

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 851 038 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

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

(51) Int Cl.⁶: **C22C 38/14, C22C 38/28,
C21D 8/00**

(21) Numéro de dépôt: **97402978.7**

(22) Date de dépôt: **10.12.1997**

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

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

(71) Demandeur: **Ascometal
92800 Puteaux (FR)**

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

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger
TECHMETAL PROMOTION (Groupe USINOR),
Immeuble " La Pacific ",
1/13 Cours Valmy,
La Défense 7,
TSA 10001
92070 Paris La Défense Cédex (FR)**

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

(57) Acier pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid, dont la composition chimique comprend, en poids: $0,03 \% \leq C \leq 0,16 \%$; $0,5 \% \leq Mn \leq 2 \%$; $0,05 \% \leq Si \leq 0,5 \%$; $0 \% \leq Cr \leq 1,8 \%$; $0 \% \leq Mo \leq 0,25 \%$; $0,001 \% \leq Al \leq 0,05 \%$; $0,001 \% \leq Ti \leq 0,05 \%$; $0 \% \leq V \leq 0,15 \%$; $0,0005 \% \leq B \leq 0,005 \%$; $0,004 \% \leq N \leq 0,012 \%$; $0,001 \% \leq S \leq 0,09 \%$; 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 : $Mn + 0,9 \times Cr + 1,3 \times Mo + 1,6 \times V \geq 2,2 \%$ et $Al + Ti \geq 3,5 \times N$. Procédé pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid et pièce obtenue.

EP 0 851 038 A1

Description

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

5 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.

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.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid dont la composition chimique comprend, en poids :

25 $0,03 \% \leq C \leq 0,16 \%$

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

30 $0,05 \% \leq Si \leq 0,5 \%$

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

35 $0 \% \leq Mo \leq 0,25 \%$

40 $0,001\% \leq Al \leq 0,05\%$

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

45 $0\% \leq V \leq 0,15\%$

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

50 $0,004 \% \leq N \leq 0,012 \%$

55 $0,001\% \leq S \leq 0,09\%$

- 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,

EP 0 851 038 A1

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

5
$$\text{Mn} + 0,9 \times \text{Cr} + 1,3 \times \text{Mo} + 1,6 \times \text{V} \geq 2,2 \%$$

et

10
$$\text{Al} + \text{Ti} \geq 3,5 \times \text{N}$$

De préférence, la composition chimique de l'acier est telle que :

15
$$0,06\% \leq \text{C} \leq 0,12\%$$

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

20
$$0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

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

25
$$0,07\% \leq \text{Mo} \leq 0,15\%$$

30
$$0,001\% \leq \text{Al} \leq 0,035\%$$

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

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

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

40
$$0,004\% \leq \text{N} \leq 0,01\%$$

45
$$0,001\% \leq \text{S} \leq 0,09\%$$

- 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.

50 Il est préférable que les teneurs en impuretés ou éléments résiduels soient, simultanément ou séparément, telles que :

55
$$\begin{aligned} \text{Ni} &\leq 0,25\% \\ \text{Cu} &\leq 0,25\% \\ \text{P} &\leq 0,02\% \end{aligned}$$

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.

5 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.

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.

L'invention concerne, enfin, une pièce en acier obtenue par mise en forme à froid constituée d'un acier selon l'invention, telle que la striction Z de l'acier soit supérieure à 45 %, de préférence supérieure à 50 %, et la résistance à la traction R_m supérieure à 650 MPa, et même, pour certaines applications, supérieure à 1200 MPa. En général, et c'est souhaitable, la pièce a une structure essentiellement bainitique, c'est à dire, constituée de plus de 50 % de bainite.

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

La composition chimique de l'acier selon l'invention comprend, en % en poids :

- 20 - 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 ;
- 25 - de 0,05 % à 0,5 %, et, de préférence, 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 ;
- 35 - 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 ;
- 40 - 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 ;
- 50

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

Les impuretés sont, notamment:

- 55 - 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.

EP 0 851 038 A1

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

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

5 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.

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 Rm 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.

15 Pour fabriquer une pièce mise en forme à froid, on approvisionne un demi-produit en acier selon l'invention 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.

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

25 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 le lopin avant d'effectuer la trempe puis la mise en forme à froid. Dans les deux cas, l'austénitisation consiste en un chauffage entre AC₃ et 970 °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'écroissage 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.

30 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 AC₃ et 970 °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.

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 écroûtés, 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.

45 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 ≥ 50 %). Ils peuvent être écroûtés ou rasés pour présenter un état de surface exempt de défauts.

L'invention va maintenant être illustrée par des exemples.

50 1 er exemple :

On a élaboré un acier conforme à l'invention dont la composition chimique comprenait en poids :

55 C = 0,065 %
Mn = 1,33 %
Si = 0,34 %
S = 0,003 %
P = 0,014 %

EP 0 851 038 A1

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 :

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

et

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

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 :

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.

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 | |

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.

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% |

EP 0 851 038 A1

(suite)

| 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 (%) |
|----------------------|---|--|--|
| B | 1189 | 67 | 19% |
| C | 1245 | 68 | 13% |

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).

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, 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 :

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)

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

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.

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 %

Mn = 0,75 %

Si = 0,25 %

S = 0,005 %

Cr = 1 %

Mo = 0,02%

Al = 0,02 %

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.

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 |

Au vu des Taux d'Ecrasement Limite il apparaît que l'acier suivant 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

EP 0 851 038 A1

élevée, et ceci quel que soit le niveau de résistance, même si celui-ci est élevé (traitement F).

3) Ronds de 24,8 mm de diamètre :

5 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 :

G : trempe à l'air soufflé

H : : trempe à l'huile

10

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 :

15

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

20

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.

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.

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.

25

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

Rm = 1077 MPa

Z = 73%

30

Ces résultats montrent qu'avec l'acier suivant 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.

35

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%

40

Si = 0,25 %

S = 0,005 %

Ni = 0,25 %

Cr = 1,15 %

Mo = 0,02 %

45

Cu = 0,2 %

Al = 0,02 %

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

50

- 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.

55

EP 0 851 038 A1

2 ème exemple :

On a également fabriqué par frappe à froid des pièces mécanique en utilisant les aciers 1 et 2 conformes à l'invention dont les compositions chimiques étaient en % poids :

| 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 :

Pour l'acier 1 :

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

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

Pour l'acier 2 :

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

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

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'écroutissage par mise en forme à froid.

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'écroutissage, mesurée

EP 0 851 038 A1

par l'augmentation de résistance à la frappe à froid, est importante.

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.

5 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'érouissage 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.

Revendications

15 1. Acier pour la fabrication d'une pièce en acier mise en forme par déformation plastique à froid caractérisé en ce que sa composition chimique comprend, en poids :

20 $0,03 \% \leq C \leq 0,16 \%$

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

25 $0,05 \% \leq Si \leq 0,5 \%$

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

30 $0 \% \leq Mo \leq 0,25 \%$

35 $0,001\% \leq Al \leq 0,05 \%$

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

40 $0\% \leq V \leq 0,15\%$

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

45 $0,004 \% \leq N \leq 0,012 \%$

50 $0,001\% \leq S \leq 0,09 \%$

- 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 :

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

EP 0 851 038 A1

et

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

5

2. Acier selon la revendication 1 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

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

10

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

15

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

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

20

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

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

25

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

30

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

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

35

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

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

40

- 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.

45

3. Acier selon la revendication 2 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

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

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

50

4. Acier selon la revendication 2 ou la revendication 3 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

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

55

5. 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 selon 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

EP 0 851 038 A1

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 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.

5

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

10

- on approvisionne un demi produit en acier selon 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.

15

- 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

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

20

- on approvisionne un demi produit en acier selon 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, .
- et on trempe la pièce après l'avoir réchauffée au dessus du point AC₃, de façon à lui conférer une structure essentiellement bainitique et ses caractéristiques mécaniques finales.

25

8. Pièce en acier mise en forme à froid caractérisée en ce qu'elle est constituée d'un acier selon 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.

30

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.

35

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

11. Produit sidérurgique laminé à chaud caractérisé en ce qu'il est constitué d'un acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 et en ce qu'il a une structure essentiellement bainitique.

40

45

50

55



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 97 40 2978

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | | |
|---|--|---|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendication concernée | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6) |
| A | EP 0 747 496 A (LORRAINE LAMINAGE) 11 décembre 1996 * revendication 1 * --- | 1 | C22C38/14 C22C38/28 C21D8/00 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 647 (C-1283), 8 décembre 1994 -& JP 06 248341 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 6 septembre 1994, * abrégé * --- | 1 | |
| A | EP 0 191 873 A (OVAKO OY) 27 août 1986 * revendication 1 * --- | 1 | |
| A | GB 2 186 594 A (HUNTING OILFIELD SERVICES LTD) 19 août 1987 * revendication 1 * --- | 1 | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 382 (C-1085), 19 juillet 1993 -& JP 05 065540 A (NISSAN MOTOR CO LTD), 19 mars 1993, * abrégé * ----- | 1 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6) |
| | | | C22C C21D |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications | | | |
| Lieu de la recherche | | Date d'achèvement de la recherche | Examineur |
| LA HAYE | | 25 mars 1998 | Gregg, N |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES | | | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire | | T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | |

EPO FORM 1503 03.82 (P/AC02)