

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 141 698

21 N° d'enregistrement national : 22 11692

51 Int Cl⁸ : C 22 C 37/08 (2023.01), C 22 C 37/10

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.11.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 10.05.24 Bulletin 24/19.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : Saint-Gobain PAM Bâtiment Société par actions simplifiée (SAS) — FR.

72 Inventeur(s) : ROCH Jean-Michel et SUBRA Renaud.

73 Titulaire(s) : Saint-Gobain PAM Bâtiment Société par actions simplifiée (SAS).

74 Mandataire(s) : Lavoix.

54 **Objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire, élément de tuyauterie et procédé de fabrication correspondants.**

57 **Objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire, élément de tuyauterie et procédé de fabrication correspondants**

Cet objet tubulaire (16) en fonte à graphite lamellaire est fabriqué dans un moule (10),

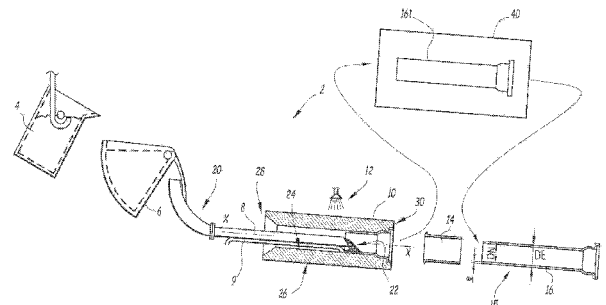
la fonte à graphite lamellaire comprenant, en % en poids, les éléments suivants :

- Carbone (C) inférieur ou égal à 3,7%,
- Silicium (Si) entre 2,0% inclus et 3,9% inclus
- Phosphore (P) entre 0,05% inclus et 0,2% inclus,

le reste étant du Fer (Fe), et des éléments résiduels dus à l'élaboration de la fonte et des impuretés inévitables. L'objet tubulaire a un diamètre extérieur (DE) et une épaisseur de paroi (e), l'épaisseur de paroi ayant, en fonction du diamètre extérieur, l'une des valeurs suivantes :

Diamètre extérieur (mm) (Tolérance (mm)) Epaisseur de paroi (mm) = f(Diamètre extérieur)
110 (+2,0/-1,0) De 2,0 à 3,0135 (+2,0/-2,0) De 2,5 à 3,5160 (+2,0/-2,0) De 2,5 à 3,5210 (+2,5/-2,5) De 3,0 à 4,0274 (+2,5/-2,5) De 3,5 à 4,5326 (+2,5/-2,5) De 4,0 à 5,0

Figure pour l'abrégé : Figure 1



FR 3 141 698 - A1



Description

Titre de l'invention : Objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire, élément de tuyauterie et procédé de fabrication correspondants

- [0001] La présente invention concerne un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire fabriqué dans un moule.
- [0002] Les tuyaux en fonte grise lamellaire actuels ont des propriétés mécaniques qui doivent répondre à la norme EN877.
- [0003] Un alliage de fonte est connu par exemple de FR3060607A1. Cet alliage est cependant un alliage de fonte à graphite sphéroïdal et non pas un alliage de fonte grise lamellaire.
- [0004] Par ailleurs, on connaît des inoculants pour la fabrication d'objets en fonte. De tels inoculants sont par exemple décrits dans le document W00309314 qui divulgue un inoculant pour fonderie à base de Fe-Si-Bi-La ou dans WO2004104252 qui divulgue des inoculants à base de Fe-Si + Bi + Ca + Al + des terres rares (majoritairement du La).
- [0005] WO9929911 décrit un inoculant pour de la fonte à graphite lamellaire ou sphéroïdal, comprenant du Si + (Ca et/ou Sr et/ou Ba) et optionnellement une terre rare à savoir Ce et/ou La, du Mg, de l'Al, du Mn et/ou du Ti et/ou du Zr. Cet inoculant contient cependant aussi de l'oxygène, sous forme d'oxydes métalliques, et du soufre, sous forme de sulfures métalliques. Le tableau 6 de ce document décrit un inoculant du commerce à base de FeSi + Ca + Ba [Test no. P.] et un inoculant du commerce à base de FeSi + Ca + Bi + terre rare [Test no. Q].
- [0006] Les tuyaux en fonte à graphite lamellaire doivent avoir généralement une résistance à la traction supérieure ou égale à 200 MPa, une résistance à l'écrasement supérieure ou égale à 350 MPa et une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 260.
- [0007] Les tuyaux en fonte grise lamellaire connus ont des épaisseurs de parois minimum. Ces épaisseurs dépendent des diamètres nominaux des tuyaux. Ces caractéristiques permettent d'assurer les performances mécaniques demandées.
- [0008] Les diamètres nominaux de ces tuyaux sont généralement compris entre 100 et 300 mm. Le tableau 1 suivant donne à titre d'exemple les caractéristiques des tuyaux connus :

[0009] [Tableaux1]

Diamètre Nominal (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Tolérance (mm) sur le diamètre extérieur	Epaisseur de paroi (mm – valeur nominale)	Epaisseur minimum (mm)
100	110	+2/-1	3,5	3,0
125	135	+2/-2	4,0	3,5
150	160	+2/-2	4,0	3,5
200	210	+2,5/-2,5	5,0	4,0
250	274	+2,5/-2,5	5,5	4,5
300	326	+2,5/-2,5	6,0	5,0

[0010] Le but de l'invention est de pouvoir proposer un objet tubulaire, par exemple un tuyau ou un raccord tubulaire, possédant des dimensions données, qui soit léger pour ces dimensions données, et qui ait des propriétés mécaniques au moins conformes aux normes en vigueur.

[0011] Plus particulièrement, l'objet tubulaire selon l'invention permet un gain de poids avantageusement compris entre 15 et 35 % par rapport à un objet similaire de l'état de la technique. Ainsi, grâce au poids faible, l'installation et la manutention sont facilitées.

[0012] Les tuyaux en fonte grise lamellaire connus ont une épaisseur de paroi importante et nécessitent une consommation importante de matière première afin d'obtenir une résistance à l'écrasement donnée.

[0013] En particulier, un but de l'invention est de proposer des objets tubulaires, tels que des tuyaux en fonte, à résistance mécanique identique ou améliorée et à consommation de matière première faible. Le but de l'invention s'applique également à d'autres objets tubulaires en fonte à graphite lamellaire que des tuyaux, tels que des raccords tubulaires. L'invention cherche à réduire leur poids tout en conservant une résistance mécanique donnée.

[0014] A cet effet, l'invention a pour objet un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire fabriqué dans un moule,

[0015] la fonte à graphite lamellaire comprenant, en % en poids, les éléments suivants :

[0016] - Carbone (C) inférieur ou égal à 3,7%,

[0017] - Silicium (Si) entre 2,0% inclus et 3,9% inclus,

[0018] - Phosphore (P) entre 0,05% inclus et 0,2% inclus,

[0019] optionnellement :

- [0020] - Soufre (S) entre 0,10% inclus et 0,14% inclus,
 [0021] - Manganèse (Mn) < 0,7%,
 [0022] - Chrome (Cr) < 0,15%,
 [0023] - Nickel (Ni) < 0,5%,
 [0024] - Molybdène (Mo) < 0,1%,
 [0025] - Vanadium (V) < 0,5%,
 [0026] - Cuivre (Cu) < 0,22%,
 [0027] - Titane (Ti) < 0,065 %,
 [0028] le reste étant du Fer (Fe), et des éléments résiduels dus à l'élaboration de la fonte à des teneurs inférieures à 0,01% et des impuretés inévitables à des teneurs inférieures à 0,01%, et dans lequel l'objet tubulaire a un diamètre extérieur (DE) et une épaisseur de paroi (e), l'épaisseur de paroi ayant, en fonction du diamètre extérieur, l'une des valeurs suivantes :

[0029] [Tableaux2]

Diamètre extérieur (mm) (Tolérance (mm))	Epaisseur de paroi (mm) = f(Diamètre extérieur)
110 (+2,0/-1,0)	De 2,0 à 3,0
135 (+2,0/-2,0)	De 2,5 à 3,5
160 (+2,0/-2,0)	De 2,5 à 3,5
210 (+2,5/-2,5)	De 3,0 à 4,0
274 (+2,5/-2,5)	De 3,5 à 4,5
326 (+2,5/-2,5)	De 4,0 à 5,0

- [0030] Selon des modes de réalisation particuliers, l'objet selon l'invention peut comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
- [0031] - la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite lamellaire est comprise entre 2,8% inclus et 3,9% inclus, et est de préférence comprise entre 3,1% inclus et 3,9 % inclus, et est en particulier comprise entre 3,3% inclus et 3,7% inclus ;
- [0032] - soit 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, soit 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 ;
- [0033] - la fonte à graphite lamellaire a une résistance à la traction Rm supérieure à 200 MPa, de préférence supérieure à 340 MPa et notamment supérieure à 380 MPa ;

- [0034] - la fonte à graphite lamellaire a une résistance à l'écrasement R_e supérieure à 350 MPa, de préférence supérieure à 490 MPa et notamment supérieure à 520 MPa ;
- [0035] - la fonte à graphite lamellaire a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 260HB, et notamment inférieure ou égale à 230HB ;
- [0036] - la fonte à graphite lamellaire a une résistance aux chocs suivant la norme NF A 48-730 comprise entre 1,30m inclus et 2,00m inclus ;
- [0037] - les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en du Calcium (Ca) et de l'Aluminium (Al) ;
- [0038] - les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en : Zirconium (Zr), Manganèse (Mn) et Baryum (Ba) ; et
- [0039] - les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en : au moins une terre rare, notamment le cérium (Ce) et le Bismuth (Bi).
- [0040] L'invention a également pour objet un élément de tuyauterie comprenant un corps de base, caractérisé en ce que le corps de base est un objet tubulaire tel que défini ci-dessus.
- [0041] Selon des modes de réalisation particuliers, l'élément de tuyauterie selon l'invention est soit un tuyau, notamment un tuyau comprenant deux bout unis ou comprenant un bout uni et un bout à emboîtement, soit un raccord tubulaire.
- [0042] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un objet tubulaire tel que défini ci-dessus ou d'un élément de tuyauterie tel que défini ci-dessus, comprenant les étapes successives suivantes :
- [0043] a) on fait couler de la fonte liquide dans un moule ayant une surface de forme,
- [0044] b) on laisse solidifier la fonte liquide en obtenant une ébauche de l'objet,
- [0045] c) on fait subir à l'ébauche de l'objet un traitement thermique en obtenant l'objet en fonte (16), notamment
- [0046] - un traitement de graphitisation,
- [0047] - un traitement de ferritisation, ou
- [0048] - un traitement de graphitisation suivi d'un traitement de ferritisation, et
- [0049] - un traitement de relaxation.
- [0050] Selon des modes de réalisation particuliers, le procédé de fabrication peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
- [0051] - avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule et/ou pendant l'étape de coulée de la fonte liquide dans le moule, on ajoute à la fonte un inoculant,
- [0052] la quantité de silicium ajoutée par l'inoculant est comprise entre 0,1 et 0,4 % de la masse du produit coulé, la teneur en silicium ajoutée à cette étape d'inoculation correspondant à la teneur en Silicium finale de la fonte à graphite lamellaire moins la teneur en silicium présente à la poche de coulée, et
- [0053] l'inoculant est un ferroalliage comprenant, en % en poids, du Silicium (Si) à une

teneur d'au moins 60,0% inclus et d'au plus 80,0% inclus, notamment comprise entre 62,0% inclus et 69,0% inclus ou entre 68,0% inclus et 70,0% inclus, ou encore à une teneur comprise entre 70,0% inclus et 76,0% inclus, et un ou plusieurs des éléments suivants:

- [0054] . Calcium (Ca) au moins 0,5% inclus et au plus 2,1% inclus, notamment entre 1,2% inclus et 2,1% inclus, entre 0,6% inclus et 1,9% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus,
- [0055] . Aluminium (Al) au moins 0,5% inclus et au plus 1,3% inclus, notamment entre 0,5% inclus et 1,0% inclus, entre 0,55% inclus et 1,3% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus,
- [0056] . Zirconium (Zi) \leq 4,5%, notamment entre 2,8% inclus et 4,5% inclus,
- [0057] . Manganèse (Mn) \leq 3,5%, notamment entre 2,5% inclus et 3,5% inclus,
- [0058] . Baryum (Ba) \leq 5,0%, notamment entre 3,0% inclus et 5,0% inclus,
- [0059] . Cérium (Ce) \leq 2,0%, notamment entre 1,5% inclus et 2,0% inclus,
- [0060] . Bismuth (Bi) \leq 1,3%, notamment entre 0,8% inclus et 1,3% inclus,
- [0061] le reste étant du fer (Fe).
- [0062] - l'inoculant est un ferroalliage ayant, en % en poids, l'une des compositions suivantes :
 - [0063] a) du Silicium (Si) entre 68,0% inclus et 70,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 1,2% inclus et 2,1% inclus, et de l'Aluminium (Al) entre 0,5% inclus et 1,0% inclus, le reste étant du fer (Fe) ;
 - [0064] b) du Silicium (Si) entre 62,0% inclus et 69,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 0,6% inclus et 1,9% inclus, de l'Aluminium (Al) entre 0,55% inclus et 1,3% inclus, du Zirconium (Zi) entre 2,8% inclus et 4,5% inclus, du Manganèse (Mn) entre 2,5% inclus et 3,5% inclus, du Baryum (Ba) entre 3,0% inclus et 5,0% inclus, le reste étant du fer (Fe) ;
 - [0065] c) du Silicium (Si) entre 70,0% inclus et 76,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 0,75% inclus et 1,25% inclus, de l'Aluminium (Al) entre 0,75% inclus et 1,25% inclus, du Cérium (Ce) entre 1,5% inclus et 2,0% inclus, du Bismuth (Bi) entre 0,8% inclus et 1,3% inclus,
 - [0066] le reste étant du fer (Fe) ;
- [0067] - 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 le traitement thermique comprend :
 - [0068] . une première étape (ED1) 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,

- [0069] . une deuxième étape (ED2) de graphitisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte à graphite lamellaire est maintenu à la température de graphitisation pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes, de préférence 15 minutes,
- [0070] . une troisième étape (ED3) 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
- [0071] . une quatrième étape (ED4) de ferritisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte est refroidi lentement, à une vitesse inférieure à 40°C/minute, à l'intérieur d'une plage de température comprise entre 700°C et 780°C ;
- [0072] - 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 le traitement thermique comprend:
- [0073] . 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,
- [0074] . une deuxième étape (EW2) de refroidissement à l'air jusqu'à une température inférieure à 100°C, et
- [0075] . une troisième étape (EW3) 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 le ou l'ébauche de l'objet en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes.
- [0076] 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 :
- [0077] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique d'un premier mode de réalisation d'une installation de fabrication d'un élément de tuyauterie formant un objet tubulaire selon l'invention ;
- [0078] [Fig.2] La [Fig.2] est un diagramme temps/température montrant les différentes étapes du traitement thermique de l'ébauche de l'objet tubulaire selon l'invention fabriquée par l'installation de la [Fig.1] ;
- [0079] [Fig.3] La [Fig.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 tubulaire selon l'invention ;
- [0080] [Fig.4] La [Fig.4] est un diagramme temps/température montrant les différentes étapes du traitement thermique de l'ébauche de l'objet tubulaire fabriquée par l'installation de la [Fig.3] ;
- [0081] [Fig.5] La [Fig.5] est une image d'une structure d'un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de l'état de la technique proche de la surface de l'objet côté moule ;

- [0082] [Fig.6] La [Fig.6] est une image de la structure de l'objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de la [Fig.5] proche de la surface de l'objet côté opposé au moule ;
- [0083] [Fig.7] La [Fig.7] est une image d'une structure d'un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire selon l'invention, l'image correspondant à celle de la [Fig.5]; et
- [0084] [Fig.8] La [Fig.8] est une image de la structure de l'objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de la [Fig.7], l'image correspondant à celle de la [Fig.6].
- [0085] A titre liminaire, le terme « terre rare » comprend un ou plusieurs éléments de la liste consistant en : le lanthane, le cérium, le praséodyme, le néodyme, le prométhium, le samarium, l'euporium, le gadolinium, le terbium, le dysprosium, l'holmium, l'erbium, le thulium, l'ytterbium, le lutécium, l'yttrium et le scandium.
- [0086] Sur la [Fig.1] est représentée une installation de fabrication d'un tuyau en fonte à graphite lamellaire selon un premier mode de réalisation de l'invention, désignée par la référence générale 2.
- [0087] 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.
- [0088] 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 tubulaire ou un corps de base 16 en fonte à graphite lamellaire.
- [0089] La poche d'alimentation 4 est un creuset en matière réfractaire contenant du métal liquide, tel que de la fonte.
- [0090] Le dispositif verseur 6, également appelé "basket", 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.
- [0091] 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.
- [0092] 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.

- [0093] 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.
- [0094] 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.
- [0095] 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. En variante non représentée, le dispositif de refroidissement peut comprendre un moyen de refroidissement autre qu'un moyen d'arrosage de la surface extérieure du moule, comme par exemple un carter d'eau enveloppant la surface extérieure du moule.
- [0096] 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.
- [0097] 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.
- [0098] L'installation comprend par ailleurs un four de traitement thermique 40.
- [0099] La fabrication de l'objet tubulaire ou du corps de base 16 selon l'invention moyennant l'installation 2 est effectuée comme suit.
- [0100] Le procédé de fabrication mis en œuvre est un procédé ayant les caractéristiques du procédé de fabrication appelé « DeLavaud ».
- [0101] De la fonte liquide est introduite dans la poche d'alimentation 4. La fonte liquide dans la poche 4 est telle que l'objet tubulaire ou corps de base 16 obtenu avec le procédé de fabrication selon l'invention a la composition chimique définie ci-après. L'établissement de la teneur finale en Silicium de l'objet tubulaire ou du corps de base 16 peut être faite avant l'étape de coulée dans le moule 10, par des ajouts de matériaux contenant du silicium, notamment des alliages de FeSi. Les apports éventuels en silicium résultant de traitements d'inoculation utilisant des agents à base de silicium peuvent être pris en compte pour déterminer la quantité de silicium à ajouter au métal liquide pour obtenir un objet tubulaire ou corps de base 16 ayant une teneur en silicium conforme à l'invention.
- [0102] Ainsi, l'établissement de la teneur finale en Silicium de l'objet tubulaire ou du corps

de base 16, faite avant l'étape de coulée dans le moule 10, peut être effectué en ajoutant à la fonte une teneur en Silicium égale à celle de l'objet moins la teneur apportée par l'inoculation.

- [0103] Avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule et/ou pendant l'étape de coulée de la fonte liquide dans le moule, on ajoute à la fonte un inoculant. Avantageusement, on met en œuvre une étape d'inoculation dite « tardive » en ajoutant l'inoculant au moins en partie dans le moule.
- [0104] La quantité de silicium ajoutée par l'inoculant est comprise entre 0,1 et 0,4 % de la masse du produit coulé. La teneur en silicium ajoutée à cette étape d'inoculation correspond à la teneur en Silicium finale de la fonte à graphite lamellaire moins la teneur en silicium de la fonte présente à la poche de coulée ou dans le dispositif verseur 6.
- [0105] Une augmentation de la teneur en silicium de la fonte à graphite lamellaire selon l'invention ne devrait pas être obtenue en augmentant la quantité d'agent d'inoculation à base de silicium. Ainsi, dans le cas du procédé DeLavaud, le taux de Silicium dans la fonte de l'objet tubulaire apporté par l'agent d'inoculation est compris entre 0,1 % et 0,4 %.
- [0106] 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.
- [0107] Le moule 10 est entraîné en rotation autour de l'axe X-X et il est amené dans sa position de début de coulée.
- [0108] 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.
- [0109] 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 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 tubulaire ou corps de base 16 moulé. En variante non représentée, l'agent d'inoculation peut être introduit en totalité dans la poche de coulée ou encore dans le jet de fonte déversé dans le canal de coulée, même si ce mode d'inoculation n'est pas privilégié.
- [0110] 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 [Fig.3]).

- [0111] Pendant toute la durée de la coulée, le moule 10 est refroidi par le dispositif de refroidissement 12.
- [0112] La fonte liquide se trouvant dans le moule 10 est pressée contre la surface intérieure 24 par centrifugation, se solidifie et forme une ébauche 161 du corps de base 16. Au lieu de l'ébauche 161, un produit semi-fini peut être fabriqué.
- [0113] Ensuite, l'ébauche 161 du corps de base 16 est extraite du moule 10 par le dispositif d'extraction 14.
- [0114] 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.
- [0115] Dans le contexte de la présente invention, les teneurs sont indiquées à chaque fois en % en poids. Lorsqu'une teneur est indiquée à un seul chiffre près après la virgule, cette indication correspond également à la même teneur à deux chiffres près. Par exemple, l'indication d'une valeur de teneur 3,7% correspond à la valeur de teneur de 3,7% et à la valeur de teneur de 3,70%.
- [0116] La composition de la fonte à graphite lamellaire 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 3,7%, et du Silicium (Si) à une teneur comprise entre 2,0 inclus et 3,9% inclus.
- [0117] La composition de la fonte à graphite lamellaire comprend également, en % en poids, du Phosphore (P) entre 0,05% inclus et 0,2% inclus.
- [0118] La fonte à graphite lamellaire peut comprendre également, en % en poids, les éléments suivants :
- [0119] - Soufre (S) entre 0,10% inclus et 0,14% inclus,
- [0120] - Manganèse (Mn) < 0,7%,
- [0121] - Chrome (Cr) < 0,15,
- [0122] - Nickel (Ni) < 0,5%,
- [0123] - Molybdène (Mo) < 0,1%,
- [0124] - Vanadium (V) < 0,5%,
- [0125] - Cuivre (Cu) < 0,22%, et/ou
- [0126] - Titane (Ti) < 0,065 %.
- [0127] Le reste de la fonte à graphite lamellaire est du Fer (Fe), et des éléments résiduels dus à l'élaboration de la fonte à des teneurs inférieures à 0,01% et des impuretés inévitables à des teneurs inférieures à 0,01%.
- [0128] En d'autres termes, la fonte à graphite lamellaire peut consister en les éléments énumérés précédemment.
- [0129] En particulier, la composition de la fonte à graphite lamellaire ne comprend pas

d'Aluminium (Al), mis à part l'Aluminium éventuellement apporté par l'inoculation [voir ci-après], donc le contenu en Al est inférieur à 0,01%, de préférence inférieur à 0,005%. De même, la composition de la fonte à graphite lamellaire ne comprend pas de Magnésium (Mg), donc le contenu en Mg est inférieur à 0,01%, de préférence inférieur à 0,005%.

- [0130] La fonte à graphite lamellaire peut avoir 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.
- [0131] Par ailleurs, la fonte à graphite lamellaire peut avoir un équivalent carbone $C_{EQ} = C (\%) + 1/3 Si (\%) + 1/3 P (\%)$ inférieur ou égal à 4,7%, de préférence compris entre 4,2% inclus et 4,6% inclus, et notamment compris entre 4,2% inclus et 4,5% inclus et de préférence égal à 4,3%.
- [0132] La teneur en silicium (Si) de la fonte à graphite lamellaire est de préférence comprise entre 2,8% inclus et 3,9% inclus, notamment comprise entre 3,1% inclus et 3,9% inclus, et en particulier comprise entre 3,3% inclus et 3,7% inclus.
- [0133] Sur la [Fig.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 tubulaire en fonte fabriquée par l'installation 2 de la [Fig.1] selon le procédé de fabrication « DeLavaud ». Par la suite les termes « corps de base 16 » et « objet tubulaire en fonte » seront utilisés de manière synonyme.
- [0134] 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 tubulaire en fonte à graphite lamellaire; 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 matériau réfractaire temporaire déposé sur la surface intérieure 24.
- [0135] 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.
- [0136] Sur la [Fig.2] on voit ensuite qu'en partant de cette température de départ, l'ébauche de l'objet tubulaire 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 graphitisation 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.

- [0137] Ensuite, dans une deuxième étape de traitement thermique ED2, l'ébauche de l'objet tubulaire 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.
- [0138] Ensuite, une troisième étape de traitement thermique ED3, à savoir une étape de refroidissement, 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 inférieur à 7 minutes, et par exemple compris entre 4 et 7 minutes exclus, de préférence inférieur ou égal à 6 minutes.
- [0139] Puis, pendant une quatrième étape de traitement thermique ED4, qui est une étape de ferritisation, l'ébauche de l'objet tubulaire 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.
- [0140] Ensuite, pendant une cinquième étape ED5, l'ébauche de l'objet tubulaire 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.
- [0141] Ainsi, on obtient l'objet tubulaire ou le corps de base 16.
- [0142] L'agent d'inoculation ou inoculant utilisé dans le cadre de l'invention est un ferroalliage à base de silicium, le silicium étant à une teneur d'au moins 60% inclus et d'au plus 80% inclus, notamment comprise entre 62,0% inclus et 69,0% inclus, ou entre 68,0% inclus et 70,0% inclus ou encore entre 70,0% inclus et 76,0% inclus, et l'agent d'inoculation ou inoculant peut comprendre, en % inclus en poids, un ou plusieurs des éléments suivants, les valeurs indiquées étant de préférence à chaque fois incluses :
- [0143] - Calcium (Ca) au moins 0,5% inclus et au plus 2,1% inclus, notamment entre 1,2% inclus et 2,1% inclus, ou entre 0,6% inclus et 1,9% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus ;
- [0144] - Aluminium (Al) au moins 0,5% inclus et au plus 1,3% inclus, notamment entre 0,5% inclus et 1,0% inclus, ou entre 0,55 et 1,3% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus ;
- [0145] - Zirconium (Zi) \leq 4,5% inclus, notamment entre 2,8% inclus et 4,5% inclus ;

- [0146] - Manganèse (Mn) $\leq 3,5\%$ inclus, notamment entre 2,5% inclus et 3,5% inclus ;
 [0147] - Baryum (Ba) $\leq 5,0\%$ inclus, notamment entre 3,0% inclus et 5,0% inclus ;
 [0148] - Cérium (Ce) $\leq 2,0\%$ inclus, notamment entre 1,5% inclus et 2,0% inclus ;
 [0149] - Bismuth (Bi) $\leq 1,3\%$ inclus, notamment entre 0,8% inclus et 1,3% inclus ;
 [0150] le reste de l'inoculant étant du fer (Fe).

[0151] Avantageusement, l'inoculant est un ferroalliage à base de silicium et comprend du calcium et les éléments d'au moins l'un des deux groupes consistant d'une part en Zr, Mn et Ba et d'autre part en Ce et Bi, dans les plages de teneurs mentionnées ci-dessus.

[0152] Des exemples de composition des inoculants sont indiqués dans le tableau 3 suivant (% en poids, le reste étant du fer) :

[0153] [Tableaux3]

Si	Ca	Al	Zr	Mn	Ba	Ce	Bi
68 - 70	1.2 - 2.1	0.5 - 1	-	-	-	-	-
62 - 69	0,6 - 1,9	0,55 - 1,3	2,8 - 4,5	2,5 - 3,5	3,0 - 5,0	-	-
70 - 76	0,75 - 1,25	0,75 - 1,25	-	-	-	1,5 - 2	0,8 - 1,3

[0154] En utilisant l'agent d'inoculation du tableau 3 ci-dessus, la fonte à graphite lamellaire obtenue contient des éléments résiduels qui comprennent du Calcium (Ca) et de l'Aluminium (Al). Les éléments résiduels peuvent également comprendre un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en : Zirconium (Zr), Manganèse (Mn) et Baryum (Ba). Les éléments résiduels peuvent également comprendre un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en au moins une terre rare, notamment le cérium (Ce) et le Bismuth (Bi).

[0155] La fonte à graphite lamellaire ainsi obtenue a une résistance à la traction R_m supérieure à 200 MPa, de préférence une résistance à la traction R_m supérieure à 340 MPa et notamment supérieure à 380 MPa.

[0156] La fonte à graphite lamellaire ainsi obtenue a une résistance à l'écrasement R_e supérieure à 350 MPa, de préférence supérieure à 490 MPa et notamment supérieure à 520 MPa.

[0157] En outre, la fonte à graphite lamellaire de l'objet tubulaire selon l'invention a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 260HB, et notamment inférieure ou égale à 230 HB.

[0158] La fonte à graphite lamellaire a avantageusement une résistance aux chocs suivant la norme NF A 48-730 comprise entre 1,30 m inclus et 2,00 m inclus. Bien que cette norme NF A 48-730 ne soit généralement plus appliquée, elle permet de définir la ré-

sistance aux chocs d'un objet en fonte lamellaire.

[0159] En se référant à nouveau à la [Fig.1], l'élément de tuyauterie 15 ou le corps de base 16 a un diamètre extérieur DE et une épaisseur de paroi e. L'élément de tuyauterie 15 ou le corps de base 16 a également un diamètre nominal DN. Le diamètre nominal DN est par exemple inférieur ou égal à 400 mm ou inférieur ou égal à 300. Le diamètre nominal DN est supérieur ou égal à 100mm.

[0160] Les objets ou tuyaux fabriqués par les installations 2 ou procédés selon l'invention comprennent une épaisseur de paroi e spécifique en fonction du diamètre extérieur DE. Ces objets ou tuyaux peuvent avoir une masse relative MRL par tronçon cylindrique d'un mètre (1000mm) de long qui est fonction du diamètre extérieur DE et de l'épaisseur de paroi e. La relation entre le diamètre extérieur DE et l'épaisseur de paroi e est indiquée dans le tableau 4 suivant. Les masses relatives MRL ont été calculées en considérant que la masse volumique des objets tubulaires selon l'invention est de 7,15 kg/dm³. A titre indicatif le diamètre nominal associé est également indiqué.

[0161] [Tableaux4]

Diamètre Nominal (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Tolérance (mm) du diamètre extérieur	Epaisseur de paroi maximum (mm)	Epaisseur de paroi minimum (mm)	MRL minimale (kg/m)	MRL maximale (kg/m)
100	110	+2,0/-1,0	3,0	2,0	4,825	7,210
125	135	+2,0/-2,0	3,5	2,5	7,441	10,338
150	160	+2,0/-2,0	3,5	2,5	8,845	12,304
200	210	+2,5/-2,5	4,0	3,0	13,949	18,509
250	274	+2,5/-2,5	4,5	3,5	21,266	27,241
300	326	+2,5/-2,5	5,0	4,0	28,932	36,052

[0162] Les épaisseurs de paroi pour chaque diamètre extérieur sont généralement situées à chaque fois entre l'épaisseur de paroi minimum indiquée incluse et l'épaisseur maximum indiquée incluse. De même, les valeurs limites entre lesquelles se situent les masses MRL des tronçons cylindriques linéaires sont à chaque fois incluses pour chacun des diamètres extérieurs du tableau 4.

[0163] On comprend que pour un tuyau à bout à emboîtement, les valeurs de l'épaisseur de paroi et/ou de masse relative par rapport à la longueur MRL sont considérées exclusivement sur la partie courante strictement cylindrique et donc hors bout à emboîtement.

[0164] Pour un tuyau comprenant deux bouts unis, les valeurs ci-dessus peuvent être

considérées exclusivement sur la partie courante, donc hors extrémités pourvues d'un chanfrein. Pour un raccord tubulaire, les valeurs ci-dessus peuvent être considérées exclusivement sur la partie courante, hors extrémités du raccord.

[0165] La partie courante est donc la partie d'un objet tubulaire hors bout à emboîtement. La partie courante peut donc être la partie à forme de cylindre creux.

[0166] Les épaisseurs de paroi peuvent également être situées à chaque fois entre l'épaisseur de paroi minimum indiquée incluse et l'épaisseur de paroi maximum indiquée exclue.

[0167] En variante, les épaisseurs de paroi pour les objets tubulaires précités se trouvent dans les plages du tableau 5 suivant, dans lesquelles l'épaisseur de paroi maximum est réduite par rapport au tableau précité :

[0168] [Tableaux5]

Diamètre Nominal (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Epaisseur de paroi maximum (mm)	Epaisseur de paroi minimum (mm)
100	110	2,9	2,0
125	135	3,4	2,5
150	160	3,4	2,5
200	210	3,9	3,0
250	274	4,4	3,5
300	326	4,9	4,0

[0169] Les essais suivants ont été réalisés sur des tuyaux DN125 en fonte à graphite lamellaire ayant les compositions indiquées dans le tableau 6 suivant :

[0170] [Tableaux6]

Composition fonte / Tuyau	C (% en poids)	Si (% en poids)	P (% en poids)	Mn (% en poids)	S (% en poids)	C _{EQ} %	Si (% en poids) total après ajout
1	3,59	2,11	0,06	0,28	0,09	4,41	2,40
2	3,54	2,15	0,06	0,28	0,13	4,28	2,45
3	3,45	2,89	0,06	0,27	0,13	4,20	3,20
4	3,35	3,60	0,06	0,27	0,12	4,30	3,90

[0171] Le tuyau 1 est un tuyau comparatif en fonte à graphite lamellaire qui n'est pas selon l'invention et qui a une épaisseur standard de 3,8mm. Les tuyaux 2 à 4 ont une épaisseur de 2,7mm et ont été fabriqués selon l'invention. Le tableau 7 suivant indique

certaines propriétés mécaniques mesurées sur les tuyaux ainsi obtenus.

[0172] [Tableaux7]

Propriété mécanique / Tuyau	Résistance moyenne à l'écrasement σ (MPa)	Résistance moyenne à la traction R_m (MPa)	Dureté Brinell moyenne HB
1	527,0	283,2	198,1
2	484,2	330,6	181,6
3	531,9	353,7	190,2
4	569,9	383,9	207,7

[0173] Sur la [Fig.3] est représenté un second mode de réalisation d'une installation 2 de fabrication selon l'invention.

[0174] 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.

[0175] 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.

[0176] 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.

[0177] Le procédé de fabrication utilisant l'installation 2 de la [Fig.3] est un procédé de fabrication du type « Wetspray ». Ce procédé est le suivant.

[0178] 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.

[0179] L'étape suivante consiste à faire couler la fonte liquide sur la couche de matériau réfractaire temporaire.

[0180] Grâce à la couche de matériau réfractaire 50, l'ébauche du corps de base 16 ou l'ébauche de l'objet tubulaire en fonte ne contient pas ou très peu de cémentite. La fonte à graphite lamellaire présente une matrice essentiellement ferritique avec une teneur en perlite faible, notamment inférieure ou égale à 10%, en particulier lorsque la teneur en Si est supérieure à 3,1%.

[0181] Sur la [Fig.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 tubulaire en fonte fabriquée selon le procédé « Wetspray » par l'installation 2 selon le second mode de réalisation montré sur la [Fig.3].

- [0182] Après extraction du moule 10, l'ébauche du corps de base 16 ou de l'objet tubulaire 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.
- [0183] Ensuite, lors d'une deuxième étape de traitement thermique EW2, l'ébauche du corps de base ou de l'objet tubulaire 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.
- [0184] Ensuite, dans une troisième étape de traitement thermique EW3, l'ébauche du corps de base ou de l'objet tubulaire 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 tubulaire 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 tubulaire en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes.
- [0185] Ensuite, dans une quatrième étape EW4, l'ébauche du corps de base 16 ou de l'objet tubulaire en fonte est refroidie jusqu'à température ambiante (20°C).
- [0186] Avec les deux procédés de fabrication décrits ci-dessus et les compositions de fonte selon l'invention, le produit fini après traitement thermique possède une structure remarquable, avec notamment des particules de graphite au bord extérieur plus compactes et plus riches en carbone.
- [0187] La composition chimique, notamment en combinaison avec l'épaisseur de paroi relativement faible et le traitement thermique appliqué en sortie de moule, permet d'obtenir un gain important en terme de qualité, taille et répartition des particules, en particulier dans toute l'épaisseur. L'agrégation du graphite de manière homogène à travers l'épaisseur de l'objet tubulaire en fonte permet d'obtenir une nouvelle microstructure jamais observée jusque-là pour des fontes grises à graphite lamellaire, notamment centrifugées.

- [0188] La [Fig.5] montre une micrographie d'une structure d'un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de l'état de la technique proche de la surface de l'objet côté moule. On voit que les particules de graphite sont relativement petites et réparties régulièrement.
- [0189] La [Fig.6] est une micrographie de la structure de l'objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de la [Fig.5] proche de la surface de l'objet côté opposé au moule. On voit que la fonte ne comporte que peu de particules de graphite, qui de plus sont réparties de manière irrégulière.
- [0190] La [Fig.7] est une micrographie d'une structure d'un objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire selon l'invention, l'image étant prise proche de la surface de l'objet côté moule, donc proche de la surface extérieure dans le cas d'un tuyau.
- [0191] La [Fig.8] est une micrographie de la structure de l'objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire de la [Fig.7], l'image étant prise proche de la surface de l'objet côté opposé au moule, donc proche de la surface intérieure dans le cas d'un tuyau.
- [0192] Sur les Figures 7 et 8, les particules de graphite sont regroupées en « grappes », qui de plus sont réparties de manière régulière sur toute l'épaisseur. La fonte à graphite lamellaire au sens de la présente invention peut ainsi comprendre un taux plus ou moins élevé de graphite de forme II et/ou IV tel que décrit dans la norme NF EN ISO 945-1.
- [0193] Il est à noter que la barre d'échelle sur les Figures 5 à 8 correspond à 200 μm .
- [0194] L'élément de tuyauterie fabriqué par les procédés ci-dessus peut être un élément tubulaire autre qu'un tuyau à emboîtement, par exemple un élément tubulaire cylindrique.
- [0195] La composition de la fonte à graphite lamellaire selon l'invention peut être également utilisée pour la fabrication de raccords de fonderie. Dans ce cas, le procédé de fabrication de tels objets tubulaires 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 tubulaire 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 tubulaire 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 tubulaire est refroidie jusqu'à la température ambiante. La fonte obtenue à l'issue de ce traitement thermique permet de réduire le poids du raccord de fonderie par rapport aux raccords connus tout en conservant une résistance mécanique identique, voire améliorée, ou bien, à poids identique, permet d'augmenter les performances mécaniques du raccord de fonderie.
- [0196] L'objet tubulaire en fonte à graphite lamellaire selon l'invention permet donc

l'obtention d'éléments de tuyauterie ayant des épaisseurs de paroi faibles pour une résistance mécanique donnée ou des performances mécaniques améliorées à épaisseurs de paroi semblables. En particulier, les objets tubulaires selon l'invention ont des résistances aux chocs, à la traction et à l'écrasement importantes pour des dimensions données. La fabrication et l'utilisation, notamment le transport et la manipulation, sont donc économiques.

Revendications

[Revendication 1]

Objet tubulaire (16) en fonte à graphite lamellaire fabriqué dans un moule (10),

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

- Carbone (C) inférieur ou égal à 3,7%,
- Silicium (Si) entre 2,0% inclus et 3,9% inclus,
- Phosphore (P) entre 0,05% inclus et 0,2% inclus,

optionnellement :

- Soufre (S) entre 0,10% inclus et 0,14% inclus,
- Manganèse (Mn) < 0,7%,
- Chrome (Cr) < 0,15%,
- Nickel (Ni) < 0,5%,
- Molybdène (Mo) < 0,1%,
- Vanadium (V) < 0,5%,
- Cuivre (Cu) < 0,22%,
- Titane (Ti) < 0,065 %,

le reste étant du Fer (Fe), et des éléments résiduels dus à l'élaboration de la fonte à des teneurs inférieures à 0,01% et des impuretés inévitables à des teneurs inférieures à 0,01%, et dans lequel l'objet tubulaire a un diamètre extérieur (DE) et une épaisseur de paroi (e), l'épaisseur de paroi ayant, en fonction du diamètre extérieur, l'une des valeurs suivantes :

Diamètre extérieur (mm) (Tolérance (mm))	Epaisseur de paroi (mm) = f(Diamètre extérieur)
110 (+2,0/-1,0)	De 2,0 à 3,0
135 (+2,0/-2,0)	De 2,5 à 3,5
160 (+2,0/-2,0)	De 2,5 à 3,5
210 (+2,5/-2,5)	De 3,0 à 4,0
274 (+2,5/-2,5)	De 3,5 à 4,5
326 (+2,5/-2,5)	De 4,0 à 5,0

[Revendication 2]

Objet tubulaire selon la revendication 1, dans lequel la teneur en Silicium (Si) de la fonte à graphite lamellaire est comprise entre 2,8% inclus et 3,9% inclus, et est de préférence comprise entre 3,1% inclus et

3,9 % inclus, et est en particulier comprise entre 3,3% inclus et 3,7% inclus.

[Revendication 3]

Objet tubulaire selon la revendications 1 ou 2,

- soit dans lequel l'objet est obtenu par un procédé de fabrication dans lequel une surface de forme (24) est dépourvue d'isolant thermique temporaire ou de matériau réfractaire temporaire (50) lorsqu'on fait couler la fonte liquide dans le moule (10), soit
- 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).

[Revendication 4]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite lamellaire a une résistance à la traction R_m supérieure à 200 MPa, de préférence supérieure à 340 MPa et notamment supérieure à 380 MPa.

[Revendication 5]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite lamellaire a une résistance à l'écrasement R_e supérieure à 350 MPa, de préférence supérieure à 490 MPa et notamment supérieure à 520 MPa.

[Revendication 6]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite lamellaire a une dureté Brinell HB inférieure ou égale à 260HB, et notamment inférieure ou égale à 230HB.

[Revendication 7]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la fonte à graphite lamellaire a une résistance aux chocs suivant la norme NF A 48-730 comprise entre 1,30m inclus et 2,00m inclus.

[Revendication 8]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en du Calcium (Ca) et de l'Aluminium (Al).

[Revendication 9]

Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en : Zirconium (Zr), Manganèse (Mn) et Baryum (Ba).

- [Revendication 10] Objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les éléments résiduels comprennent un ou plusieurs des éléments pris dans la liste consistant en : au moins une terre rare, notamment le cérium (Ce) et le Bismuth (Bi).
- [Revendication 11] Élément de tuyauterie comprenant un corps de base (16), caractérisé en ce que le corps de base est un objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 12] Élément de tuyauterie selon la revendication 11, dans lequel l'élément est
soit un tuyau, notamment un tuyau comprenant deux bouts unis ou comprenant un bout uni et un bout à emboîtement,
soit un raccord tubulaire.
- [Revendication 13] Procédé de fabrication d'un objet tubulaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 ou d'un élément de tuyauterie selon l'une des revendications 11 ou 12, 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 à l'ébauche de l'objet un traitement thermique en obtenant l'objet en fonte (16), notamment
- un traitement de graphitisation,
- un traitement de ferritisation, ou
- un traitement de graphitisation suivi d'un traitement de ferritisation, et
- un traitement de relaxation.
- [Revendication 14] Procédé de fabrication selon la revendication 13, dans lequel, avant l'étape de faire couler la fonte liquide dans le moule et/ou pendant l'étape de coulée de la fonte liquide dans le moule, on ajoute à la fonte un inoculant, dans lequel
la quantité de silicium ajoutée par l'inoculant est comprise entre 0,1 et 0,4 % de la masse du produit coulé, dans lequel la teneur en silicium ajoutée à cette étape d'inoculation correspondant à la teneur en Silicium finale de la fonte à graphite lamellaire moins la teneur en silicium présente à la poche de coulée, et dans lequel
l'inoculant est un ferroalliage comprenant, en % en poids, du Silicium (Si) à une teneur d'au moins 60,0% inclus et d'au plus 80,0% inclus, notamment comprise entre 62,0% inclus et 69,0% inclus, ou entre 68,0% inclus et 70,0% inclus, ou encore entre 70,0% inclus et 76,0%

inclus, et un ou plusieurs des éléments suivants:

- Calcium (Ca) au moins 0,5% inclus et au plus 2,1% inclus, notamment entre 1,2% inclus et 2,1% inclus, entre 0,6% inclus et 1,9% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus,
- Aluminium (Al) au moins 0,5% inclus et au plus 1,3% inclus, notamment entre 0,5% inclus et 1,0% inclus, entre 0,55% inclus et 1,3% inclus ou entre 0,75% inclus et 1,25% inclus,
- Zirconium (Zi) $\leq 4,5\%$, notamment entre 2,8% inclus et 4,5% inclus,
- Manganèse (Mn) $\leq 3,5\%$, notamment entre 2,5% inclus et 3,5% inclus,
- Baryum (Ba) $\leq 5,0\%$, notamment entre 3,0% inclus et 5,0% inclus,
- Cérium (Ce) $\leq 2,0\%$, notamment entre 1,5% inclus et 2,0% inclus,
- Bismuth (Bi) $\leq 1,3\%$, notamment entre 0,8% inclus et 1,3% inclus,

le reste étant du fer (Fe).

[Revendication 15]

Procédé de fabrication selon la revendication 14, dans lequel l'inoculant est un ferroalliage ayant, en % en poids, l'une des compositions suivantes :

- a. du Silicium (Si) entre 68,0% inclus et 70,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 1,2% inclus et 2,1% inclus, et de l'Aluminium (Al) entre 0,5% inclus et 1,0% inclus, le reste étant du fer (Fe) ;
- b. du Silicium (Si) entre 62,0% inclus et 69,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 0,6% inclus et 1,9% inclus, de l'Aluminium (Al) entre 0,55% inclus et 1,3% inclus, du Zirconium (Zi) entre 2,8% inclus et 4,5% inclus, du Manganèse (Mn) entre 2,5% inclus et 3,5% inclus, du Baryum (Ba) entre 3,0% inclus et 5,0% inclus, le reste étant du fer (Fe) ;
- c. du Silicium (Si) entre 70,0% inclus et 76,0% inclus, du Calcium (Ca) entre 0,75% inclus et 1,25% inclus, de l'Aluminium (Al) entre 0,75% inclus et 1,25% inclus, du Cérium (Ce) entre 1,5% inclus et 2,0% inclus, du Bismuth (Bi)

entre 0,8% inclus et 1,3% inclus,

le reste étant du fer (Fe).

[Revendication 16]

Procédé de fabrication selon l'une des revendications 13 à 15, dans lequel la surface de forme (24) est dépourvue d'isolant thermique temporaire ou de matériau réfractaire temporaire (50) lorsqu'on fait couler la fonte liquide dans le moule (10), et dans lequel le traitement thermique comprend :

- une première étape (ED1) 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 (ED2) de graphitisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte à graphite lamellaire est maintenu à la température de graphitisation pendant une durée comprise entre 5 et 30 minutes, de préférence 15 minutes,
- une troisième étape (ED3) 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 (ED4) de ferritisation durant laquelle l'ébauche de l'objet en fonte est refroidi lentement, à une vitesse inférieure à 40°C/minute, à l'intérieur d'une plage de température comprise entre 700°C et 780°C.

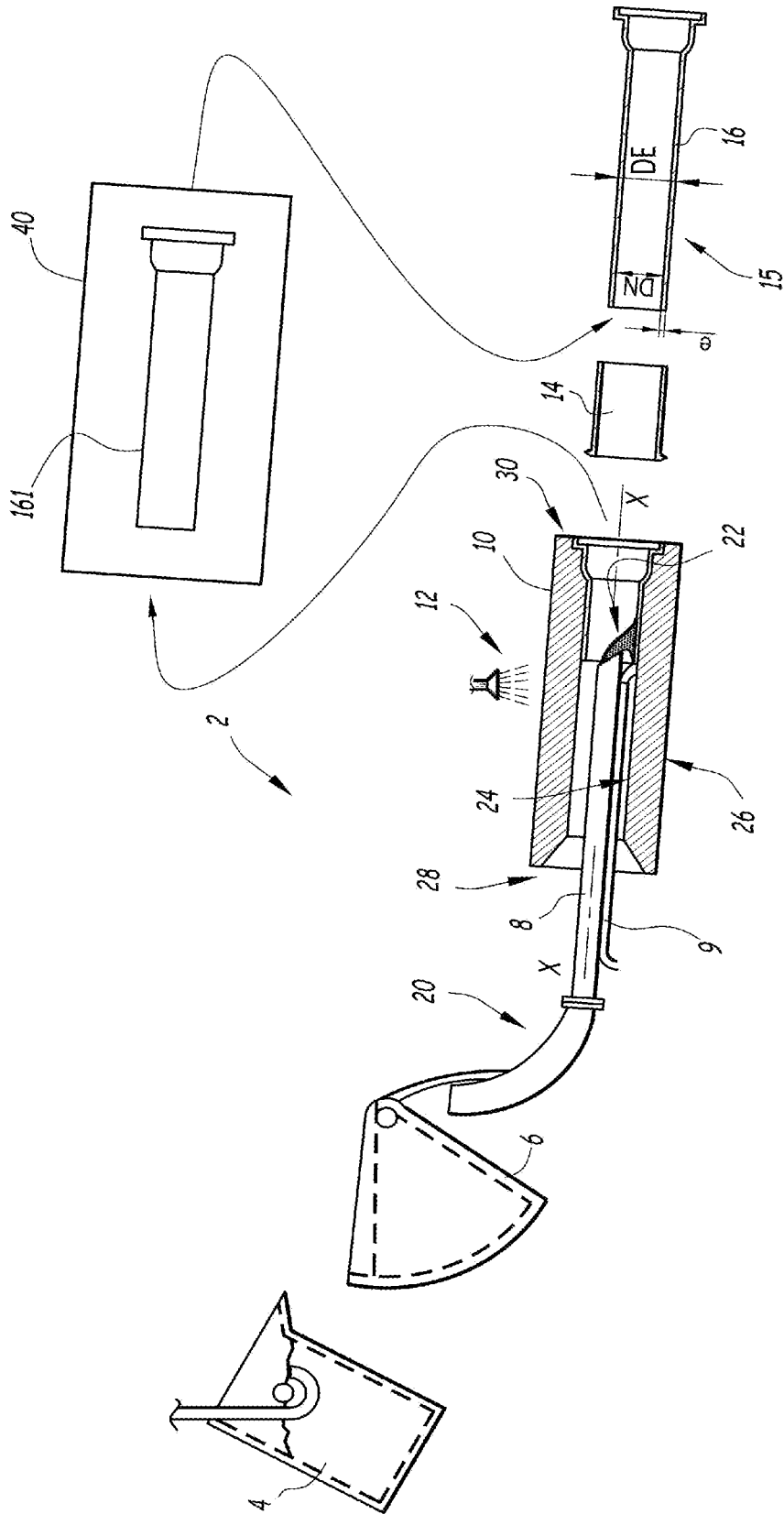
[Revendication 17]

Procédé de fabrication selon l'une des revendications 13 à 16, 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 :

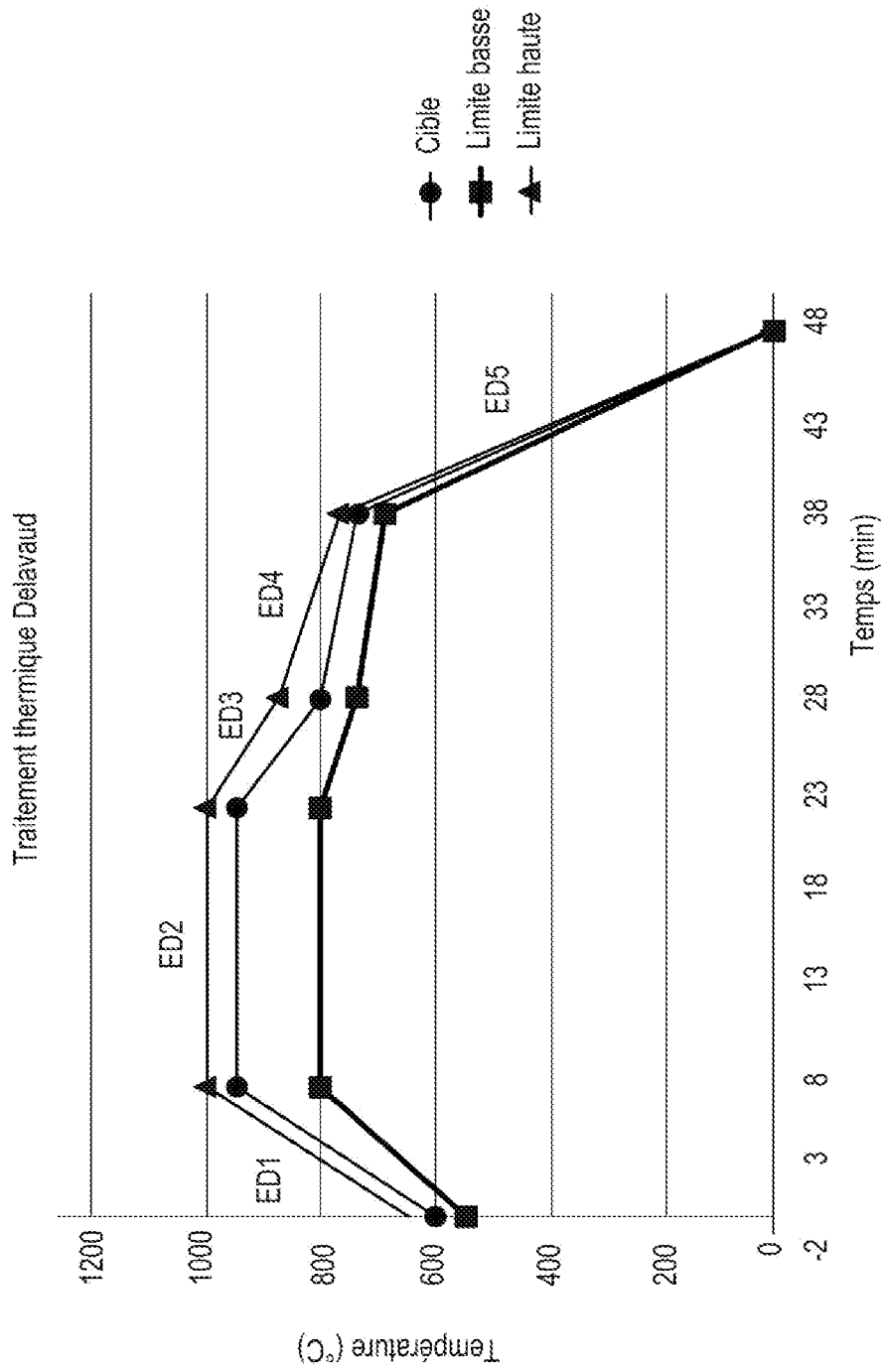
- une première étape (EW1) de ferritisation consistant à refroidir l'ébauche de l'objet lentement, à une vitesse de refroidissement inférieure à 40°C/minute, d'une température d'entrée dans un four, supérieure ou égale à 800°C jusqu'à une température de fin de ferritisation inférieure à 740°C,
- une deuxième étape (EW2) de refroidissement à l'air jusqu'à une température inférieure à 100°C, et
- une troisième étape (EW3) 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 le ou l'ébauche de l'objet en fonte à cette température de relaxation pendant une durée comprise entre 10 minutes et 30 minutes.

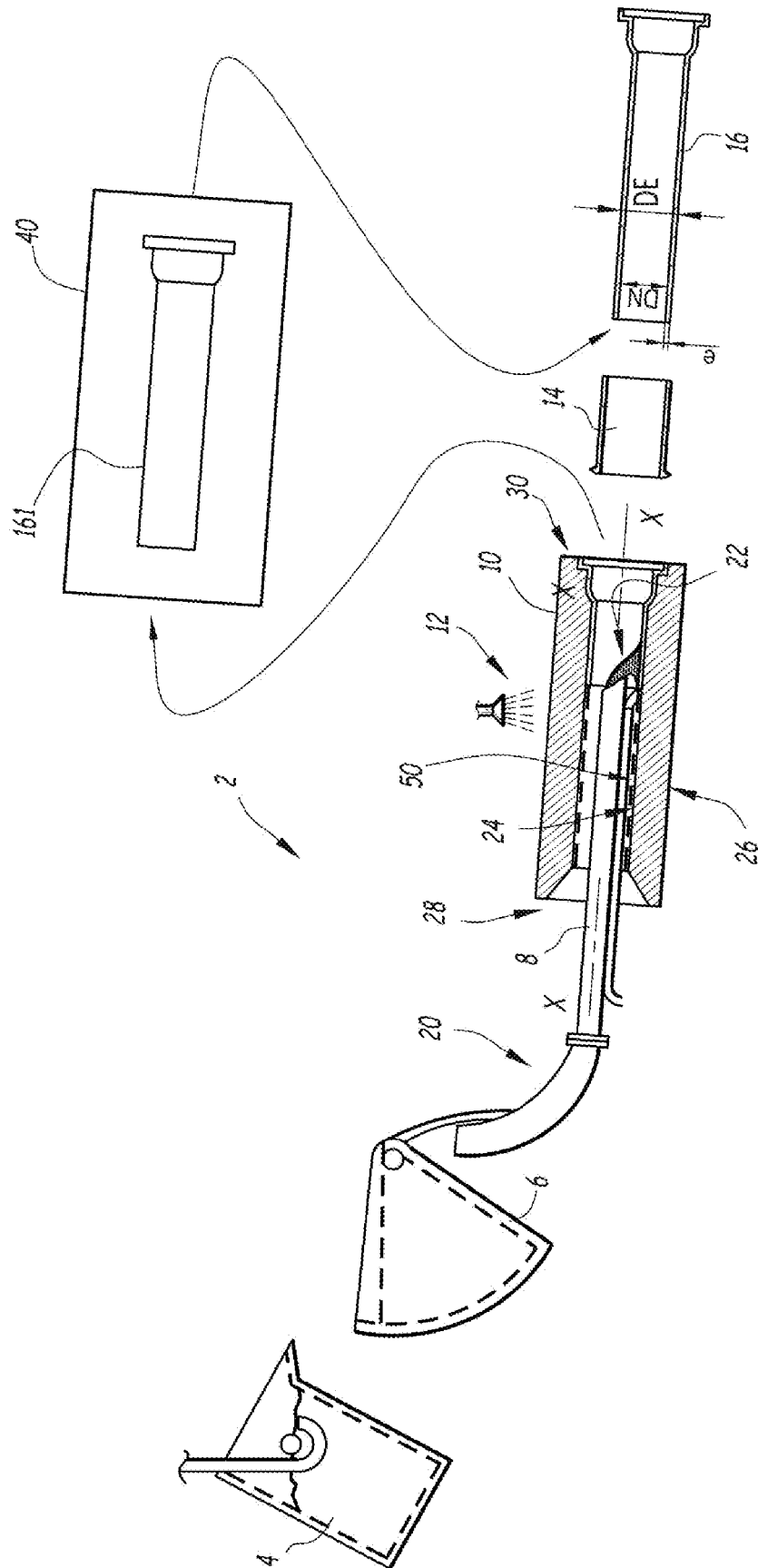
[Fig. 1]



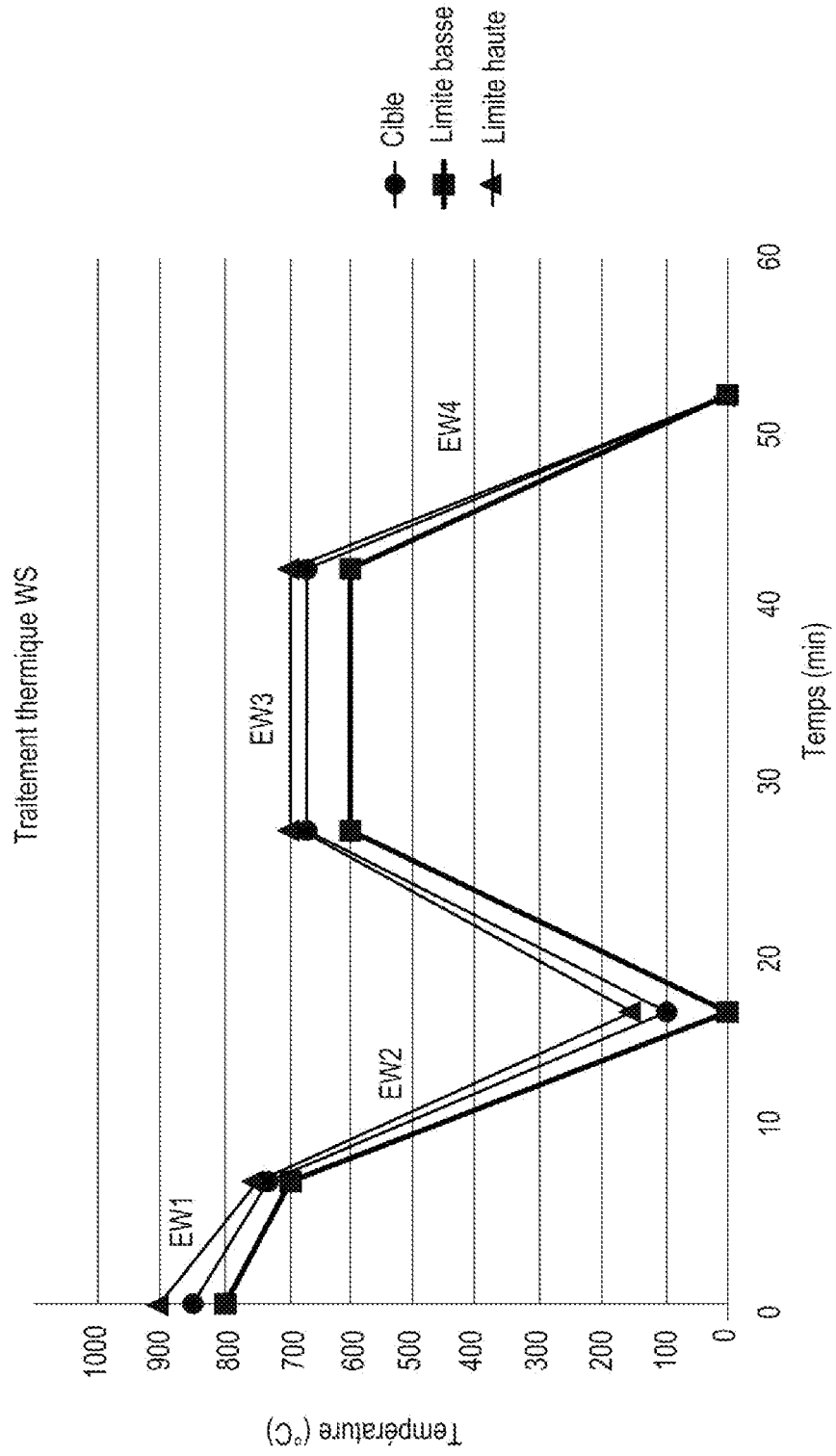
[Fig. 2]



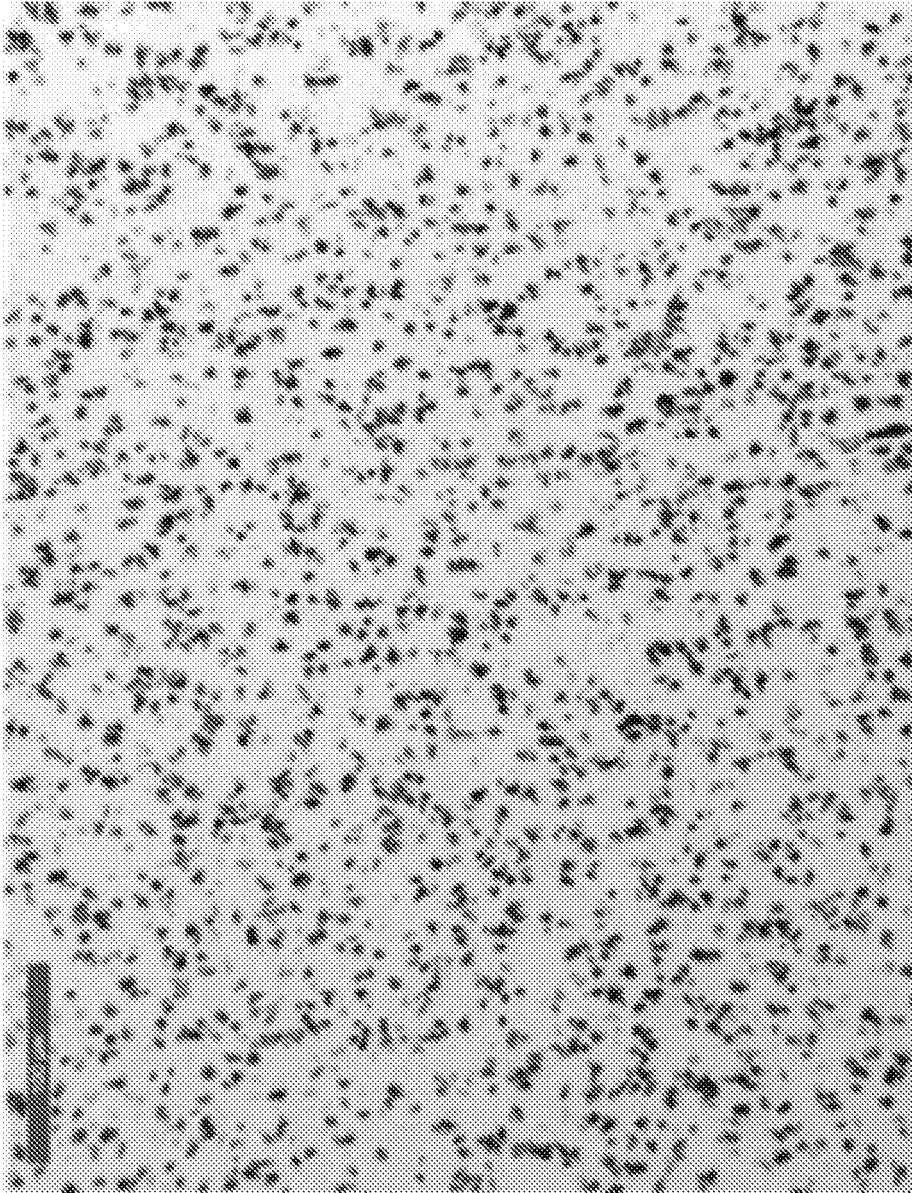
[Fig. 3]



[Fig. 4]



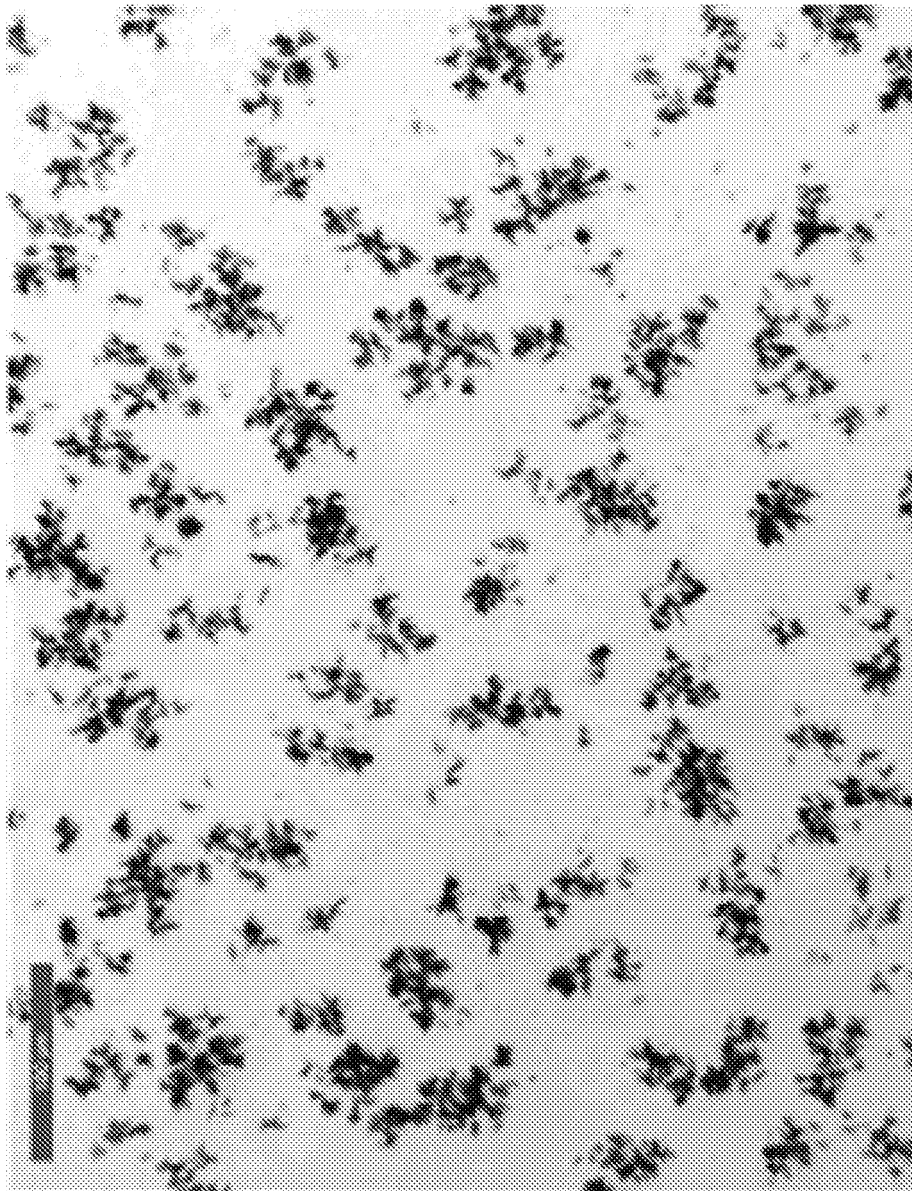
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 913272
FR 2211692

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	Elliott Roy ET AL: "Cast Iron Technology", , 31 décembre 1988 (1988-12-31), XP093041222, Extrait de l'Internet: URL:https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLi brary/46/Cast%20Iron%20Technology%20(1988) .pdf [extrait le 2023-04-21] * p. 11, 80-81 *	1-12	
Y,D	FR 3 060 607 A1 (SAINT GOBAIN PONT A MOUSSON [FR]) 22 juin 2018 (2018-06-22) * rev. 12, 13 *	16,17	
A	CN 111 945 057 A (ZYNP CORP) 17 novembre 2020 (2020-11-17) * le document en entier *	1-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		26 avril 2023	Kreutzer, Ingo
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2211692 FA 913272**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-04-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3060607	A1	22-06-2018	CN 110268082 A	20-09-2019
			CN 114774767 A	22-07-2022
			EP 3555335 A1	23-10-2019
			EP 4050116 A1	31-08-2022
			ES 2914548 T3	13-06-2022
			FR 3060607 A1	22-06-2018
			WO 2018114845 A1	28-06-2018

CN 111945057	A	17-11-2020	AUCUN	
