) ≤ 0,04%,

le reste étant du Fer (Fe), et des éléments résiduels inévitables à des teneurs inférieures à 0,01%, dans lequel

la fonte à graphite sphéroïdal a un équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ inférieur ou égal à 4,75% et dans lequel

la fonte à graphite sphéroïdal a une résilience (E) supérieure ou égale à 9,49 J.

[0010] Selon des modes de réalisation particuliers, l'objet selon l'invention peut comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la fonte à graphite sphéroïdal a une résilience (E), notamment mesurée selon l'essai de choc « Charpy », supérieure ou égale à 10 Joules ou supérieure ou égale à 11 Joules à 20°C ;
- la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 3,4% et 3,6% ;
- la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 3,3% et 3,7 %, de préférence entre 3,5% et 3,6%, et notamment dans lequel l'objet est obtenu par un procédé de fabrication dans lequel une surface de forme est dépourvue d'isolant thermique temporaire ou de matériau réfractaire temporaire lorsqu'on fait couler la fonte liquide dans le moule ;
- la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 3,3% et 3,5%, de préférence entre 3,4% et 3,5%, et notamment dans lequel l'objet est obtenu par un procédé de fabrication dans lequel on dépose un matériau réfractaire temporaire ou un isolant thermique temporaire sur une surface de forme avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule ;
- l'équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ de la fonte à graphite sphéroïdal est compris entre 4,3% inclus et 4,6% inclus ou entre 4,4% inclus et 4,6% inclus, et est de préférence compris entre 4,45% inclus et 4,55% inclus et est notamment égal à 4,5% ;
- la fonte à graphite sphéroïdal a une résistance à la traction Rm supérieure à 470MPa, de préférence supérieure à 500MPa et notamment supérieure à 530MPa ;
- la fonte à graphite sphéroïdal a un allongement à la rupture A supérieur ou égal à 7% et notamment supérieur ou égal à 10% ;

- la fonte à graphite sphéroïdal a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 250HB, et notamment inférieure ou égale à 230HB.

[0011] L'invention a également pour objet un élément de tuyauterie, tel qu'un tuyau ou un raccord, ou un élément de voirie, tel qu'un regard de chaussée ou dispositif d'évacuation d'eau pluviales, comprenant un corps de base, caractérisé en ce que le corps de base est un objet tel que défini ci-dessus.

[0012] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un objet tel que défini ci-dessus ou d'un élément de tuyauterie ou d'un élément de voirie tel que défini ci-dessus, comprenant les étapes successives suivantes :

- a) on fait couler de la fonte liquide dans un moule ayant une surface de forme,
- b) on laisse solidifier la fonte liquide en obtenant une ébauche de l'objet,
- c) on fait subir un traitement thermique à l'ébauche de l'objet, notamment un traitement de relaxation en obtenant l'objet en fonte.

[0013] Selon des modes de réalisation particuliers, le procédé de fabrication peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes

- avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans un moule, on met en œuvre une étape d'établissement de la teneur en Silicium de la fonte, en particulier par l'ajout en four de fusion ou en poche de matériaux contenant du silicium, la teneur en silicium ajoutée durant cette étape correspondant à la teneur en Silicium finale de la fonte à graphite sphéroïdal de l'objet moins la teneur en Silicium apportée éventuellement par des traitements de sphéroïdisation et d'incubation.
- la surface de forme est dépourvue d'isolant thermique temporaire ou de matériau réfractaire temporaire lorsqu'on fait couler la fonte liquide dans le moule, et dans lequel le traitement thermique comprend :

- . une première étape de chauffage de l'ébauche de l'objet pendant une durée comprise entre 2 et 10 minutes jusqu'à atteindre une température de graphitisation supérieure à 800°C, et en particulier supérieure à 900°C mais inférieure à 1000°C, cette première étape relaxant les contraintes internes présentes initialement dans la fonte,
- . une deuxième étape de graphitisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte est maintenue à la température de graphitisation pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes, notamment entre 5 et 18 minutes, et de préférence 15 minutes,
- . une troisième étape de refroidissement jusqu'à

une température comprise entre 880°C et 750°C, de préférence jusqu'à 800°C, d'une durée inférieure à 7 minutes, et

. une quatrième étape de ferritisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte est refroidie lentement, à une vitesse inférieure à 40°C/minute, à l'intérieur d'une plage de températures comprises entre 700°C et 780°C ;

10 - le traitement thermique comprend :

. une étape de refroidissement à l'air jusqu'à une température inférieure à 100°C, et

. une étape de relaxation consistant à chauffer l'ébauche de l'objet en fonte à une température de relaxation comprise entre 600°C et 700°C, puis de maintenir l'ébauche de l'objet en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes ; et

15 - on dépose un matériau réfractaire temporaire ou un isolant thermique temporaire sur la surface de forme avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule, et dans lequel le traitement thermique comprend en plus:

.une première étape de ferritisation consistant à refroidir l'ébauche de l'objet lentement, à une vitesse de refroidissement inférieure à 40°C/minute, d'une température d'entrée dans un four, supérieure ou égale à 800°C jusqu'à une température de fin de ferritisation inférieure à 740°C,

.l'étape de refroidissement à l'air étant une deuxième étape et l'étape de relaxation étant une troisième étape.

[0014] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un premier mode de réalisation d'une installation de fabrication d'un élément de tuyauterie formant un objet selon l'invention ;
- la figure 2 est un diagramme temps/température montrant les différentes étapes du traitement thermique de l'ébauche de l'objet selon l'invention fabriquée par l'installation de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue schématique d'un second mode de réalisation d'une installation de fabrication d'un élément de tuyauterie correspondant à un objet selon l'invention;
- la figure 4 est un diagramme temps/température montrant les différentes étapes du traitement thermique de l'ébauche de l'objet fabriquée par l'instal-

lation de la figure 3 ;

- la figure 5 montre la résistance à la traction, en fonction de la teneur en silicium, d'exemples de tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal fabriqués par les installations selon les figures 1 et 3 ;
- la figure 6 est un diagramme montrant l'influence de la teneur en silicium sur la résilience de tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal fabriqués par les deux installations selon les figures 1 et 3 ; et
- la figure 7 montre l'influence de la teneur en silicium sur l'allongement à la rupture de tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal fabriqués par les deux installations selon les figures 1 et 3.

[0015] Sur la Figure 1 est représentée une installation de fabrication d'un tuyau en fonte à graphite sphéroïdal selon un premier mode de réalisation de l'invention, désignée par la référence générale 2.

[0016] L'installation 2 comprend une poche d'alimentation 4, un dispositif verseur 6, un canal de coulée 8, un dispositif d'inoculation 9, un moule rotatif 10, un dispositif de refroidissement 12 et un dispositif 14 d'extraction.

[0017] L'installation 2 sert à fabriquer par centrifugation des éléments de tuyauterie 15, tels que des tuyaux. L'élément de tuyauterie 15 forme un objet ou un corps de base 16 en fonte à graphite sphéroïdal.

[0018] La poche d'alimentation 4 est un creuset en matière réfractaire contenant du métal liquide, tel que de la fonte.

[0019] Le dispositif verseur 6, également appelé "bassket", a un volume correspondant à la quantité de métal liquide nécessaire pour fabriquer un ou plusieurs corps de base 16. Le dispositif verseur 6 peut être incliné dans une position de versement du métal liquide dans le canal de coulée 8.

[0020] Le canal de coulée 8 conduit le métal liquide du dispositif verseur 6 jusqu'au moule 10. Il comprend une entrée 20 située à proximité du dispositif verseur 6 et une sortie 22 s'étendant dans le moule 10. Le canal de coulée 8 est incliné par rapport à l'horizontale de telle sorte que la sortie 22 soit située plus bas que l'entrée 20, permettant ainsi à la fonte liquide de s'écouler par gravité.

[0021] Le moule rotatif 10, également appelé "coquille", a une forme à symétrie de révolution, dans l'exemple présent généralement cylindrique, d'axe X-X, incliné par rapport à l'horizontale de telle sorte qu'il soit parallèle au canal de coulée 8. Dans ce qui suit les expressions "axialement" et "radialement" seront utilisées en référence à cet axe X-X. Le moule 10 a une surface intérieure 24 de forme qui est la surface négative du corps de base 16, ainsi qu'une surface extérieure cylindrique 26. La surface intérieure 24 est pourvue d'une rugosité contrôlée appelée "peening", permettant d'entraîner le métal liquide en rotation lors de sa coulée dans le moule 10.

[0022] Le moule 10 comprend une extrémité bout uni 28, tournée vers l'entrée 20, et une extrémité bout à emboîtement 30, qui est tournée à l'opposé de l'entrée 20

et qui est munie d'un noyau (non représenté). L'extrémité bout uni 28 forme le bout uni du corps de base 16, tandis que l'extrémité bout à emboîtement 30 forme le bout à emboîtement du corps de base 16.

[0023] Le moule 10 peut être entraîné en rotation autour de l'axe X-X. Par ailleurs, le moule 10 peut être entraîné en translation le long de l'axe X-X entre une position de début de coulée, dans laquelle la sortie 22 est en face de l'extrémité bout à emboîtement 30, et une position de fin de coulée, dans laquelle la sortie 22 est en face de l'extrémité bout uni 28.

[0024] Le dispositif de refroidissement 12 comprend un moyen d'arrosage qui est adapté pour projeter du liquide de refroidissement, par exemple de l'eau, sur la surface extérieure 26 du moule 10. Le dispositif d'extraction 14 est adapté pour extraire axialement du moule 10 l'ébauche de corps de base 16 obtenue à l'issue de la coulée du métal liquide dans le moule.

[0025] Les dispositifs verseur 6, de refroidissement 12 et d'extraction 14, la poche d'alimentation 4 ainsi que le canal de coulée 8 sont connus en soi et ne sont pas décrits plus en détail. Le moule 10 est par exemple entièrement en acier forgé.

[0026] L'installation comprend par ailleurs un four de traitement thermique 40.

[0027] La fabrication de l'objet ou du corps de base 16 selon l'invention moyennant l'installation 2 est effectuée comme suit.

[0028] Le procédé de fabrication mise en œuvre est un procédé ayant les caractéristiques du procédé de fabrication appelé « DeLavaud ».

[0029] De la fonte liquide est introduite dans la poche d'alimentation 4. La fonte liquide dans la poche 4 est telle que l'objet ou corps de base 16 obtenu avec le procédé de fabrication selon l'invention a la composition chimique définie ci-après, et a en particulier la teneur en Silicium selon l'invention. L'établissement de la teneur finale en Silicium de l'objet ou du corps de base 16 est faite avant l'étape de coulée dans le moule 10, par des ajouts de matériaux contenant du silicium, notamment des alliages de FeSi. Ces ajouts sont par exemple effectués dans le bain de fonte liquide des fours électriques ou dans des poches d'alimentation. Les apports éventuels en silicium résultant de traitements de sphéroïdisation et/ou d'inoculation utilisant des agents à base de silicium doivent être pris en compte pour déterminer la quantité de silicium à ajouter au métal liquide pour obtenir un objet ou corps de base 16 ayant une teneur en silicium conforme à l'invention.

[0030] Ainsi, l'établissement de la teneur finale en Silicium de l'objet ou du corps de base 16, faite avant l'étape de coulée dans le moule 10, est effectué en ajoutant à la fonte une teneur en Silicium égale à celle de l'objet moins la teneur apportée par l'inoculation et/ou la sphéroïdisation.

[0031] L'augmentation de la teneur en silicium de la fonte à graphite sphéroïdal selon l'invention ne doit pas être obtenue en augmentant la quantité d'agent d'inocu-

lation à base de silicium. Ainsi, dans le cas du procédé DeLavaud, le taux de Silicium dans la fonte de l'objet apporté par l'agent d'inoculation est compris entre 0,1% et 0,3%.

[0032] De la fonte liquide, correspondant à la quantité de fonte nécessaire pour le corps de base 16, est introduite dans le dispositif verseur 6 par la poche d'alimentation 4.

[0033] Le moule 10 est entraîné en rotation autour de l'axe X-X et il est amené dans sa position de début de coulée.

[0034] Ensuite, la fonte liquide est versée du dispositif verseur 6 dans le canal de coulée 8, s'écoule le long de celui-ci et est versée dans le moule 10 à l'extrémité bout à emboîtement 30.

[0035] Successivement, le moule 10 est amené vers sa position de fin de coulée pendant que la fonte liquide est versée progressivement sur la surface intérieure 24 du moule et que, avant que la fonte liquide n'entre en contact avec la surface intérieure 24, le dispositif d'inoculation 9 dépose un agent d'inoculation, par exemple une poudre à base de FeSi, sur la surface intérieure 24 du moule 10. Comme décrit auparavant, lorsque l'agent d'inoculation contient du Silicium, il est nécessaire d'en tenir compte pour l'établissement de la teneur finale en silicium de l'objet ou corps de base 16 moulé.

[0036] Avant et pendant l'étape de la coulée, mis à part l'agent d'inoculation, la surface intérieure 24 du moule 10 n'est pas couverte d'autres matériaux et est en particulier dépourvue de tout isolant thermique temporaire ou matériau réfractaire temporaire tel qu'utilisé lors du procédé de coulée appelé « Wetspray » (voir aussi ci-après concernant l'installation de la Figure 3).

[0037] Pendant toute la durée de la coulée, le moule 10 est refroidi par le dispositif de refroidissement 12.

[0038] La fonte liquide se trouvant dans le moule 10 est pressée contre la surface 24 par centrifugation, se solidifie et forme une ébauche 161 du corps de base 16.

[0039] Ensuite, l'ébauche 161 du corps de base 16 est extraite du moule 10 par le dispositif d'extraction 14.

[0040] Puis, l'ébauche 161 du corps de base 16 est soumise à un traitement thermique, qui sera décrit plus en détail ci-dessous et, à l'issue du traitement thermique, on obtient le corps de base 16.

[0041] La composition de la fonte à graphite sphéroïdal utilisée pour le procédé de fabrication et donc la composition du corps de base 16 comprend, en % en poids, du Carbone (C) à une teneur inférieure ou égale à 3,65%, et du Silicium (Si) à une teneur comprise entre 3,3% inclus et 3,7% inclus.

[0042] Optionnellement, la fonte à graphite sphéroïdal comprend, en % en poids, le ou les éléments suivants :

- Phosphore (P) ≤ 0,1%, et/ou
- Manganèse (Mn) ≤ 0,6%, et/ou
- Chrome (Cr) ≤ 0,2%, et/ou
- Titane (Ti) ≤ 0,15 %, et/ou
- Soufre (S) ≤ 0,05%, et/ou

- Magnésium (Mg) entre 0,005% inclus et 0,07% inclus, et/ou
- Cuivre (Cu) ≤ 0,3%, et/ou
- Nickel (Ni) ≤ 0,4%, et/ou
- Molybdène (Mo) ≤ 0,02%, et/ou
- Aluminium (Al) ≤ 0,02%, et/ou
- Vanadium (V) ≤ 0,04%.

[0043] Le reste de la fonte à graphite sphéroïdal est du Fer (Fe), et d'autres éléments résiduels à des teneurs inférieures à 0,01%, dus au procédé d'élaboration de la fonte ou aux impuretés inévitables.

[0044] La fonte à graphite sphéroïdal a un équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ inférieur ou égale à 4,75%. Ces % sont également indiqués en % en poids.

[0045] Par ailleurs, la fonte à graphite sphéroïdal peut avoir un équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ inférieur ou égal à 4,7%, de préférence compris entre 4,3% inclus et 4,6% inclus et de préférence compris entre 4,45% inclus et 4,55% inclus. De préférence, l'équivalent carbone C_{EQ} est égal à 4,5%.

[0046] La teneur en silicium (Si) est de préférence comprise entre 3,4% inclus et 3,6% inclus, et de préférence comprise entre 3,5% inclus et 3,6% inclus notamment dans le cas de l'utilisation du procédé DeLavaud comme ceci est le cas du présent mode de réalisation.

[0047] Sur la figure 2 est représenté le diagramme temps/température lors du traitement thermique de l'ébauche du corps de base 16 ou plus généralement d'une ébauche de l'objet en fonte fabriquée par l'installation 2 de la figure 1 selon le procédé de fabrication « DeLavaud ». Par la suite les termes « corps de base 16 » et « objet en fonte » seront utilisés de manière synonyme.

[0048] Pour mémoire, ce procédé de fabrication « De Lavaud » comprend une étape consistant à faire couler de la fonte liquide dans le moule 10 et à laisser solidifier la fonte liquide en obtenant l'ébauche de l'objet en fonte ; ensuite on fait subir un traitement thermique à l'ébauche de l'objet en fonte. Selon le procédé DeLavaud, on fait couler la fonte liquide dans le moule 10 dont la surface intérieure de forme 24 est dépourvue d'isolant thermique temporaire ou de matière réfractaire temporaire déposé sur la surface intérieure 24.

[0049] Après extraction du moule, l'ébauche du corps de base est à une température généralement comprise entre 900°C et 1000°C, et notamment égale à environ 950°C. A l'entrée du four de traitement thermique 40, l'ébauche du corps de base est à une température généralement comprise entre 550°C et 650°C, notamment à une température d'environ 600°C, formant la température de départ du traitement thermique dans le four.

[0050] Sur la figure 2 on voit ensuite qu'en partant de cette température de départ, l'ébauche de l'objet en fonte est chauffée pendant une durée comprise entre 2 et 10 minutes lors d'une première étape de traitement thermique ED1, jusqu'à atteindre une température de graphiti-

sation supérieure à 800°C et en particulier supérieure à 900°C, mais inférieure à 1000°C. Cette première étape ED1 de montée en température permet de relaxer les contraintes internes présentes dans la fonte.

[0051] Ensuite, dans une deuxième étape de traitement thermique ED2, l'ébauche de l'objet en fonte est maintenue à la température de graphitisation qui dans le cas présent est égale à 950°C environ. La deuxième étape de traitement thermique ED2 a une durée comprise entre 5 minutes et 30 minutes, et a en l'occurrence une durée de 15 minutes. Pendant cette deuxième étape, la cémentite est dissoute et transformée en austénite et en graphite.

[0052] Ensuite, une troisième étape de traitement thermique ED3 est mise en œuvre. Pendant cette étape, la température est baissée, en partant de la température de graphitisation, à une température de début de ferritisation comprise entre 880°C et 750°C, en l'occurrence égale à environ 800°C. L'abaissement de température pendant l'étape ED3 est effectué sur un laps de temps compris entre 4 et 7 minutes, de préférence inférieur ou égal à 6 minutes.

[0053] Puis, pendant une quatrième étape de traitement thermique ED4, qui est une étape de ferritisation, l'ébauche de l'objet en fonte est refroidie lentement, c'est-à-dire à une vitesse de refroidissement inférieure à 40°C/minute, de préférence comprise entre 20°C/minute et 5°C/minute, à l'intérieur d'une plage de températures comprises entre 700°C et 780°C. Pendant cette quatrième étape, l'austénite est transformée en ferrite et en graphite.

[0054] Ensuite, pendant une cinquième étape ED5, l'ébauche de l'objet en fonte est refroidie de la température de fin de ferritisation à une température inférieure à 100°C, et notamment à la température de l'air ambiant de 20°C.

[0055] Ainsi, on obtient l'objet ou le corps de base 16.

[0056] La fonte à graphite sphéroïdal ainsi obtenue a une résistance à la traction Rm supérieure à 470 MPa et de préférence une résistance à la traction Rm supérieure à 500 MPa et notamment supérieure à 530 MPa.

[0057] Comme ceci est visible sur la figure 5, la fonte à graphite sphéroïdal ayant une teneur en silicium telle que définie ci-dessus et fabriquée par le procédé DeLavaud décrit ci-dessus respecte cette exigence.

[0058] Par ailleurs, la fonte à graphite sphéroïdal selon l'invention a un allongement à la rupture A supérieur ou égal à 7% et notamment supérieur ou égal à 8%, supérieur ou égal à 9% ou supérieur ou égal à 10%.

[0059] Par ailleurs, la fonte à graphite sphéroïdal de l'objet selon l'invention a une résilience E supérieure ou égale à 9,49 Joules à température ambiante (20°C). Ceci est obtenu entre autres par le fait que le taux de silicium ne dépasse pas 3,7%. La résilience E est mesurée par le procédé de choc « mouton de Charpy ». Ainsi, les objets fabriqués respectent la norme américaine AWWAC151. De préférence, la résilience E mesurée selon le procédé « Charpy » est supérieure ou égale à 10

Joules ou supérieure ou égale à 11 Joules.

[0060] Ceci est montré sur la figure 6 qui indique que pour des teneurs en silicium entre 3,3% et 3,7%, la résilience E est située au-delà ou est égale à 9,49 Joules pour des tuyaux selon l'invention fabriqués suivant le procédé de centrifugation DeLavaud suivi du traitement thermique décrit ci-dessus.

[0061] En outre, la fonte à graphite sphéroïdal de l'objet selon l'invention a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 230 HB.

[0062] En se référant à nouveau à la figure 1, l'élément de tuyauterie 15 ou le corps de base 16 a un diamètre nominal DN et une épaisseur de paroi e. Le diamètre nominal DN est par exemple inférieur ou égal à 600 mm ou inférieur ou égal à 1000 mm ou inférieur ou égal à 1600 mm.

[0063] Des essais de pression réalisés sur des tuyaux DN400 montrent qu'à épaisseur identique, les tuyaux selon l'invention ont une résistance à la pression de rupture supérieure de 20% à 30% par rapport à des tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal présentant une teneur en silicium inférieure à 2,9%.

[0064] De même, pour une pression de rupture identique et dans le cas d'un tuyau DN400, le tuyau obtenu avec l'installation de la figure 1 et ayant subi le traitement thermique tel que décrit ci-dessus en référence à la Fig. 2 a une épaisseur de 5,3 mm environ, alors qu'un tuyau obtenu avec le procédé DeLavaud classique et dont la fonte présente une teneur en Silicium inférieure à 2,9% a une épaisseur supérieure à 6,5 mm.

[0065] Sur la figure 3 est représenté un second mode de réalisation d'une installation 2 de fabrication selon l'invention.

[0066] L'installation 2 et le procédé de fabrication de l'élément de tuyauterie selon ce second mode de réalisation diffèrent de l'installation et du procédé décrits ci-dessus uniquement par ce qui suit. Les éléments analogues portent les mêmes références.

[0067] L'installation 2 comprend un dispositif (non-représenté) d'application d'un matériau réfractaire. Ce dispositif est adapté pour déposer une couche d'un matériau réfractaire temporaire 50 sur la surface intérieure 24 du moule 10.

[0068] Le matériau réfractaire temporaire 50 est connu en soi et est par exemple un mélange d'eau, de bentonite et de produit réfractaire à base de silice. La couche de matériau réfractaire temporaire 50 réduit la vitesse de refroidissement de la fonte coulée dans le moule 10. Alternativement, le matériau réfractaire temporaire 50 est remplacé par un matériau d'isolant thermique temporaire.

[0069] Le procédé de fabrication utilisant l'installation 2 est un procédé de fabrication du type « Wetspray ». Ce procédé est le suivant.

[0070] Avant de faire couler la fonte liquide dans le moule 10, le matériau réfractaire temporaire 50 est disposé sur la surface intérieure 24 et forme une couche de matériau réfractaire temporaire.

[0071] L'étape suivante consiste à faire couler la fonte liquide sur la couche de matériau réfractaire temporaire

[0072] Grâce à la couche de matériau réfractaire 50, l'ébauche du corps de base 16 ou l'ébauche de l'objet en fonte ne contient pas ou très peu de cémentite. La fonte à graphite sphéroïdal présente une matrice essentiellement ferritique avec une teneur en perlite faible, notamment inférieure ou égale à 10%, étant donné que la teneur en Si est supérieure à 3,2%.

[0073] Sur la figure 4 est représenté le diagramme température/temps lors du traitement thermique de l'ébauche du corps de base 16 ou plus généralement d'une ébauche de l'objet en fonte fabriquée selon le procédé « Wetspray » par l'installation 2 selon le second mode de réalisation montré sur la figure 3.

[0074] Après extraction du moule 10, l'ébauche du corps de base 16 ou de l'objet en fonte subit un traitement thermique. A cet effet, l'ébauche du corps de base ou de l'objet est introduite dans un four à une température d'entrée supérieure à 800°C et, dans une première étape de traitement thermique EW1, est refroidie à une vitesse de refroidissement inférieure à 40°C/minute jusqu'à une température de fin de ferritisation inférieure à 740°C et de préférence comprise entre 700°C et 740°C. Cette première étape EW1 est une étape de ferritisation durant laquelle l'austénite est transformée en ferrite et en graphite.

[0075] Ensuite, lors d'une deuxième étape de traitement thermique EW2, l'ébauche du corps de base ou de l'objet en fonte est refroidie de la température de fin de ferritisation jusqu'à une température inférieure à 100°C, et de préférence comprise entre 20°C et 100°C exclue. Ce refroidissement a lieu à l'air, c'est-à-dire à une vitesse comprise entre 30°C/min et 70°C/min et de préférence comprise entre 40°C/min et 60°C/min et notamment à environ 50°C/min. La température de l'air pendant ce refroidissement est comprise entre 10°C et 40°C.

[0076] Ensuite, dans une troisième étape de traitement thermique EW3, l'ébauche du corps de base ou de l'objet en fonte subit un traitement thermique de relaxation destiné à relaxer les contraintes internes présentes initialement dans la fonte. Celui-ci consiste tout d'abord à chauffer l'ébauche du corps de base 16 ou de l'objet en fonte depuis la température précitée située entre 20°C et 100°C à une température de relaxation comprise entre 600°C et 700°C, puis de maintenir l'ébauche du corps de base ou de l'objet en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes.

[0077] Ensuite, dans une quatrième étape EW4, l'ébauche du corps de base 16 ou de l'objet en fonte est refroidie jusqu'à température ambiante (20°C).

[0078] Le diamètre nominal DN est par exemple supérieur à 600mm.

[0079] Des essais réalisés montrent que, pour une pression de rupture identique et dans le cas par exemple d'un tuyau DN800, le tuyau obtenu avec l'installation de la figure 3 et qui a subi le traitement thermique décrit ci-

dessus en référence à la Fig. 4 a une épaisseur de 7,7 mm environ, alors qu'un tuyau obtenu avec le procédé Wetspray classique et dont la fonte présente une teneur en Silicium inférieure à 2.9% a une épaisseur supérieure ou égale à 9.4 mm.

[0080] Sur la figure 5 on voit que les objets en fonte à graphite sphéroïdal fabriqués selon le procédé Wetspray et comprenant entre 3,3% et 3,5% de silicium ont une résistance à la traction supérieure à 530 MPa.

[0081] La figure 6 montre la résilience E selon le test d'impact « mouton de Charpy » et démontre que les objets dont la fonte à graphite sphéroïdal contient entre 3,3% et 3,5% de silicium et fabriqués selon le procédé Wetspray suivi d'un traitement thermique (« WS Traité ») tel que décrit ci-dessus, ont une résilience bien au-delà de 10 Joules, contrairement à la fonte à graphite sphéroïdal obtenue par le procédé Wetspray sans traitement thermique ultérieur (« WS brut » sur la figure 6) pour laquelle une résilience supérieure à 9,49 Joules n'est obtenue que pour des teneurs en silicium inférieures à 3%.

[0082] De même, la figure 7 montre que les objets obtenus par le procédé Wetspray suivi du traitement thermique (« WS Traité ») selon l'invention et ayant une teneur en silicium comprise entre 3,4 et 3,5% ont un allongement A supérieur à 15% et notamment compris entre 18% et 22% environ.

[0083] L'élément de tuyauterie fabriqué par les procédés ci-dessus peut être un élément tubulaire autre qu'un tuyau à emboîtement, par exemple un raccord tubulaire cylindrique.

[0084] La composition de la fonte à graphite sphéroïdal selon l'invention peut également être utilisée pour la fabrication d'un élément de voirie en fonte tel qu'un regard de chaussée ou un dispositif d'évacuation d'eaux pluviales, ou encore pour la fabrication de raccords de fonderie. Dans ce cas, le procédé de fabrication de tels objets consiste à couler la fonte liquide dans un moule et à l'inoculer simultanément. Puis, après extraction du moule et refroidissement jusqu'à une température inférieure à 100°C, l'ébauche de l'objet en fonte est soumise à un traitement thermique de relaxation. Celui-ci consiste tout d'abord à chauffer l'ébauche de l'objet à une température de relaxation supérieure à 400°C et de préférence comprise entre 600°C et 700°C. Ensuite, l'ébauche de l'objet en fonte est maintenue à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes environ. Pour finir, l'ébauche de l'objet est refroidie jusqu'à la température ambiante. La fonte obtenue à l'issue de ce traitement thermique permet de réduire le poids de l'élément de voirie ou du raccord de fonderie par rapport aux éléments connus tout en conservant une résistance mécanique donnée, ou bien, à poids identique, permet d'augmenter les performances mécaniques de l'élément de voirie ou du raccord de fonderie.

[0085] D'une manière générale, la résilience de la fonte, à température ambiante (20°C) est supérieure ou égale à 10J ou supérieure ou égale à 11J. La résilience est notamment mesurée par l'essai de choc « mouton de

Charpy ».

[0086] L'objet en fonte à graphite sphéroïdal selon l'invention permet donc l'obtention d'éléments de tuyauterie ou d'éléments de voirie ayant des épaisseurs de paroi faibles pour une résistance mécanique donnée ou des performances mécaniques améliorées à épaisseurs de paroi semblables. La fabrication et l'utilisation, notamment le transport et la manipulation, sont donc économiques.

Revendications

1. - Procédé de fabrication d'un objet comprenant les étapes successives suivantes :

- a) on fait couler de la fonte liquide dans un moule (10) ayant une surface de forme (24),
- b) on laisse solidifier la fonte liquide en obtenant une ébauche de l'objet,
- c) on fait subir un traitement thermique à l'ébauche de l'objet, notamment un traitement de relaxation, en obtenant l'objet en fonte (16),

procédé dans lequel l'objet (16) est en fonte à graphite sphéroïdal, la fonte à graphite sphéroïdal comprenant, en % en poids, les éléments suivants :

- Carbone (C) inférieur ou égal à 3,65%,
- Silicium (Si) entre 3,3% et 3,7%,

Optionnellement :

- Phosphore (P) ≤ 0,1%, et/ou
- Manganèse (Mn) ≤ 0,6%, et/ou
- Chrome (Cr) ≤ 0,2%, et/ou
- Titane (Ti) ≤ 0,15 %, et/ou
- Soufre (S) ≤ 0,05%, et/ou
- Magnésium (Mg) entre 0,005% inclus et 0,07% inclus, et/ou
- Cuivre (Cu) ≤ 0,3%, et/ou
- Nickel (Ni) ≤ 0,4%, et/ou
- Molybdène (Mo) ≤ 0,02%, et/ou
- Aluminium (Al) ≤ 0,02%, et/ou
- Vanadium (V) ≤ 0,04%,

le reste étant du Fer (Fe), et des éléments résiduels inévitables à des teneurs inférieures à 0,01%, dans lequel

la fonte à graphite sphéroïdal a un équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ inférieur ou égal à 4,75% et dans lequel

la fonte à graphite sphéroïdal a une résilience (E) supérieure ou égale à 9,49 J à 20°C, mesurée selon l'essai de choc « Charpy », procédé dans lequel le traitement thermo-

que comprend :

- une étape (EW2) de refroidissement à l'air jusqu'à une température inférieure à 100°C, et
- une étape (EW3) de relaxation consistant à chauffer l'ébauche de l'objet en fonte à une température de relaxation comprise entre 600°C et 700°C, puis de maintenir l'ébauche de l'objet en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes.

- 15 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fonte à graphite sphéroïdal a une résilience (E), mesurée selon l'essai de choc « Charpy », supérieure ou égale à 10 Joules ou supérieure ou égale à 11 Joules à 20°C.
- 20 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 3,3% et 3,5%.
- 25 4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 3,4% et 3,5%.
- 30 5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel l'objet est obtenu par un procédé de fabrication dans lequel on dépose un matériau réfractaire temporaire (50) ou un isolant thermique temporaire sur une surface de forme (24) avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule (10).
- 35 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ de la fonte à graphite sphéroïdal est compris entre 4,3% inclus et 4,6% inclus ou entre 4,4% inclus et 4,6% inclus, et est de préférence compris entre 4,45% inclus et 4,55% inclus et est notamment égal à 4,5%.
- 40 45 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite sphéroïdal a une résistance à la traction Rm supérieure à 470MPa, de préférence supérieure à 500MPa et notamment supérieure à 530MPa.
- 50 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite sphéroïdal a un allongement à la rupture A supérieur ou égal à 7% et notamment supérieur ou égal à 10%.
- 55 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite sphéroïdal a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à

250HB, et notamment inférieure ou égale à 230HB.

10. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel, avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans un moule, on met en œuvre :
une étape d'établissement de la teneur en Silicium de la fonte, la teneur en silicium ajoutée durant cette étape correspondant à la teneur en Silicium finale de la fonte à graphite sphéroïdal de l'objet moins la teneur en Silicium apportée éventuellement par des traitements de sphéroïdisation et d'inoculation. 5
11. Procédé de fabrication selon la revendication 10, dans lequel l'étape d'établissement de la teneur en Silicium de la fonte est mise en œuvre par l'ajout en four de fusion ou en poche de matériaux contenant du silicium. 15
12. Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on dépose un matériau réfractaire temporaire (50) ou un isolant thermique temporaire sur la surface de forme (24) avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule (10), et dans lequel le traitement thermique comprend en plus:
- une première étape (EW1) de ferritisation consistant à refroidir l'ébauche de l'objet lentement, à une vitesse de refroidissement inférieure à 40°C/minute, d'une température d'entrée dans un four, supérieure ou égale à 800°C jusqu'à une température de fin de ferritisation inférieure à 740°C, 30
- l'étape (EW2) de refroidissement à l'air étant une deuxième étape et l'étape de relaxation étant une troisième étape (EW3). 35
13. Elément, qui est un élément de tuyauterie ou un élément de voirie, comprenant un corps de base (16), caractérisé en ce que le corps de base est un objet obtenu selon un procédé de l'une quelconque des revendications précédentes. 40
14. Elément selon la revendication 13, dans lequel soit l'élément est un élément de tuyauterie et est un tuyau ou un raccord, soit l'élément est un élément de voirie et est un regard de chaussée ou un dispositif d'évacuation d'eau pluviales. 45 50

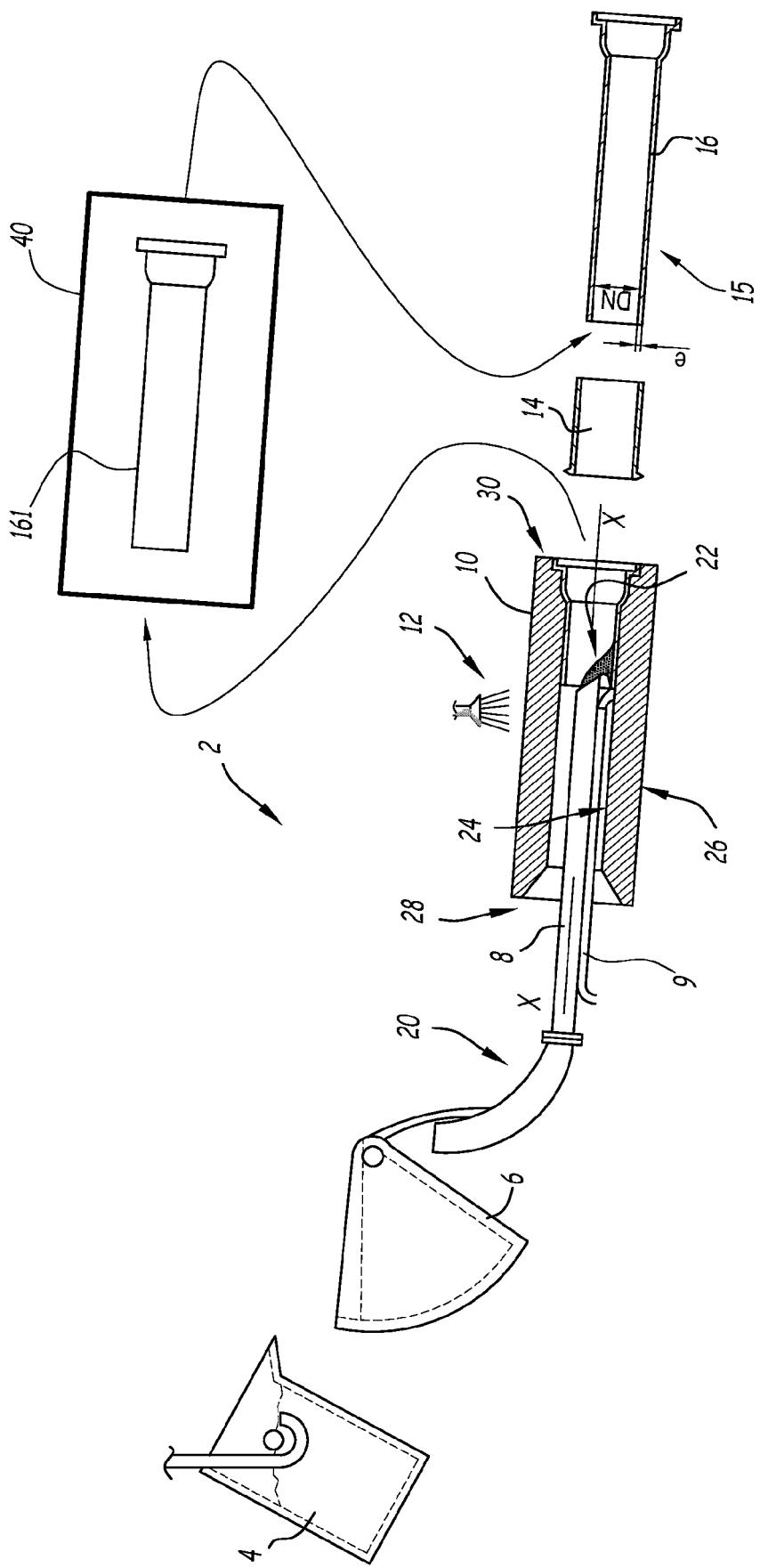
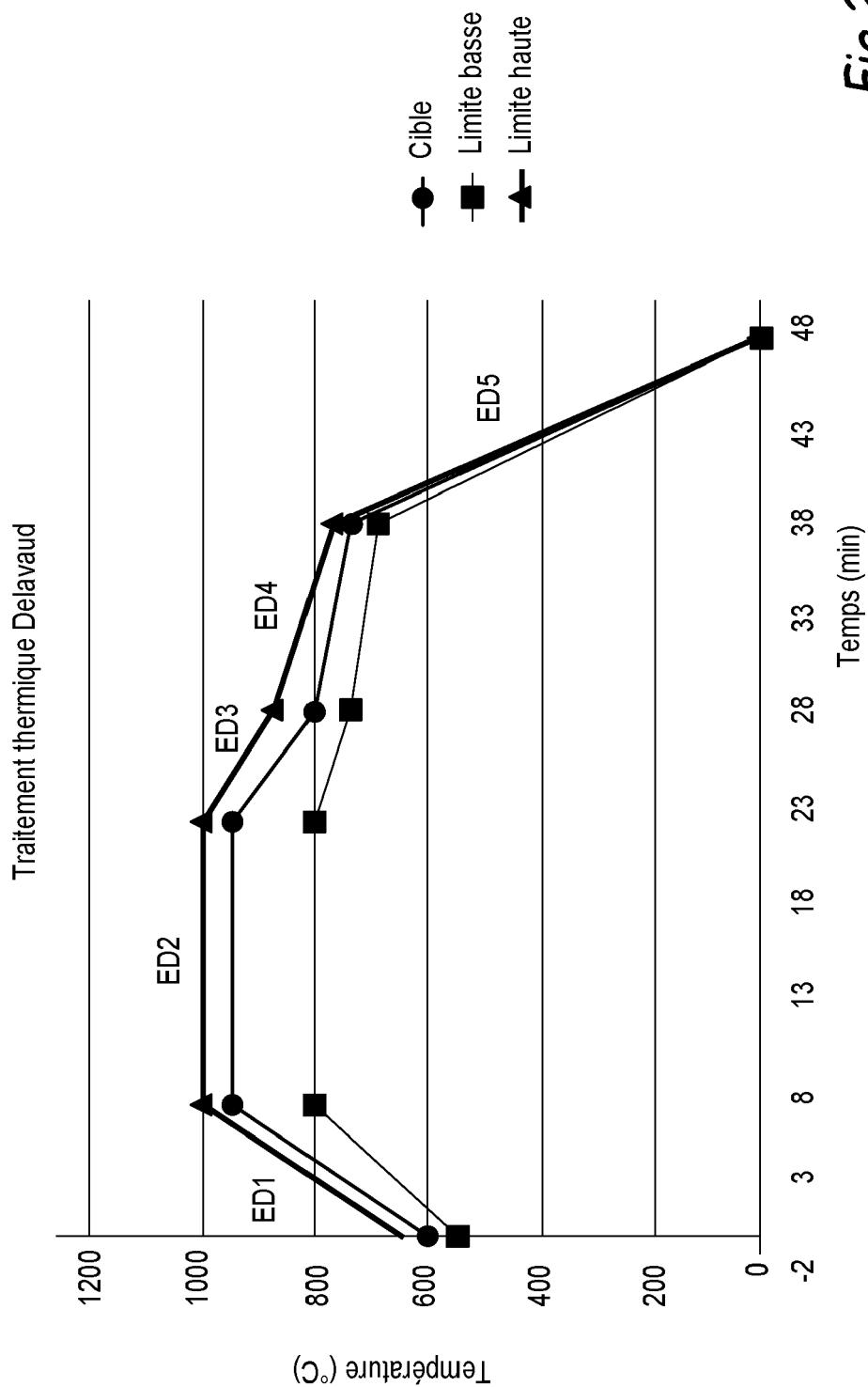


Fig.1

Fig.2



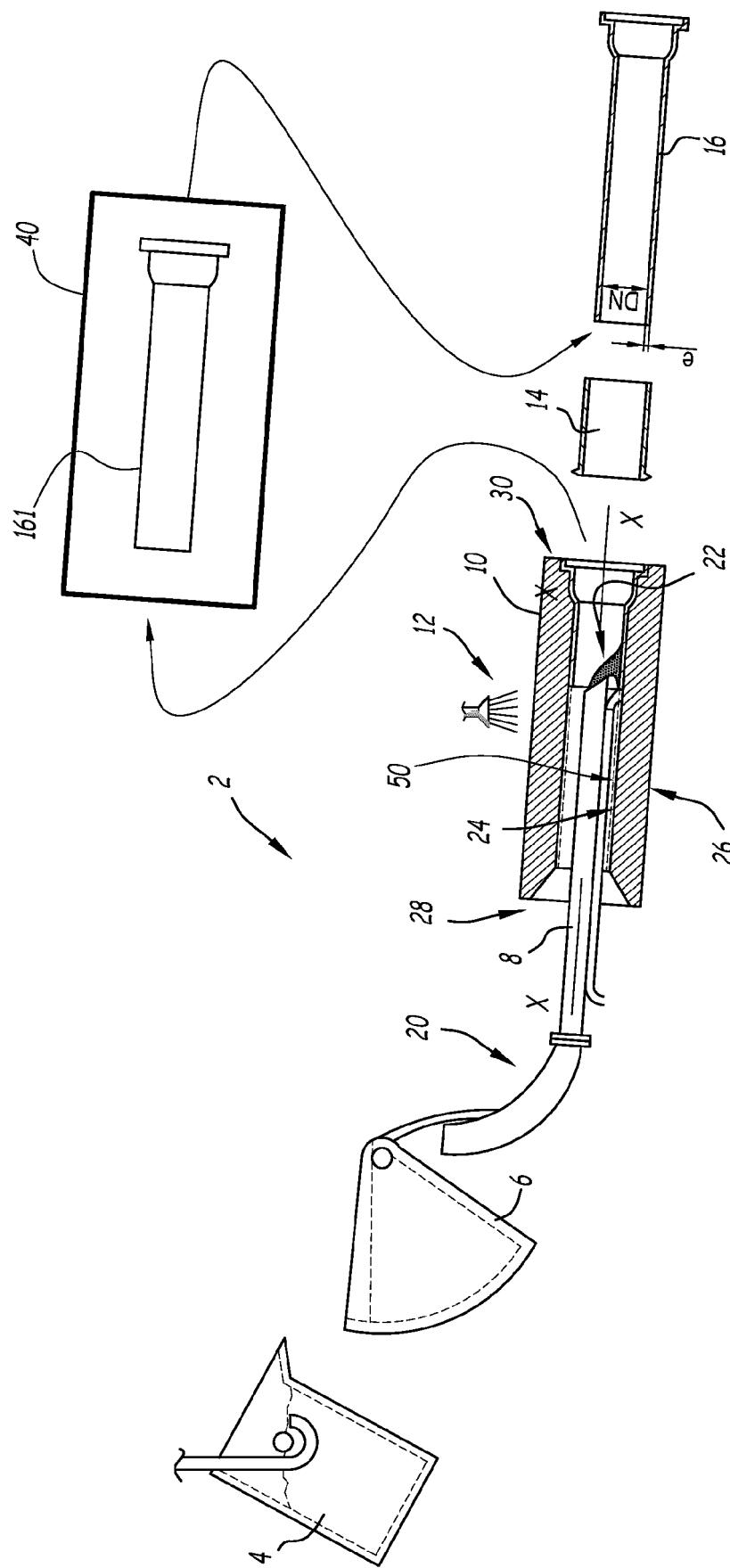
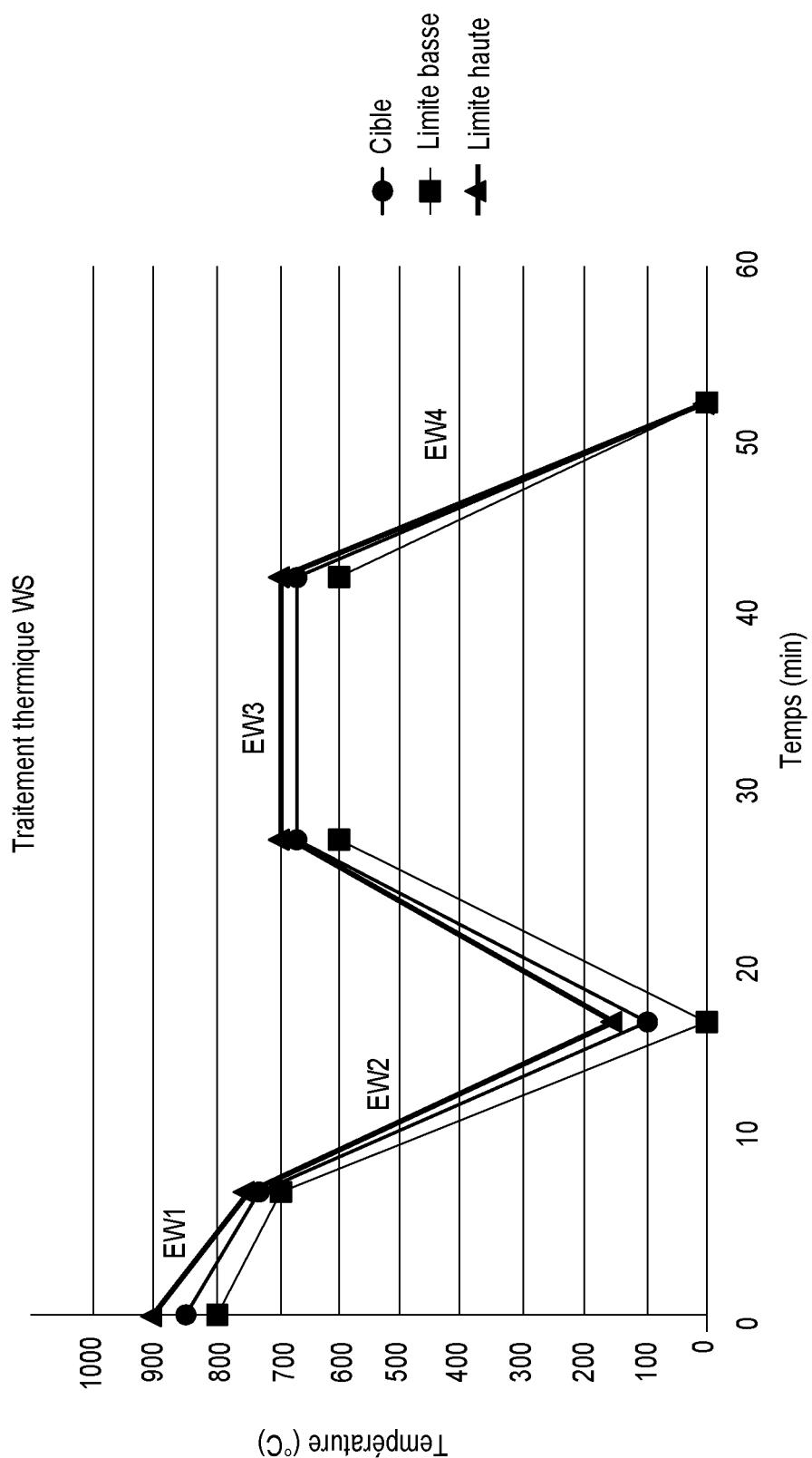


Fig. 3

Fig.4



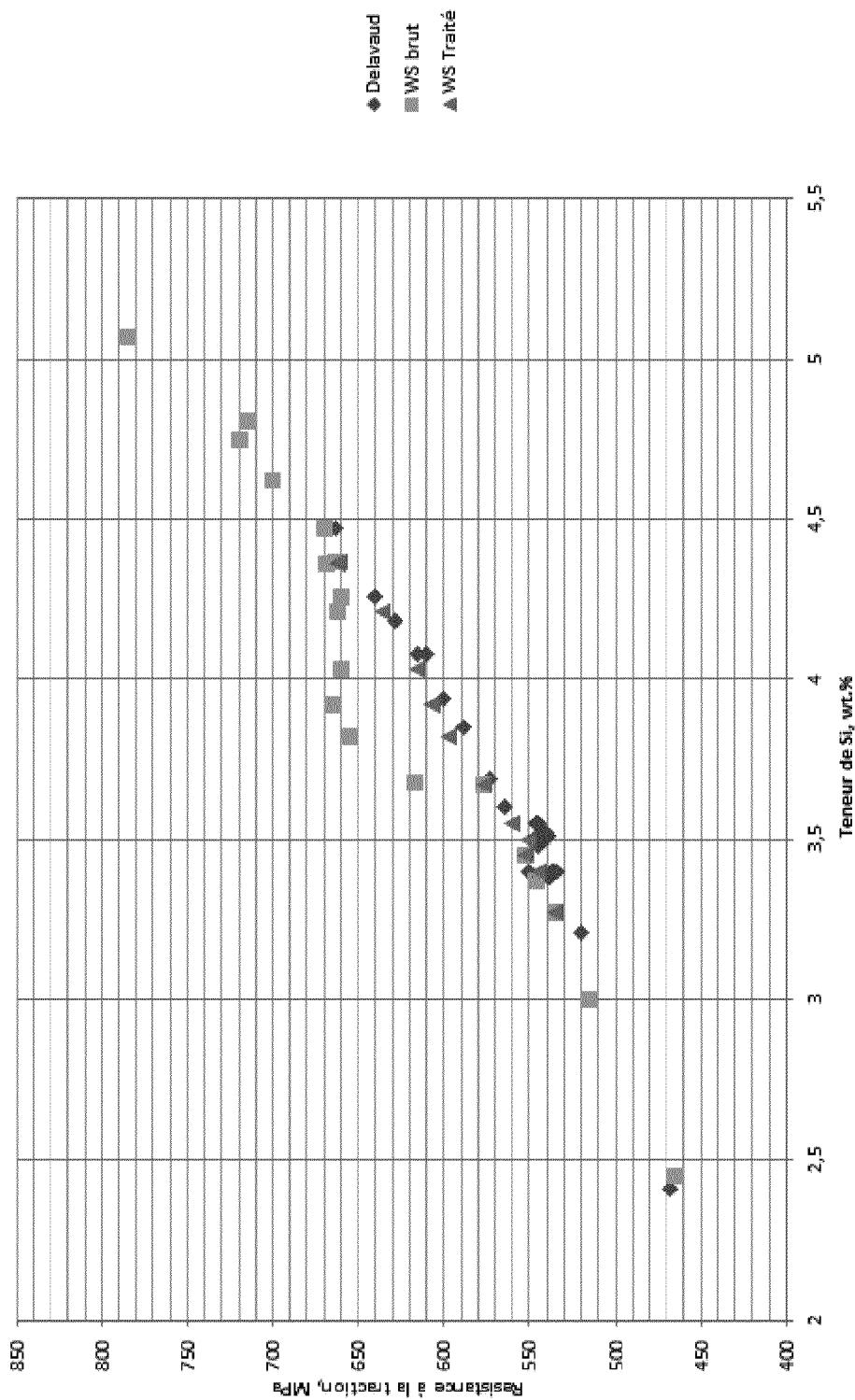


Fig.5

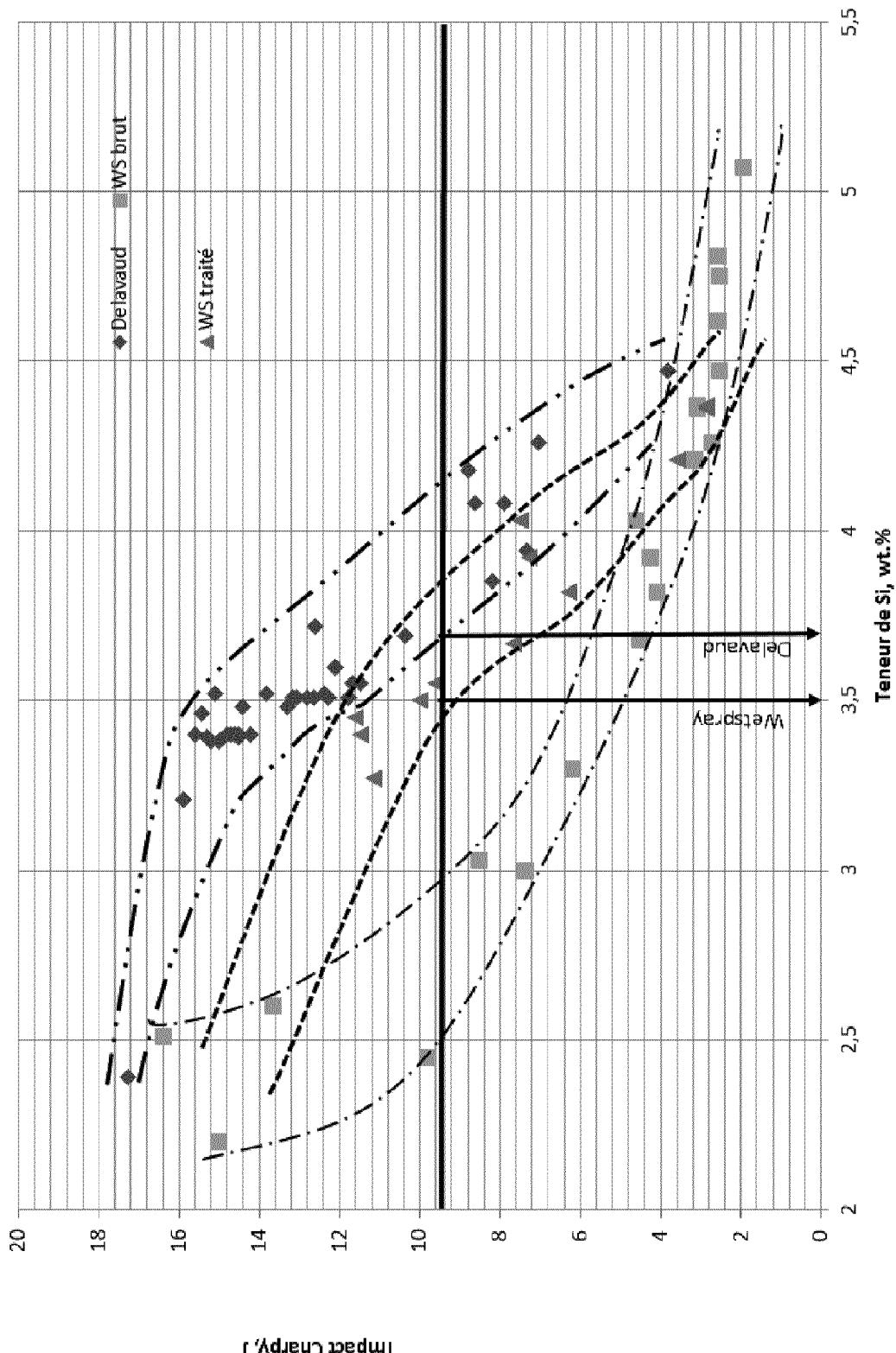


Fig.6

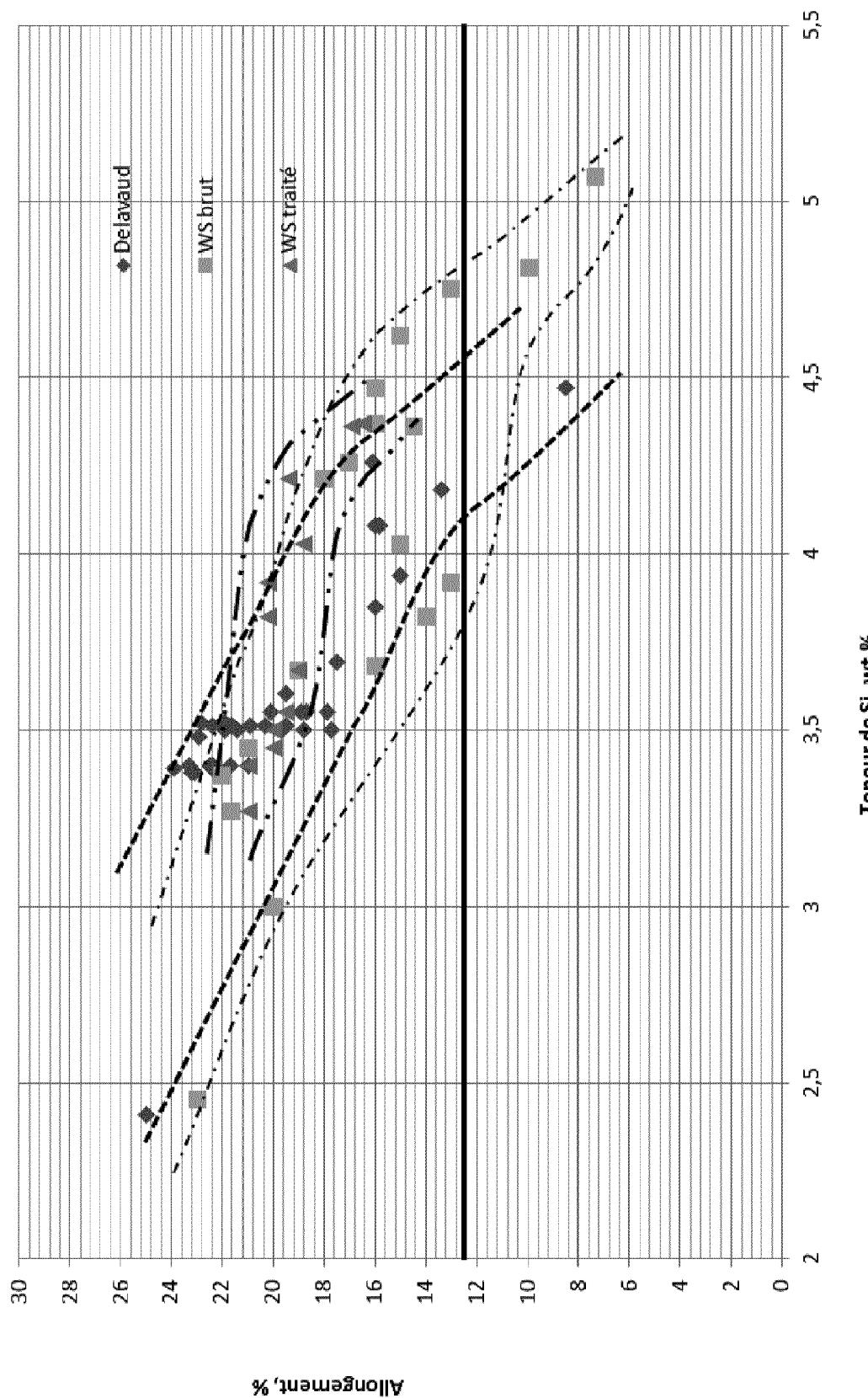


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 16 2181

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	CA 838 011 A (UNITED STATES PIPE FOUNDRY) 31 mars 1970 (1970-03-31) * page 1, lignes 4-6, ligne 29; pages 6-7; page 10, lignes 11-18; tableau IV, exs. 7 et 10 avec page 17, ligne 29-33; tabl. VI, exs. 22, 23, 26 * ----- EP 1 566 454 A1 (MAGNA DRIVETRAIN AG & CO KG [AT]) 24 août 2005 (2005-08-24) * revendications 1-13 * -----	1-14	INV. C22C37/00 C22C37/04 C21D1/30 C22C37/06 C22C37/10 C21D9/00 C21D9/08 C21C1/00 C21C1/10 C21D5/00 C21D5/14 B22D13/00 B22D13/02 C21D6/00 B22C3/00 B22D27/04
A			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			C22C C21D C21C B22D B22C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	
La Haye	11 mai 2022	Kreutzer, Ingo	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul	T : théorie ou principe à la base de l'invention		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie	E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date		
A : arrière-plan technologique	D : cité dans la demande		
O : divulgation non-écrite	L : cité pour d'autres raisons		
P : document intercalaire	8 : membre de la même famille, document correspondant		

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

EP 22 16 2181

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

11-05-2022

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
	CA 838011	A	31-03-1970	AUCUN
15	EP 1566454	A1	24-08-2005	AUCUN
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

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

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

- FR 2139866 [0005]
- US 3891432 A [0005]
- DE 10101159 [0005]
- JP 08269614 H [0005]