



(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2013/07/11

(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2014/01/23

(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2020/10/13

(30) **Priorité/Priority:** 2012/07/23 (FR1257099)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. C22C 37/04** (2006.01),
C21D 5/00 (2006.01)

(72) **Inventeur/Inventor:**
PRUNIER, JEAN-BAPTISTE, FR

(73) **Propriétaire/Owner:**
FERRY CAPITAIN, FR

(74) **Agent:** SMART & BIGGAR LLP

(54) **Titre : ALLIAGE, PIECE ET PROCEDE DE FABRICATION CORRESPONDANTS**

(54) **Title: ALLOY WITH CORRESPONDING PART AND FABRICATION PROCESS**

(57) **Abrégé/Abstract:**

Cet alliage de fonte à graphite sphéroïdal comprend, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants :

- Nickel (Ni) entre 3,5% et 7%,
- Cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,
- Molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%,

Le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

Application à la fabrication de roues dentées et de couronnes dentées.

Pièce moulée refroidie au moule et traitée thermiquement.

ABRÉGÉ

Cet alliage de fonte à graphite sphéroïdal comprend, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants :

- Nickel (Ni) entre 3,5% et 7%,**
- Cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,**
- Molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%,**

Le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

Application à la fabrication de roues dentées et de couronnes dentées.

Pièce moulée refroidie au moule et traitée thermiquement.

ALLIAGE, PIÈCE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION CORRESPONDANTS

La présente invention concerne un alliage de fonte à graphite sphéroïdal.

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
5 fonte à graphite sphéroïdal ou en acier.

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.

Selon la norme ISO 6336, les contraintes maximales admissibles sont données
10 suivant les courbes de la partie 5 de cette même norme, courbes des σ_{Hlim} (contrainte en pression) et σ_{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.

Dans les courbes actuelles de l'ISO 6336, la gamme de dureté s'étend jusqu'à
15 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.

Pour les calculs selon la norme AGMA 6014 (respectivement 6114), références sont
20 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.

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
25 moulé. Les duretés de 320HB des fontes actuelles sont obtenues par trempe suivie de revenu.

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 σ_{Hlim} et σ_{flim} sont aussi définies en fonction de fourchettes de duretés. La trempe étagée est réalisée
30 dans un bain de sels. Pour réaliser des couronnes dentées, il faudrait s'équiper de bacs de grandes dimensions.

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.

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

Selon un aspect, 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.

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.

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.

Toutes les indications sont données par la suite en % en poids du poids total.

Un premier aspect de l'invention est la composition chimique de l'alliage.

L'alliage est une fonte à graphite sphéroïdal.

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).

Selon un autre aspect, l'invention a pour objet une pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 550 mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte a graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants : nickel (Ni) entre 3,5% et 7%, cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%, molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%, le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce.

Selon un autre aspect, l'invention a pour objet une pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 150 mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte a graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants : nickel (Ni) entre 3,5% et 7%, cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%, molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%, le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce, où la pièce comprend $\leq 1\%$ manganèse (Mn).

Selon un autre aspect, l'invention a pour objet une pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 150 mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte a graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants : nickel (Ni) au moins 4,8% et au plus 5.8%, cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%, molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%, le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce.

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

De plus, l'alliage peut comprendre du manganèse (Mn) jusqu'à 1% ou jusqu'à 0,8%.

De plus, l'alliage peut comprendre du chrome (Cr) jusqu'à 0,4%.

5 De plus, l'alliage peut comprendre du carbone (C) entre 2,5% et 4% et du silicium (Si) entre 1,5% et 4,4%.

La teneur en Nickel (Ni) de l'alliage peut être au moins 3,5%, 4%, 4,1%, 4,2%, 4,3%, 4,4%, 4,5%, ou 4,8% et au plus 7%, 6,5%, 6%, ou 5,8%.

10 La teneur en Molybdène (Mo) peut être comprise entre au moins 0,15%, 0,25%, ou 0,3% et au plus 1%, 0,8%, ou 0,5%.

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%.

15 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%.

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

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

La teneur en Chrome (Cr) peut être inférieure à 0,2%.

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

20 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.

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

25

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 :

	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

5 Un second aspect de l'invention est le procédé de fabrication d'une pièce en un alliage selon l'invention.

Tout d'abord la pièce est coulée dans un moule.

10 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.

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.

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

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.

20 La structure métallographique obtenue de l'alliage est composée de 90% de nodules de type VI ou V (selvant 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%).

Les caractéristiques obtenues sur échantillon coulé côte à côte sont les suivantes :

Echantillon	Epaisseur (mm)	Propriétés Mécaniques				
		Limite à la rupture (MPa)	Limite d'élasticité à 0.2 min. (MPa)	Allongement min. (%)	Résistance limite de fatigue de dent σ_{Flim} (N/mm ²)	Résistance limite de fatigue de flanc de dent σ_{Hlim} (N/mm ²)
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

Les résistances limites de fatigue sont données pour un calcul suivant ISO 6336.

REVENDEICATIONS

1. Pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 550mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte a graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants :

- nickel (Ni) entre 3,5% et 7%,
- cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,
- molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%,

le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce.

2. Pièce selon la revendication 1, où les éléments d'addition comprennent :

- carbone (C) entre 2,5% et 4% et/ou
- silicium (Si) entre 1,5% et 4,4%.

3. Pièce selon la revendication 1 ou 2, où les éléments d'addition comprennent,

- magnésium (Mg) entre 0,02% et 0,1%.

4. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, l'alliage comprenant :

- chrome (Cr) \leq 0,4% et/ou
- phosphore (P) \leq 0,04% et/ou
- soufre (S) \leq 0,015%.

5. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, l'alliage comprenant :

- nickel (Ni) au moins 4,1% et au plus 6,5%.

6. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, l'alliage comprenant :

- cuivre (Cu) au moins 1% et au plus 3%.

7. Pièce selon la revendication 6, où le cuivre (Cu) est au moins 1,5% et au plus 2,2%.

8. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, l'alliage comprenant :

- molybdène (Mo) au moins 0,25%.

9. Pièce selon la revendication 8, où le molybdène (Mo) est au moins 0,8%.

10. Pièce selon la revendication 8, où le molybdène (Mo) est au plus 0,8%.

11. Pièce selon la revendication 8, où le molybdène (Mo) est au plus 0,5%.

12. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, où la pièce est une roue dentée.

13. Pièce selon la revendication 12, qui est une couronne dentée.

14. Pièce selon la revendication 12 ou 13, où l'épaisseur axiale la plus grande de la pièce est une dent.

15. Pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, où la pièce a un diamètre extérieur d'au moins 3000mm.

16. Pièce selon la revendication 15, où le diamètre extérieur est d'au moins 6000mm.

17. Procédé de fabrication de la pièce selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, comprenant les étapes suivantes :

- couler une pièce brute de fonderie de l'alliage dans un moule,

- laisser refroidir la pièce brute de fonderie dans le moule, en obtenant la pièce.

18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel la pièce brute de fonderie est thermiquement traitée.

19. Procédé selon la revendication 18, où la pièce brute de fonderie est thermiquement traitée par un revenu.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, dans lequel l'étape de laisser refroidir la pièce est une étape de refroidissement lent inférieur à 100°C/h.

21. Procédé selon la revendication 20, dans lequel l'étape de laisser refroidir la pièce est une étape de refroidissement lent inférieur à 80°C/h.

22. Procédé selon la revendication 20, dans lequel l'étape de laisser refroidir la pièce est une étape de refroidissement lent inférieur à 50°C/h.

23. Pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 150 mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte à graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants :

- nickel (Ni) entre 3,5% et 7%,
- cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,
- molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%,

le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce, où la pièce comprend $\leq 1\%$ manganèse (Mn).

24. Pièce selon la revendication 23, où le manganèse (Mn) est de moins de 0.8%.

25. Pièce ayant une dimension la plus grande d'au moins 2000mm, où une épaisseur axiale la plus grande de la pièce est d'au moins 150 mm, la pièce étant fabriquée en un alliage de fonte à graphite sphéroïdal comprenant, en % de poids, outre des éléments d'addition, les éléments suivants :

- nickel (Ni) au moins 4,8% et au plus 5.8%,
- cuivre (Cu) entre 0,5% et 3%,

- molybdène (Mo) entre 0,15 et 1%,

le reste étant du fer (Fe) et des impuretés inévitables, où l'alliage a une dureté d'au moins 340HB et au plus 400HB, et cette dureté est présente sur toute une épaisseur de la pièce.