



(11) **EP 1 565 587 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
27.01.2010 Bulletin 2010/04

(51) Int Cl.:
C22C 38/12 (2006.01) **C22C 38/14** (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01) **C21D 8/06** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **03796115.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2003/003516

(22) Date de dépôt: **27.11.2003**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2004/050935 (17.06.2004 Gazette 2004/25)

(54) **PIECE MECANIQUE PRETE A L EMPLOI EN ACIER BAS CARBONE POUR D EFORMATION PLASTIQUE ET SON PROCEDE DE FABRICATION**

GEBRAUCHSFERTIGES MECHANISCHES TEIL AUS STAHL MIT NIEDRIGEM
KOHLENSTOFFGEHALT FUR PLASTISCHE VERFORMUNG UND HERSTELLUNGSVERFAHREN
READY-USE LOW-CARBON STEEL MECHANICAL COMPONENT FOR PLASTIC DEFORMATION
AND METHOD FOR MAKING SAME

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **27.11.2002 FR 0214838**

(43) Date de publication de la demande:
24.08.2005 Bulletin 2005/34

(73) Titulaire: **Arcerlormittal Gandrange
57175 Gandrange (FR)**

(72) Inventeurs:
• **RESIAK, Bernard
F-57140 Saulny (FR)**
• **CONFENTE, Mario
F-57050 Plappeville (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger
Cabinet ROVE Conseils
4 Cours de Lattre de Tassigny
BP 50229
57106 Thionville cedex (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A- 0 753 596 GB-A- 2 186 594
US-A- 3 592 633 US-A- 4 521 258
US-A- 5 554 233 US-B1- 6 228 183
US-B1- 6 315 946**

Remarques:
Le dossier contient des informations techniques
présentées postérieurement au dépôt de la demande
et ne figurant pas dans le présent fascicule.

EP 1 565 587 B1

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

Description

[0001] L'invention concerne les pièces mécaniques en acier bas carbone à hautes caractéristiques, comme les rotules de roues de véhicules terrestres, les pivots, axes, triangles de suspension, biellettes, ou autres pièces mécaniques analogues prêtes à l'emploi obtenues par déformation plastique d'un produit sidérurgique long (fil, barre...)

[0002] On sait que les aciers pour déformation plastique doivent présenter des propriétés à la fois de déformabilité et de résistance. Ainsi, lors de la fabrication des pièces mécaniques à laquelle certains d'entre eux sont destinés, il leur faut pouvoir supporter sans rupture des modifications de forme importantes tout en présentant parfois au final de hautes caractéristiques mécaniques. De fait, dans certains cas, les caractéristiques exigées des pièces obtenues à partir de ces aciers sont proches de celles de la classe 10.9 selon la norme ISO 898, à savoir une limite à la rupture minimum de 1000 MPa et une limite élastique minimum de 900 MPa. De plus, ces aciers doivent présenter de bonnes caractéristiques d'usinabilité, car une majorité des applications nécessite un usinage ultime pour mise aux côtes finales.

[0003] On rappelle que les opérations de déformation plastique se font sur des lopins d'acier issus de la découpe de fils ou barres obtenus classiquement par laminage à chaud de demi-produits de coulée continue (billettes ou blooms). En déformation plastique à froid (frappe, forge...), les lopins sont mis en forme à froid à la presse, le cas échéant après un recuit de globulisation, et les pièces obtenues sont ensuite traitées thermiquement par trempe et revenu. Pour la forge à chaud, les lopins sont réchauffés d'abord jusqu'à une température d'environ 1000-1200 °C, mis en forme à chaud et refroidis. Les pièces ainsi obtenues sont ensuite traitées thermiquement par trempe et revenu, la trempe pouvant être faite directement lors du refroidissement après forgeage.

[0004] La réalisation de ces différents traitements thermiques suppose des opérations, certes maîtrisées, mais néanmoins coûteuses, dont les résultats visés ne sont pas toujours atteints et qui, de toute façon, augmentent le temps et le coût de production. Aussi, a-t-on recherché ces dernières années des nuances d'acier permettant de s'en affranchir et d'obtenir des pièces à hautes caractéristiques "prêtes à l'emploi", pouvant être utilisées pour l'application prévue sans avoir à subir un traitement thermique pour modifier leur structure métallurgique après l'opération de déformation plastique.

[0005] Concernant la frappe à froid par exemple, il est déjà connu par exemple de faire appel à des nuances d'acier de structure essentiellement bainitique (i.e. contenant plus de 50 % de bainite), présentant un bon compromis entre déformabilité et caractéristiques mécaniques finales. Toutefois, compte tenu des capacités des moyens de refroidissement dont on dispose généralement sur une ligne de laminage à chaud, ces nuances permettent d'obtenir une structure essentiellement bainitique uniquement sur des fils ou des barres laminés de relativement faible diamètre, dépassant rarement 8 mm en fait. Au-delà, on obtient une bainite dégénérée ou associée à de la ferrite, ce qui conduit à une détérioration marquée des propriétés mécaniques des produits laminés. De plus, la structure n'étant pas bien maîtrisée, il y a un risque de forte dispersion des caractéristiques mécaniques au sein d'une même couronne ou entre plusieurs couronnes de fils bobinés ou entre plusieurs barres ou au sein d'une même barre à l'issue du laminage à chaud.

[0006] Des problèmes similaires sont rencontrés avec les nuances d'acier pour forge à chaud pour lesquelles l'épaisseur de la pièce forgée impose souvent des contraintes de refroidissement sévères pour atteindre la vitesse de refroidissement à cœur nécessaire à l'obtention de la structure bainitique visée dans la masse. De surcroît, la périphérie de la pièce étant inévitablement refroidie beaucoup plus énergiquement que le cœur, il en résulte des tensions internes qui peuvent conduire à des déformations permanentes rédhibitoires.

[0007] On voit donc que l'on recherche classiquement, dans les applications des nuances pour déformation plastique, une structure bainitique qui offre un bon compromis entre déformabilité et caractéristiques mécaniques, en même temps qu'une bonne usinabilité. Dans tous les cas, la réussite de l'obtention de cette structure bainitique est soumise aux contraintes de refroidissement de l'acier à cœur, que ce refroidissement intervienne avant la déformation plastique ou après. Ces contraintes imposées au refroidissement s'avèrent si sévères sur les nuances d'acier actuellement connues et utilisées que cette structure bainitique peut ne pas être obtenue directement dans la chaude de laminage, ni même après l'opération de forgeage, de sorte que de nombreuses pièces mécaniques doivent subir un traitement thermique postérieurement à leur mise en forme.

[0008] US-A-5 554233 concerne la fabrication de barres laminées à chaud et déformables à froid pour obtenir des pièces sans avoir besoin d'un traitement thermique avant ou après la déformation à froid. L'acier utilisé comprend notamment de 0,10% à 0,14% de carbone et de 0,01% à 0,1% de molybdène.

[0009] L'objectif de l'invention est la mise à disposition des transformateurs d'une nuance d'acier bas carbone apte à développer une structure bainitique, ou essentiellement bainitique, avec de faibles contraintes de refroidissement, pour la fabrication de pièces prêtes à l'emploi tant par presse à froid qu'à la forge à chaud.

[0010] Plus précisément, l'invention a pour but le développement d'une nuance d'acier bas carbone spécifique à la fabrication de pièces mécaniques dotées d'une structure bainitique ou essentiellement bainitique pouvant être obtenue déjà avec une faible vitesse de refroidissement à cœur, qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s, et offrant à la fois une bonne aptitude à la déformation et une bonne usinabilité pour la réalisation de ces pièces par déformation à froid ou à chaud, sans traitement thermique postérieur à la mise en forme, ladite nuance présentant des caractéristiques mécaniques élevées permettant auxdites pièces de se situer dans les classes de qualité 8.8 à 12.9 selon la norme ISO 898.

[0011] L'invention a ainsi pour objet une pièce mécanique à hautes caractéristiques en acier bas carbone prête à l'emploi venant de la transformation plastique d'un produit sidérurgique long laminé, selon la revendication 1.

[0012] Dans un premier mode de réalisation préféré, la pièce mécanique en acier déformée à froid définie ci-dessus se **caractérise en ce que** le produit long dont elle est issue par transformation plastique est un fil ou barre laminé traité thermiquement par refroidissement dans la chaude de laminage à une vitesse de refroidissement suffisante pour lui conférer une structure bainitique ou essentiellement bainitique.

[0013] Dans un second mode de réalisation préféré de l'invention, la pièce mécanique en acier forgée à chaud définie ci-dessus se **caractérise en ce que** le produit long dont elle est issue par transformation plastique est une barre ou un fil laminé dont le lopin de forge qui en a été extrait a été traité thermiquement par trempe sous une vitesse de refroidissement suffisante pour lui conférer une structure bainitique jusqu'à coeur, ce depuis une température de trempe de l'ordre de 1200 °C et plus à laquelle le lopin a subi une transformation plastique par forgeage l'amenant à sa forme finale désirée.

[0014] Dans les deux modes de réalisation évoqués ci-dessus le traitement thermique intervenant dans l'élaboration de la pièce mécanique comprend une phase finale de refroidissement à faible vitesse, qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s environ, à coeur.

[0015] On notera que ce refroidissement de la pièce est un refroidissement doux, différent en tous cas d'une opération de refroidissement qui trempait l'acier, laquelle au demeurant serait, dans la pratique normale, suivie d'un revenu.

[0016] Dans une variante, la pièce mécanique est réalisée avec un acier dont la teneur en carbone est comprise entre 0,06 % et 0,10 %.

[0017] Dans une autre variante, la pièce mécanique est réalisée avec acier dont la teneur en molybdène n'excède pas 0,30%, et celle en manganèse est inférieure à 1,80 %.

[0018] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une pièce mécanique à hautes caractéristiques prête à l'emploi en acier bas carbone présentant une résistance à la rupture de plus de 800 MPa, qui comporte les étapes de la revendication 6.

[0019] Comme on l'aura compris, l'invention, dans ses caractéristiques essentielles, consiste en la définition d'une analyse d'acier bas carbone à base de niobium, de bore et de molybdène, qui est spécifique aux pièces mécaniques à hautes caractéristiques et apte à se doter d'une structure bainitique (ou essentiellement bainitique) homogène dans la masse de la pièce avec peu d'exigences quant au refroidissement. Cette structure peut être obtenue en effet déjà à partir d'une faible vitesse de refroidissement à coeur qui peut descendre jusqu'à 1°C/s environ, vitesse qui peut être atteinte, comme on le sait, directement dans la chaude de laminage elle-même pour des fils et barres de diamètre de l'ordre de 20 mm et plus selon les installations.

[0020] Dès lors, l'invention ouvre vers les grands diamètres la gamme de production des produits longs laminés à chaud destinée aux ateliers de frappe ou forge à froid, et, pour ceux réservés à la forge à chaud, elle procure l'économie d'un traitement thermique final supplémentaire de trempe-revenu. Pour mieux fixer les idées, on notera qu'avec les chaudes de laminage habituelles, les diamètres limites se situent autour de 20 à 25 mm pour les nuances selon l'invention.

[0021] Les habitudes de vocabulaire dans la profession sidérurgique font que l'on appelle

- "fils ou petites barres" les produits laminés sous des diamètres allant jusqu'à 30 mm environ (que l'on conditionne souvent d'ailleurs sous forme de couronnes pour livraison aux transformateurs);
- et "barres" ceux laminés à partir de 18 mm de diamètre et qui sont livrés rectilignes après découpe à longueur à la sortie du train.

[0022] Par ailleurs, dans un souci de clarté de l'exposé, l'expression "structure bainitique" désignera une "structure bainitique ou essentiellement bainitique".

[0023] L'invention sera bien comprise et d'autres aspects et avantages apparaîtront plus clairement au vu de la description détaillée qui suit, donnée à titre d'exemple de réalisation.

[0024] On produit à l'aciérie, par coulée continue, des demi-produits longs (billettes ou blooms) issus d'un acier ayant, outre le fer, la composition suivante, en teneur pondérale par rapport au fer :

[0025] De 0,02 à 0,10 %, et de préférence 0,08 %, de carbone. Le carbone à ces teneurs sert à l'obtention d'une structure bainitique ayant les propriétés mécaniques requises. Il permet d'obtenir une bonne aptitude à l'écrouissage lors d'une déformation plastique à froid. Sa basse teneur permet aussi d'éviter la formation de gros carbures défavorables à la ductilité sans qu'il soit nécessaire de réaliser un traitement de globulisation.

[0026] De 0,04 à 0,10 %, et de préférence 0,06 à 0,08 %, de niobium. Le niobium agit en synergie avec le molybdène et le bore pour élargir le domaine de transformation bainitique. Il permet d'accroître l'effet de trempabilité du bore en augmentant la teneur en bore efficace contenue dans l'acier. En effet, la formation des carbures $\text{Fe}_{23}(\text{CB}_6)$ (piégeant le bore et passifs quant à la trempabilité de l'acier) est rendue plus difficile sous l'action du niobium qui stabilise l'austénite et retarde la diffusion du carbone. Par ailleurs, il permet d'augmenter la température de recristallisation de l'austénite ce qui permet d'obtenir une structure bainitique plus fine lors de laminage contrôlé, et ainsi d'augmenter la résilience

des pièces.

[0027] De 0,001 à 0,005 % de bore. Le bore inhibe la germination de la ferrite favorisant ainsi la formation d'une structure bainitique. Il agit en synergie avec le niobium et le molybdène pour élargir le domaine bainitique.

[0028] De 0,10 à 0,35 %, et de préférence moins de 0,30 % de molybdène. Le molybdène est un élément carburigène permettant d'élargir le domaine bainitique en retardant la germination de la ferrite. De plus, à ces teneurs, son action sur la trempabilité de l'acier permet d'obtenir un acier d'une résistance mécanique supérieure par un abaissement de la température de début de transformation bainitique. Il tend à compenser ainsi la faible teneur en carbone nécessaire à l'obtention d'une bonne ductilité. Par ailleurs, il agit en synergie avec le bore et avec le niobium dont il renforce le rôle. De plus, à ces teneurs, il agit en synergie avec le niobium pour augmenter la température de recristallisation de l'austénite.

[0029] De 1,30 à 2,00 %, et de préférence entre 1,60 et 1,80 %, de manganèse. Ce manganèse permet d'obtenir ensuite une trempabilité suffisante, aide à la formation de la bainite et permet d'obtenir les caractéristiques mécaniques souhaitées.

[0030] De 0,10 à 1,30 %, et de préférence de 0,20 à 0,35 %, de silicium. A ces teneurs, il permet d'obtenir un durcissement modéré de l'acier. On peut aller jusqu'à une teneur de 1,30 % si besoin est, en particulier pour augmenter la résistance mécanique de l'acier. Le silicium permet également de désoxyder l'acier lors de la coulée.

[0031] De 0,007 à 0,010 % d'azote, associé avec une teneur en titane de l'ordre de 3,5 fois cette teneur en azote pour faire écran sacrificiel au bénéfice du bore. Le titane sert à fixer l'azote et à protéger ainsi le bore. Sans titane, le bore perdrait son pouvoir trempant en réagissant avec l'azote. Le titane permet également d'obtenir un grain austénitique fin ce qui améliore l'aptitude à la mise en forme à froid et à la ductilité.

[0032] Moins de 0,08 % d'aluminium. Cet aluminium dissous résiduel, venant du calmage de l'acier avant coulée, est un bon désoxydant de protection du titane contre l'oxydation par l'oxygène dissous inévitablement présent, afin que ce titane reste disponible pour protéger le bore contre l'azote. Cet aluminium sert aussi à contrôler le grossissement du grain austénitique lors du laminage à chaud du demi-produit de départ, et ainsi à donner à l'acier de bonnes propriétés de résilience.

[0033] Eventuellement de 0,001 à 0,1 % de soufre. Ce soufre se combine avec le manganèse afin de former des sulfures de manganèse plastiques et ductiles. Il permet d'obtenir une bonne usinabilité. Il est possible, si l'on souhaite améliorer d'avantage l'usinabilité, d'augmenter sa teneur jusqu'à une valeur maximale de 0,1 % mais pas au-delà si l'on veut garantir une bonne aptitude à la déformation à froid.

[0034] Cet acier présente également les inévitables impuretés et éléments résiduels résultant de son élaboration, notamment le phosphore dont la teneur doit rester inférieure à 0,02 % pour garantir une bonne ductilité pendant et après la mise en forme à froid, ainsi que le cuivre et le nickel, dont la teneur doit être inférieure à 0,30 %.

[0035] Cette composition optimisée permet à l'acier d'avoir une très bonne aptitude à la déformation plastique en même temps qu'une bonne usinabilité. En effet, cette nuance favorise non seulement l'obtention de bainite, mais diminue aussi le risque d'obtention de martensite, dont la présence peut constituer un obstacle sérieux à une bonne opération d'usinage.

[0036] La plupart du temps, on pourra d'ailleurs limiter la teneur en molybdène à 0,30 % et la teneur en manganèse à 1,80 % afin d'écartier un risque d'apparition de structure de trempe de type martensitique dans certains cas compte tenu des conditions locales.

[0037] Un aspect essentiel de l'invention est que les pièces mécaniques présentent une structure bainitique homogène dans la masse à faible vitesse de refroidissement à coeur des pièces forgées à chaud, ou des fils ou barres dont elles sont issues par frappe à froid, qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s environ.

[0038] Lorsque, conformément à une mise en oeuvre de l'invention, la pièce mécanique est frappée à froid (ou forgée à froid), la structure bainitique est obtenue avant mise en forme. L'acier, après déformation, présente alors une bonne ductilité, mesurée par une striction largement supérieure à 50 %, une résistance à la traction supérieure à 650 MPa, et une résistance mécanique supérieure à 800 Mpa.

[0039] Dans ce premier mode de réalisation, la pièce est en effet obtenue par déformation plastique à froid de l'acier présentant déjà une structure bainitique. On approvisionne un demi-produit long constitué d'un acier d'analyse conforme à l'invention qu'on lamine à chaud, si besoin après réchauffage au-dessus de 1100 °C, selon la pratique habituelle du laminage à chaud jusqu'à l'obtention d'un fil laminé de 10 mm de diamètre par exemple. La température de dépose du fil est inférieure à 1000 °C. Le fil laminé obtenu est ensuite refroidi à l'air dans la chaude de laminage elle-même de la manière habituelle (procédé "stelmor" par exemple), à une faible vitesse à coeur qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s environ pour obtenir une structure bainitique homogène.

[0040] Le fil laminé est alors livré (ou livrable) au transformateur sous forme de couronne. Le transformateur qui reçoit la couronne débobine le fil, le dresse au besoin, avant de le découper en lopins de longueur voulue. Chaque lopin est ensuite soumis à une opération habituelle de déformation plastique à froid pour l'obtention de la pièce finale prête à l'emploi (rotules, axes, bielles, vis...), après un usinage de mise aux côtes nominales au besoin. Les caractéristiques mécaniques finales seront naturellement obtenues par l'écrouissage résultant de la mise en forme.

[0041] Dans un second mode de réalisation, la pièce est déformée à chaud et la structure bainitique est obtenue après

cette opération de déformation plastique: on approvisionne un demi-produit long constitué d'un acier d'analyse conforme à l'invention qu'on lamine à chaud jusqu'à l'obtention d'une barre laminée de 30 mm de diamètre par exemple. Après refroidissement éventuel, la barre mise à longueur par découpé est livrable rectiligne au forgeron avec sa structure métallographique ordinaire acquise naturellement au cours du laminage à chaud.

[0042] Le forgeron qui la reçoit la débite en lopins et chaque lopin est ensuite porté à une température d'environ 1200 °C avant d'être soumis à une opération de déformation plastique à chaud à la forge. Les pièces sont alors refroidies de la manière habituelle, en deux étapes, avec un premier refroidissement contrôlé jusqu'à une température inférieure à 1000 °C et un second refroidissement à faible vitesse de refroidissement à coeur qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s environ. Dans ce mode de réalisation, les conditions de fin de laminage n'ont pas d'importance particulière sur l'obtention de la structure métallurgique, puisque la bainite, qui donne à la pièce l'essentiel de ses propriétés d'emploi, est atteinte tout à la fin, après la mise en forme à chaud et refroidissement contrôlé.

[0043] On rappelle que les pièces mécaniques selon l'invention, sont obtenues par déformation plastique de produits laminés sans traitement thermique supplémentaire de trempe et revenu.

[0044] Des essais de laboratoire ont été effectués sur une coulée de composition suivante:

% C	% Mn	% Nb	% Cr	% B	% Mo	% Ti	% N ₂	% Si	% S	% Al
0,08	1,6	0,08	0,2	0,003	0,2	0,029	0,006	0,25	0,004	0,028

[0045] Les billettes issues de la coulée ont été laminées à chaud après réchauffage au-dessus de 1100 °C pour former un fil de 12 mm de diamètre. La température de dépose du fil après laminage était de 820 °C. La vitesse de refroidissement du fil dans la chaude de fin de laminage (refroidissement à air soufflé de type "stelmor") a été de l'ordre de 5°C/s. On obtient une structure bainitique homogène sur l'ensemble du fil, en périphérie comme à coeur.

[0046] Les caractéristiques mécaniques du fil sont les suivantes :

R _m (MPa)	R _{p0.2} (MPa)	A (%)	Z (%)
857	683	17,4	71,4

[0047] On rappelle que :

- R_m représente la résistance à la rupture correspondant à la force maximale avant rupture rapportée à la section initiale du fil.
- R_{p0.2} représente la limite d'élasticité conventionnelle correspondant à la force rapportée à la section initiale du fil provoquant un allongement plastique de 0,2 %.
- A représente l'allongement à la rupture.
- Z représente la striction correspondant à la réduction de section du fil après rupture.

[0048] L'évolution des caractéristiques mécaniques en fonction du taux de déformation subi par le fil est la suivante:

Taux de réduction (%)	R _m (MPa)	R _{p0.2} (MPa)	A (%)	Z (%)
20	960	885	13,7	67
35	1030	982	13	65,5
50	1100	1020	11,5	61,5
60	1160	1115	10,8	60,5
75	1265	1220	10,6	57,7

[0049] Les pièces mécaniques à hautes caractéristiques selon l'invention sont remarquables en ce qu'elles permettent en particulier d'économiser les traitements de trempe et revenu mis actuellement en oeuvre lors des opérations de frappe ou à forge à froid ou de forge à chaud.

[0050] D'autre part en imposant des conditions de refroidissement moins drastiques, elles risquent moins de se déformer durant l'opération de refroidissement, ou bien à fluide de refroidissement équivalent elles peuvent présenter des diamètres ou épaisseurs plus importants.

[0051] Elles sont également remarquables par les très bonnes caractéristiques d'usinabilité qu'elles présentent, ce

qui permet dans les applications à froid de diminuer les teneurs en soufre et donc de limiter l'influence néfaste de cet élément dans l'aptitude à la déformabilité.

[0052] Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter aux exemples qui viennent d'être décrits.

[0053] Ainsi, par exemple, dans les applications de forge à chaud, l'homme du métier pourra choisir d'améliorer l'usinabilité en faisant varier la teneur en soufre. De même, bien qu'étant destinée plus particulièrement aux applications de frappe ou forge à froid ou forge à chaud, l'invention s'applique également aux autres applications de déformation plastique telles que le tréfilage, l'étréage, l'estampage, etc...

Revendications

1. Pièce mécanique à hautes caractéristiques en acier bas carbone prête à l'emploi venant de la transformation plastique d'un produit sidérurgique long laminé comportant les caractéristiques suivantes:

- la composition chimique dudit acier, répond à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux par rapport au fer:

$0,02 \% \leq C \leq 0,10 \%$

$0,04 \% \leq Nb \leq 0,10 \%$

$0,001 \% \leq B \leq 0,005 \%$

$0,10 \% \leq Mo \leq 0,35 \%$

$1,3 \% \leq Mn \leq 2,0 \%$

$0,10 \% \leq Si \leq 1,30 \%$

$0,01 \% \leq Al \leq 0,08 \%$

$N \leq 0,015 \%$ avec $Ti \geq 3,5 \times \% N$;

éventuellement de 0,001 à 0,1% de soufre,

reste le fer et les inévitables impuretés résiduelles résultant de l'élaboration de l'acier, dont moins de 0.02% de P et moins de 0.30 % de Cu et de Ni,

- ledit produit long est obtenu à partir d'un demi produit issu de la coulée continue et laminé à chaud dans le domaine austénitique puis traité thermiquement pour obtenir une structure bainitique ou essentiellement bainitique, et mis en forme, soit par transformation plastique à froid après ledit traitement thermique, soit par transformation plastique à chaud pendant ledit traitement thermique, pour lui donner sa forme finale avec une résistance à la rupture supérieure à 800 MPa, sans traitement thermique postérieur à cette mise en forme.

2. Pièce mécanique en acier bas carbone déformée à froid selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** le produit long dont elle est issue par transformation plastique est un fil ou barre laminés traité thermiquement par refroidissement dans la chauffe de laminage à une vitesse de refroidissement suffisante pour lui conférer une structure bainitique ou essentiellement bainitique.

3. Pièce mécanique en acier forgée selon la revendication 1 **caractérisée en ce que** le produit long dont elle est issue par transformation plastique à chaud est une barre ou un fil laminés dont le lopin de forge qui en a été extrait a été traité thermiquement par trempe sous une vitesse de refroidissement suffisante pour lui conférer une structure bainitique jusqu'à coeur, ce depuis une température de trempe de l'ordre de 1200 °C et plus à laquelle le lopin a subi une transformation plastique par forgeage l'amenant à sa forme finale désirée.

4. Pièce mécanique en acier selon la revendication 2 ou 3 **caractérisé en ce que** le traitement thermique intervenant dans son élaboration comprend une phase finale de refroidissement à faible vitesse, qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s à coeur.

5. Pièce mécanique en acier selon l'une des revendications 1 à 4 **caractérisée en ce que** l'acier dont elle est composée a une teneur en molybdène qui n'excède pas 0,30 %, et une teneur en manganèse inférieure à 1,80 %

6. Procédé de fabrication d'une pièce mécanique prête à l'emploi à hautes caractéristiques en acier bas carbone présentant une résistance à la rupture de plus de 800 MPa **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :

- à partir d'un demi-produit long dont la composition, répond à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux par rapport au fer:

0,02 % ≤ C ≤ 0,10%

0,04 % ≤ Nb ≤ 0,10%

0,001 % ≤ B ≤ 0,005%

0,10 % ≤ Mo ≤ 0,35%

1,3% ≤ Mn ≤ 2,0%

0,10% ≤ Si ≤ 1,30%

0,01 % ≤ Al ≤ 0,08%

N ≤ 0,015 % avec Ti ≥ 3,5 x %N,

éventuellement de 0,001 à 0,1% de soufre,

le reste étant le fer et les inévitables impuretés résiduelles résultant de l'élaboration de l'acier, dont moins de 0.02% de P et moins de 0.30 % de Cu et de Ni

on lamine à chaud un produit long (fil ou barre), la température de dépose du produit long en fin de laminage étant inférieure à 1000 °C;

- on traite ensuite thermiquement ledit produit long laminé obtenu, ledit traitement thermique comprenant une phase finale de refroidissement à faible vitesse, qui peut descendre jusqu'à 1 °C/s environ à coeur pour obtenir une structure bainitique, ou essentiellement bainitique, et on déforme plastiquement ledit produit long pour l'amener à sa forme finale désirée, l'opération de déformation plastique étant accomplie soit par transformation plastique à froid après ledit traitement thermique, soit par transformation plastique à chaud pendant ledit traitement thermique, pour lui donner sa forme finale avec une résistance à la rupture supérieure à 800 MPa, sans traitement thermique postérieur à cette mise en forme.

Claims

1. A ready-for-use low-carbon steel mechanical component with elevated characteristics obtained by the plastic transformation a long rolled metallurgical product, comprising the following characteristics:

- the chemical composition of said steel complies with the following analysis, given in percentages by weight in relation to iron:

0.02 % ≤ C ≤ 0.10 %

0.04 % ≤ Nb ≤ 0.10 %

0.001 % ≤ B ≤ 0.005 %

0.10 % ≤ Mo ≤ 0.35 %

1.3 % ≤ Mn ≤ 2.0 %

0.10 % ≤ Si ≤ 1.30 %

0.01 % ≤ Al ≤ 0.08 %

N ≤ 0.015% with Ti ≥ 3.5 x % N;

finally from 0.001 to 0.1 % sulphur,

the remainder iron and the unavoidable residual impurities arising from the processing of steel, of which less than 0.02 % is P and less than 0.30 % is Cu and Ni,

- said long product is obtained from a semi-finished product derived from continuous casting and hot-rolled in the austenitic range, then treated thermally to obtain a bainitic or essentially bainitic structure, and worked, either by cold plastic transformation after said thermal treatment or by hot plastic transformation during said thermal treatment, so as to give it its final shape with an ultimate tensile strength higher than 800 MPa, without thermal treatment subsequent to this working.

2. A low-carbon steel mechanical component deformed by a cold process according to Claim 1, **characterised in that** the long product, from which it is derived by plastic transformation, is a rolled wire or rod treated thermally by cooling during the hot rolling at a cooling rate sufficient to impart a bainitic or essentially bainitic structure thereto.

3. A steel mechanical component forged according to Claim 1, **characterised in that** the long product, from which it is derived by a hot plastic transformation, is a rolled rod or a wire, whose forged billet, which has been extracted therefrom, has been treated thermally by quenching at a cooling rate sufficient to impart thereto a bainitic structure through to the core, this a quenching being from a temperature of the order of 1200°C and above, at which the billet has undergone plastic transformation by forging, bringing it into the desired final shape.

4. A steel mechanical component according to Claim 2 or 3, **characterised in that** the heat treatment used in its manufacture comprises a final slow cooling phase, the rate of which can fall to as low as 1°C/s at the core.

5. A steel mechanical component according to any one of Claims 1 to 4, **characterised in that** the steel from which it is composed has a molybdenum content not exceeding 0.30 % and a manganese content of less than 1.80 %.

6. A process for manufacturing a ready-for-use low-carbon steel mechanical component with elevated characteristics exhibiting an ultimate tensile strength of more than 800 MPa, **characterised in that** it comprises the following steps:

- starting from a long semi-finished product whose composition least complies with the following analysis, given in percentages by weight, in relation to the iron:

$0.02 \% \leq C \leq 0.10 \%$

$0.04 \% \leq Nb \leq 0.10 \%$

$0.001 \% \leq B \leq 0.005 \%$

$0.10 \% \leq Mo \leq 0.35 \%$

$1.3 \% \leq Mn \leq 2.0 \%$

$0.10 \% \leq Si \leq 1.30 \%$

$0.01 \% \leq Al \leq 0.08 \%$

$N \leq 0.015\%$ with $Ti \geq 3.5 \times \% N$;

finally from 0.001 to 0.1 % sulphur,

the remainder being iron and the unavoidable residual impurities arising from the processing of steel, of which less than 0.02 % is P and less than 0.30 % is Cu and Ni,

a long product (wire or rod) is hot-rolled, the settling temperature of the long product after rolling being below 1000°C;

- the resultant rolled long product then undergoes thermal treatment, said thermal treatment comprising a final slow cooling phase, the rate of which can fall to as low as approximately 1°C/s at the core to obtain a bainitic or essentially bainitic structure, said long product being deformed plastically to bring it to its desired final shape, the plastic deformation process being carried out either by cold plastic transformation after said thermal treatment or by hot plastic transformation during said thermal treatment, so as to give it its final shape with an ultimate tensile strength higher than 800 MPa, without thermal treatment subsequent to this working.

Patentansprüche

1. Gebrauchsfertiges mechanisches Stück aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl mit hohen Eigenschaften erhalten durch die plastische Transformation eines gewalzten langen Stahlerzeugnisses aufweisend die folgenden Eigenschaften:

- die chemische Zusammensetzung des Stahls entspricht der folgenden Analyse, gegeben in Gewichts-Prozent basierend auf dem Eisen:

$0,02\% \leq C \leq 0,10\%$

$0,04\% \leq Nb \leq 0,10\%$

$0,001\% \leq B \leq 0,005\%$

$0,10\% \leq Mo \leq 0,35\%$

$1,3\% \leq Mn \leq 2,0\%$

$0,10\% \leq Si \leq 1,30\%$

$0,01\% \leq Al \leq 0,08\%$

$N \leq 0,015\%$ mit $Ti \geq 3,5 \times \% N$;

eventuell von 0,001 bis 0,1% Schwefel,

Rest das Eisen und die unvermeidbaren Rest-Unreinheiten, die aus der Stahl-Bearbeitung resultieren, darunter weniger als 0,02% P und weniger als 0,30% Cu und Ni,

- wobei das lange Erzeugnis aus einem Halbprodukt erhalten wird, das entstanden ist durch stetiges Gießen und Heißwalzen im austenitischen Bereich, anschließend thermisch behandelt wird zum Erhalten einer bainitischen oder im Wesentlichen bainitischen Struktur und in Form gebracht wird, entweder mittels kalter plastischer Umformung nach der thermischen Behandlung oder mittels heißer plastischer Umformung während der ther-

mischen Behandlung, um ihm seine endgültige Form zu geben mit einer Reißfestigkeit von über 800 Mpa, ohne thermische Behandlung nach diesem In-Form-Bringen.

2. Mechanisches Stück aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl, kaltgeformt gemäß Anspruch 1, **dadurch** charakterisiert, dass das lange Erzeugnis, aus dem es durch plastische Umformung entstanden ist, ein gewalzter Draht oder einer gewalzter Stab ist, der thermisch behandelt ist mittels Abkühlen von der Walzhitze mit einer Abkühlgeschwindigkeit, die ausreicht, um ihm eine bainitische oder im Wesentlichen bainitische Struktur zu verleihen.
3. Mechanisches Stück aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl, geschmiedet gemäß Anspruch 1, **dadurch** charakterisiert, dass das lange Erzeugnis, aus dem es durch plastische Umformung entstanden ist, ein gewalzter Draht oder einer gewalzter Stab ist, dessen Schmiederohling, der daraus extrahiert wurde, thermisch behandelt wurde durch Abschrecken mit einer Abkühlrate die ausreicht, um ihm bis zum Kern eine bainitische oder im Wesentlichen bainitische Struktur zu verleihen, ausgehend von einer Abschrecktemperatur von etwa 1200°C und mehr, bei der der Rohling einer plastischen Umformung durch Schmieden ausgesetzt wurde, die ihn in die gewünschte endgültige Form bringt.
4. Mechanisches Stück aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl gemäß Anspruch 2 oder 3, **dadurch** charakterisiert, dass die thermische Behandlung, die sich während seiner Herstellung ereignet, eine letzte Abkühlphase mit geringer Geschwindigkeit, die auf bis zu 1°C/s im Kern heruntergehen kann, aufweist.
5. Mechanisches Stück aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch** charakterisiert, dass der Stahl, aus dem es zusammengesetzt ist, einen Gehalt von Molybdän hat, der 0,30% nicht überschreitet, und einen Gehalt von Mangan unter 1,80% hat.
6. Verfahren zum Herstellen eines gebrauchsfertigen mechanischen Stücks aus Niedrig-Kohlenstoff-Stahl mit hohen Eigenschaften, das eine Reißfestigkeit von über 800 Mpa aufweist, **dadurch** charakterisiert, dass es die folgenden Schritte aufweist:

- ausgehend von einem langen Halbprodukt dessen Zusammensetzung der folgenden Analyse entspricht, gegeben in Gewichts-Prozent basierend auf dem Eisen:

$0,02\% \leq C \leq 0,10\%$
 $0,04\% \leq Nb \leq 0,10\%$
 $0,001\% \leq B \leq 0,005\%$
 $0,10\% \leq Mo \leq 0,35\%$
 $1,3\% \leq Mn \leq 2,0\%$
 $0,10\% \leq Si \leq 1,30\%$
 $0,01\% \leq Al \leq 0,08\%$
 $N \leq 0,015\%$ mit $Ti \geq 3,5 \times \% N$;
 eventuell von 0,001 bis 0,1% Schwefel,

wobei der Rest das Eisen und die unvermeidbaren Rest-Unreinheiten, die aus der Stahl-Bearbeitung resultieren, darunter weniger als 0,02% P und weniger als 0,30% Cu und Ni, ist, man heiß-walzt ein langes Erzeugnis (Draht oder Stab), wobei die Ablagetemperatur des langen Erzeugnisses am Ende des Walzens unter 1000°C ist;

- man behandelt danach das erhaltene lange gewalzte Produkt thermisch, wobei das thermische Behandeln eine letzte Abkühlphase mit geringer Geschwindigkeit, die auf bis zu 1°C/s etwa im Kern heruntergehen kann, aufweist, zum Erhalten einer bainitischen oder im Wesentlichen bainitischen Struktur und man verformt das lange Erzeugnis plastisch, um es in seine endgültige gewünschte Form zu bringen, wobei die plastische Verformung erreicht wird entweder mittels kalter plastischer Umformung nach der thermischen Behandlung oder mittels heißer plastischer Umformung während der thermischen Behandlung, um ihm seine endgültige Form zu geben mit einer Reißfestigkeit von über 800 Mpa, ohne thermische Behandlung nach diesem In-Form-Bringen.

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

- US 5554233 A [0008]