



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/11/13  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2004/06/10  
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2012/04/17  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2005/05/17  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/003357  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2004/048618  
 (30) Priorité/Priority: 2002/11/19 (FR02/14425)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C21D 1/19* (2006.01),  
*C22C 38/02* (2006.01), *C22C 38/14* (2006.01),  
*C22C 38/44* (2006.01), *C22C 38/50* (2006.01),  
*C22C 38/58* (2006.01), *C21D 9/46* (2006.01)  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
 BEGUINOT, JEAN, FR;  
 BRISSON, JEAN-GEORGES, FR  
 (73) Propriétaire/Owner:  
 INDUSTRIEL CREUSOT, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE POUR FABRIQUER UNE TOLE EN ACIER RESISTANT A L'ABRASION ET TOLE OBTENUE  
 (54) Title: METHOD FOR MAKING AN ABRASION RESISTANT STEEL PLATE AND STEEL PLATE OBTAINED

(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé pour fabriquer une pièce en acier résistant à l'abrasion de composition:  $0,1\% \leq C \leq 0,23\%$ ;  $0\% \leq Si \leq 2\%$ ;  $0\% \leq Al \leq 2\%$ ;  $0,5\% \leq Si + Al \leq 2\%$ ;  $0\% \leq Mn \leq 2,5\%$ ;  $0\% \leq Ni \leq 5\%$ ;  $0\% \leq Cr \leq 5\%$ ;  $0\% \leq Mo \leq 1\%$ ;  $0\% \leq W \leq 2\%$ ;  $0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1\%$ ;  $0\% \leq B \leq 0,02\%$ ;  $0\% \leq Ti \leq 0,67\%$ ;  $0\% < Zr \leq 1,34\%$ ;  $0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\%$ ;  $0\% \leq S \leq 0,15\%$ ;  $N < 0,030$ ; reste fer et impuretés. En outre:  $0,095\% \leq C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7xN/8$ ,  $Ti + Zr/2 - 7xN/2 \geq 0,05\%$  et  $1,05xMn + 0,54xNi + 0,50xCr + 0,3x(Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$ , avec  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ . Après austénitisation, on refroidit à une vitesse  $> 0,5^\circ C/s$  entre  $AC_3$  et  $T = 800 - 270xC^* - 90xMn - 37xNi - 70xCr - 83x(Mo + W/2)$  et  $T - 50^\circ C$ ; puis on refroidit à une vitesse  $0,1 < Vr < 1150 \times ep^{-1,7}$  entre  $T$  et  $100^\circ C$ ; on refroidit jusqu'à l'ambiante. Tôle obtenue.

## ABRÉGÉ

Procédé pour fabriquer une pièce en acier résistant à l'abrasion de composition:  
 $0,1\% \leq C \leq 0,23\%$  ;  $0\% \leq Si \leq 2\%$  ;  $0\% \leq Al \leq 2\%$  ;  $0,5\% \leq Si + Al \leq 2\%$  ;  $0\% \leq Mn \leq 2,5\%$  ;  $0\% \leq Ni \leq 5\%$  ;  $0\% \leq Cr \leq 5\%$  ;  $0\% \leq Mo \leq 1\%$  ;  $0\% \leq W \leq 2\%$  ;  $0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1\%$  ;  $0\% \leq B \leq 0,02\%$  ;  $0\% \leq Ti \leq 0,67\%$  ;  $0\% < Zr \leq 1,34\%$  ;  $0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\%$  ;  $0\% \leq S \leq 0,15\%$  ;  $N < 0,030$  ; reste fer et impuretés. En outre:  
 $0,095\% \leq C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7xN/8$ ,  $Ti + Zr/2 - 7xN/2 \geq 0,05\%$  et  $1,05xMn + 0,54xNi + 0,50xCr + 0,3x(Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$ , avec  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ . Après austénitisation, on refroidit à une vitesse  $> 0,5^\circ C/s$  entre  $AC_3$  et  $T = 800 - 270xC^* - 90xMn - 37xNi - 70xCr - 83x(Mo + W/2)$  et  $T-50^\circ C$  ; puis on refroidit à une vitesse  $0,1 < Vr < 1150xep^{-1,7}$  entre  $T$  et  $100^\circ C$  ; on refroidit jusqu'à l'ambiante. Tôle obtenue.

## PROCEDE POUR FABRIQUER UNE TOLE EN ACIER RESISTANT A L'ABRASION ET TÔLE OBTENUE

La présente invention est relative à un acier résistant à l'abrasion et à son procédé de fabrication.

On connaît des aciers pour abrasion de dureté voisine de 400 Brinell, contenant environ 0,15% de carbone ainsi que du manganèse, du nickel, du chrome et du molybdène, en des teneurs inférieures à quelques % pour avoir une trempabilité suffisante. Ces aciers sont trempés de façon à avoir une structure entièrement martensitique. Ils ont l'avantage d'être relativement faciles à mettre en œuvre par soudage, découpage ou pliage. Mais ils ont l'inconvénient d'avoir une résistance à l'abrasion limitée. Il est certes connu d'augmenter la résistance à l'abrasion en augmentant la teneur en carbone et donc la dureté. Mais cette façon de procéder a l'inconvénient de détériorer l'aptitude à la mise en œuvre.

Le but de la présente invention est de remédier à ces inconvénients, en proposant une tôle en acier résistant à l'abrasion qui, toutes choses égales par ailleurs, présente une résistance à l'abrasion meilleure que celle des aciers connus ayant une dureté de 400 Brinell, tout en ayant une aptitude à la mise en œuvre comparable à celle de ces aciers.

À cet effet, l'invention a pour objet un procédé pour fabriquer une pièce en acier résistant à l'abrasion dont la composition chimique comprend, en poids:

## 2

$$\begin{aligned}
&0,1\% \leq C < 0,23\% \\
&0\% \leq Si \leq 2\% \\
&0\% \leq Al \leq 2\% \\
&0,5\% \leq Si + Al \leq 2\% \\
&0\% \leq Mn \leq 2,5\% \\
&0\% \leq Ni \leq 5\% \\
&0\% \leq Cr \leq 5\% \\
&0\% \leq Mo \leq 1\% \\
&0\% \leq W \leq 2\% \\
&0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1\% \\
&0\% \leq B \leq 0,02\% \\
&0\% \leq Ti \leq 0,67\% \\
&0\% \leq Zr \leq 1,34\% \\
&0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\% \\
&0\% \leq S \leq 0,15\% \\
&N < 0,03\%
\end{aligned}$$

- éventuellement jusqu'à 1,5% de cuivre,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Nb, Ta et V en des teneurs répondant à la formule  $Nb/2 + Ta/4 + V \leq 0,5\%$ ,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Se, Te, Ca, Bi et Pb en des teneurs inférieures ou égales à 0,1%,

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant les relations suivantes:

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7xN/8 \geq 0,095\%$$

10 et:

$$Ti + Zr/2 - 7xN/2 > 0,05\%$$

et:

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$$

avec  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ ,

selon lequel on soumet la pièce à un traitement thermique de trempe, effectué dans la chaude de mise en forme à chaud ou après austénitisation par réchauffage dans un four, pour réaliser la trempe:

- on refroidit la pièce à une vitesse de refroidissement moyenne supérieure à 0,5°C/s entre une température supérieure à AC3 et une température comprise entre  $T = 800 - 270 \times C^* - 90 \times Mn - 37 \times Ni - 70 \times Cr - 83 \times (Mo + W/2)$ , et T-50°C environ,
- puis on refroidit la pièce à une vitesse de refroidissement moyenne à cœur  $V_r < 1150 \times e_p^{-1.7}$  et supérieure ou égale à 0,1°C/s entre la température T et 100°C,  $e_p$  étant l'épaisseur de la pièce exprimée en mm,
- on refroidit la pièce jusqu'à la température ambiante et on effectue, éventuellement, un planage.

10 Éventuellement, la trempe peut être suivie d'un revenu à une température inférieure à 350°C, et de préférence, inférieure à 250°C.

L'invention concerne aussi une pièce en acier résistant à l'abrasion dont la composition chimique comprend, en poids :

$$0,1\% \leq C \leq 0,23\%$$

$$0\% \leq Si \leq 2\%$$

$$0\% \leq Al \leq 2\%$$

$$0,5\% \leq Si + Al \leq 2\%$$

$$0\% \leq Mn \leq 2,5\%$$

$$0\% \leq Ni \leq 5\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 5\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 1\%$$

$$0\% \leq W \leq 2\%$$

$$0,05\% \leq Mo+W/2 \leq 1\%$$

$$0\% \leq B \leq 0,02\%$$

$$0\% \leq Ti \leq 0,67\%$$

$$0\% \leq Zr \leq 1,34\%$$

$$0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\%$$

$$0\% \leq S \leq 0,005$$

3a

$$N < 0,03\%$$

- éventuellement jusqu'à 1,5% de cuivre,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Nb, Ta et V en des teneurs répondant à la formule  $Nb/2 + Ta/4 + V \leq 0,5\%$ ,

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant les relations suivantes :

$$C - Ti/4 - Zr/8 + 7 \times N/8 \geq 0,095\%$$

et :

$$Ti + Zr/2 - 7 \times N/2 > 0,05\%$$

10 et

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$$

avec :  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ ,

l'acier ayant une structure martensitique ou martensito-bainitique, ladite structure contenant des carbures et de 5% à 20% d'austénite retenue.

L'invention concerne également une tôle obtenue notamment par ce procédé, dont la planéité est caractérisée par une flèche inférieure ou égale à 12mm/m et de préférence inférieure à 5mm/m, l'acier ayant une structure constituée de 5% à 20% d'austénite retenue, le reste de la structure étant martensitique ou martensito-bainitique, et contient des carbures. L'épaisseur de la tôle peut être comprise entre 2 mm et 150 mm.

De préférence, la dureté est comprise entre 280 HB et 450 HB.

L'invention va maintenant être décrite de façon plus précise mais non limitative et être illustrée par des exemples.

Pour fabriquer une tôle selon l'invention, on élabore un acier dont la composition chimique comprend, en % en poids :

## 3b

- plus de 0,1% de carbone de façon à avoir une dureté suffisante et afin de permettre la formation de carbures, mais moins de 0,23%, et de préférence moins de 0,22%, pour que l'aptitude au soudage et au découpage soit bonne.
- de 0% à 0,67% de titane et de 0% à 1,34% de zirconium, ces teneurs devant être telles que la somme  $Ti+Zr/2$  soit supérieure à 0,05%, de préférence supérieure à 0,1%, et mieux encore, supérieure à 0,2%, pour que l'acier contienne des gros carbures de titane ou de zirconium qui augmentent la résistance à l'abrasion. Mais la somme  $Ti+Zr/2$  doit rester inférieure à 0,67% car, au-delà, l'acier ne contiendrait pas assez de carbone libre pour que sa dureté soit suffisante. Par ailleurs la teneur  $Ti +Zr/2$  sera préférentiellement inférieure à 0,50% ou mieux 0,40% voire 0,30 % si l'on a besoin de privilégier la ténacité du matériau.
- De 0% (ou des traces) à 2% de silicium et de 0% (ou des traces) à 2% d'aluminium, la somme  $Si+Al$  étant comprise entre 0,5% et 2% et de préférence supérieure à 0,7% ou mieux, supérieure à 0,8%. Ces éléments, qui sont des désoxydants, ont en outre pour effet de favoriser l'obtention d'une austénite retenue métastable fortement chargée en carbone dont la transformation en martensite s'accompagne d'un gonflement important favorisant l'ancrage des carbures de titane.

- De 0% (ou des traces) à 2% ou même 2,5% de manganèse, de 0% (ou des traces) à 4% ou même 5% de nickel et de 0% (ou des traces) à 4% ou même 5% de chrome, pour obtenir une trempabilité suffisante et ajuster les différentes caractéristiques mécaniques ou d'emploi. Le nickel a, en particulier un effet favorable sur la ténacité, mais cet élément est cher. Le chrome forme également de fins carbures dans la martensite ou la bainite favorables à la résistance à l'abrasion.
- De 0% (ou des traces) à 1% de molybdène et de 0% (ou des traces) à 2% de tungstène, la somme  $Mo+W/2$  étant comprise entre 0,05% et 1%, et de préférence reste inférieure à 0,8%, ou mieux, inférieure à 0,5%. Ces éléments augmentent la trempabilité et, forment dans la martensite ou dans la bainite de fins carbures durcissants, notamment par précipitation par auto revenu au cours du refroidissement. Il n'est pas nécessaire de dépasser une teneur de 1% en molybdène pour obtenir l'effet désiré en particulier en ce qui concerne la précipitation de carbures durcissants. Le molybdène peut être remplacé, en tout ou partie, par un poids double de tungstène. Néanmoins cette substitution n'est pas recherchée en pratique car elle n'offre pas d'avantage par rapport au molybdène et est plus coûteuse.
- Eventuellement de 0% à 1,5% de cuivre. Cet élément peut apporter un durcissement supplémentaire sans détériorer la soudabilité. Au-delà de 1,5%, il n'a plus d'effet significatif, il engendre des difficultés de laminage à chaud et coûte inutilement cher.
- De 0% à 0,02% de bore. Cet élément peut être ajouté de façon optionnelle afin d'augmenter la trempabilité. Pour que cet effet soit obtenu, la teneur en bore doit, de préférence, être supérieure à 0,0005% ou mieux 0,001%, et n'a pas besoin de dépasser sensiblement 0,01%.
- Jusqu'à 0,15% de soufre. Cet élément est un résiduel en général limité à 0,005% ou moins, mais sa teneur peut être volontairement augmentée pour améliorer l'usinabilité. A noter qu'en présence de soufre, pour éviter des difficultés de transformation à chaud, la teneur en manganèse doit être supérieure à 7 fois la teneur en soufre.
- Eventuellement au moins un élément pris parmi le niobium, le tantale et le vanadium, en des teneurs telles que  $Nb/2+Ta/4+V$  reste inférieure à 0,5% afin de former des carbures relativement gros qui améliorent la tenue à l'abrasion. Mais

les carbures formés par ces éléments sont moins efficaces que les carbures formés par le titane ou le zirconium, c'est pour cela qu'ils sont optionnels et ajoutés en quantité limitée.

- Eventuellement un ou plusieurs éléments pris parmi le sélénium, le tellure, le calcium, le bismuth et le plomb en des teneurs inférieures à 0,1% chacun. Ces éléments sont destinés à améliorer l'usinabilité. A noter que, lorsque l'acier contient du Se et/ou du Te, la teneur en manganèse doit être suffisante compte tenu de la teneur en soufre pour qu'il puisse se former des séléniures ou des tellurures de manganèse.

- Le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration. Parmi les impuretés, il y a en particulier l'azote dont la teneur dépend du procédé d'élaboration mais ne dépasse pas 0,03%, et reste en général inférieure à 0,025%. L'azote peut réagir avec le titane ou le zirconium pour former des nitrures qui ne doivent pas être trop gros pour ne pas détériorer la ténacité. Afin d'éviter la formation de gros nitrures, le titane et le zirconium peuvent être ajoutés dans l'acier liquide de façon très progressive, par exemple en mettant au contact de l'acier liquide oxydé une phase oxydée telle qu'un laitier chargé en oxydes de titane ou de zirconium, puis en désoxydant l'acier liquide, de façon à faire diffuser lentement le titane ou le zirconium depuis la phase oxydée vers l'acier liquide.

En outre, afin d'obtenir des propriétés satisfaisantes, les teneurs en carbone, titane, zirconium, et azote sont choisies telles que :

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7xN/8 \geq 0,095\%$$

Et de préférence,  $C^* \geq 0,12\%$  pour avoir une dureté plus élevée et donc une meilleure résistance à l'abrasion. La grandeur  $C^*$  représente la teneur en carbone libre après précipitation des carbures de titane et de zirconium, compte tenu de la formation de nitrures de titane et de zirconium. Cette teneur en carbone libre  $C^*$  doit être supérieure à 0,095% pour avoir une structure martensitique ou martensito-bainitique ayant une dureté suffisante.

Compte tenu de la formation possible de nitrures de titane ou de zirconium, pour que la quantité de carbures de titane ou de zirconium soit suffisante, les teneurs en Ti, Zr et N doivent être telles que :

$$Ti + Zr/2 - 7xN/2 \geq 0,05\%$$

De plus, la composition chimique est choisie de telle sorte que la trempabilité de l'acier soit suffisante, compte tenu de l'épaisseur de la tôle qu'on souhaite fabriquer. Pour cela, la composition chimique doit satisfaire la relation:

$$\text{Tremp} = 1,05 \times \text{Mn} + 0,54 \times \text{Ni} + 0,50 \times \text{Cr} + 0,3 \times (\text{Mo} + \text{W}/2)^{1/2} + K > 1,8 \text{ ou mieux } 2$$

5 avec :  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ ,

En outre, et pour obtenir une bonne tenue à l'abrasion, la structure micrographique de l'acier est constituée de martensite ou de bainite ou d'un mélange de ces deux structures, et de 5% à 20% d'austénite retenue. En outre, cette structure comprend des gros carbures de titane ou de zirconium formés à haute température, et éventuellement des carbures de niobium, de tantale ou de vanadium. Du fait du  
10 procédé de fabrication qui sera décrit plus loin, cette structure est revenue, si bien qu'elle comporte également des carbures de molybdène ou de tungstène et éventuellement des carbures de chrome.

Les inventeurs ont constaté que l'efficacité des gros carbures pour  
15 l'amélioration de la tenue à l'abrasion pouvait être obérée par le déchaussement prématuré de ceux-ci et que ce déchaussement pouvait être évité par la présence d'austénite métastable qui se transforme sous l'effet des phénomènes d'abrasion. La transformation de l'austénite métastable se faisant par gonflement, cette transformation dans la sous-couche abrasée augmente la résistance au  
20 déchaussement des carbures et, ainsi, améliore la résistance à l'abrasion.

D'autre part, la dureté élevée de l'acier et la présence de carbures de titane fragilisant imposent de limiter autant que possible les opérations de planage. De ce point de vue, les inventeurs ont constaté qu'en ralentissant de façon suffisante le refroidissement dans le domaine de transformation bainito-martensitique, on réduit  
25 les déformations résiduelles des produits, ce qui permet de limiter les opérations de planage. Les inventeurs ont constaté qu'en refroidissant la pièce ou la tôle à une vitesse de refroidissement moyenne à cœur  $V_r < 1150 \times e_p^{-1,7}$ , (dans cette formule,  $e_p$  est l'épaisseur de la tôle exprimée en mm, et la vitesse de refroidissement est exprimée en °C/s) en dessous d'une température  $T = 800 - 270 \times C^* - 90 \times \text{Mn} - 37 \times \text{Ni} - 70 \times \text{Cr} - 83 \times (\text{Mo} + \text{W}/2)$ , (exprimée en °C), on réduisait les contraintes résiduelles  
30 engendrées par les changements de phase. Ce refroidissement ralenti dans le domaine bainito-martensitique a, en outre, l'avantage de provoquer un auto-revenu qui engendre la formation de carbures de molybdène, de tungstène ou de chrome et améliore la tenue à l'usure de la matrice entourant les gros carbures.

Pour fabriquer une tôle bien plane ayant une bonne résistance à l'abrasion et une bonne aptitude à la mise en œuvre, on élabore l'acier, on le coule sous forme de brame ou de lingot. On lamine à chaud la brame ou le lingot pour obtenir une tôle qu'on soumet à un traitement thermique permettant tout à la fois d'obtenir la structure  
 5 souhaitée et une bonne planéité sans planage ultérieur ou avec un planage limité. Le traitement thermique peut être effectué dans la chaude de laminage ou ultérieurement, éventuellement après un planage à froid ou à mi-chaud.

Dans tous les cas, pour réaliser le traitement thermique :

- on chauffe l'acier au-dessus du point  $AC_3$  de façon à lui conférer une structure  
 10 entièrement austénitique, dans laquelle cependant subsistent des carbures de titane ou de zirconium,
- puis on le refroidit à une vitesse de refroidissement moyenne à cœur supérieure à la vitesse critique de transformation bainitique jusqu'à une température comprise entre  $T = 800 - 270 \times C^* - 90 \times Mn - 37 \times Ni - 70 \times Cr - 83 \times (Mo + W/2)$ , et  $T - 50^\circ C$ ,  
 15 environ, de façon à éviter la formation de constituants ferrito-perlitiques, pour cela, il suffit en général de refroidir à une vitesse supérieure à  $0,5^\circ C/s$ ,
- puis, entre la température ainsi définie (c'est à dire comprise entre  $T$  et  $T - 50^\circ C$  environ) et  $100^\circ C$  environ, on refroidit la tôle à une vitesse de refroidissement moyenne à cœur  $V_r$  inférieure à  $1150 \times e_p^{-1,7}$ , et supérieure à  $0,1^\circ C/s$ , pour obtenir  
 20 la structure souhaitée,
- et on refroidit la tôle jusqu'à la température ambiante, de préférence, sans que ce soit obligatoire, à une vitesse lente.

En outre, on peut effectuer un traitement de détente, tel qu'un revenu à une température inférieure ou égale à  $350^\circ C$ , et de préférence inférieure à  $250^\circ C$ .

Par vitesse de refroidissement moyenne, on entend la vitesse de refroidissement égale à la différence entre les températures de début et de fin de refroidissement divisée par le temps de refroidissement entre ces deux températures.

On obtient ainsi une tôle, dont l'épaisseur peut être comprise entre 2 mm et 150 mm, ayant une excellente planéité caractérisée par une flèche inférieure à 3 mm par  
 30 mètre sans planage ou avec un planage modéré. La tôle a une dureté comprise entre 280HB et 450HB. Cette dureté dépend principalement de la teneur en carbone libre  $C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7 \times N/8$ . Plus la teneur en carbone libre est élevée, plus la dureté est importante. Plus la teneur en carbone libre est faible, plus la mise en

œuvre est facile. A teneur égale en carbone libre, plus la teneur en titane est élevée, plus la résistance à l'abrasion est bonne.

A titre d'exemple, on considère des tôles de 30mm d'épaisseur en acier, repérées A, B, C et D selon l'invention, E et F selon l'art antérieur et G et H donnés à titre de  
5 comparaison. Les compositions chimiques des aciers, exprimées en  $10^{-3}$  % en poids, ainsi que la dureté et un indice de résistance à l'usure Rus, sont reportées au tableau 1.

Tableau 1

	C	Si	Al	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Ti	B	N	HB	Rus
A	180	550	30	1750	200	1700	150	-	150	2	6	360	1,51
B	140	210	610	1450	650	1720	230	120	160	3	7	345	1,42
C	220	830	25	1250	220	1350	275		350	2	5	360	2,03
D	158	780	35	1250	250	1340	260		110	3	5	363	1,3
E	175	360	25	1720	200	1200	250	-	20	3	5	420	1,08
F	150	320	30	1730	250	1260	310	-	-	2	6	380	1
G	210	340	25	1230	260	1350	280		350	2	5	360	1,11
H	150	320	25	1255	250	1360	260		105	3	6	366	0,81

10 La résistance à l'usure des aciers est mesurée par la perte de poids d'une éprouvette prismatique mise en rotation dans un bac contenant des granulats calibrés de quartzite pendant un temps de 5 heures.

L'indice de résistance à l'usure Rus d'un acier est le rapport de la résistance à l'usure de l'acier F, pris à titre de référence, et la résistance à l'usure de l'acier  
15 considéré.

Les tôles A à H sont austénitisées à 900°C.

Après austénitisation :

- la tôle en acier A est refroidie à une vitesse moyenne de 0,7°C/s au dessus de la température T définie plus haut ( environ 460°C), et à une vitesse moyenne de  
20 0,13°C/s en dessous, conformément à l'invention;
- les tôles en aciers B, C, D, sont refroidie à une vitesse moyenne de 6°C/s au dessus de la température T définie plus haut (environ 470°C), et à une vitesse moyenne de 1,4°C/s en dessous, conformément à l'invention ;
- les tôles en acier E, F, G et H, données à titre de comparaison, ont été refroidies  
25 à une vitesse moyenne de 20°C/s au dessus de la température T définie plus haut, et à une vitesse moyenne de 12°C/s en dessous.

Les tôles A à D ont une structure martensito-bainitique auto-revenue contenant environ 10% d'austénite retenue, ainsi que des carbures de titane, alors que les tôles E à G ont une structure entièrement martensitique, les tôles G et H contenant également de gros carbures de titane.

5 On peut constater que, bien qu'ayant des duretés inférieures à celles des tôles E et F, les tôles A, B, C et D ont des résistances à l'abrasion sensiblement meilleures. Les plus faibles duretés qui correspondent, pour l'essentiel à des teneurs en carbone libre plus faibles, conduisent à de meilleures aptitudes à la mise en œuvre.

10 La comparaison des exemples C, D, F, G et H montrent que l'augmentation de la résistance à l'abrasion ne résulte pas simplement de l'addition de titane, mais de la combinaison de l'addition de titane et de la structure contenant de l'austénite résiduelle. En effet, on peut constater que les aciers F, G et H dont la structure ne comporte pas d'austénite résiduelle ont des tenues à l'abrasion assez comparables, alors que les aciers C et D qui contiennent de l'austénite résiduelle ont des tenues à  
15 l'abrasion sensiblement meilleures.

En outre, la comparaison des couples G et H d'une part et C et D d'autre part, montrent que la présence d'austénite résiduelle augmente sensiblement l'efficacité du titane. Pour les exemples C et D, le passage de 0,110% à 0,350% de titane se traduit par une augmentation de la tenue à l'abrasion de 56%, alors que pour les  
20 aciers G et H, l'augmentation n'est que de 37%.

Cette observation est attribuable à l'effet de sertissage accru des carbures de titane par la matrice environnante, quand celle-ci contient de l'austénite résiduelle susceptible de se transformer en martensite dure et gonflante en service.

Par ailleurs, la déformation après refroidissement, sans planage, pour les tôles en  
25 acier A ou B sont de 6 mm/m et de 17 mm/m pour les tôles en acier E et F. Ces résultats montrent la réduction de déformation des produits obtenus grâce à l'invention.

Il en résulte que, en pratique, en fonction du degré d'exigence en planéité des utilisateurs,

- 30
- soit, on peut livrer les produits sans planage (gain sur le coût et sur les contraintes résiduelles),
  - soit, on peut réaliser un planage pour satisfaire une exigence de planéité plus sévère (par exemple 5mm/m) mais plus facilement et en introduisant moins de

contraintes du fait de la déformation originelle moindre sur les produits selon l'invention.

5

REVENDICATIONS

1. Procédé pour fabriquer une pièce en acier résistant à l'abrasion dont la composition chimique comprend, en poids:

$$0,1\% \leq C < 0,23\%$$

$$0\% \leq Si \leq 2\%$$

$$0\% \leq Al \leq 2\%$$

$$0,5\% \leq Si + Al \leq 2\%$$

$$0\% \leq Mn \leq 2,5\%$$

$$0\% \leq Ni \leq 5\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 5\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 1\%$$

$$0\% \leq W \leq 2\%$$

$$0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1\%$$

$$0\% \leq B \leq 0,02\%$$

$$0\% \leq Ti \leq 0,67\%$$

$$0\% \leq Zr \leq 1,34\%$$

$$0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\%$$

$$0\% \leq S \leq 0,15\%$$

$$N < 0,03\%$$

- éventuellement jusqu'à 1,5% de cuivre,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Nb, Ta et V en des teneurs répondant à la formule  $Nb/2 + Ta/4 + V \leq 0,5\%$ ,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Se, Te, Ca, Bi et Pb en des teneurs inférieures ou égales à 0,1%,

10 le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition chimique satisfaisant les relations suivantes:

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8 + 7xN/8 \geq 0,095\%$$

et:

$$Ti + Zr/2 - 7xN/2 > 0,05\%$$

et:

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$$

avec  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ ,

selon lequel on soumet la pièce à un traitement thermique de trempe, effectué dans la chaude de mise en forme à chaud ou après austénitisation par réchauffage dans un four, pour réaliser la trempe:

- on refroidit la pièce à une vitesse de refroidissement moyenne supérieure à  $0,5^\circ\text{C/s}$  entre une température supérieure à  $AC_3$  et une température comprise entre  $T = 800 - 270 \times C^* - 90 \times Mn - 37 \times Ni - 70 \times Cr - 83 \times (Mo + W/2)$ , et  $T - 50^\circ\text{C}$  environ,
- puis on refroidit la pièce à une vitesse de refroidissement moyenne à cœur  $V_r < 1150 \times e_p^{-1,7}$  et supérieure ou égale à  $0,1^\circ\text{C/s}$  entre la température  $T$  et  $100^\circ\text{C}$ ,  $e_p$  étant l'épaisseur de la pièce exprimée en mm,
- on refroidit la pièce jusqu'à la température ambiante et on effectue, éventuellement, un planage.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 2.$$

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que :

$$C \leq 0,22\%$$

et:

$$C^* \geq 0,12\%.$$

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que :

$$Ti + Zr/2 \geq 0,10\%.$$

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que :

$$Si + Al > 0,7\%.$$

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on effectue un revenu à une température inférieure ou égale à 350°C.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que pour ajouter le titane dans l'acier, on met l'acier liquide au contact d'un laitier contenant du titane et on fait diffuser lentement le titane du laitier dans l'acier liquide.

8. Pièce en acier résistant à l'abrasion dont la composition chimique comprend, en poids :

10	$0,1\% \leq C \leq 0,23\%$ $0\% \leq Si \leq 2\%$ $0\% \leq Al \leq 2\%$ $0,5\% \leq Si + Al \leq 2\%$ $0\% \leq Mn \leq 2,5\%$ $0\% \leq Ni \leq 5\%$ $0\% \leq Cr \leq 5\%$ $0\% \leq Mo \leq 1\%$ $0\% \leq W \leq 2\%$
20	$0,05\% \leq Mo+W/2 \leq 1\%$ $0\% \leq B \leq 0,02\%$ $0\% \leq Ti \leq 0,67\%$ $0\% \leq Zr \leq 1,34\%$ $0,05\% < Ti + Zr/2 \leq 0,67\%$ $0\% \leq S \leq 0,005\%$ $N < 0,03\%$

- éventuellement jusqu'à 1,5% de cuivre,
- éventuellement au moins un élément pris parmi Nb, Ta et V en des teneurs répondant à la formule  $Nb/2 + Ta/4 + V \leq 0,5\%$ ,

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, la composition

chimique satisfaisant les relations suivantes :

$$C - Ti/4 - Zr/8 + 7 \times N/8 \geq 0,095\%$$

et :

$$Ti + Zr/2 - 7 \times N/2 > 0,05\%$$

et

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 1,8$$

avec :  $K = 1$  si  $B \geq 0,0005\%$  et  $K = 0$  si  $B < 0,0005\%$ ,

l'acier ayant une structure martensitique ou martensito-bainitique, ladite structure contenant des carbures et de 5% à 20% d'austénite retenue.

10 9. Pièce selon la revendication 8, caractérisée en ce que:

$$1,05 \times Mn + 0,54 \times Ni + 0,50 \times Cr + 0,3 \times (Mo + W/2)^{1/2} + K > 2.$$

10. Pièce selon la revendication 8 ou la revendication 9, caractérisée en ce que :

$$C \leq 0,22\%$$

et

$$C - Ti/4 - Zr/8 + 7 \times N/8 \geq 0,12\%.$$

11. Pièce selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisée en ce que:

$$Ti + Zr/2 \geq 0,10\%.$$

20 12. Pièce selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisée en ce que:

$$Si + Al \geq 0,7\%.$$

13. Pièce selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que ladite pièce est une tôle.

14. Pièce selon la revendication 13, caractérisée en ce que l'épaisseur de la tôle est comprise entre 2 mm et 150 mm.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel ladite pièce est une tôle.