

(19)



(11)

**EP 2 690 187 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**12.02.2020 Bulletin 2020/07**

(51) Int Cl.:  
**C22C 37/04 (2006.01) C22C 37/10 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **13176453.2**

(22) Date de dépôt: **15.07.2013**

**(54) Alliage, pièce et procédé de fabrication correspondants**

Legierung, entsprechendes Werkstück und entsprechendes Herstellungsverfahren

Alloy, corresponding part and manufacturing method

(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: **23.07.2012 FR 1257099**

(43) Date de publication de la demande:  
**29.01.2014 Bulletin 2014/05**

(73) Titulaire: **Ferry Capitain  
52300 Vecqueville (FR)**

(72) Inventeur: **Prunier, Jean-Baptiste  
52300 JOINVILLE (FR)**

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

(56) Documents cités:  
**EP-A2- 1 566 459 WO-A1-99/19525  
WO-A1-2011/157840 US-A- 5 082 507**

**EP 2 690 187 B1**

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

## Description

**[0001]** La présente invention concerne un alliage de fonte à graphite sphéroïdal.

**[0002]** On connaît, dans l'état de la technique, des couronnes dentées qui sont par exemple utilisées pour transmettre un couple d'entraînement à un broyeur. Ces couronnes sont en fonte à graphite sphéroïdal ou en acier.

**[0003]** Dans l'état de la technique, les couronnes dentées en fonte à graphite sphéroïdal sont calculées soit suivant la norme AGMA 6014 (respectivement 6114) soit suivant la norme ISO 6336.

**[0004]** Selon la norme ISO 6336, les contraintes maximales admissibles sont données suivant les courbes de la partie 5 de cette même norme, courbes des  $\sigma_{Hlim}$  (contrainte en pression) et  $\sigma_{flim}$  (contrainte en flexion pied de dent), en fonction des duretés. Plus la dureté est élevée, plus les contraintes maximales admissibles sont élevées et donc plus la puissance transmissible par la couronne sera importante.

**[0005]** Dans les courbes actuelles de l'ISO 6336, la gamme de dureté s'étend jusqu'à 300HB, les nuances réalisées le sont suivant la norme EN 1563 - nuances de fonte à graphite sphéroïdal - dans laquelle seules sont prises en considération les nuances à matrice ferritique, perlitique et/ou martensitique revenue.

**[0006]** Pour les calculs selon la norme AGMA 6014 (respectivement 6114), références sont faites aux normes matériau ASTM A536 et ISO 1083. Les courbes donnant les contraintes admissibles en fonction de la dureté sont données jusqu'à 340HB environ. Mais pour les hautes duretés, il n'existe pas de nuances correspondantes dans les normes.

**[0007]** Les nuances de fonte actuelles permettent d'obtenir au mieux des duretés de 320HB sur des couronnes dentées. Pour les très fortes puissances, elles arrivent à leur limite d'utilisation et la seule solution actuellement est de changer de matériau en passant à l'acier moulé. Les duretés de 320HB des fontes actuelles sont obtenues par trempe suivie de revenu.

**[0008]** Il existe aussi des nuances selon EN 1564 - nuances de fonte à graphite sphéroïdal obtenues par trempe étagée, dite fontes ADI - pour lesquelles les valeurs des  $\sigma_{Hlim}$  et  $\sigma_{flim}$  sont aussi définies en fonction de fourchettes de duretés. La trempe étagée est réalisée dans un bain de sels. Pour réaliser des couronnes dentées, il faudrait s'équiper de bacs de grandes dimensions.

**[0009]** L'invention a pour but de permettre la fabrication d'une pièce en fonte dont la puissance transmissible est importante. En particulier, l'invention a pour objet de permettre la fabrication d'une pièce en fonte, telle qu'une couronne dentée, notamment de grande dimension, en fonte à graphite sphéroïdal. L'objectif est de mettre au point une nuance d'alliage qui atteint ces critères en particulier avec des moyens de traitement thermique simples et économiques.

**[0010]** A cet effet, l'invention a pour objet un alliage tel qu'indiqué dans la revendication 1.

**[0011]** Selon des modes particuliers de réalisation, l'alliage comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques indiquées dans les revendications 2 à 5.

**[0012]** L'invention a également pour objet une pièce qui est fabriquée en un alliage tel que décrit précédemment et qui est définie dans les revendications 6 à 9.

**[0013]** L'invention concerne également des procédés de fabrication d'une pièce qui sont définies dans les revendications 10 à 13.

**[0014]** L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple.

**[0015]** L'invention a pour objet un alliage de fonte à graphite sphéroïdal. Il permet d'obtenir des duretés élevées et donc des contraintes admissibles élevées, notamment sur des pièces de grande taille.

**[0016]** La pièce est par exemple une roue dentée ou une couronne dentée. La pièce est de préférence une pièce de grande dimension, à savoir ayant une dimension la plus grande de la pièce d'au moins 2000mm. De préférence, la pièce a un diamètre extérieur d'au moins 2000mm, ou d'au moins 3000mm, ou d'au moins 6000mm. L'épaisseur axiale, généralement la largeur de denture, la plus large de la pièce est par exemple d'au moins 150mm, ou d'au moins 250mm, ou d'au moins 550mm. Une couronne dentée selon l'invention a une épaisseur de jante d'au moins 80mm ou d'au moins 120mm ou d'au moins 150mm et un module d'au moins 10 ou d'au moins 16 ou d'au moins 22 ou d'au moins 25.

**[0017]** De préférence, la dureté élevée est obtenue avec un traitement thermique de revenu. La dureté dépend de la composition de l'alliage et éventuellement des différents traitements thermiques que la pièce subit au cours de son élaboration, que ce soit lors du refroidissement après la coulée ou des passages au four ultérieurs.

**[0018]** Toutes les indications sont données par la suite en % en poids du poids total.

**[0019]** Un premier aspect de l'invention est la composition chimique de l'alliage.

**[0020]** L'alliage est une fonte à graphite sphéroïdal.

**[0021]** Sa composition de base est le fer, des éléments d'addition et des impuretés inévitables. Les éléments d'addition sont le carbone (C), le silicium (Si), et le magnésium (Mg). L'élément qui constitue le reste de l'alliage est donc le Fer (Fe).

**[0022]** Généralement, l'alliage comprend, outre la composition de base, du Nickel (Ni) entre 4,1% et 7%, du Cuivre (Cu) entre 0,5% et 3% et du Molybdène (Mo) entre 0,15% et 0,8%.

**[0023]** De plus, l'alliage comprend du manganèse (Mn) jusqu'à 1 % ou jusqu'à 0,8%.

**[0024]** De plus, l'alliage comprend du chrome (Cr) jusqu'à 0,4%.

**[0025]** De plus, l'alliage comprend du carbone (C) entre 2,5% et 4% et du silicium (Si) entre 1,5% et 4,4%.

## EP 2 690 187 B1

**[0026]** La teneur en Nickel (Ni) de l'alliage peut être au moins 4,2%, 4,3%, 4,4%, 4,5%, ou 4,8% et au plus 7%, 6,5%, 6%, ou 5,8%.

**[0027]** La teneur en Molybdène (Mo) peut être comprise entre au moins 0,15%, 0,25%, ou 0,3% et au plus 0,8%, ou 0,5%.

5 **[0028]** La teneur en Cuivre (Cu) peut être comprise entre au moins 0,5%, 1%, ou 1,5%, et au plus 3%, 2,5%, ou 2,2%.

**[0029]** Il est à noter que les limites inférieures et supérieures des teneurs ci-dessus sont indépendantes les unes des autres. La teneur en Nickel peut donc par exemple être comprise entre 4,4% et 7%.

**[0030]** La teneur en Carbone (C) peut être comprise entre 3% et 3,6%.

**[0031]** La teneur en Silicium (Si) peut être comprise entre 1,8% et 2,4%.

10 **[0032]** La teneur en Chrome (Cr) peut être inférieure à 0,2%.

**[0033]** La teneur en Manganèse (Mn) peut être supérieure à 0,2%.

**[0034]** L'alliage selon l'invention peut consister de ces éléments ci-dessus, sachant que le Manganèse (Mn), et/ou le Chrome (Cr) et/ou le Phosphore (P) et/ou le Soufre (S) est/sont un/des élément(s) optionnel(s) ou présent(s) en traces.

15 **[0035]** Selon l'exemple, l'alliage comprend outre le fer (Fe) et les impuretés inévitables, les éléments suivants, dans les limites indiquées :

	C	Si	Ni	Mo	Cu	Mn	Cr	Mg	P	S
Mini	2,5	1,5	3,5	0,15	0,5			0,02		
maxi	4	4,4	7	1	3	1	0,4	0,1	0,04	0,015

20

**[0036]** A titre d'exemple, la dureté qui peut être obtenue par l'alliage selon l'invention est indiquée ci-après, en fonction de la composition chimique, outre la composition de base :

25

	Ni	Mo	Cu	C	Si	Mn
HB 320	4,3-5,6	0,3-0,45	1,5-2	3,3-3,45	1,8-2	0,3-0,6
HB 330	4,6-5,9	0,3-0,45	1,5-2	3,3-3,45	1,8-2	0,3-0,6
HB 340	4,7-6	0,3-0,45	1,5-2	3,3-3,45	1,8-2	0,3-0,6
HB 350	4,8-6,1	0,35-0,5	1,5-2	3,3-3,45	1,8-2	0,3-0,6
HB 360	4,9-6,2	0,35-0,5	1,5-2	3,3-3,45	1,8-2	0,3-0,6

30

35

**[0037]** Un second aspect de l'invention est le procédé de fabrication d'une pièce en un alliage selon l'invention.

**[0038]** Tout d'abord la pièce est coulée dans un moule.

**[0039]** Une fois la pièce coulée, elle subit un refroidissement, notamment lent, dans son moule, notamment jusqu'à la température ambiante (<50°C). Puis la pièce subit un traitement thermique. Le terme « lent » signifie inférieur à 100°C/h, 80°C/h ou 50°C/h. Le refroidissement lent a de préférence lieu sur toute la durée du refroidissement.

40

**[0040]** Le traitement thermique consiste en un revenu. C'est un traitement thermique dans la masse, il permet d'obtenir la dureté souhaitée et indiquée ci-dessus sur toute l'épaisseur de la pièce. La dureté ne s'étend donc pas seulement sur quelques millimètres en surface.

45

**[0041]** La pièce est ensuite usinée, notamment par tournage et dans le cas d'une couronne dentée, les dents sont taillées.

**[0042]** La dureté HB de l'alliage selon l'invention, et notamment de la fonte à graphite sphéroïdal, est comprise entre 320HB et 400HB. La pièce en cet alliage permet ainsi de transmettre de très fortes puissances.

**[0043]** La structure métallographique obtenue de l'alliage est composée de 90% de nodules de type VI ou V (suivant EN ISO 945-1) et d'une matrice bainitique pouvant comporter de l'austénite résiduelle (jusqu'à 10%), des carbures (jusqu'à 5%), de la martensite revenue (jusqu'à 5%) et de la perlite (jusqu'à 20%).

50

**[0044]** Les caractéristiques obtenues sur échantillon coulé côte à côte sont les suivantes :

55

## EP 2 690 187 B1

Echantillon	Epaisseur (mm)	Propriétés Mécaniques				
		Limite à la rupture (MPa)	Limite d'élasticité à 0.2 min. (MPa)	Allongement min. (%)	Résistance limite de fatigue pied de dent $\sigma_{Flim}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Résistance limite de fatigue flanc de dent $\sigma_{Hlim}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Echantillon 1 (Type HB 320)	≥80	850	570	1	256-330	730-840
Echantillon 2 (Type HB 330)	≥80	860	580	1	259-306	745-855
Echantillon 3 (Type HB 340)	≥80	880	600	1	263-310	760-870
Echantillon 4 (Type HB 350)	≥80	890	610	1	267-314	775-885
Echantillon 5 (Type HB 360)	≥80	910	630	1	271-318	790-900

**[0045]** Les résistances limites de fatigue sont données pour un calcul suivant ISO 6336.

### Revendications

1. Alliage de fonte à graphite sphéroïdal consistant, en % de poids, des éléments suivants :

- Carbone (C) entre 2,5% et 4%,
- Silicium (Si) entre 1,5% et 4,4%,
- Magnésium (Mg) entre 0,02% et 0,1%,
- Nickel (Ni) entre 4,1% et 7%,
- Cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,
- Molybdène (Mo) entre 0,15 et 0,8%,
- Manganèse (Mn) ≤ 1%,
- Chrome (Cr) ≤ 0,4%,
- Phosphore (P) ≤ 0,04%,
- Soufre (S) ≤ 0,015%,

le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables.

2. Alliage selon la revendication 1, la teneur en Manganèse (Mn) étant ≤ 0,8%.

3. Alliage selon l'une quelconque des revendications précédentes, la teneur en-Nickel (Ni) étant au moins 4,2%, 4,3%, 4,4%, 4,5%, ou 4,8% et au plus 7%, 6,5%, 6%, ou 5,8%.

4. Alliage selon l'une quelconque des revendications précédentes, la teneur en Cuivre (Cu) étant au moins 0,5%, 1%, ou 1,5% et au plus 3%, 2,5%, ou 2,2%.

5. Alliage selon l'une quelconque des revendications précédentes, la teneur en Molybdène (Mo) étant au moins 0,15%, 0,25%, ou 0,3% et au plus 0,8% ou 0,5%.

6. Pièce fabriquée en un alliage, **caractérisée en ce que** l'alliage est un alliage selon l'une quelconque des revendications précédentes, et notamment la pièce étant une roue dentée et en particulier une couronne dentée.

## EP 2 690 187 B1

7. Pièce selon la revendication 6, **caractérisée en ce que** la pièce est une pièce de grande dimension, à savoir ayant une dimension la plus grande de la pièce d'au moins 2000mm.
- 5 8. Pièce selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, **caractérisée en ce que** la dureté HB de la fonte à graphite sphéroïdal est comprise entre 320HB et 400HB.
9. Pièce selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** la dureté s'étend sur toute l'épaisseur de la pièce.
- 10 10. Procédé de fabrication d'une pièce selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, **caractérisé par** les étapes suivantes :
- couler une pièce brute de fonderie dans un moule,
  - laisser refroidir la pièce brute de fonderie, notamment dans le moule, en obtenant la pièce.
- 15 11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel la pièce brute de fonderie est thermiquement traitée, en particulier par un revenu.
12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11, dans lequel l'étape de laisser refroidir la pièce est une étape de refroidissement lent, notamment inférieur à 100°C/h, 80°C/h ou 50°C/h.
- 20 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel le refroidissement est effectué jusqu'à la température ambiante.

### 25 Patentansprüche

1. Kugelgraphit-Gusseisenlegierung, bestehend aus, in Gewichts-%, den folgenden Bestandteilen:
- Kohlenstoff (C) zwischen 2,5% und 4%,
  - 30 - Silizium (Si) zwischen 1,5% und 4,4%,
  - Magnesium (Mg) zwischen 0,02% und 0,1%,
  - Nickel (Ni) zwischen 4,1% und 7%,
  - Kupfer (Cu) zwischen 0,5% und 3%,
  - Molybdän zwischen 0,15% und 0,8%
  - 35 - Mangan (Mn)  $\leq 1\%$ ,
  - Chrom  $\leq 0,4\%$ ,
  - Phosphor  $\leq 0,04\%$ ,
  - Schwefel (S)  $\leq 0,015\%$ ,
- 40 wobei der Rest Eisen (Fe) und unvermeidbare Verunreinigungen ist.
2. Legierung gemäß dem Anspruch 1, wobei der Gehalt an Mangan (Mn)  $\leq 0,8\%$  ist.
3. Legierung gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Nickel (Ni) mindestens 4,2%,  
45 4,3%, 4,4%, 4,5% oder 4,8% und höchstens 7%, 6,5%, 6% oder 5,8% ist.
4. Legierung gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Kupfer (Cu) mindestens 0,5%,  
1% oder 1,5% und höchstens 3%, 2,5% oder 2,2% ist.
- 50 5. Legierung gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Molybdän (Mo) mindestens 0,15%, 0,25% oder 0,3% und höchstens 0,8% oder 0,5% ist.
6. Aus einer Legierung gefertigtes Bauteil, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Legierung eine Legierung gemäß irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche ist und insbesondere das Bauteil ein Zahnrad und insbesondere ein  
55 Zahnkranz ist.
7. Bauteil gemäß dem Anspruch 6, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Bauteil ein Bauteil großer Abmessung ist, d.h. mit einer größten Abmessung des Bauteils von mindestens 2000mm.

## EP 2 690 187 B1

8. Bauteil gemäß dem Anspruch 6 oder 7, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Härte HB des Kugelgraphit-Gusseisens zwischen 320 HB und 400 HB beträgt.
- 5 9. Bauteil gemäß dem Anspruch 8, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Härte sich über die gesamte Dicke des Bauteils erstreckt.
10. Verfahren zum Herstellen eines Bauteils gemäß irgendeinem der Ansprüche 6 bis 9, **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
- 10 - Gießen eines rohen Gussteils in eine Gussform,  
- Abkühlenlassen des rohen Gussteils, insbesondere in der Gussform, wodurch das Bauteil erhalten wird.
11. Verfahren gemäß dem Anspruch 10, wobei das rohen Gussteil thermisch behandelt wird, insbesondere durch ein Anlassen.
- 15 12. Verfahren gemäß dem Anspruch 10 oder 11, wobei der Schritt des Abkühlenlassens des Bauteils ein Schritt des langsamen Abkühlens, insbesondere weniger als 100°C/h, 80°C/h oder 50°C/h ist.
- 20 13. Verfahren gemäß irgendeinem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das Abkühlen bis zu einer Umgebungstemperatur durchgeführt wird.

### Claims

- 25 1. A spheroidal graphite cast iron alloy consisting of, in % by weight, the following elements:
- 30 - carbon (C) between 2.5% and 4%,  
- silicon (Si) between 1.5% and 4.4%;  
- magnesium (Mg) between 0.02% and 0.1%;  
- nickel (Ni) between 4.1% and 7%,  
- copper (Cu) between 0.5% and 3%,  
- molybdenum (Mo) between 0.15 and 0.8%,  
- manganese (Mn)  $\leq 1\%$ ;  
- chromium (Cr)  $\leq 0.4\%$ ;  
35 - phosphorous (P)  $\leq 0.04\%$ ;  
- sulfur (S)  $\leq 0.015\%$ ;
- the remainder being iron and inevitable impurities.
- 40 2. The alloy according to claim 1, the manganese content (Mn) being  $\leq 0.8\%$ .
3. The alloy according to any of the preceding claims, the nickel (Ni) content being at least 4.2%, 4.3%, 4.5%, or 4.8% and at most 7%, 6.5%, 6%, or 5.8%.
- 45 4. The alloy according to any of the preceding claims, the copper (Cu) content being at least 0.5%, 1%, or 1.5% and at most 3%, 2.5%, or 2.2%.
5. The alloy according to any of the preceding claims, the molybdenum (Mo) content being at least 0.15%, 0.25%, or 0.3% and at most 0.8%, or 0.5%.
- 50 6. A part manufactured in an alloy, **characterized in that** the alloy is an alloy according to any of the preceding claims, and notably the part being a cogwheel and in particular a gear rim.
7. A part according to claim 6, **characterized in that** the part is a part of big dimensions, namely a biggest dimension of the part being at least 2000mm.
- 55 8. A part according to claim 6 or 7, **characterized in that** the hardness HB of the spheroidal cast iron is comprised between 320HB and 400HB.

**EP 2 690 187 B1**

9. A part according to claim 8, **characterized in that** the hardness extends over the whole thickness of the part.

10. A method for manufacturing a part according to any one of claims 6 to 9, **characterized by** the following steps:

- 5
- casting a rough casting part into a mold,
  - letting cool the rough casting part, notably in the mold, while obtaining the part.

11. The method according to claim 10, wherein the rough casting part is heat treated, in particular by tempering.

10 12. The method according to claim 10 or 11, wherein the step of letting cool the rough casting part is a step of slow cooling, notably inferior to 100°C/h; 80°C/h or 50°C/h.

13. The method according to any one of claims 10 to 12, wherein the cooling is performed until ambient temperature.

15

20

25

30

35

40

45

50

55