

(19)



(11)

EP 0 851 038 B2

(12)

NOUVEAU FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la
décision concernant l'opposition:
07.11.2007 Bulletin 2007/45

(51) Int Cl.:
C22C 38/14 (2006.01) **C22C 38/28** (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)

(45) Mention de la délivrance du brevet:
26.03.2003 Bulletin 2003/13

(21) Numéro de dépôt: **97402978.7**

(22) Date de dépôt: **10.12.1997**

(54) **Acier et procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid**

Stahl und Verfahren zur Formung eines Stahlwerkstückes durch kalte plastische Verarbeitung

Steel and process for forming a steel article by cold plastic working

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB IT LI LU NL PT SE

(30) Priorité: **31.12.1996 FR 9616254**

(43) Date de publication de la demande:
01.07.1998 Bulletin 1998/27

(73) Titulaire: **ASCOMETAL**
92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeur: **Pichard Claude**
57860 Malancourt la Montagne (FR)

(74) Mandataire: **Jacobson, Claude et al**
Cabinet Lavoix
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 191 873 **EP-A- 0 747 496**
EP-A- 0 775 756 **GB-A- 2 186 594**
GB-A- 2 195 658

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 018, no. 647 (C-1283), 8 décembre 1994 -& JP 06 248341 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 6 septembre 1994,
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 017, no. 382 (C-1085), 19 juillet 1993 -& JP 05 065540 A (NISSAN MOTOR CO LTD), 19 mars 1993,

EP 0 851 038 B2

Description

[0001] L'invention est relative à une utilisation d'un acier et un procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid.

[0002] De nombreuses pièces en acier, et en particulier des pièces de mécanique à hautes caractéristiques, sont fabriquées par forge à froid ou frappe à froid, et plus généralement par déformation plastique à froid de lopins d'acier laminé à chaud. L'acier utilisé a une teneur en carbone comprise entre 0,2 % et 0,42 % (en poids). Il est allié soit au chrome, soit au chrome - molybdène, soit nickel-chrome, soit au nickel - chrome - molybdène, soit, enfin, au manganèse - chrome, de façon à être suffisamment trempant pour permettre d'obtenir après trempe une structure martensitique, structure nécessaire pour obtenir après revenu les caractéristiques mécaniques souhaitées qui sont d'une part une résistance à la traction élevée, d'autre part une bonne ductilité. Pour pouvoir être mis en forme à froid, l'acier doit, au préalable, être soumis à un traitement thermique de globulisation ou "d'adoucissement maximal" consistant en un maintien à température supérieure à 650 °C pendant un temps long pouvant atteindre plusieurs dizaines d'heures. Ce traitement confère à l'acier une structure perlitique globulisée, facile à déformer à froid. Cette technique présente l'inconvénient, notamment, de nécessiter trois traitements thermiques, ce qui complique les fabrication et augmente les coûts.

[0003] Le document EP-A-0 775 756, cité au titre de l'Art.54(3) CBE, décrit un acier pour la fabrication de pièces forgées de composition en poids : C = 0,08% ; Si = 0,40% ; Mn = 1,30% ; Cr = 0,092 % ; Mo = 0.1% ; Cu = 0,22% ; Ni = 0,095% ; Ti = 0,023% ; Al = 0,032% ; N = 0,0075% ; B = 0,0028% ; P = 0,015% ; S = 0,072%.

[0004] Le document JP-A-62 483 41 décrit un acier à haute résistance et ténacité de composition en poids C = 0,05-0,25% ; Si = 0,10-1,00% ; Mn = 0,50-3,00% ; P ≤ 0,025% ; Cr = 0,30-3,00% ; Mo ≤ 1,00% ; B = 0,0005-0,0050% ; Ti = 0,01-0,1% ; Al = 0,01-0,10% ; N ≤ 0,02%, le reste étant du fer et des impuretés, déformé à chaud, et auquel on confère une structure bainitique. Il est ensuite déformé à froid à moins de 10% puis revenu à 50-300°C pendant plus de 10 minutes.

[0005] Le document JP-A-50 655 40 décrit un procédé de fabrication d'un boulon à haute résistance de composition en poids :

[0006] C = 0,04-0,15% ; Si = 0,05-1,5% ; Mn = 0,5-1,5% ; Cr = 0,1-1,5% ; B = 0,0003-0,005% ; Ti = 0,01-0,04% ; Al = 0,01 - 0,06% le reste étant du fer et des impuretés. Après avoir été obtenu par déformation à froid, le boulon est chauffé au-dessus de Ac₃, puis refroidi à moins de 400°C à plus de 1°C/s et durci pour obtenir une structure à base de martensite et/ou de bainite.

[0007] Le document EP-A-0 747 496 décrit des tôles laminées à chaud à haute résistance et haute emboutissabilité de composition en poids C ≤ 0,12% ; Mn = 0,5-1,5% ; Si ≤ 0,3% ; P ≤ 0,1% ; S ≤ 0,05% ; Al = 0,01-0,1% ; Cr ≤ 1% ; Ti_{eff} = 0,03-0,15% ; Nb ≤ 0,05%, dont la structure comprend au moins 75% de ferrite durcie par précipitation de carbures ou carbonitrures de Ti ou Ti et Nb, le reste de la structure comprenant au moins 10% de martensite et éventuellement de la bainite et de l'austénite résiduelle.

[0008] Le but de la présente invention est de remédier à cet inconvénient en proposant un moyen pour fabriquer, par mise en forme par déformation plastique à froid, une pièce de mécanique en acier à hautes caractéristiques, sans qu'il soit nécessaire de faire ni un traitement thermique de globulisation ou d'adoucissement maximal ni un traitement thermique de revenu.

[0009] A cet effet, l'invention a pour objet une utilisation d'un acier selon la revendication 1.

[0010] L'invention concerne également un procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid qui comporte pour seul traitement thermique, une trempe. Le terme "trempe" est utilisé, ici et dans toute la suite, au sens large, c'est à dire qu'il s'agit d'un refroidissement suffisamment rapide pour obtenir une structure qui n'est pratiquement pas ferrito-perlitique et qui n'est pas non plus essentiellement martensitique.

[0011] Outre la trempe, le procédé consiste à laminier à chaud un demi produit en acier pour obtenir un produit laminé à chaud, éventuellement à découper un lopin dans le produit laminé à chaud, et à mettre en forme par déformation plastique à froid le lopin ou le produit laminé.

[0012] La trempe, qui est destinée à conférer à la pièce une structure essentiellement bainitique, peut être effectuée aussi bien avant qu'après la mise en forme à froid. Lorsqu'elle est effectuée avant la mise en forme à froid, la trempe peut être réalisée aussi bien directement dans la chaude de laminage qu'après austénitisation par réchauffage au dessus de AC₃. Lorsqu'elle est effectuée après la mise en forme à froid, la trempe est réalisée après austénitisation par réchauffage au dessus de AC₃.

[0013] L'invention concerne, enfin, une pièce en acier obtenue par mise en forme à froid selon la revendication 8.

[0014] L'invention va maintenant être décrite plus en détails et illustrée par les exemples qui suivent.

[0015] La composition chimique de l'acier utilisé dans le cadre de l'invention comprend, en % en poids :

- de 0,03 % à 0,16 %, et, de préférence, de 0,06 % à 0,12 % de carbone pour obtenir une importante aptitude à l'écrouissage lors de la mise en forme à froid, éviter la formation de gros carbures défavorables à la ductilité, et

permettre d'effectuer une mise en forme à froid sans qu'il soit nécessaire de réaliser un recuit de globulisation ou d'adoucissement maximal ;

- de 0,5 % à 2 %, et, de préférence, de 0,8 % à 1,7 % de manganèse, pour assurer une bonne coulabilité, obtenir une trempabilité suffisante et les caractéristiques mécaniques souhaitées ;
- de 0,1 % à 0,35 % de silicium, élément nécessaire pour assurer la désoxydation de l'acier, en particulier lorsque la teneur en aluminium est faible, mais, qui, en trop forte quantité, favorise un durcissement préjudiciable à l'aptitude à la mise en forme à froid et à la ductilité ;
- de 0 % à 1,8 %, et, de préférence, de 0,1 % à 1,5 % de chrome pour ajuster la trempabilité et les caractéristiques mécaniques au niveau souhaité pour les pièces, sans dépasser une valeur qui durcirait trop l'acier à l'état brut de laminage ou conduirait à la formation de martensite préjudiciable à l'aptitude à la mise en forme à froid et à la ductilité ;
- de 0 % à 0,25 %, et, de préférence, de 0,07 % à 0,15 % de molybdène pour, en synergie avec le bore, assurer une trempabilité homogène dans les diverses sections de la pièce ;
- éventuellement, de 0 % à 0,15 %, et de préférence, moins de 0,1 % de vanadium pour obtenir de hautes caractéristiques mécaniques (résistance à la traction) lorsque celles-ci sont recherchées ;
- de 0,0005 % à 0,005 %, et, de préférence, de 0,001 % à 0,004 % de bore pour augmenter la trempabilité nécessaire ;
- de 0 % à 0,05 %, et, de préférence, de 0,001 % à 0,035 % d'aluminium, et de 0 % à 0,05 %, et, de préférence, de 0,001 % à 0,03 % de titane, la somme des teneurs en aluminium et en titane devant être supérieure ou égale à 3,5 fois la teneur en azote, afin d'obtenir un grain fin nécessaire pour une bonne aptitude à la mise en forme à froid et une bonne ductilité ;
- de 0,004 % à 0,012 %, et, de préférence, de 0,006 % à 0,01 % d'azote, pour contrôler la taille du grain par formation de nitrures d'aluminium, de titane ou de vanadium, sans former de nitrures de bore ;
- plus de 0,001 % de soufre afin d'assurer un minimum d'aptitude à l'usinage pour permettre d'effectuer des retouches finales sur les pièces, mais moins de 0,09 % pour garantir une bonne aptitude à la mise en forme à froid ; l'aptitude à l'usinage combinée avec une bonne aptitude à la mise en forme par déformation plastique à froid peut être améliorée soit par une addition de calcium jusqu'à 0,005 %, soit par une addition de tellure jusqu'à 0,01 %, il est alors préférable que le rapport Te/S reste voisin de 0,1, soit par une addition de sélénium jusqu'à 0,05 %, il est alors préférable que la teneur en sélénium reste voisine de la teneur en soufre, soit, enfin, par une addition de plomb jusqu'à 0,3 %, dans ce cas, la teneur en soufre doit être réduite ;

le reste est du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

[0016] Les impuretés sont, notamment:

- le phosphore, dont la teneur doit rester, de préférence, inférieure ou égale à 0,02 % pour garantir une bonne ductilité pendant et après mise en forme à froid ;
- le cuivre et le nickel, considérés comme des résiduels, dont la teneur doit, de préférence, rester inférieure à 0,25 % pour chacun.

[0017] Enfin, la composition chimique de l'acier doit satisfaire la relation :

$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} \geq 2,2\%$$

qui assure que la combinaison des teneurs en manganèse, chrome, molybdène et vanadium permet d'obtenir les caractéristiques de résistance souhaitées et une structure essentiellement bainitique.

[0018] Cet acier présente l'avantage d'avoir une très bonne aptitude à la déformation plastique à froid et de permettre d'obtenir, sans qu'il soit nécessaire de faire un revenu, une structure du type bainitique ayant une excellente ductilité et de hautes caractéristiques mécaniques. En particulier, la ductilité peut être mesurée par la striction Z qui est supérieure à 45 %, et même supérieure à 50 %. La résistance à la traction R_m est supérieure à 650 MPa et peut dépasser 1200 MPa. Ces caractéristiques peuvent être obtenues aussi bien lorsque la trempe est effectuée dans la chaude de laminage avant mise en forme à froid, que lorsqu'elle est effectuée après austénitisation par chauffage au dessus de AC₃, avant ou après mise en forme à froid.

[0019] Pour fabriquer une pièce mise en forme à froid, on approvisionne un demi-produit en acier ayant la composition citée et on le lamine à chaud après réchauffage au dessus de 940 °C afin d'obtenir un produit laminé à chaud tel qu'une barre, une billette, ou un fil machine.

[0020] Dans un premier mode de réalisation, le laminage à chaud est terminé à une température comprise entre 900 °C et 1050 °C et le produit laminé à chaud est trempé directement dans la chaude de laminage par refroidissement à l'air soufflé, à l'huile, au brouillard, à l'eau ou à l'eau additionnée de polymères, selon sa section. Le produit ainsi obtenu est alors découpé en lopins, puis mis en forme à froid, par exemple par forge à froid ou par frappe à froid. Les caractéristiques mécaniques finales, obtenues directement après mise en forme à froid, résultent, notamment, de l'écrouissage

engendré par l'opération de mise en forme à froid.

[0021] Dans un deuxième mode de réalisation, après laminage à chaud, soit le produit laminé est trempé après austénitisation puis découpé en lopins qu'on met en forme par déformation plastique à froid, soit on découpe les lopins avant d'effectuer la trempe puis la mise en forme à froid. Dans les deux cas, l'austénitisation consiste en un chauffage entre AC_3 et $970^\circ C$, et la trempe est effectuée par refroidissement à l'air soufflé, à l'huile, au brouillard, à l'eau ou à l'eau additionnée de polymères, selon la section du produit. Les caractéristiques mécaniques finales, obtenues directement après mise en forme à froid, résultent, notamment, de l'écrouissage engendré par l'opération de mise en forme. Dans ce mode de réalisation les conditions de fin de laminage n'ont pas d'importance particulière.

[0022] Dans un troisième mode de réalisation, l'opération de mise en forme à froid est effectuée sur un lopin découpé dans le produit laminé à chaud et la trempe est effectuée après mise en forme à froid. Comme dans le cas précédent, la trempe est effectuée après chauffage entre AC_3 et $970^\circ C$ et par refroidissement à l'air soufflé, à l'huile, au brouillard, à l'eau ou à l'eau additionnée de polymères. Les conditions de fin de laminage n'ont pas, non plus, d'importance particulière.

[0023] L'invention destinée plus particulièrement à la fabrication de pièces de mécanique, s'applique également à la fabrication de barres étirées à froid, de fils tréfilés et de fils machine déroulés, l'étirage à froid, le tréfilage et le déroulage étant des modes particuliers de mise en forme par déformation plastique à froid. Les barres étirées et les fils machine ou tréfilés peuvent être écroutés, rasés ou rectifiés de façon à présenter un état de surface exempt de défauts. Le terme "pièce en acier mise en forme à froid" recouvre tous ces produits, et le terme "lopin" recouvre, notamment, tout tronçon de barre ou fil ; dans certains cas, les barres ou fils ne sont pas découpés en lopins avant d'être mis en forme à froid.

[0024] L'invention peut, enfin, être utilisée pour fabriquer des barres prétraitées ou des fils prétraités, ou plus généralement des produits sidérurgiques prétraités, destinés à être utilisés en l'état pour la fabrication de pièces par mise en formes à froid sans traitement thermique supplémentaire. Ces produits sidérurgiques sont trempés après laminage à chaud soit directement dans la chaude de laminage, soit après austénitisation, afin de présenter une structure essentiellement bainitique (bainite $\geq 50\%$). Ils peuvent être écroutés ou rasés pour présenter un état de surface exempt de défauts.

[0025] L'invention va maintenant être illustrée par des exemples.

1^{er} exemple :

[0026] On a élaboré un acier dont la composition chimique comprenait en poids :

C = 0,065 %

Mn = 1,33 %

Si = 0,34 %

S = 0,003 %

P = 0,014 %

Ni = 0,24%

Cr = 0.92 %

Mo = 0,081 %

Cu = 0,23 %

V = 0,003 %

Al = 0,02 %

Ti = 0,02 %

N = 0,008,%

B = 0,0035 %

remplissant donc les conditions

$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} = 0,27\% \geq 2,2\%$$

et

$$\text{Al} + \text{Ti} = 0,040\% \geq 3,5 \times \text{N} = 0,028\%$$

[0027] Avec cet acier on a fabriqué des billettes qui ont été laminées à chaud après réchauffage au dessus de 940 °C pour former des ronds (ou barres) de diamètre 16 mm, 25,5 mm et 24,8 mm.

1) ronds de 16 mm de diamètre :

[0028] Le laminage des ronds de diamètre 16 mm a été terminé à 990 °C et les ronds ont été trempés dans la chaude de laminage dans les trois conditions suivantes (conformes à l'invention) :

A : refroidissement à la vitesse de 5,3°C/s équivalent à une trempe à l'air soufflé,

B : refroidissement à la vitesse de 26°C/s équivalent à une trempe à l'huile,

C : refroidissement à la vitesse de 140°C/s équivalent à une trempe à l'eau.

[0029] Les caractéristiques mécaniques avant mise en forme à froid des ronds trempés et leur aptitude à la mise en forme par déformation plastique à froid ont été évaluées par des essais de traction et par des essais de torsion à rupture à froid (les résultats des essais de torsion sont exprimés en "nombre de tours avant rupture de l'éprouvette"). Les résultats ont été les suivants :

Conditions de trempe	Dureté du rond avant torsion (HV)	Résistance avant torsion(MPa)	Striction Z avant torsion (%)	Nombre de tours à rupture
A	234	734	69	4,7
B	318	1001	73	5,2
C	350	1103	69	

[0030] La dureté et la résistance à la traction, qui varient considérablement avec les conditions de trempe, sont d'autant plus grandes que la vitesse de refroidissement est élevée. Néanmoins, dans tous les cas, la ductilité et la capacité de déformation à froid sont excellentes puisque la striction Z est toujours sensiblement supérieure à 50 %, et le nombre de tours à rupture est toujours nettement supérieur à 3.

[0031] Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques qu'il est possible d'obtenir sur des pièces fabriquées par mise en forme par déformation plastique à froid à partir de ces mêmes ronds, on a effectué des essais de torsion-traction à froid dont les résultats ont été les suivants :

Conditions de trempe	Résistance après 3 tours de torsion (MPa)	Striction après 3 tours de torsion Z (%)	Augmentation de la résistance après 3 tours de torsion (%)
A	919	66	25%
B	1189	67	19%
C	1245	68	13%

[0032] L'essai de torsion-traction à froid consiste à soumettre une éprouvette à 3 tours de torsion à froid pour simuler la mise en forme par déformation plastique, avant d'effectuer un essai de traction à température ambiante. L'augmentation de la résistance, correspond à l'accroissement relatif de résistance entre l'état écroui (après 3 tours de torsion) et l'état normal (avant les 3 tours de torsion).

[0033] Les résultats obtenus montrent que, même après une importante déformation à froid (trois tours de torsion), la striction reste supérieure à 50 %, et que la résistance à la traction peut dépasser 1200 MPa. La capacité d'écrouissage,

EP 0 851 038 B2

mesurée par l'augmentation de résistance après déformation par torsion à froid, est élevée dans tous les cas.

2) Ronds de 25,5 mm de diamètre :

5 **[0034]** Les ronds de diamètre 25,5 mm ont été trempés avant mise en forme à froid, après austénitisation à 950°C, dans les conditions suivantes (conformes à l'invention) :

D : refroidissement à l'air soufflé (vitesse de refroidissement moyenne de 3,3°C/s entre 950 °C et l'ambiante)

E : refroidissement à l'huile (vitesse de refroidissement moyenne de 22°C/s entre 950 °C et l'ambiante)

10 F : refroidissement à l'eau (vitesse de refroidissement moyenne de 86°C/s entre 950 °C et l'ambiante)

[0035] Les ronds ont été soumis à des essais de mise en forme par forgeage à froid consistant en la mesure du Taux d'Ecrasement Limite (T.E.L.) par écrasement de cylindres entaillés suivant une génératrice. Le Taux d'Ecrasement Limite, exprimé en %, est le taux d'écrasement au-dessus duquel apparaît la première fissure par forgeage à froid à la presse dans l'entaille pratiquée suivant la génératrice du cylindre.

15 **[0036]** A titre de comparaison, le T.E.L. a été mesuré également sur un acier pour forge à froid suivant l'art antérieur dont la composition était :

C = 0,37%

20

Mn = 0,75 %

Si = 0,25 %

25

S = 0,005 %

Cr = 1 %

Mo = 0,02 %

30

Al = 0,02 %

[0037] Cet acier suivant l'art antérieur avait été préalablement soumis à un recuit de globulisation de la perlite pour le rendre apte à la déformation à froid.

35 **[0038]** Les résultats obtenus ont été les suivants :

Acier	Traitement thermique	Dureté HV	Résistance (MPa)	Taux d'Ecrasement Limite %
Acier suivant l'invention	D	249	793	52
	E	303	954	52
	F	355	1115	52
Acier suivant l'art antérieur	Recuit de globulisation	174	547	44

40

45

[0039] Au vu des Taux d'Ecrasement Limite il apparaît que l'acier utilisé selon l'invention présente une aptitude à la mise en forme par forgeage à froid sensiblement plus importante que l'acier suivant l'art antérieur, malgré une dureté plus élevée, et ceci quel que soit le niveau de résistance, même si celui-ci est élevé (traitement F).

50

3) Ronds de 24,8 mm de diamètre :

[0040] Après laminage et avant mise en forme à froid, des ronds de 24,8 mm de diamètre ont été trempés après austénitisation à 930 °C dans les conditions suivantes conformément à l'invention :

55

G : trempe à l'air soufflé

H : trempe à l'huile

EP 0 851 038 B2

[0041] Les ronds ainsi traités ont été forgés à froid pour fabriquer des fusées de roues d'automobile dont les caractéristiques mécaniques obtenues étaient les suivantes

traitement	Résistance (MPa)	Striction Z (%)
G	741	71
H	984	74

[0042] Il ressort de ces résultats que, quel que soit le traitement initial, la ductilité obtenue sur pièce forgée à froid est très élevée ($Z \geq 50\%$), et, ceci, indépendamment du niveau de résistance.

[0043] Par ailleurs, dans les deux cas les ronds étaient tout-à-fait aptes à la mise en forme par forgeage à froid puisque les pièces se sont révélées exemptes de tout défaut tant interne qu'externe.

[0044] Avec d'autres ronds de 24,8 mm de diamètre (identiques aux précédents), on a fabriqué les mêmes fusées par forgeage à froid des ronds bruts de laminage en effectuant la trempe après l'opération de mise en forme à froid. La trempe a été effectuée à l'eau après austénitisation à 940°C.

[0045] Dans ces conditions, les caractéristiques obtenues sur fusées étaient les suivantes :

Rm = 1077 MPa

Z = 73%

[0046] Ces résultats montrent qu'avec l'acier utilisé selon l'invention en effectuant une trempe après forgeage à froid d'un rond brut de laminage à chaud, on peut obtenir une très bonne ductilité ($Z \geq 50\%$) malgré un niveau de résistance élevé. Par ailleurs l'acier suivant l'invention s'est révélé parfaitement apte à la mise en forme par forgeage à froid à l'état brut de laminage sans nécessiter de traitement préalable de globulisation comme cela est pratiqué avec les aciers selon l'art antérieur, les fusées se sont, en effet, révélées exemptes de tout défaut tant interne qu'externe.

[0047] A titre de comparaison, suivant l'art antérieur, on utilise pour fabriquer les mêmes fusées, un acier de composition

C = 0,195%

Mn = 1,25%

Si = 0,25 %

S = 0,005 %

Ni = 0,25 %

Cr = 1,15%

Mo = 0,02 %

Cu = 0,2 %

Al = 0,02 %

[0048] Pour obtenir des caractéristiques mécaniques similaires à celles qui sont obtenues avec l'invention, il est nécessaire d'utiliser la gamme de fabrication suivante :

- Recuit globulaire de l'acier pour le rendre apte à la mise en forme à froid.
- Forgeage à froid des fusées.
- Trempe à l'huile de l'acier suivant l'art antérieur.
- Revenu de l'acier suivant l'art antérieur.

2 ème exemple :

[0049] On a également fabriqué par frappe à froid des pièces mécanique en utilisant les aciers 1 et 2 dont les compositions chimiques étaient en % poids :

EP 0 851 038 B2

Acier 1	Acier 2
C = 0,061 %	0,062 %
Mn = 1,6 %	1,57 %
Si = 0,28 %	0,29 %
S = 0,021 %	0,021 %
P = 0,004 %	0,004 %
Ni = 0,11 %	0,11 %
Cr = 0,81 %	0,8 %
Mo = 0,081 %	0,128 %
Cu = 0,2 %	0,2 %
Al = 0,028 %	0,025 %
Ti = 0,017 %	0,016 %
V = 0,002 %	0,084 %
B = 0,0039 %	0,0038 %
N = 0,007 %	0,008 %

remplissant donc les conditions :

[0050] Pour l'acier 1 :

$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} = 2,43 \geq 2,2 \%$$

$$\text{Al} + \text{Ti} = 0,045\% \geq 3,5 \times \text{N} = 0,024\%$$

[0051] Pour l'acier 2 :

$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} = 2,59 \geq 2,2 \%$$

$$\text{Al} + \text{Ti} = 0,041 \% \geq 3,5 \times \text{N} = 0,028\%$$

[0052] Conformément à l'invention, ces aciers ont été laminés à chaud sous forme de barres de diamètre 28 mm. Après laminage et avant mise en forme à froid, les barres ont été soumises à un traitement de trempe à l'huile tiède à 50°C après austénitisation à 950°C. Les barres ont été découpées pour obtenir des lopins à partir desquels les pièces ont été mises en forme par frappe à froid au taux de déformation de 60%. Les caractéristiques mécaniques obtenues sur les lopins avant frappe à froid et sur les pièces après frappe à froid étaient les suivantes :

Acier	Dureté HV avant frappe à froid	Rm de l'acier avant frappe à froid (MPa)	Rm sur pièce après frappe à froid (MPa)	Z sur pièce après frappe à froid (%)	Augmentation de Rm à la frappe (%) (*)
1	323	1019	1380	61	35
2	331	1038	1430	59	38

(*) = aptitude à l'écrouissage par mise en forme à froid.

[0053] Ces résultats montrent que la ductilité est élevée ($Z \geq 50\%$) malgré un taux de déformation à froid très important, ceci indépendamment du niveau de résistance initial (avant frappe à froid) et final (après frappe à froid) de l'acier, même si le niveau de résistance final est très élevé. Ils montrent également que la capacité d'écrouissage, mesurée par l'augmentation de résistance à la frappe à froid, est importante.

[0054] Par ailleurs, l'aptitude à la mise en forme par frappe à froid est excellente puisque, malgré des niveaux de résistance initiaux élevés et une forte déformation (60%) à froid, les pièces frappées à froid se sont révélées exemptes de défauts tant internes qu'externes.

[0055] Ces exemples montrent que l'acier et les procédés suivant l'invention permettent d'obtenir une très bonne ductilité ($Z \geq 50\%$) par la fabrication d'une pièce mise en forme par déformation plastique à froid, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un traitement coûteux de globulisation ni un traitement de revenu. Cette ductilité élevée ($Z \geq 50\%$) combinée

à des caractéristiques mécaniques sur pièces très élevées ($R_m \geq 1200$ MPa) peut être obtenue notamment grâce à l'importante capacité d'écroutissage de l'acier. Enfin, la très bonne aptitude à la mise en forme par forgeage ou frappe à froid s'observent même si le niveau de résistance (ou de dureté) initial de l'acier et le taux de déformation à froid sont élevés.

5

Revendications

1. Utilisation pour la fabrication d'une pièce mise en forme par déformation plastique à froid d'un acier dont la composition chimique comprend, en poids :

10

$$0,03\% \leq C \leq 0,16 \%$$

15

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

$$0,1 \leq Si \leq 0,35 \%$$

$$0 \leq Cr \leq 1,8 \%$$

20

$$0 \leq Mo \leq 0,25 \%$$

$$0,001 \leq Al \leq 0,05 \%$$

25

$$0,001\% \leq Ti \leq 0,05 \%$$

$$0\% \leq V \leq 0,15 \%$$

$$0,0005 \leq B \leq 0,005 \%$$

30

$$0,004\% \leq N \leq 0,012 \%$$

$$0,001\% \leq S \leq 0,09 \%$$

35

- éventuellement jusqu'à 0,005 % de calcium, jusqu'à 0,01 % de tellure, jusqu'à 0,04 % de sélénium, jusqu'à 0,3 % de plomb,

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

40

$$Mn + 0,9 \times Cr + 1,3 \times Mo + 1,6 \times V \geq 2,2 \%$$

et

45

$$Al + Ti \geq 3,5 \times N$$

ladite déformation plastique à froid consistant en un forgeage à froid, ou une frappe à froid, ou un étirage à froid, ou un tréfilage, ou un déroulage.

50

2. Utilisation d'un acier selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** la composition chimique de l'acier est telle que :

$$0,06 \leq C \leq 0,12 \%$$

$$0,8 \leq Mn \leq 1,7 \%$$

55

$$0,1 \leq Si \leq 0,35 \%$$

$$0,1 \leq Cr \leq 1,5 \%$$

EP 0 851 038 B2

$$0,07 \% \leq \text{Mo} \leq 0,15 \%$$

$$0,001 \% \leq \text{Al} \leq 0,035 \%$$

5 $0,001 \% \leq \text{Ti} \leq 0,03 \%$

$$0\% \leq \text{V} \leq 0,1\%$$

10 $0,001 \% \leq \text{B} \leq 0,004 \%$

$$0,004 \% \leq \text{N} \leq 0,01 \%$$

$$0,001 \% \leq \text{S} \leq 0,09 \%$$

15 - éventuellement jusqu'à 0,005 % de calcium, jusqu'à 0,01 % de tellure, jusqu'à 0,04 % de sélénium, jusqu'à 0,3 % de plomb,

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

20 3. Utilisation d'un acier selon la revendication 2 **caractérisé en ce que** les teneurs en impuretés de l'acier sont telles que :

$$\text{Ni} \leq 0,25 \%$$

25 $\text{Cu} \leq 0,25 \%$

4. Utilisation d'un acier selon la revendication 2 ou la revendication 3 **caractérisé en ce que** la teneur en impureté de l'acier est telle que :

30 $\text{P} \leq 0,02 \%$

5. Procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid **caractérisé en ce que** :

35 - on approvisionne un demi produit en acier ayant la composition citée dans l'une quelconque des revendications 1 à 4,
- on lamine à chaud le demi produit après l'avoir réchauffé à une température supérieure à 940 °C et on termine le laminage à une température comprise entre 900 °C et 1050 °C afin d'obtenir un produit laminé,
- on trempe le produit laminé directement dans la chaude de laminage, de façon à lui conférer une structure
40 essentiellement bainitique,
- éventuellement, on découpe un lopin dans le produit laminé,
- et on met en forme par déformation plastique à froid le lopin ou le produit laminé pour obtenir la pièce ayant ses caractéristiques mécaniques finales, ladite déformation plastique à froid consistant en un forgeage à froid, ou une frappe à froid, ou un étirage à froid ou un tréfilage, ou un déroulage.

45 6. Procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid **caractérisé en ce que** :

50 - on approvisionne un demi produit en acier ayant la composition citée dans l'une quelconque des revendications 1 à 4,
- on lamine à chaud le demi produit afin d'obtenir un produit laminé,
- on trempe le produit laminé après l'avoir réchauffé au dessus du point AC₃, de façon à lui conférer une structure essentiellement bainitique.
- éventuellement, on découpe un lopin dans le produit laminé,
55 - et on met en forme par déformation plastique à froid le lopin ou le produit laminé pour obtenir la pièce ayant ses caractéristiques mécaniques finales ladite déformation plastique à froid consistant en un forgeage à froid, ou une frappe à froid, ou un étirage à froid, ou un tréfilage, ou un déroulage.

7. Procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid **caractérisé en ce que** :

- on approvisionne un demi produit en acier ayant la composition citée dans l'une quelconque des revendications 1 à 4,
- on lamine à chaud le demi produit afin d'obtenir un produit laminé,
- éventuellement, on découpe un lopin dans le produit laminé,
- on met en forme par déformation plastique à froid le lopin ou le produit laminé pour obtenir la pièce, ladite déformation plastique à froid consistant en un forgeage à froid, ou une frappe à froid, ou un étirage à froid, ou un tréfilage, ou un déroulage
- et on trempe la pièce après l'avoir réchauffée au dessus du point AC_3 , de façon à lui conférer une structure essentiellement bainitique et ses caractéristiques mécaniques finales.

8. Pièce en acier mise en forme à froid **caractérisée en ce qu'elle** est constituée d'un acier ayant la composition citée dans l'une quelconque des revendications 1 à 4, **en ce que** la striction Z de l'acier est supérieure à 45 % et **en ce que** la résistance à la traction R_m de l'acier est supérieure à 650 MPa et **en ce qu'elle** a été mise en forme à froid par forgeage à froid ou frappe à froid ou étirage à froid ou tréfilage ou déroulage.

9. Pièce selon la revendication 8 **caractérisée en ce que** la résistance à la traction R_m de l'acier est supérieure à 1200 MPa.

10. Pièce selon la revendication 8 ou la revendication 9 **caractérisée en ce qu'elle** a une structure essentiellement bainitique.

Claims

1. Use, for the manufacture of a steel component formed by cold plastic deformation, of a steel the chemical composition of which comprises, by weight:

$$0.03\% \leq C \leq 0.16\%$$

$$0.5\% \leq Mn \leq 2\%$$

$$0.1\% \leq Si \leq 0.35\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 1.8\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 0.25\%$$

$$0.001\% \leq Al \leq 0.05\%$$

$$0.001\% \leq Ti \leq 0.05\%$$

$$0\% \leq V \leq 0.15\%$$

$$0.0005\% \leq B \leq 0.005\%$$

$$0.004\% \leq N \leq 0.012\%$$

$$0.001\% \leq S \leq 0.09\%$$

- optionally up to 0.005% of calcium, up to 0.01% of tellurium, up to 0.04% of selenium and up to 0.3% of lead, the balance being iron and impurities resulting from the smelting, the chemical composition of the steel furthermore satisfying the relationships:

$$Mn + 0.9 \times Cr + 1.3 \times Mo + 1.6 \times V \geq 2.2\%$$

and

$$\text{Al} + \text{Ti} \geq 3.5 \times \text{N},$$

5 said cold plastic deformation consisting of cold forging, or cold striking or cold drawing, wire drawing or peeling.

2. Use of a steel according to Claim 1, **characterized in that** the chemical composition of the steel is such that:

$$0.06\% \leq \text{C} \leq 0.12\%$$

10

$$0.8\% \leq \text{Mn} \leq 1.7\%$$

$$0.1\% \leq \text{Si} \leq 0.35\%$$

15

$$0.1\% \leq \text{Cr} \leq 1.5\%$$

$$0.07\% \leq \text{Mo} \leq 0.15\%$$

$$0.001\% \leq \text{Al} \leq 0.035\%$$

20

$$0.001\% \leq \text{Ti} \leq 0.03\%$$

$$0\% \leq \text{V} \leq 0.1\%$$

25

$$0.001\% \leq \text{B} \leq 0.004\%$$

$$0.004\% \leq \text{N} \leq 0.01\%$$

$$0.001\% \leq \text{S} \leq 0.09\%$$

30

- optionally up to 0.005% of calcium, up to 0.01% of tellurium, up to 0.04% of selenium and up to 0.3% of lead, the balance being iron and impurities resulting from the smelting.

3. Use of a steel according to Claim 2,
35 **characterized in that** the impurity contents of the steel are such that:

$$\text{Ni} \leq 0.25\%$$

$$\text{Cu} \leq 0.25\%.$$

40

4. Use of a steel according to Claim 2 or Claim 3, **characterized in that** the impurity content of the steel is such that:

$$\text{P} \leq 0.02\%.$$

45

5. Process for the manufacture of a steel component formed by cold plastic deformation,
characterized in that:

- a semi-finished product made of a steel having the composition cited in any one of Claims 1 to 4 is provided;
- the semi-finished product is hot rolled after it has been reheated to a temperature above 940°C and the rolling is stopped at a temperature of between 900°C and 1050°C in order to obtain a rolled product;
- the rolled product is quenched immediately, whilst still hot from rolling, so as to give it an essentially bainitic structure;
- optionally, a blank is cut from the rolled product; and
- the blank or the rolled product is formed by cold plastic deformation in order to obtain the component having its final mechanical properties, said cold plastic deformation consisting of cold forging or cold striking or cold drawing, wire drawing or peeling.

50

55

6. Process for the manufacture of a steel component formed by cold plastic deformation, **characterized in that:** the

- a semi-finished product made of a steel the composition cited in any one of Claims 1 to 4 is provided;
- the semi-finished product is hot rolled so as to obtain a rolled product;
- the rolled product is quenched after it has been reheated to above the AC_3 point, so as to give it an essentially bainitic structure;
- optionally, a blank is cut from the rolled product; and
- the blank or the rolled product is formed by cold plastic deformation in order to obtain the component having its final mechanical properties, said cold plastic deformation consisting of cold forging or cold striking or cold drawing, wire drawing or peeling.

7. Process for the manufacture of a steel component formed by cold plastic deformation, characterized in that:

- a semi-finished product made of a steel having the composition cited in any one of Claims 1 to 4 is provided,
- the semi-finished product is hot rolled so as to obtain a rolled product;
- optionally, a blank is cut from the rolled product;
- the blank or the rolled product is formed by cold plastic deformation in order to obtain the component; said cold plastic deformation consisting of cold forging or cold striking or cold drawing, wire drawing or peeling and
- the component, after it has been reheated to above the AC_3 point, is quenched so as to give it an essentially bainitic structure and its final mechanical properties.

8. Cold-formed steel component, characterized in that it is made of a steel having the composition cited in any one of Claims 1 to 4, in that the reduction in section Z of the steel is greater than 45%, in that the tensile strength R_m of the steel is greater than 650 MPa and in that it is cold-formed by cold forging or cold striking or cold drawing or wire drawing or peeling.

9. Component according to Claim 8, characterized in that the tensile strength R_m of the steel is greater than 1200 MPa.

10. Component according to Claim 8 or Claim 9, characterized in that it has an essentially bainitic structure.

Patentansprüche

1. Verwendung zur Formung eines Werkstückes durch kalte plastische Verarbeitung eines Stahls, dessen chemische Zusammensetzung in Gew.-% aufweist:

$$0.03\% \leq C \leq 0.16\%$$

$$0.5\% \leq Mn \leq 2\%$$

$$0.1\% \leq Si \leq 0.35\%$$

$$0\% \leq Cr \leq 1.8\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 0.25\%$$

$$0.001\% \leq Al \leq 0.05\%$$

$$0.001\% \leq Ti \leq 0.05\%$$

$$0\% \leq V \leq 0.15\%$$

$$0.0005\% \leq B \leq 0.005\%$$

$$0.004\% \leq N \leq 0.012\%$$

$$0.001\% \leq S \leq 0.09\%$$

- eventuell bis zu 0,005 % Kalzium, bis zu 0,01 % Tellur, bis zu 0,04 % Selen, bis zu 0,3 % Blei,
- wobei der Rest aus Eisen und Unreinheiten besteht, die von der Verhüttung herrühren und die chemische

EP 0 851 038 B2

Zusammensetzung des Stahls außerdem den folgenden Beziehungen genügt:

$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} \geq 2,2 \%$$

und

$$\text{Al} + \text{Ti} \geq 3,5 \times \text{N},$$

wobei die kalte plastische Verarbeitung aus einem Kaltschmieden, einem Kaltstauchen, einem Kaltrecken, einem Aufwickeln oder einem Abwickeln besteht.

2. Verwendung eines Stahls nach Anspruch 1, wobei die chemische Zusammensetzung des Stahls derart ist, dass:

$$0,06\% \leq \text{C} \leq 0,12\%$$

$$0,8\% \leq \text{Mn} \leq 1,7\%$$

$$0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0,1\% \leq \text{Cr} \leq 1,5\%$$

$$0,07\% \leq \text{Mo} \leq 0,15\%$$

$$0,001\% \leq \text{Al} \leq 0,035\%$$

$$0,001\% \leq \text{Ti} \leq 0,03\%$$

$$0\% \leq \text{V} \leq 0,1\%$$

$$0,001\% \leq \text{B} \leq 0,004\%$$

$$0,004\% \leq \text{N} \leq 0,01\%$$

$$0,001\% \leq \text{S} \leq 0,09\%$$

- eventuell bis zu 0,005 % Kalzium, bis zu 0,01 % Tellur, bis zu 0,04 % Selen, bis zu 0,3 % Blei,
- wobei der Rest aus Eisen und Unreinheiten besteht, die von der Verhüttung herrühren.

3. Verwendung eines Stahls nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Anteil an Unreinheiten des Stahls beläuft auf:

$$\text{Ni} \leq 0,25 \%$$

$$\text{Cu} \leq 0,25 \%$$

4. Verwendung eines Stahls nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der Anteil an Unreinheiten des Stahls beläuft auf:

5. Verfahren zur Formung eines Stahlwerkstückes durch kalte plastische Verarbeitung, **dadurch gekennzeichnet, dass:**

- ein Halbprodukt aus Stahl, der die in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4 angegebene Zusammensetzung hat, zugeführt wird,
- das Halbprodukt warmgewalzt wird, nachdem es bei einer über 940 °C liegenden Temperatur erhitzt worden war und das Walzen bei einer Temperatur zwischen 900 °C und 1050 °C beendet wird, um ein gewalztes Produkt zu erhalten,
- das gewalzte Produkt direkt in dem Walz-Warmbad abgeschreckt wird, um ihm eine im wesentlichen bainitische Struktur zu verleihen,

- eventuell ein Stück aus dem gewalzten Produkt herausgeschnitten wird,
- das Stück oder das gewalzte Produkt durch kalte plastische Verarbeitung geformt wird, um das Werkstück mit seinen endgültigen mechanischen Kennzeichen zu erhalten,

5 wobei die kalte plastische Verarbeitung aus einem Kaltschmieden, einem Kaltstauchen, einem Kaltrecken, einem Aufwickeln oder einem Abwickeln besteht.

6. Verfahren zur Formung eines Stahlwerkstückes durch kalte plastische Verarbeitung, **dadurch gekennzeichnet, dass;**

- 10
- ein Halbprodukt aus Stahl, der die in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4 angegebene Zusammensetzung hat, zugeführt wird,
 - das Halbprodukt warmgewalzt wird, um ein gewalztes Produkt zu erhalten,
 - das gewalzte Produkt, nachdem es über den AC_3 -Punkt erhitzt worden war, direkt in dem Walz-Warmbad abgeschreckt wird, um ihm eine im wesentlichen bainitische Struktur zu verleihen,
 - eventuell ein Stück aus dem gewalzten Produkt herausgeschnitten wird,
 - das Stück oder das gewalzte Produkt durch kalte plastische Verarbeitung geformt wird, um das Werkstück mit seinen endgültigen mechanischen Kennzeichen zu erhalten,
- 15

20 wobei die kalte plastische Verarbeitung aus einem Kaltschmieden, einem Kaltstauchen, einem Kaltrecken, einem Aufwickeln oder einem Abwickeln besteht.

7. Verfahren zur Formung eines Stahlwerkstückes durch kalte plastische Verarbeitung, **dadurch gekennzeichnet, dass :**

- 25
- ein Halbprodukt aus Stahl, der die in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4 angegebene Zusammensetzung hat, zugeführt wird,
 - das Halbprodukt warmgewalzt wird, um ein gewalztes Produkt zu erhalten,
 - eventuell ein Stück aus dem gewalzten Produkt herausgeschnitten wird,
 - das Stück oder das gewalzte Produkt durch kalte plastische Verarbeitung geformt wird, um das Werkstück zu erhalten,
- 30

wobei die kalte plastische Verarbeitung aus einem Kaltschmieden, einem Kaltstauchen, einem Kaltrecken, einem Aufwickeln oder einem Abwickeln besteht, und

- 35
- das gewalzte Produkt, nachdem es über den AC_3 -Punkt erhitzt worden war, direkt in dem Walz-Warmbad abgeschreckt wird, um ihm eine im wesentlichen bainitische Struktur zu verleihen,

40 **8.** Durch kalte plastische Verarbeitung geformtes Stahlwerkstück, **dadurch gekennzeichnet, dass** es aus einem Stahl, der die in irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4 angegebene Zusammensetzung hat, besteht und dadurch, dass die Querkontraktion Z des Stahls über 45% liegt und dass die Zugfestigkeit R_m des Stahls über 650 MPa liegt und dass es einem Kaltstauchen, einem Kaltschmieden, einem Kaltrecken, einem Aufwickeln oder einem Abwickeln unterworfen worden ist.

45 **9.** Werkstück nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zugfestigkeit R_m des Stahls über 1200 MPa liegt.

10. Werkstück nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine im wesentlichen bainitische Struktur aufweist.

50

55

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 0775756 A [0003]
- JP 6248341 A [0004]
- JP 5065540 A [0005]
- EP 0747496 A [0007]