



(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 1 426 452 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
09.06.2004 Bulletin 2004/24

(51) Int Cl.⁷: **C21D 8/00, C21D 1/02,**
C22C 38/04, C22C 38/06,
C22C 38/08, C22C 38/16

(21) Numéro de dépôt: **03292950.7**

(22) Date de dépôt: **27.11.2003**

(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
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK

(30) Priorité: **03.12.2002 FR 0215226**

(71) Demandeur: **Ascometal**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **Dierickx, Pierre**
57100 Thionville (FR)
• **André, Gaelle**
57950 Montigny les Metz (FR)

(74) Mandataire: **Neyret, Daniel et al**
c/o Cabinet Lavoix,
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(54) Pièce en acier bainitique, refroidie et revenue, et son procédé de fabrication

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce en acier, caractérisé en ce que :

- on élabore et on coule un acier de composition, en pourcentages pondéraux, $0,06\% \leq C \leq 0,25\%$; $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$; traces $\leq Si \leq 3\%$; traces $\leq Ni \leq 4,5\%$; traces $\leq Al \leq 3\%$; traces $\leq Cr \leq 1,2\%$; traces $\leq Mo \leq 0,30\%$; traces $\leq V \leq 2\%$; traces $\leq Cu \leq 3,5\%$; et respectant l'une au moins des conditions :

- * $0,5\% \leq Cu \leq 3,5\%$
- * $0,5\% \leq V \leq 2\%$
- * $2\% \leq Ni \leq 4,5\%$ et $1\% \leq Al \leq 2\%$

- le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- on effectue au moins une déformation à chaud de

l'acier coulé pour obtenir une ébauche de la pièce à une température de 1100 à $1300^{\circ}C$;

- on effectue un refroidissement contrôlé de l'ébauche de la pièce à l'air calme ou à l'air pulsé ;
- et on effectue un revenu de précipitation, précédant ou suivant l'usinage de la pièce à partir de ladite ébauche.

L'invention concerne également une pièce ainsi obtenue.

Description

[0001] L'invention concerne la métallurgie, et plus précisément le domaine des aciers destinés à la fabrication des pièces devant résister à d'importantes sollicitations.

5 [0002] Souvent, de telles pièces sont réalisées en un acier trempé et revenu ou, dans la mesure du possible, en acier forgé à structure ferrito-perlitique qui est censé offrir un meilleur compromis technico-économique, mais dont les performances mécaniques sont tout de même limitées.

10 [0003] Des aciers à structure ferrito-perlitique souvent employés à cet effet sont des types XC70, 45Mn5, 30MnSiV6 et 38MnSiV5, et subissent après laminage ou forgeage un simple refroidissement en ligne à l'air calme. Leur méthode de mise en oeuvre est donc relativement économique, mais leur durée de vie en présence de fortes sollicitations est limitée.

15 [0004] On a déjà proposé de réaliser de telles pièces en acier bainitique à partir d'une nuance de type 25MnSiCrVBS, le refroidissement après forgeage ou laminage ayant lieu à l'air. Les performances de tenue sont sensiblement améliorées par rapport aux exemples précédents, mais restent relativement limitées par rapport à ce qu'il est possible d'atteindre sur un acier trempé et revenu.

20 [0005] Le but de l'invention est de proposer une association entre une nuance d'acier et un procédé de fabrication d'une pièce, présentant des avantages économiques par rapport aux associations existantes sans que les performances métallurgiques soient altérées, voire en améliorant ces performances. La pièce ainsi fabriquée devra résister à d'importantes sollicitations en fatigue. Dans le cas des pièces forgées, ce procédé de fabrication devrait, en particulier, être adaptable sur toute ligne de forgeage.

[0006] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'une pièce en acier, caractérisé en ce que :

- on élabore et on coule un acier de composition, en pourcentages pondéraux, $0,06\% \leq C \leq 0,25\%$; $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$; traces $\leq Si \leq 3\%$; traces $\leq Ni \leq 4,5\%$; traces $\leq Al \leq 3\%$; traces $\leq Cr \leq 1,2\%$; traces $\leq Mo \leq 0,30\%$; traces $\leq V \leq 2\%$; traces $\leq Cu \leq 3,5\%$; et respectant l'une au moins des conditions :

- * $0,5\% \leq Cu \leq 3,5\%$
- * $0,5\% \leq V \leq 2\%$
- * $2\% \leq Ni \leq 4,5\%$ et $1\% \leq Al \leq 2\%$

30 30 le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

- on effectue au moins une déformation à chaud de l'acier coulé pour obtenir une ébauche de la pièce à une température de 1100 à 1300°C ;
- on effectue un refroidissement contrôlé de l'ébauche de la pièce à l'air calme ou à l'air pulsé ;
- et on réchauffe l'acier pour effectuer un revenu de précipitation, précédant ou suivant l'usinage de la pièce à partir de ladite ébauche.

[0007] De préférence, l'acier contient de 5 à 50 ppm de B.

[0008] De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,04% de Ti.

40 [0009] Si du B est présent, la teneur en Ti est de préférence égale à au moins 3,5 fois la teneur en N de l'acier.

[0010] De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,06% de Nb.

[0011] De préférence, l'acier contient de 0,005 à 0,2% de S.

[0012] Dans ce cas, de préférence, l'acier contient au moins un des éléments Ca jusqu'à 0,007%, Te jusqu'à 0,03%, Se jusqu'à 0,05%, Bi jusqu'à 0,05% et Pb jusqu'à 0,1%.

45 [0013] Selon une variante de l'invention, la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,06 et 0,20%.

[0014] La teneur en Mn de l'acier est alors de préférence comprise entre 0,5 et 1,5%, et la teneur en Cr est de préférence comprise entre 0,3 et 1,2%.

[0015] La teneur en Ni de l'acier peut être alors de préférence comprise entre des traces et 1%.

50 [0016] La teneur en Ni de l'acier peut alors également être comprise entre 2 et 4,5%, et la teneur en Al est alors comprise entre 1 et 2%.

[0017] Le revenu de précipitation est dans le cas général effectué de préférence entre 425 et 600°C.

[0018] Lorsque l'acier contient 0,5 à 3,5% de Cu, le revenu de précipitation est de préférence effectué entre 425 et 500°C pendant 1 à 10h.

55 [0019] Lorsque l'acier contient 0,5 à 2% de V, le revenu de précipitation est effectué de préférence entre 500 et 600°C pendant plus d'1h.

[0020] Lorsque l'acier contient de 2 à 4,5% de Ni et 1 à 2% d'Al, le revenu de précipitation est effectué de préférence entre 500 et 550°C pendant plus d'1h.

[0021] Ladite déformation à chaud peut être un laminage.

- [0022] Ladite déformation à chaud peut être un forgeage.
- [0023] De préférence, le refroidissement contrôlé de l'ébauche est effectué à une vitesse inférieure à 3°C/s entre 600 et 300°C.
- [0024] L'invention concerne également une pièce en acier obtenue par le procédé précédent qui a typiquement une microstructure bainitique, une résistance à la traction Rm de 750 à 1300MPa et une limite d'élasticité Re supérieure ou égale à 500MPa.
- [0025] Comme on l'aura compris, l'invention consiste en la combinaison d'une nuance d'acier et d'un procédé de traitement suivant la coulée comprenant une étape de mise en forme à chaud de la pièce, un refroidissement contrôlé pouvant être effectué à l'air calme ou à l'air pulsé et un revenu de précipitation précédant ou suivant l'usinage de la pièce. La composition de l'acier choisie garantit que, quel que soit le mode de refroidissement, les résultats de tenue en fatigue des pièces fabriquées à partir de cet acier seront suffisants pour répondre aux exigences des utilisateurs.
- [0026] L'opération de mise en forme à chaud peut consister en un ou des laminages, ou en un laminage suivi d'un forgeage, ou en un forgeage seul. L'essentiel est que la dernière déformation à chaud amène l'acier entre 1100 et 1300°C, et que le refroidissement contrôlé ait lieu à partir de cette température.
- [0027] Les caractéristiques chimiques de l'acier et ses traitements thermiques postérieurs à la coulée visent à l'obtention d'une microstructure bainitique, et également à l'obtention de caractéristiques mécaniques optimisées. Cette microstructure bainitique doit pouvoir être obtenue à la suite d'un refroidissement à l'air calme, mais doit aussi être compatible avec un refroidissement à l'air pulsé. De cette façon, les pièces concernées par l'invention pourront être produites sur toute installation existante, que celle-ci permette après forgeage ou laminage un refroidissement à air pulsé, ou qu'elle ne permette qu'un refroidissement à l'air calme. Ainsi, une installation de forgeage initialement conçue pour traiter des pièces en acier à microstructure ferrito-perlitique pourra sans difficultés, et sans adaptations particulières, traiter des pièces à microstructure bainitique selon l'invention. Les aciers à microstructure bainitique précédemment employés pour ces usages exigeaient un refroidissement à air pulsé, et ne pouvaient donc pas toujours être traités sur des installations de conception courante.
- [0028] Selon l'invention, on commence donc par élaborer un acier dont la composition sera détaillée et justifiée plus loin, puis on le coule, en lingots ou en continu suivant le format de la pièce finale, et le plus généralement on le lamine de manière à obtenir un demi-produit.
- [0029] On peut ensuite effectuer une opération de forgeage du demi-produit.
- [0030] La dernière déformation à chaud est effectuée à 1100-1300°C et est suivie par un refroidissement contrôlé à l'air dans la chaude de laminage ou de forge, à l'air calme ou à l'air pulsé. On obtient ainsi une ébauche de la pièce.
- [0031] Par le terme « ébauche », il doit être compris que l'on désigne ici une barre, ou un demi-produit sous une autre forme, à partir duquel la pièce définitive sera obtenue par usinage, et ceci indépendamment du mode de déformation à chaud pratiqué : laminage, forgeage ou leur combinaison.
- [0032] On effectue ensuite un revenu de précipitation. Celui-ci se situe soit avant, soit après l'usinage de la pièce à partir de ladite ébauche.
- [0033] Les fourchettes analytiques exigées sont les suivantes pour les différents éléments chimiques devant ou pouvant être présents (tous les pourcentages sont pondéraux).
- [0034] La teneur en carbone est comprise entre 0,06 et 0,25%. Cette teneur permet de gouverner le type de microstructure obtenu. A moins de 0,06%, la microstructure obtenue ne serait pas intéressante pour les objectifs visés. Au-delà de 0,25%, en combinaison avec les autres éléments, on n'obtiendrait pas une microstructure suffisamment bainitique après refroidissement à l'air calme.
- [0035] La teneur en manganèse est comprise entre 0,5 et 2%. Cet élément ajouté à plus de 0,5% procure sa trempabilité au matériau, et permet d'obtenir un domaine bainitique large quel que soit le mode de refroidissement. Une teneur supérieure à 2% serait cependant susceptible de provoquer des ségrégations trop importantes.
- [0036] La teneur en silicium est comprise entre des traces et 3%. Cet élément, non obligatoire à proprement parler, est avantageux en ce qu'il durcit la bainite par son passage en solution solide. De plus, au cas où du cuivre serait présent en quantité relativement importante, le silicium permet d'éviter les problèmes associés à cette présence de cuivre lors de la mise en forme à chaud. Une teneur supérieure à 3% peut cependant poser des problèmes d'usinabilité du matériau.
- [0037] La teneur en nickel est comprise entre des traces et 4,5%. Cet élément non obligatoire favorise la trempabilité et la stabilisation de l'austénite. Si la teneur en aluminium le permet, il peut former des précipités de NiAl très durcissants, procurant au métal des caractéristiques mécaniques élevées. Au cas où du cuivre serait présent en quantité relativement importante, le nickel peut jouer le même rôle que le silicium. Au-delà de 4,5%, l'addition de nickel est inutilement coûteuse au vu des objectifs métallurgiques visés.
- [0038] La teneur en aluminium est comprise entre des traces et 3%. Cet élément non obligatoire est un désoxydant fort, et même ajouté à faible teneur, il permet de limiter la quantité d'oxygène dissous dans l'acier liquide, donc d'améliorer la propreté inclusionnaire de la pièce si on a su éviter des réoxydations trop importantes lors de la coulée. A forte teneur, comme on l'a dit, il est susceptible de former des précipités de NiAl si du nickel est présent en grande quantité.

Il n'est pas utile que la teneur en aluminium dépasse 3%.

[0039] La teneur en chrome, élément non obligatoire, est comprise entre des traces et 1,2%. Comme le manganèse, le chrome contribue à l'amélioration de la trempabilité. Son addition devient inutilement coûteuse au-delà de 1,2%.

[0040] La teneur en molybdène est comprise entre des traces et 0,30%. Cet élément, non obligatoire, empêche la formation de ferrite à gros grains et permet d'obtenir plus assurément la structure bainitique. Son addition est inutilement coûteuse au-delà de 0,30%.

[0041] La teneur en vanadium est comprise entre des traces et 2%. Cet élément, non obligatoire, sert à durcir la bainite par son passage en solution solide. A forte teneur, il permet également d'obtenir un durcissement par précipitation de carbures et/ou de carbonitrures. Son addition est inutilement coûteuse au-delà de 2%.

[0042] La teneur en cuivre est comprise entre des traces et 3,5%. Cet élément, non obligatoire, peut améliorer l'usinabilité et, en précipitant, provoquer un durcissement secondaire du matériau. Mais au-delà de 3,5% il rend la mise en forme à chaud de la pièce problématique. Comme on l'a dit, il est conseillé de lui associer une teneur en nickel ou en silicium significative pour minimiser les problèmes de mise en forme à chaud. Au-delà de 3,5% son addition est de toute façon inutilement coûteuse.

[0043] Par ailleurs, il faut que l'une au moins des trois conditions suivantes soit respectée :

- une teneur en cuivre comprise entre 0,5 et 3,5%
- une teneur en vanadium comprise entre 0,5 et 2%
- une teneur en nickel comprise entre 2 et 4,5% et une teneur en aluminium comprise entre 1 et 2%.

[0044] Les éléments que l'on vient de citer sont ceux dont le rôle métallurgique est ou peut être le plus important pour l'invention, mais d'autres éléments que l'on va citer peuvent aussi être optionnellement présents pour améliorer certaines propriétés de l'acier.

[0045] La teneur en bore peut être comprise entre 5 et 50ppm. Il peut améliorer la trempabilité, mais doit être en solution solide pour être efficace. Autrement dit, on doit éviter que tout le bore ou presque ne se retrouve sous la forme de nitrides ou carbonitrures de bore. A cet effet, il est conseillé d'associer à l'addition de bore une addition de titane, de préférence dans une proportion telle que $3,5 \times N\% \leq Ti\%$. A cette dernière condition, on peut capter tout l'azote dissous et éviter la formation de nitrides ou de carbonitrures de bore. La teneur minimale en titane, à cet effet, est de 0,005%, pour les teneurs en azote les plus basses usuellement rencontrées. Il est cependant conseillé de ne pas dépasser une teneur en titane de 0,04%, sinon on obtient des nitrides de titane de taille trop élevée.

[0046] Le titane a également pour fonction de limiter le grossissement du grain austénitique à haute température, et peut, pour cela, être ajouté indépendamment du bore, à une teneur comprise entre 0,005 et 0,04%.

[0047] Du niobium peut également être ajouté, à des teneurs comprises entre 0,005 et 0,06%. Lui aussi peut précipiter sous forme de carbonitrures dans l'austénite, et peut ainsi apporter un durcissement du matériau.

[0048] Enfin, de manière classique, on peut améliorer l'usinabilité du matériau par une addition de soufre (de 0,005% à 0,2%), à laquelle on peut aussi associer une addition de calcium (jusqu'à 0,007%), et/ou de tellure (jusqu'à 0,03%) et/ou de sélénium (jusqu'à 0,05%), et/ou de bismuth (jusqu'à 0,05%) et/ou de plomb (jusqu'à 0,1%).

[0049] Une fois obtenu après laminage le demi-produit ayant la composition précédemment citée, on procède ou non à un forgeage de l'ébauche de la pièce selon les procédés habituels. On la chauffe jusqu'à 1100-1300°C, puis on exécute les déformations donnant naissance à l'ébauche de pièce.

[0050] En l'absence de forgeage, le laminage doit se terminer à une température de 1100-1300°C.

[0051] Puis immédiatement après le laminage, ou après le forgeage si cette opération a été effectuée, on effectue un refroidissement contrôlé de la pièce, soit à l'air calme, soit à l'air pulsé. De manière générale, on impose à la pièce un refroidissement à une vitesse inférieure ou égale à 3°C/s entre 600 et 300°C.

[0052] Selon l'invention, et ce avant ou après l'usinage de la pièce qui lui confère ses dimensions définitives, on procède à un durcissement de l'acier par précipitation au moyen d'un revenu, c'est-à-dire d'un traitement thermique faisant suite à un réchauffage à partir d'une température égale ou de peu supérieure à l'ambiente ; pour cela trois options sont possibles, et peuvent d'ailleurs être combinées :

- la précipitation de cuivre, si la teneur en cuivre est comprise entre 0,5 et 3,5% ;
- la précipitation de vanadium si sa teneur est comprise entre 0,5 et 2% ;
- la précipitation de NiAl si la teneur en nickel est comprise entre 2 et 4,5% et la teneur en aluminium comprise entre 1 et 2%.

[0053] De manière générale, le revenu de précipitation est effectué de préférence entre 425 et 600°C. Mais la température du revenu et sa durée sont optimalement à adapter aux caractéristiques visées. A titre d'exemple, la précipitation du cuivre est obtenue de préférence par un traitement à 425-500°C pendant 1 à 10h. La précipitation de vanadium est de préférence obtenue par un traitement à 500-600°C pendant plus d'1h. La précipitation de NiAl est de

préférence obtenue par un traitement à 500-550°C pendant plus d'1h.

[0054] Ce revenu peut être effectué :

- soit après l'usinage de façon à avoir un métal pas trop dur pendant l'usinage ;
- soit après le refroidissement contrôlé à l'air et avant l'usinage ; on réalise alors l'usinage sur une pièce à hautes caractéristiques mécaniques, ce qui le rend particulièrement précis.

[0055] Grâce à ce revenu, on peut obtenir des caractéristiques mécaniques élevées pour le produit obtenu. Typiquement, la résistance à la traction Rm va de 1000 à 1300 MPa et la limite d'élasticité Re est de l'ordre de 900 MPa ou davantage.

[0056] Optimalement, on limite la teneur en carbone à 0,06-0,2%, de manière à obtenir une bainite de dureté limitée à 300-330 Hv30. Optimalement, la teneur en manganèse doit être comprise entre 0,5 et 1,5%, la teneur en chrome entre 0,3 et 1,2%, et la teneur en nickel peut soit aller jusqu'à 1% si on ne vise qu'une bonne trempabilité, soit aller de 2 à 4% si on recherche une précipitation de NiAl comme on l'a vu. Dans ce dernier cas, la teneur en aluminium est comprise entre 1 et 2%.

[0057] Pour ces aciers, les caractéristiques de traction (limite d'élasticité, résistance) du produit obtenu après laminage ou forgeage et refroidissement à l'air contrôlé ne sont pas particulièrement élevées : typiquement la résistance à la traction Rm est de l'ordre de 750-1050 MPa et la limite d'élasticité Re de l'ordre de 500 à 750MPa. Mais ces aciers présentent une bonne usinabilité.

[0058] A titre d'exemples de mise en oeuvre de l'invention et d'exemple comparatif, on peut citer les essais suivants,

Exemple 1 (invention)

[0059] Cet exemple est représentatif de la variante de l'invention pour laquelle on peut utiliser une teneur en carbone relativement basse, et où on réalise le durcissement par précipitation grâce à une addition de cuivre.

[0060] La composition de l'acier est la suivante, exprimée en 10⁻³% pondéraux :

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	B	N
80	1500	300	85	10	1500	2500	280	50	25	-	-	6

[0061] Après forgeage à chaud à une température de 1250-1200°C et refroidissement à l'air calme (vitesse de refroidissement moyenne de 1°C/s entre 700 et 300°C) une microstructure bainitique est obtenue avec une dureté modérée de 265Hv30, procurant une résistance inférieure à 900 MPa. Avec ce niveau de caractéristiques mécaniques, l'usinabilité ne pose pas de problèmes. Ensuite, un revenu à 450°C, avec une durée de maintien d'une heure, permet d'augmenter les caractéristiques de résistance pour atteindre plus de 340Hv30 de dureté, procurant une résistance de 1100MPa.

Exemple 2 (invention)

[0062] Cet exemple est représentatif de la variante de l'invention pour laquelle on peut utiliser une teneur en carbone relativement basse, et où on réalise le durcissement par précipitation grâce à une addition de vanadium.

[0063] La composition de l'acier est la suivante, exprimée en 10⁻³% pondéraux :

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	V
150	1230	250	80	20	150	200	205	50	30	-	820

[0064] Après forgeage à chaud à une température de 1250-1200°C et refroidissement à l'air calme (en moyenne 1°C/s entre 700 et 300°C) d'une pièce de forge de diamètre équivalent à 15mm, une microstructure majoritairement bainitique est obtenue avec déjà une dureté importante de 300-320Hv30, procurant une résistance de 1000MPa environ, qui est actuellement la limite haute permettant encore une usinabilité correcte sur des moyens d'usinage classiques. Après un revenu de 2h à 580°C, le durcissement par le vanadium permet d'atteindre une dureté de l'ordre de 400Hv30, correspondant à une résistance supérieure à 1200MPa.

Exemple 3 (invention)

[0065] Cet exemple est représentatif de la variante de l'invention pour laquelle on peut utiliser une teneur en carbone

relativement basse, et où on réalise le durcissement par précipitation grâce à des additions conjuguées de nickel et d'aluminium.

[0066] La composition de l'acier est la suivante, donnée en 10⁻³% pondéraux :

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	B	N
95	1150	200	80	10	3000	206	220	60	1500 -		3	3

[0067] Après forgeage à chaud à une température de 1250-1200°C et refroidissement à l'air calme (vitesse de refroidissement moyenne de 1°C/s entre 700 et 300°C) une microstructure bainitique est obtenue avec une dureté modérée de 240Hv30, procurant une résistance inférieure à 800 MPa. Avec ce niveau de caractéristiques mécaniques, l'usinabilité ne pose pas de problèmes. Ensuite, un revenu à 520°C, avec une durée de maintien de 10 heures, permet d'augmenter les caractéristiques de résistance pour atteindre plus de 370Hv30 de dureté, procurant une résistance de l'ordre de 1200MPa.

Exemple 4 (référence)

[0068] La composition de l'acier est la suivante, donnée en 10⁻³% pondéraux :

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	V	B
230	1500	700	80	11	150	150	800	70	20	25	190	3

[0069] Après forgeage à chaud à 1250 - 1200°C et refroidissement à l'air calme d'une pièce de diamètre équivalent à 25 mm, une microstructure majoritairement bainitique est obtenue avec une dureté voisine de 320 Hv30, procurant une résistance de 1050Mpa environ. Un revenu d'une heure entre 300 et 450°C ne permet pas d'augmenter significativement la résistance.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une pièce en acier, **caractérisé en ce que** :

- on élabore et on coule un acier de composition, en pourcentages. pondéraux, $0,06\% \leq C \leq 0,25\%$; $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$; traces $\leq Si \leq 3\%$; traces $\leq Ni \leq 4,5\%$; traces $\leq Al \leq 3\%$; traces $\leq Cr \leq 1,2\%$; traces $\leq Mo \leq 0,30\%$; traces $\leq V \leq 2\%$; traces $\leq Cu \leq 3,5\%$; et respectant l'une au moins des conditions :

- * $0,5\% \leq Cu \leq 3,5\%$
- * $0,5\% \leq V \leq 2\%$
- * $2\% \leq Ni \leq 4,5\%$ et $1\% \leq Al \leq 2\%$

- le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- on effectue au moins une déformation à chaud de l'acier coulé pour obtenir une ébauche de la pièce à une température de 1100 à 1300°C ;
- on effectue un refroidissement contrôlé de l'ébauche de la pièce à l'air calme ou à l'air pulsé ;
- et on réchauffe l'acier pour effectuer un revenu de précipitation, précédant ou suivant l'usinage de la pièce à partir de ladite ébauche.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'acier contient de 5 à 50 ppm de B.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'acier contient de 0,005 à 0,04% de Ti.

4. Procédé selon les revendications 2 et 3 prises ensemble, **caractérisé en ce que** la teneur en Ti est égale à au moins 3,5 fois la teneur en N de l'acier.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'acier contient de 0,005 à 0,06% de Nb.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'acier contient de 0,005 à 0,2% de S.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'acier contient au moins un des éléments Ca jusqu'à 0,007%, Te jusqu'à 0,03%, Se jusqu'à 0,05%, Bi jusqu'à 0,05% et Pb jusqu'à 0,1%.
- 5 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la teneur en C de l'acier est comprise entre 0,06 et 0,20%.
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** la teneur en Mn de l'acier est comprise entre 0,5 et 1,5%, et **en ce que** la teneur en Cr est comprise entre 0,3 et 1,2%.
- 10 10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** la teneur en Ni de l'acier est comprise entre des traces et 1%.
11. Procédé selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** la teneur en Ni de l'acier est comprise entre 2 et 4,5%, et **en ce que** la teneur en Al est comprise entre 1 et 2%.
- 15 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** le revenu de précipitation est effectué entre 425 et 600°C.
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'acier contient 0,5 à 3,5% de Cu et **en ce que** le revenu de précipitation est effectué entre 425 et 500°C pendant 1 à 10h.
- 20 14. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'acier contient 0,5 à 2% de V et **en ce que** le revenu de précipitation est effectué entre 500 et 600°C pendant plus d'1 h.
- 25 15. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'acier contient de 2 à 4,5% de Ni et 1 à 2% d'Al et **en ce que** le revenu de précipitation est effectué entre 500 et 550°C pendant plus d'1 h.
16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** ladite déformation à chaud est un laminage.
- 30 17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** ladite déformation à chaud est un forgeage.
18. Procédé selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** le refroidissement contrôlé de l'ébauche est effectué avec une vitesse inférieure ou égale à 3°C/s entre 600 et 300°C.
- 35 19. Pièce en acier, **caractérisée en ce qu'elle** a été obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 17.
20. Pièce en acier selon la revendication 18, **caractérisée en ce qu'elle** possède une microstructure bainitique, une résistance à la traction Rm de 750 à 1300MPa et une limite d'élasticité Re supérieure ou égale à 500MPa.

40

45

50

55



Office européen
des brevets

**RAPPORT PARTIEL
DE RECHERCHE EUROPEENNE**

qui selon la règle 45 de la Convention sur le brevet européen est considéré, aux fins de la procédure ultérieure, comme le rapport de la recherche européenne

Numéro de la demande
EP 03 29 2950

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.7)		
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 09, 31 juillet 1998 (1998-07-31) & JP 10 102184 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 21 avril 1998 (1998-04-21) * abrégé * * page 5; exemple 9; tableau 1 * -& DATABASE WPI Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1998-292509 XP002241702 -& JP 10 102184 A (SUMITOMO METAL IND LTD) 21 avril 1998 (1998-04-21) * abrégé * -----	1-20	C21D8/00 C21D1/02 C22C38/04 C22C38/06 C22C38/08 C22C38/16		
X	EP 1 072 689 A (USINOR) 31 janvier 2001 (2001-01-31) * revendications 1,5 *	19			
A	EP 0 775 756 A (ASCOMETAL SA) 28 mai 1997 (1997-05-28) * le document en entier *	1-20 ----- -/--	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) C21D C22C		
RECHERCHE INCOMPLETE					
La division de la recherche estime que la présente demande de brevet, ou une ou plusieurs revendications, ne sont pas conformes aux dispositions de la CBE au point qu'une recherche significative sur l'état de la technique ne peut être effectuée, ou seulement partiellement, au regard de ces revendications.					
Revendications ayant fait l'objet d'une recherche complète:					
Revendications ayant fait l'objet d'une recherche incomplète:					
Revendications n'ayant pas fait l'objet d'une recherche:					
Raison pour la limitation de la recherche: voir feuille supplémentaire C					
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur			
Munich	16 mars 2004	Patton, G			
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					



Office européen
des brevets

**RECHERCHE INCOMPLETE
FEUILLE SUPPLEMENTAIRE C**

Numéro de la demande
EP 03 29 2950

Revendications ayant fait l'objet de recherches complètes:
1-18, 20

Revendications ayant fait l'objet de recherches incomplètes:
19

Raison pour la limitation de la recherche:

La revendication 19 est rédigée sous la forme d'une revendication de "produit-par-procédé". Cependant, les caractéristiques du procédé ne limitent pas l'étendue de la protection de la revendication de produit, à moins que des caractéristiques non ambiguës soient induites sur ledit produit, ce qui n'est pas le cas ici.

La présente revendication 18 a donc trait à une très grande variété de produits puisque seulement la composition, qui est en elle-même connue (cf par exemple revendications 1 et 5 du document EP-A-1 072 689), est définie.

Par conséquent, la revendication 19 contient tant d'options, de variables, de permutations possibles que la phase initiale de la recherche a mis en évidence un très grand nombre de documents pertinents quant à la question de nouveauté. Tant de documents ont été trouvés qu'il est impossible de déterminer quelles parties de la revendication peuvent être considérées comme définissant la matière pour laquelle une protection pourrait être légitimement revendiquée.

Pour ces raisons, une recherche significative sur toute l'étendue de la revendication 19 est impossible. Par conséquent, la recherche a été limitée au procédé d'obtention du produit, c'est-à-dire les revendications 1-18, et à un produit laminé de microstructure bainitique présentant la composition de la revendication 1 et les caractéristiques de la revendication 20.



Office européen
des brevets

**RAPPORT PARTIEL
DE RECHERCHE EUROPEENNE**

Numéro de la demande
EP 03 29 2950

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	EP 1 143 019 A (NIPPON KOKAN KK) 10 octobre 2001 (2001-10-10) * le document en entier * -----	1-20	
A	EP 1 143 022 A (NIPPON KOKAN KK) 10 octobre 2001 (2001-10-10) * le document en entier * -----	1-20	
A	FR 2 774 098 A (ASCOMETAL SA) 30 juillet 1999 (1999-07-30) * le document en entier * -----	1-20	
A	US 6 306 527 B1 (SHINDO YOSUKE ET AL) 23 octobre 2001 (2001-10-23) * le document en entier * -----	1-20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
A	US 5 762 725 A (BELLUS JACQUES ET AL) 9 juin 1998 (1998-06-09) * le document en entier * -----	1-20	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 03 29 2950

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

16-03-2004

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
JP 10102184	A	21-04-1998	AUCUN		
EP 1072689	A	31-01-2001	FR 2796966 A1 BR 0003612 A CA 2314830 A1 EP 1072689 A1 JP 2001073040 A US 6328826 B1	02-02-2001 13-03-2001 30-01-2001 31-01-2001 21-03-2001 11-12-2001	
EP 0775756	A	28-05-1997	FR 2741632 A1 AT 211183 T BR 9605711 A CA 2190341 A1 DE 69618151 D1 DE 69618151 T2 DE 775756 T1 EP 0775756 A1 ES 2170216 T3 JP 9143620 A NO 965005 A PL 317222 A1 US 5762725 A	30-05-1997 15-01-2002 18-08-1998 28-05-1997 31-01-2002 14-08-2002 22-07-1999 28-05-1997 01-08-2002 03-06-1997 28-05-1997 09-06-1997 09-06-1998	
EP 1143019	A	10-10-2001	JP 2001247918 A JP 2001303129 A JP 2002069534 A EP 1143019 A1 US 2003196731 A1 US 2001050119 A1 WO 0123624 A1	14-09-2001 31-10-2001 08-03-2002 10-10-2001 23-10-2003 13-12-2001 05-04-2001	
EP 1143022	A	10-10-2001	JP 2001152255 A JP 2002030347 A JP 2002080935 A EP 1143022 A1 US 2002000266 A1 WO 0120051 A1	05-06-2001 31-01-2002 22-03-2002 10-10-2001 03-01-2002 22-03-2001	
FR 2774098	A	30-07-1999	FR 2774098 A1 AT 204924 T BR 9907926 A CZ 20002768 A3 DE 69900247 D1 DE 69900247 T2 DK 1051531 T3 EP 1051531 A1	30-07-1999 15-09-2001 28-11-2000 16-01-2002 04-10-2001 18-04-2002 07-01-2002 15-11-2000	

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 03 29 2950

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

16-03-2004

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
FR 2774098	A	ES	2162514	T3	16-12-2001
		WO	9939018	A1	05-08-1999
		JP	2002501985	T	22-01-2002
		PL	342058	A1	21-05-2001
		PT	1051531	T	28-02-2002
		SI	20334	A	28-02-2001
		TR	200002200	T2	21-11-2000
US 6306527	B1	23-10-2001	JP	2001207237	A
US 5762725	A	09-06-1998	FR	2741632	A1
			AT	211183	T
			BR	9605711	A
			CA	2190341	A1
			DE	69618151	D1
			DE	69618151	T2
			DE	775756	T1
			EP	0775756	A1
			ES	2170216	T3
			JP	9143620	A
			NO	965005	A
			PL	317222	A1