



(11) **EP 1 966 407 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
07.10.2009 Bulletin 2009/41

(51) Int Cl.:
C22C 38/18 (2006.01) **C22C 38/20** (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01) **C22C 38/28** (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01) **C21D 9/02** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06841905.0**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2006/002700

(22) Date de dépôt: **11.12.2006**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/080256 (19.07.2007 Gazette 2007/29)

(54) **ACIER A RESSORTS, ET PROCEDE DE FABRICATION D'UN RESSORT UTILISANT CET ACIER, ET RESSORT REALISE EN UN TEL ACIER.**

FEDERSTAHL, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER FEDER AUS DIESEM STAHL UND EINE FEDER AUS DIESEM STAHL

SPRING STEEL, METHOD FOR PRODUCING A SPRING USING SAID STEEL AND A SPRING MADE FROM SUCH STEEL

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK RS

• **LANGUILLAUME, Jacques**
F-73110 Arvillard (FR)

(74) Mandataire: **Blot, Philippe Robert Emile**
Cabinet Lavoix
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(30) Priorité: **15.12.2005 FR 0512775**

(43) Date de publication de la demande:
10.09.2008 Bulletin 2008/37

(56) Documents cités:
EP-A- 0 943 697 **FR-A- 2 740 476**

(73) Titulaire: **ASCOMETAL**
92400 Courbevoie (FR)

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 1998, no. 04, 31 mars 1998 (1998-03-31) -& JP 09 324219 A (KOBE STEEL LTD), 16 décembre 1997 (1997-12-16)
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 1998, no. 10, 31 août 1998 (1998-08-31) -& JP 10 121201 A (KOBE STEEL LTD), 12 mai 1998 (1998-05-12)
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 1999, no. 02, 26 février 1999 (1999-02-26) -& JP 10 299803 A (KOBE STEEL LTD), 13 novembre 1998 (1998-11-13)

(72) Inventeurs:

- **YOSHIHARA, Nao**
Hyogo, 655-0016 (JP)
- **KAWATA, Kazuhisa**
Hyogo, 662-0826 (JP)
- **MOUGIN, Julie**
F-38530 Pontcharra (FR)

EP 1 966 407 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 la sidérurgie et, plus précisément, le domaine des aciers à ressorts.

[0002] De manière générale, avec l'accroissement des sollicitations en fatigue appliquées aux ressorts, la dureté et la résistance à la traction exigées pour les ressorts s'accroît continuellement. En conséquence, la sensibilité à la rupture initiée sur des défauts, tels que des inclusions ou des défauts de surface générés pendant la fabrication des ressorts, augmente, et la résistance à la fatigue tend à devenir limitée. D'autre part, les ressorts utilisés dans un environnement fortement corrosif, tels que les ressorts de suspension, doivent présenter des propriétés en fatigue sous corrosion au moins équivalentes et même supérieures puisqu'ils utilisent des aciers présentant une dureté et une résistance à la traction supérieures. Ainsi, de tels ressorts tendent à se rompre au niveau de défauts, immédiatement pendant des cycles de fatigue à l'air, et plus tardivement pendant des cycles de fatigue dans un milieu corrosif. En particulier, pour la fatigue sous corrosion, des défauts peuvent s'initier sur des piqûres de corrosion. De plus, avec l'augmentation des contraintes appliquées, il est plus difficile d'améliorer la durée de vie en fatigue sous corrosion ou de la maintenir à un niveau équivalent, compte tenu du fait que les effets de la concentration de contraintes sur les piqûres de corrosion, sur les défauts de surface des ressorts éventuellement générés lors du bobinage du ressort ou d'autres étapes de sa fabrication, ou sur les inclusions non métalliques, deviennent plus critiques lorsque la dureté du ressort augmente.

[0003] Selon l'état de l'art connu, les documents FR-A-2 740 476 et JP-A-3 474 373 (EP 0943697 A1) décrivent une nuance d'acier à ressorts présentant une bonne résistance à la fragilisation par l'hydrogène et une bonne résistance à la fatigue, dans lequel les inclusions de carbonitrosulfures comportant au moins un élément parmi le titane, le niobium, le zirconium, le tantale ou le hafnium, sont contrôlées de manière à avoir une taille moyenne réduite, inférieure à 5 µm en diamètre, et à être très nombreuses (10 000 ou davantage sur une section de coupe).

[0004] De plus, JP 09324219 A divulgue une nuance d'acier à ressorts contenant Cr, Ni, V, Cu, Ti et Nb présentant une résistance à la fragilisation par l'hydrogène, une résistance supérieure 2000 MPa ainsi qu'une dureté supérieure à 50 HRC.

[0005] Cependant, ce type d'aciers conduit, après une trempe et un revenu selon le procédé industriel de fabrication des ressorts, à un niveau de dureté de seulement 50HRC ou un peu plus, correspondant à une résistance à la traction de 1700MPa ou un peu plus, mais guère supérieure à 1900MPa, correspondant à une dureté de 53,5HRC. A cause de ce niveau de dureté modéré, cet acier ne présente qu'une résistance à l'avachissement modérée, un acier présentant une résistance à la traction plus élevée étant nécessaire pour améliorer la résistance à l'avachissement. Ainsi, un tel acier n'assure pas un excellent compromis entre une résistance élevée, qui serait supérieure à 2100MPa, une dureté qui serait supérieure à 55HRC, une résistance à la fatigue élevée dans l'air et une résistance à la fatigue sous corrosion au moins équivalente, et même supérieure, à ce qui est nécessaire pour des ressorts.

[0006] Le but de l'invention est de proposer des moyens pour réaliser simultanément, par rapport aux aciers à ressorts connus, une augmentation de la dureté et de la résistance à la traction des ressorts, des propriétés de fatigue supérieures dans l'air, des propriétés en fatigue sous corrosion au moins équivalentes et même supérieures, une résistance à l'avachissement du ressort supérieure et une moindre sensibilité aux défauts de surface qui peuvent être générés pendant le torsadage du ressort.

[0007] A cet effet l'invention a pour objet un acier à ressorts à tenue en fatigue élevée à l'air et sous corrosion et à haute résistance à l'avachissement cyclique, de composition, en pourcentages pondéraux :

C = 0,45 - 0,70%

Si = 1,65-2,50%

Mn = 0,20-0,75%

Cr = 0,60 - 2%

Ni = 0,15-1%

Mo = traces -1%

V = 0,003-0,8%

Cu = 0,10 - 1%

Ti = 0,020 - 0,2%

Nb = traces - 0,2%

Al = 0,002 - 0,050%

P = traces - 0,015%

S = traces - 0,015%

O = traces - 0,0020%

N = 0,0020 - 0,0110%

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, et dont la teneur en carbone équivalent C_{eq} , calculée selon la formule

$$Ceq\% = [C\%] + 0,12 [Si\%] + 0,17 [Mn\%] - 0,1 [Ni\%] + 0,13[Cr\%] - 0,24 [V\%]$$

est comprise entre 0,80 et 1,00%, et dont la dureté, après trempe et revenu, est supérieure ou égale à 55HRC.

[0008] La taille maximale des nitrures ou carbonitrures de Ti observés à $1,5 \pm 0,5$ mm de la surface d'une barre, ou d'un fil machine, d'un lopin ou d'un ressort sur 100mm^2 de la surface de coupe est de préférence inférieure ou égale à $20\mu\text{m}$, ladite taille étant la racine carrée de la surface des inclusions considérées comme des carrés.

[0009] De préférence, la composition de l'acier est :

C = 0,45 - 0,65%

Si = 1,65 - 2,20%

Mn = 0,20 - 0,65%

Cr = 0,80 - 1,7%

Ni = 0,15 - 0,80%

Mo = traces - 0,80%

V = 0,003 - 0,5%

Cu = 0,10 - 0,90%

Ti = 0,020 - 0,15%

Nb = traces - 0,15%

Al = 0,002 - 0,050%

P = traces - 0,010%

S = traces - 0,010%

O = traces - 0,0020%

N = 0,0020 - 0,0110%

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

[0010] L'invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'un acier à ressorts à tenue en fatigue élevée à l'air et sous corrosion et à haute résistance à l'avachissement cyclique, selon lequel on élabore un acier liquide dans un convertisseur ou un four électrique, on ajuste sa composition, on le coule sous forme de blooms ou de billettes de coulée continue ou de lingots que l'on laisse refroidir à la température ambiante, on le lamine sous forme de barres, de fils machines ou de lopins et on le transforme en ressorts, caractérisé en ce que :

- l'acier est du type précédent ;
- on impose aux blooms, billettes ou lingots pendant ou après leur solidification, une vitesse de refroidissement moyenne minimale de $0,3^\circ\text{C/s}$ entre 1450 et 1300°C ;
- on lamine lesdits blooms, billettes ou lingots entre 1200 et 800°C en un ou deux cycles de réchauffage et laminage ;
- et on réalise sur les barres, les fils machines ou les lopins, ou sur les ressorts qui en sont issus, une austénitisation entre 850 et 1000°C , suivie par une trempe à l'eau, une trempe polymère ou une trempe à l'huile, et par un revenu à 300 - 550°C , de manière à conférer à l'acier une dureté supérieure ou égale à 55HRC.

[0011] L'invention a également pour objet des ressorts réalisés en un tel acier, et des ressorts en un acier obtenu par le procédé précédent.

[0012] De manière inattendue, les inventeurs se sont aperçus qu'un acier présentant les caractéristiques de composition et de morphologie inclusionnaires précitées permettait d'assurer, après élaboration, coulée, laminage, trempe et revenu réalisés dans des conditions spécifiques, une dureté supérieure à 55HRC, tout en réalisant un excellent compromis entre une longue durée de vie en fatigue dans l'air et en fatigue sous corrosion, une résistance à l'avachissement cyclique élevée et une faible sensibilité aux défauts de surface survenant lors de la fabrication du ressort.

[0013] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée en référence aux figures annexées suivantes :

- la figure 1 qui montre les résultats d'essais de dureté et d'avachissement cyclique pour des aciers selon l'invention et des aciers de référence ;
- la figure 2 qui montre les résultats d'essais de fatigue dans l'air en fonction de la dureté de l'acier, pour des aciers selon l'invention et des aciers de référence ;
- la figure 3 qui montre les résultats d'essais de résilience Charpy en fonction de la dureté de l'acier, pour des aciers

selon l'invention et des aciers de référence ;

- la figure 4 qui montre les résultats d'essais de fatigue sous corrosion en fonction de la dureté de l'acier pour des aciers selon l'invention et des aciers de référence.

[0014] La composition de l'acier selon l'invention doit répondre aux exigences suivantes.

[0015] La teneur en carbone doit être comprise entre 0,45 et 0,7%. Le carbone permet, après la trempe et le revenu, d'augmenter la résistance à la traction et la dureté de l'acier. Si la teneur en carbone est inférieure à 0,45%, dans la gamme de température habituellement utilisée pour la fabrication des ressorts, aucun traitement de trempe et de revenu ne conduit à une haute résistance et à une haute dureté de l'acier décrit dans l'invention. D'autre part, si la teneur en carbone excède 0,7% voire 0,65%, des carbures grossiers et très durs, combinés à du chrome, du molybdène et du vanadium, peuvent rester à l'état non dissout pendant l'austénitisation exécutée avant la trempe, et peuvent significativement affecter la durée de vie en fatigue dans l'air, la résistance à la fatigue sous corrosion et également la ténacité. En conséquence des teneurs en carbone au dessus de 0,7% sont à exclure. De préférence, elles ne doivent pas dépasser 0,65%.

[0016] La teneur en silicium est comprise entre 1,65 et 2,5%. Le silicium est un élément important permettant d'assurer, grâce à sa présence en solution solide, de hauts niveaux de résistance et de dureté, ainsi que des valeurs de carbone équivalent C_{eq} et de résistance à l'avachissement élevées. Pour obtenir les valeurs de résistance à la traction et de dureté de l'acier selon l'invention, la teneur en silicium ne doit pas être inférieure à 1,65%. De plus, le silicium contribue au moins partiellement à la désoxydation de l'acier. Si sa teneur excède 2,5%, voire 2,2%, la teneur en oxygène de l'acier peut être, par réaction thermodynamique, supérieure à 0,0020 ou même 0,0025%. Cela traduit la formation d'oxydes de diverses compositions qui sont dommageables à la résistance à la fatigue dans l'air. De plus, pour des teneurs en silicium supérieures à 2,5%, des ségrégations de différents éléments combinés tels que le manganèse, le chrome ou autres, peuvent survenir pendant la solidification, après la coulée. Ces ségrégations sont très dommageables au comportement en fatigue dans l'air et à la résistance à la fatigue sous corrosion. Enfin, pour une teneur en silicium supérieure à 2,5%, la décarburation à la surface des barres ou des fils destinés à former les ressorts devient trop importante pour les propriétés en service du ressort. C'est pourquoi la teneur en silicium ne doit pas excéder 2,5%, et de préférence 2,2%.

[0017] La teneur en manganèse est comprise entre 0,20 et 0,75%. Le manganèse, en combinaison avec le soufre résiduel compris entre des traces et 0,015%, doit être ajouté à une teneur au moins supérieure à dix fois la teneur en soufre de manière à éviter la formation de sulfures de fer extrêmement dommageables à la laminabilité de l'acier. En conséquence, une teneur minimale en manganèse de 0,20% est nécessaire. De plus, le manganèse contribue au durcissement en solution solide pendant la trempe de l'acier, au même titre que le nickel, le chrome, le molybdène et le vanadium, ce qui permet d'obtenir les valeurs de résistance à la traction et de dureté élevées et les valeurs de carbone équivalent C_{eq} de l'acier selon l'invention. Pour des teneurs en manganèse supérieures à 0,75% voire 0,65%, des ségrégations, en combinaison avec le silicium, peuvent survenir pendant la phase de solidification suivant l'élaboration et la coulée de l'acier. Ces ségrégations sont dommageables aux propriétés en service de l'acier et à l'homogénéité de l'acier. C'est pourquoi la teneur en manganèse de l'acier ne doit pas excéder 0,75%, ou mieux 0,65%.

[0018] La teneur en chrome doit être comprise entre 0,60 et 2%, et de préférence entre 0,80 et 1,70%. Le chrome est ajouté pour obtenir, en solution solide après austénitisation, trempe et revenu, des valeurs élevées de résistance à la traction et de dureté, et pour contribuer à l'obtention de la valeur du carbone équivalent C_{eq} , mais aussi pour accroître la résistance à la fatigue sous corrosion. Pour assurer ces propriétés, la teneur en chrome doit être d'au moins 0,60%, et de préférence d'au moins 0,80%. Au dessus de 2%, voire de 1,7%, des carbures de chrome particuliers, grossiers et très durs, en combinaison avec du vanadium et du molybdène, peuvent subsister après le traitement d'austénitisation exécuté avant la trempe. De tels carbures affectent grandement la résistance à la fatigue dans l'air. C'est pourquoi la teneur en chrome ne doit pas excéder 2%.

[0019] La teneur en nickel est comprise entre 0,15 et 1 %. Le nickel est ajouté de manière à accroître la trempabilité de l'acier, ainsi que la résistance à la traction et la dureté après trempe et revenu. Comme il ne forme pas de carbures, le nickel contribue au durcissement de l'acier, tout comme le chrome, le molybdène et le vanadium, sans formation de carbures particuliers grossiers et durs qui ne seraient pas dissous pendant l'austénitisation exécutée avant la trempe et pourraient être dommageables à la résistance à la fatigue dans l'air. Il permet également d'ajuster le carbone équivalent entre 0,8 et 1 % dans l'acier selon l'invention comme cela est nécessaire. En tant qu'élément non oxydable, le nickel améliore la résistance à la fatigue sous corrosion. Pour s'assurer que ces effets soient significatifs, la teneur en nickel ne doit pas être inférieure à 0,15%. Au contraire, au dessus de 1% voire 0,80%, le nickel peut conduire à une teneur en austénite résiduelle trop élevée, dont la présence est très dommageable à la résistance à la fatigue sous corrosion. De plus, des teneurs élevées en nickel augmentent significativement le coût de l'acier. Pour toutes ces raisons, la teneur en nickel ne doit pas dépasser 1 %, mieux 0,80%.

[0020] La teneur en molybdène doit être comprise entre des traces et 1 %. Comme le chrome, le molybdène accroît la trempabilité de l'acier, de même que sa résistance. De plus il a un faible potentiel d'oxydation. Pour ces deux raisons,

le molybdène est favorable à la tenue en fatigue dans l'air et sous corrosion. Mais pour des teneurs supérieures à 1%, voire 0,80%, des carbures de molybdène grossiers et très durs peuvent subsister, éventuellement combinés à du vanadium et à du chrome, après l'austénitisation précédant la trempe. Ces carbures particuliers sont très dommageables pour la tenue en fatigue dans l'air. Enfin, une addition de molybdène dépassant 1 % accroît inutilement le coût de l'acier.

C'est pourquoi la teneur en molybdène ne doit pas dépasser 1 %, mieux 0,80%.

[0021] La teneur en vanadium doit être comprise entre 0,003 et 0,8%. Le vanadium est un élément qui permet d'augmenter la trempabilité, la résistance à la traction et la dureté après trempe et revenu. De plus, en combinaison avec l'azote, le vanadium permet de former un grand nombre de fins nitrures de vanadium ou de vanadium et de titane submicroscopiques permettant d'affiner le grain et d'augmenter les niveaux de résistance à la traction et de dureté, grâce à un durcissement structurel. Pour obtenir la formation de nitrures submicroscopiques de V et de Ti pour l'affinement du grain, le vanadium doit être présent avec une teneur minimale de 0,003 %. Mais cet élément est coûteux et on doit le maintenir proche de cette limite inférieure si un compromis entre le coût de l'élaboration et l'affinage du grain est recherché. Le vanadium ne doit pas dépasser 0,8% et, de préférence, 0,5%, car au-delà de cette valeur, une précipitation de carbures contenant du vanadiums grossiers et très durs, combinés avec du chrome et du molybdène, peut rester à l'état non dissout pendant l'austénitisation qui a lieu avant la trempe. Cela peut être très défavorable à la tenue en fatigue à l'air, pour les hautes valeurs de résistance et de dureté de l'acier selon l'invention. Et une addition de vanadium au-delà de 0,8% augmente inutilement le coût de l'acier.

[0022] La teneur en cuivre doit être comprise entre 0,10 et 1 %. Le cuivre est un élément qui durcit l'acier lorsqu'il est en solution solide après le traitement de trempe et de revenu. Ainsi, il peut être ajouté avec d'autres éléments contribuant à accroître la résistance et la dureté de l'acier. Comme il ne se combine pas avec le carbone, il procure un durcissement de l'acier sans formation de carbures durs et grossiers dommageables à la résistance à la fatigue dans l'air. Du point de vue électrochimique, son potentiel de passivation est plus élevé que celui du fer et, en conséquence, il est favorable à la résistance à la fatigue sous corrosion de l'acier. Pour s'assurer que ses effets sont significatifs, la teneur en cuivre ne doit pas être inférieure à 0,10%. Au contraire, pour des teneurs supérieures à 1% voire 0,90%, le cuivre a une influence très dommageable sur le comportement au laminage à chaud. C'est pourquoi les teneurs en cuivre ne doivent pas excéder 1%, mieux 0,90%.

[0023] La teneur en titane doit être comprise entre 0,020 et 0,2%. Le titane est ajouté pour former, en combinaison avec l'azote, voire aussi le carbone et/ou le vanadium, de fins nitrures ou carbonitrures submicroscopiques permettant d'affiner le grain austénitique pendant le traitement d'austénitisation qui a lieu avant la trempe. Ainsi, il augmente la surface des joints de grains dans l'acier, conduisant ainsi à une réduction de la quantité d'impuretés inévitables ségréguées aux joints de grains, tel que le phosphore. De telles ségrégations intergranulaires seraient très dommageables à la ténacité et à la résistance à la fatigue dans l'air si elles sont présentes à des concentrations par unité de surface élevées au niveau des joints de grains. De plus, combiné au carbone et à l'azote, voire avec le vanadium et le niobium, le titane conduit à la formation d'autres nitrures ou carbonitrures fins produisant un effet de piégeage irréversible de certains éléments, tels que l'hydrogène formé pendant les réactions de corrosion, et qui peuvent être extrêmement dommageables à la résistance à la fatigue sous corrosion. Pour une bonne efficacité, la teneur en titane ne doit pas être inférieure à 0,020%. Au contraire, au dessus de 0,2% voire 0,15%, le titane peut conduire à la formation de nitrures ou de carbonitrures grossiers et durs, très dommageables à la résistance à la fatigue dans l'air. Ce dernier effet est encore plus dommageable pour les hauts niveaux de résistance à la traction et de dureté de l'acier selon l'invention. Pour ces raisons la teneur en titane ne doit pas excéder 0,2%, mieux 0,15%.

[0024] La teneur en niobium doit être comprise entre des traces et 0,2%. Le niobium est ajouté pour former, en combinaison avec le carbone et l'azote, des précipités submicroscopiques extrêmement fins de nitrures et/ou de carbures et/ou de carbonitrures qui permettent, en particulier lorsque la teneur en aluminium est basse (0,002% par exemple), d'achever l'affinement du grain austénitique pendant le traitement d'austénitisation exécuté avant la trempe. Ainsi, le niobium augmente la surface des joints de grains dans l'acier, et contribue au même effet favorable que le titane en ce qui concerne la fragilisation des joints de grains par des impuretés inévitables telles que le phosphore, dont l'effet est très dommageable à la ténacité et à la résistance à la fatigue sous corrosion. De plus, des précipités extrêmement fins de nitrures ou carbonitrures de niobium contribuent au durcissement de l'acier par durcissement structurel. Cependant, la teneur en niobium ne doit pas excéder 0,2% voire 0,15%, de sorte que les nitrures ou les carbonitrures demeurent très fins, pour assurer l'affinement du grain austénitique et éviter la formation de fissures ou de crevasses lors du laminage à chaud. Pour ces raisons, la teneur en niobium ne doit pas excéder 0,2%, mieux 0,15%.

[0025] La teneur en aluminium doit être comprise entre 0,002 et 0,050%. L'aluminium peut être ajouté pour parachever la désoxydation de l'acier et obtenir des teneurs en oxygène aussi basses que possible, et en tout cas inférieures à 0,0020% dans l'acier selon l'invention. De plus, combiné avec l'azote, l'aluminium contribue à l'affinement du grain par la formation de nitrures submicroscopiques. Pour assurer ces deux fonctions, une teneur en aluminium qui n'est pas inférieure à 0,002% est exigée. Au contraire, une teneur en aluminium excédant 0,05% peut conduire à la présence de grosses inclusions isolées ou à des aluminates plus fins, mais durs et anguleux, sous forme de longs chapelets, dommageables à la durée de vie en fatigue dans l'air et à la propreté de l'acier. C'est pourquoi la teneur en aluminium ne

doit pas excéder 0,05%.

[0026] La teneur en phosphore doit être comprise entre des traces et 0,015%. Le phosphore est une impureté inévitable dans l'acier. Pendant un traitement de trempe et de revenu, il co-ségrège avec des éléments tels que le chrome ou le manganèse aux anciens joints de grains austénitiques. Il en résulte une réduction de la cohésion des joints de grains et une fragilisation intergranulaire très dommageable à la ténacité et à la résistance à la fatigue dans l'air. Ces effets sont même encore plus dommageables pour les hautes résistances à la traction et dureté exigées pour les aciers selon l'invention. Dans le but d'obtenir simultanément une haute résistance à la traction et une haute dureté de l'acier à ressorts et une bonne résistance à la fatigue dans l'air et à la fatigue sous corrosion, la teneur en phosphore doit être aussi basse que possible et ne doit pas excéder 0,015%, de préférence 0,010%.

[0027] La teneur en soufre est comprise entre des traces et 0,015%. Le soufre est une impureté inévitable dans les aciers. Sa teneur doit être aussi basse que possible, entre des traces et 0,015%, et de préférence au maximum de 0,010%. On veut ainsi éviter la présence de sulfures défavorables à la résistance à la fatigue sous corrosion et à la résistance à la fatigue dans l'air, pour les hautes valeurs de résistance et de dureté de l'acier selon l'invention.

[0028] La teneur en oxygène doit être comprise entre des traces et 0,0020%. L'oxygène est aussi une impureté inévitable dans les aciers. Combiné avec des éléments désoxydants, l'oxygène peut conduire à l'apparition d'inclusions grossières, isolées, très dures et anguleuses, ou à des inclusions plus fines mais sous forme de longs chapelets qui sont très dommageables à la résistance à la fatigue dans l'air. Ces effets sont encore plus dommageables aux valeurs élevées de résistance à la traction et de dureté des aciers selon l'invention. Pour ces raisons, afin d'assurer un bon compromis entre de hautes résistance à la traction et dureté et de hautes résistances à la fatigue dans l'air et à la fatigue sous corrosion pour l'acier selon l'invention, la teneur en oxygène ne doit pas excéder 0,0020%.

[0029] La teneur en azote doit être comprise entre 0,0020 et 0,0110%. L'azote doit être contrôlé dans cette gamme de manière à former, en combinaison avec le titane, le niobium, l'aluminium ou le vanadium de très fins nitrures, carbures ou carbonitrures submicroscopiques en nombre suffisant, permettant un affinage du grain. Ainsi, à cet effet, la teneur minimale en azote doit être de 0,0020%. Sa teneur ne doit pas excéder 0,0110% de manière à éviter la formation de nitrures ou carbonitrures de titane grossiers et durs plus grands que 20 µm, observés à 1,5mm ± 0,5mm de la surface des barres ou des fils machines utilisés pour la fabrication des ressorts. Cet emplacement est le lieu qui est le plus critique en ce qui concerne la sollicitation en fatigue des ressorts. De fait, de tels nitrures ou carbonitrures de grande taille sont très défavorables à la résistance à la fatigue dans l'air pour les valeurs élevées de résistance et de dureté des aciers selon l'invention, compte tenu du fait que pendant les essais de fatigue dans l'air, la rupture des ressorts survient à l'emplacement de telles grosses inclusions précisément situées au voisinage de la surface des ressorts comme mentionné, lorsque ces inclusions sont présentes.

[0030] Pour estimer la taille des nitrures et carbonitrures de titane, on considère les inclusions comme des carrés et on pose que leur taille est égale à la racine carrée de leur surface.

[0031] On va à présent décrire un procédé de fabrication de ressorts selon l'invention.

[0032] Un exemple non limitatif de procédé d'élaboration d'un acier conforme à l'invention est le suivant. L'acier liquide est produit soit dans un convertisseur, soit dans un four électrique, puis subit un traitement de métallurgie en poche pendant lequel les additions d'éléments d'alliage et la désoxydation sont exécutés, et en général toutes les opérations de métallurgie secondaire permettant d'obtenir un acier ayant la composition selon l'invention et évitant la formation de sulfure complexes ou de « carbonitrosulfures » d'éléments tels que le titane et/ou le niobium et/ou le vanadium. Pour éviter la formation de tels précipités grossiers pendant l'élaboration, les inventeurs ont découvert, de manière inattendue, que les teneurs des différents éléments, en particulier celles du titane, de l'azote, du vanadium et du soufre, doivent être soigneusement contrôlées dans les limites précitées. Après l'élaboration qui vient d'être décrite, l'acier est ensuite coulé, soit par coulée continue sous forme de blooms ou de billettes, soit sous forme de lingots. Mais pour éviter complètement ou autant que possible la formation de nitrures ou carbonitrures de titane grossiers pendant et après la solidification de ces produits, on a trouvé que la vitesse de refroidissement moyenne de ces produits (blooms, billettes ou lingots) doit être réglée de manière à être égale à 0,3°C/s ou davantage entre 1450 et 1300°C. Quant on opère dans ces conditions pendant l'étape de solidification et de refroidissement, on observe de manière inattendue que la taille des plus gros nitrures ou carbonitrures de Ti observés sur les ressorts est toujours inférieure à 20 µm. On parlera plus loin de la situation et de la taille de ces précipités de titane.

[0033] Après leur passage à la température ambiante, les produits ayant la composition précise selon l'invention (blooms, billettes ou lingots) sont ensuite réchauffés et laminés entre 1200 et 800°C sous forme de fils machine, ou de barres en une séquence unique ou double de chauffage et de laminage. De manière à obtenir les propriétés de l'acier spécifiques de l'invention, les barres, les fils, les lopins, ou même les ressorts produits à partir de ces barres ou fils machines, sont ensuite soumis à un traitement de trempe à l'eau, de trempe polymère ou de trempe à l'huile après une austénitisation dans une gamme de températures de 850 à 1000°C, de manière à obtenir un grain austénitique fin tel qu'il n'y ait pas de grains plus grossiers que 9 sur l'échelle ASTM de taille du grain. Ce traitement de trempe est ensuite suivi par un traitement de revenu exécuté spécifiquement entre 300 et 550°C, permettant d'obtenir les hauts niveaux de la résistance à la traction et de la dureté de l'acier exigés, et d'éviter d'une part une microstructure qui conduirait à

une fragilité au revenu, et d'autre part une présence trop élevée d'austénite résiduelle. On a trouvé qu'une fragilisation au revenu et une présence trop forte d'austénite résiduelle sont extrêmement dommageables à la résistance à la fatigue sous corrosion de l'acier selon l'invention. Dans le cas où les ressorts sont fabriqués à partir de barres non traitées thermiquement ou à partir de fils machines ou de lopins issus de telles barres, les traitements susmentionnés (trempe et revenu) doivent être exécutés sur les ressorts eux-mêmes dans les conditions qui ont été dites. Dans le cas où les ressorts sont fabriqués par formage à froid, ces traitements thermiques peuvent être conduits sur les barres, ou sur les fils machines ou les lopins issus de ces barres avant la fabrication du ressort.

[0034] Il est bien connu que la dureté d'un acier dépend non seulement de sa composition, mais aussi de la température du revenu auquel il a été soumis. Il doit être entendu que pour toutes les compositions de l'invention, il est possible de trouver des températures de revenu dans la gamme industrielle de 300-550°C permettant d'obtenir la dureté minimale de 55HRC visée.

[0035] Les nitrures et carbonitrures étant très durs, leur taille telle que définie précédemment n'évolue pratiquement pas lors des étapes de la transformation de l'acier. Il est donc sans importance qu'elle soit mesurée sur le demi-produit (barre, fil machine ou lopin) qui va servir à fabriquer le ressort ou sur le ressort lui-même.

[0036] L'invention permet d'obtenir des aciers à ressorts capables de concilier une dureté et une résistance à la traction élevées et améliorées par rapport à l'art antérieur, en même temps que des propriétés en fatigue dans l'air et une résistance à l'avachissement améliorées, des propriétés en fatigue sous corrosion au moins équivalentes à celles des aciers connus pour cet usage, voire même meilleures, et une moindre sensibilité aux concentrations de contraintes produites par les défauts de surface pouvant survenir lors de la fabrication du ressort, grâce à une addition d'éléments de microalliage, une diminution des éléments résiduels et un contrôle de l'analyse et de la filière de production de l'acier.

[0037] L'invention va à présent être illustrée au moyen d'exemples et d'exemples de référence. Le tableau 1 montre les compositions d'acier selon l'invention et d'aciers de référence. Le carbone équivalent C_{eq} est donné par la formule suivante :

$$C_{eq} = [C] + 0,12 [Si] + 0,17 [Mn] - 0,1 [Ni] + 0,13[Cr] - 0,24 [V]$$

où [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr] et [V] représentent la teneur de chaque élément en pourcentages pondéraux.

	C	Si	Mn	Ni	Cr	V	Ti	Cu	Mo	Nb	P	S	Al	N	O	Ceq
Acier de l'invention 1	0.48	1.82	0.21	0.15	1.48	0.204	0.072	0.20	0.02	0	0.006	0.006	0.034	0.0051	0.0007	0.86
Acier de l'invention 2	0.58	1.79	0.22	0.15	0.98	0.216	0.073	0.20	0.03	0	0.006	0.008	0.032	0.0051	0.0007	0.89
Acier de l'invention 3	0.59	1.80	0.22	0.15	0.99	0.212	0.025	0.20	0.03	0.022	0.007	0.008	0.032	0.0066	0.0008	0.91
Acier de l'invention 4	0.48	2.10	0.21	0.70	1.50	0.152	0.069	0.51	0.03	0	0.005	0.005	0.032	0.0042	0.0008	0.85
Acier de l'invention 5	0.54	1.81	0.23	0.34	1.25	0.098	0.077	0.42	0.02	0	0.006	0.008	0.031	0.0041	0.0007	0.90
Acier de référence 1	0.60	1.73	0.88	0.08	0.20	0.154	0.002	0.19	0.03	0.020	0.010	0.019	0.002	0.0084	0.0010	0.94
Acier de référence 2	0.40	1.79	0.17	0.53	1.04	0.166	0.064	0.20	0.01	0	0.013	0.004	0.020	0.0034	0.0011	0.69
Acierde référence 3	0.48	1.45	0.89	0.11	0.47	0.136	0.002	0.19	0.02	0	0.011	0.013	0.003	0.0062	0.0010	0.82

[0038] Le tableau 2 montre les valeurs de dureté obtenues pour des aciers selon l'invention et des aciers de référence, en fonction de la température de revenu qui leur a été appliquée.

Tableau 2 : Dureté et résistance à la traction en fonction de la température de revenu.

	Température de revenu (°C)	Dureté HRC	Température de revenu (°C)	Dureté HRC
Acier de l'invention 1	350	56.9	400	55.3
Acier de l'invention 2	350	58.5	400	57.1
Acier de l'invention 3	350	59.0	400	57.2
Acier de l'invention 4	350	56.7	400	55.6
Acier de l'invention 5	350	57.6	400	55.8
Acier de référence 1	350	57.9	400	55.1
Acier de référence 2	350	54.2	400	52.5
Acier de référence 3	350	54.8	400	51.3

[0039] Le tableau 3 montre la taille maximale des inclusions de nitrures ou carbonitrures de titane observées à 1,5mm de la surface d'aciers selon l'invention et d'aciers de référence, tel que définis précédemment. On a également reporté les teneurs en titane des divers aciers.

[0040] La taille maximale des inclusions de nitrures ou carbonitrures de titane est déterminée comme suit. Sur une section de barre ou de fil machine provenant d'une coulée d'acier donnée, une surface de 100mm² est examinée à un emplacement situé à 1,5mm $\pm$ 0,5mm sous la surface de la barre ou du fil machine. Après ces observations, la taille de l'inclusion de nitrure ou carbonitrure de titane ayant la plus grande surface est déterminée en considérant que les inclusions sont des carrés et que la taille de chacune de ces inclusions, y compris l'inclusion ayant la plus grande surface, est égale à la racine carrée de cette surface. Toutes les inclusions sont observées sur une coupe de barre ou de fil machine pour ressorts, les observations étant exécutées sur 100mm² de cette section. La coulée d'acier est conforme à l'invention lorsque la taille maximale des inclusions susmentionnées observées sur 100mm² à 1,5mm $\pm$ 0,5mm sous la surface est inférieure à 20 μ m. Les résultats correspondants obtenus sur des aciers selon l'invention et des aciers de référence sont donnés dans le tableau 3.

[0041] En ce qui concerne les essais de référence 1 et 3, leur teneur en titane est pratiquement nulle et la taille des nitrures et carbonitrures observés est sans objet.

Tableau 3 : Tailles maximales des plus grosses inclusions de nitrures ou carbonitrures de titane trouvées à 1,5mm de la surface des échantillons.

	Ti (%)	Taille du plus gros nitrure/ carbonitrure observé sur 100 mm ² (μ m)
Acier de l'invention 1	0.072	11.8
Acier de l'invention 2	0.073	12.4
Acier de l'invention 3	0.025	13
Acier de l'invention 4	0.069	11.9
Acier de l'invention 5	0.077	14.1
Acier de référence 1	0.002	-
Acier de référence 2 (examen 1)	0.064	20.8
Acier de référence 2 (examen 2)	0,064	29
Acier de référence 3	0.002	-

[0042] On n'a pas mesuré la taille des inclusions des aciers de référence 1 et 3, comme leur teneur en Ti était faible et non-conforme à l'invention : le résultat aurait été sans signification.

[0043] Des échantillons pour essais de fatigue ont été prélevés dans des barres, le diamètre final des échantillons

EP 1 966 407 B1

d'éprouvettes étant de 11 mm. La préparation des échantillons d'essais de fatigue comporte un usinage grossier, une austénitisation, une trempe à l'huile, un revenu, un meulage et un grenaillage.. Ces échantillons ont été testés en fatigue-torsion dans l'air. La contrainte de cisaillement appliquée était de 856 ± 494 MPa et le nombre de cycles jusqu'à la rupture a été compté. Les essais ont été arrêtés après 2.10^6 cycles si les échantillons n'étaient pas rompus.

[0044] Les échantillons pour essai de fatigue sous corrosion ont été prélevés dans des barres, le diamètre final des éprouvettes étant de 11 mm. La préparation des échantillons pour essais de fatigue comporte un usinage grossier, une austénitisation, une trempe à l'huile, un revenu, un meulage et un grenaillage. Ces échantillons ont été testés en fatigue sous corrosion, c'est-à-dire qu'une corrosion a été appliquée en même temps qu'une charge en fatigue. La charge en fatigue est une contrainte de cisaillement égale à 856 ± 300 MPa. La corrosion appliquée était une corrosion cyclique en deux étapes alternées :

- une étape étant une étape humide avec la pulvérisation d'une solution saline contenant 5% de NaCl pendant 5 minutes à 35°C ;
- une étape étant une étape à sec sans pulvérisation, de durée 30 minutes à une température maintenue à 35°C.

[0045] Le nombre de cycles jusqu'à la rupture a été considéré comme la durée de vie en fatigue sous corrosion.

[0046] La résistance à l'avachissement a été déterminée en utilisant un essai de compression cyclique sur des échantillons cylindriques. Le diamètre des échantillons était de 7mm et leur hauteur de 12mm. Ils ont été prélevés dans les barres d'acier.

[0047] La fabrication des échantillons d'essais d'avachissement comportait un usinage grossier, une austénitisation, une trempe à l'huile, un revenu et un meulage fin final. La hauteur de l'échantillon a été mesuré précisément avant le début du test en utilisant un comparateur d'une précision de 1 μ m. Une précharge a été appliquée de manière à simuler le prétensionnement des ressorts, ce prétensionnement étant une contrainte de compression de 2200MPa.

[0048] Puis le cycle de charge en fatigue a été appliqué. Cette contrainte était de 1270 ± 730 MPa. La perte de hauteur de l'échantillon a été mesurée pendant l'exécution d'un certain nombre de cycles, jusqu'à 1 million. A la fin de l'essai, l'avachissement total a été déterminé par une mesure précise de la hauteur subsistante comparée à la hauteur initiale, la résistance à l'avachissement étant d'autant meilleure que la diminution de hauteur, en pourcentage de la hauteur initiale, était plus faible.

[0049] Les résultats des essais de fatigue, de fatigue sous corrosion et d'avachissement sur les aciers de l'invention et les aciers de référence sont donnés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats d'essais en fatigue, fatigue sous corrosion et avachissement.

	Dureté HRC	Résistance à la traction (MPa)	Durée de vie en fatigue (nombre de cycles)	Durée de vie en fatigue sous corrosion (nombre de cycles)	Avachissement (%)
Acier de l'invention 1	56.7	2129	1742967	192034	0.025
Acier de l'invention 2	56.4	2106	> 2000000	138112	0.01
Acier de l'invention 3	56.5	2118	> 2000000	135562	0.015
Acier de l'invention 4	56.9	2148	> 2000000	202327	0,025
Acier de l'invention 5	57.0	2156	> 2000000	139809	0,025
Acier de référence 1	56.7	2131	514200	96672	0.03
Acier de référence 2	53.8	1898	217815	241011	0.10
Acier de référence 3	55.6	2062	301524	150875	0.075

[0050] De ces tableaux, il ressort que les différents aciers de référence sont insatisfaisants, notamment pour les raisons qui suivent.

[0051] L'acier de référence 1 a, notamment, une teneur en soufre trop élevée pour réaliser un bon compromis entre la tenue en fatigue dans l'air et la teneur en fatigue sous corrosion. De plus, sa teneur en manganèse est trop élevée, ce qui entraîne des ségrégations dommageables pour l'homogénéité de l'acier et la tenue en fatigue dans l'air.

[0052] L'acier de référence 2 a une teneur en carbone et un carbone équivalent trop bas pour assurer une dureté élevée. Sa résistance à la traction est trop basse pour une bonne tenue à la fatigue dans l'air.

[0053] L'acier de référence 3 a, notamment, une teneur en silicium trop basse pour assurer une bonne résistance à l'avachissement, et aussi une bonne tenue à la fatigue dans l'air.

[0054] La résistance à l'avachissement est plus élevée pour les aciers de l'invention que pour les aciers de référence, comme le montre la figure 1, où il est clair que, selon les mesures d'avachissement susmentionnées, les valeurs d'avachissement sont d'au moins 32% inférieures pour le pire cas des aciers de l'invention (acier de l'invention 1) par rapport au meilleur cas des aciers de référence (acier de référence 1).

[0055] La durée de vie en fatigue dans l'air est nettement plus élevée pour les aciers de l'invention par rapport aux aciers de référence. Cela est dû à l'augmentation de la dureté, comme le montre la figure 2. Mais une augmentation de la dureté n'est pas suffisante. En fait, de façon générale, des aciers de dureté élevée sont d'autant plus sensibles aux défauts, tels que les inclusions et les défauts de surface, que la dureté est plus élevée. Ainsi, les aciers selon l'invention sont moins sensibles aux défauts, en particulier aux grosses inclusions telles que les nitrures ou carbonitrures de titane, compte tenu de ce que l'invention évite l'apparition de telles inclusions de trop grande taille. Comme le montre le tableau 3, les plus grosses inclusions trouvées dans les aciers selon l'invention n'excèdent pas la taille de 14,1 µm, alors que des inclusions plus grosses que 20 µm se trouvent dans l'acier de référence 2. De plus, la moindre sensibilité aux défauts de surface tels que ceux pouvant survenir lors de la fabrication du ressort ou d'autres opérations lorsqu'on utilise des aciers de l'invention peut être illustrée par des essais de résilience exécutés sur les aciers de l'invention et les aciers de référence ayant subi un traitement thermique et ayant des duretés de 55HRC ou davantage, voir la figure 3. Les valeurs mesurées lors d'essais de résilience Charpy sur les aciers de l'invention (où l'entaille de l'éprouvette simule une concentration de contraintes comme d'autres concentrations de contraintes que l'on peut rencontrer sur des défauts de surface produits lors de la fabrication du ressort ou d'autres opérations) sont plus élevées que celles mesurées sur les aciers de référence. Cela montre que les aciers selon l'invention sont moins sensibles aux concentrations de contraintes sur les défauts que les aciers de référence selon l'art antérieur.

[0056] On sait qu'une augmentation de la dureté réduit la résistance à la fatigue sous corrosion. Ainsi, il apparaît que les aciers selon l'invention ont l'avantage que leur résistance à la fatigue sous corrosion est plus élevée que celle des aciers de référence selon l'art antérieur, et en particulier pour des duretés supérieures à 55HRC comme le montre la figure 4.

[0057] Ainsi, l'invention permet d'obtenir une dureté plus élevée avec un bon compromis entre la durée de vie en fatigue dans l'air et une résistance à l'avachissement qui sont fortement accrues, et une durée de vie en fatigue sous corrosion qui est meilleure que celle des aciers de référence selon l'art antérieur. De plus, une moindre sensibilité à de possibles défauts de surface, en particulier ceux générés pendant la fabrication du ressort ou d'autres opérations, est aussi obtenue.

Revendications

1. Acier à ressorts à tenue en fatigue élevée à l'air et sous corrosion et à haute résistance à l'avachissement cyclique, de composition, en pourcentages pondéraux :

C = 0,45 - 0,70%
 Si = 1,65 - 2,60%
 Mn = 0,20 - 0,75%
 Cr = 0,60 - 2%
 Ni = 0,15-1%
 Mo = traces - 1 %
 V = 0,003 - 0,8%
 Cu = 0,10 - 1%
 Ti = 0,020 - 0,2%
 Nb = traces - 0,2%
 Al = 0,002 - 0,050%
 P = traces - 0,015%
 S = traces - 0,015%

0 = traces - 0,0020%

N = 0,0020 - 0,0110%

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, et dont la teneur en carbone équivalent C_{eq} , calculée selon la formule

$$C_{eq}\% = [C\%] + 0,12 [Si\%] + 0,17 [Mn\%] - 0,1 [Ni\%] + 0,13 [Cr\%] - 0,24 [V\%]$$

est comprise entre 0,80 et 1,00%, et dont la dureté, après trempe et revenu, est supérieure ou égale à 55HRC, la taille maximale des nitrures ou carbonitrures de Ti observés à $1,5 \pm 0,5$ mm de la surface d'une barre, ou d'un fil machine, d'un lopin ou d'un ressort sur 100 mm² de la surface de coupe étant inférieure ou égale à 20 μm, ladite taille étant la racine carrée de la surface des inclusions considérées comme des carrés.

2. Acier à ressorts selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** sa composition est :

C = 0,45 - 0,65%

Si = 1,65 - 2,20%

Mn = 0,20 - 0,65%

Cr = 0,80 - 1,7%

Ni = 0,15 - 0,80%

Mo = traces - 0,80%

V = 0,003 - 0,5%

Cu = 0,10 - 0,90%

Ti = 0,020 - 0,15%

Nb = traces - 0,15%

Al = 0,002 - 0,050%

P = traces - 0,010%

S = traces - 0,010%

O = traces - 0,0020%

N = 0,0020 - 0,0110%

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

3. Procédé de fabrication d'un acier à ressorts à tenue en fatigue élevée à l'air et sous corrosion et à haute résistance à l'avachissement cyclique, selon lequel on élabore un acier liquide dans un convertisseur ou un four électrique, on ajuste sa composition, on le coule sous forme de blooms ou de billettes de coulée continue ou de lingots que l'on laisse refroidir à la température ambiante, on le lamine sous forme de barres, de fils machines ou de lopins et on le transforme en ressorts, **caractérisé en ce que** :

- l'acier est du type selon l'une des revendications 1 ou 2 ;

- on impose aux blooms, billettes ou lingots pendant ou après leur solidification, une vitesse de refroidissement moyenne minimale de 0,3°C/s entre 1450 et 1300°C ;

- on lamine lesdits blooms, billettes ou lingots entre 1200 et 800°C en un ou deux cycles de réchauffage et laminage ;

- et on réalise sur les barres, les fils machines ou les lopins, ou sur les ressorts qui en sont issus, une austénitisation, entre 850 et 1000°C, suivie par une trempe à l'eau, une trempe polymère ou une trempe à l'huile, et par un revenu à 300-550°C, de manière à conférer à l'acier une dureté supérieure ou égale à 55HRC.

4. Ressort, **caractérisé en ce qu'il** est en un acier selon l'une des revendications 1 à 2.

5. Ressort selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'il** est en un acier obtenu par le procédé selon la revendication 3.

Claims

1. A spring steel with high fatigue strength in air and in corrosive environments and with high resistance to cyclical

slackening, with a composition in percentages by weight:

C = 0.45 - 0.70%

Si = 1.65 - 2.50%

Mn = 0.20 - 0.75%

Cr=0.60-2%

Ni=0.15-1%

Mo = traces - 1 %

V = 0.003-0.8%

Cu=0.10-1%

Ti = 0.020 - 0.2%

Nb = traces - 0.2%

Al = 0.002 - 0.050%

P = traces - 0.015%

S = traces - 0.015%

O = traces - 0.0020%

N = 0.0020 - 0.0110%

the remainder comprising iron and impurities resulting from the production, and of which the equivalent carbon content C_{eq} , calculated according to the formula

$$C_{eq}\% = [C\%] + 0.12 [Si\%] + 0.17 [Mn\%] - 0.1 [Ni\%] + 0.13 [Cr\%] - 0.24 [V\%]$$

is between 0.80 and 1.00%, and the hardness of which, after quenching and tempering, is greater than or equal to 55HRC, the maximum size of the nitrides or carbonitrides of Ti observed at 1.5 ± 0.5 mm of the surface of a bar or of a wire rod, of a slug or of a spring over 100 mm² of the cut surface being less than or equal to 20 μ m, said size being the square root of the surface of the inclusions considered as heels.

2. The spring steel according to Claim 1, **characterised in that** its composition is:

C = 0.45 - 0.65%

Si = 1.65 - 2.20%

Mn = 0.20 - 0.65%

Cr = 0.80-1.7%

Ni = 0.15-0.80%

Mo = traces - 0.80%

V = 0.003-0.5%

Cu = 0.10-0.90%

Ti = 0.020 - 0.15%

Nb = traces - 0.15%

Al = 0.002 - 0.050%

P = traces - 0.010%

S = traces - 0.010%

O = traces - 0.0020%

N = 0.0020 - 0.0110%

the remainder comprising iron and impurities resulting from the production.

3. The production process for a spring steel with high fatigue strength in air and in corrosive environments and with high resistance to cyclical slackening, according to which a liquid steel is produced in a converter or an electric oven, its composition is adjusted, it is poured in the form of blooms or continuous melt billets or ingots which are left to cool to ambient temperature, it is laminated in the form of bars, wire rods or slugs and it is transformed into springs, **characterised in that**:

- the steel is of the type according to either of Claims 1 or 2

- during or after their solidification, the blooms, billets or ingots are subjected to a minimum average cooling speed of 0.3°C/s between 1450 and 1300°C;

- said blooms, billets or ingots are laminated between 1200 and 800°C in one or two heating and laminating cycles;
- and one performs on the bars, the wire rods or the slugs, or on the resulting springs, austenitizing between 850 and 1000°C followed by quenching in water, polymeric quenching or quenching in oil, and by tempering at 300-550°C such as to give the steel a hardness greater than or equal to 55 HRC.

4. A spring, **characterised in that** it is made of a steel according to either of Claims 1 to 2.

5. The spring according to Claim 4, **characterised in that** it is made of a steel obtained by the process according to Claim 3.

Patentansprüche

1. Federstahl mit verbessertem Ermüdungsverhalten in Luft und bei Korrosion und mit hoher Widerstandsfähigkeit gegen zyklisches Erschlaffen mit einer Zusammensetzung in Gewichtsprozenten:

C = 0,45 - 0,70 %

Si = 1,65 - 2,50 %

Mn = 0,20 - 0,75 %

Cr = 0,60 - 2 %

Ni = 0,15 - 1 %

Mo = Spuren - 1 %

V = 0,003 - 0,8 %

Cu = 0,10 - 1 %

Ti = 0,020 - 0,2 %

Nb = Spuren - 0,2 %

Al = 0,002 - 0,050 %

P = Spuren - 0,015 %

S = Spuren - 0,015 %

O = Spuren - 0,0020 %

N = 0,0020 - 0,0110 %, wobei der Rest Eisen und aus der Herstellung resultierende Verunreinigungen ist und wobei dessen Gehalt an gleichwertigen Kohlenstoff Ceq, berechnet nach der Formel

$$Ceq\% = [C\%] + 0,12 [Si\%] + 0,17 [Mn\%] - 0,1 [Ni\%] + 0,13 [Cr\%] - 0,24 [V\%]$$

zwischen 0,80 und 1,00 % liegt und dessen Härte nach Abschrecken und Vergüten größer oder gleich 55 HRC ist, wobei die maximale Größe der Nitride oder Carbonnitride des TI, beobachtet bei $1,5 \pm 0,5$ mm der Fläche einer Stange oder eines Walzdrahtes, einer Lupe oder einer Feder auf 100 mm² der Schnittoberfläche kleiner oder gleich 20 µm ist, wobei die Größe gleich der Quadratwurzel der Fläche der als Quadrate angesehenen Einschlüsse ist.

2. Federstahl nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Zusammensetzung ist:

C = 0,45 - 0,65 %

Si = 1,65 - 2,20 %

Mn = 0,20 - 0,65 %

Cr = 0,80 - 1,7 %

Ni = 0,15 - 0,80 %

Mo = Spuren - 0,80 %

V = 0,003 - 0,5 %

Cu = 0,10 - 0,90 %

Ti = 0,020 - 0,15 %

Nb = Spuren - 0,15 %

Al = 0,002 - 0,050 %

P = Spuren - 0,010 %
S = Spuren - 0,010 %
O = Spuren - 0,0020 %
N = 0,0020 - 0,0110 %,
wobei der Rest Eisen und aus der Herstellung resultierende Verunreinigungen ist.

3. Verfahren zur Herstellung eines Federstahls mit verbessertem Ermüdungsverhalten bei Luft und bei Korrosion und mit hoher Widerstandsfähigkeit gegen zyklisches Erschlaffen, nach dem man in einem Konverter oder einem elektrischen Ofen einen flüssigen Stahl herstellt, man seine Zusammensetzung einstellt, man ihn in Form von Vorblöcken oder Barren von kontinuierlichem Guss oder Blöcken gießt, die man bei Umgebungsluft erkalten lässt, man ihn in Form von Barren, Walzdraht oder Luppen auswalzt und man ihn in Federn umformt, **dadurch gekennzeichnet, dass:**

- der Stahl von dem Typ nach einem der Ansprüche 1 oder 2 ist;
- man auf die Vorblöcke, die Barren oder Blöcke während oder nach ihrer Verfestigung eine mittlere minimale Abkühlgeschwindigkeit von 0,3°C/s zwischen 1450 und 1300°C aufbringt;
- man die Vorblöcke, Barren oder Blöcke zwischen 1200 und 800°C in ein oder zwei Zyklen der Vorwärmung und des Walzens auswalzt;
- und man auf die Barren, die Walzdrähte oder die Luppen oder auf die Federn, die daraus herrühren, eine Austenitisierung zwischen 850 und 1000°C, gefolgt von einem Abschrecken in Wasser, einem Polymerabschrecken oder einem Ölabschrecken und von einem Vergüten bei 300-550°C aufbringt, derart, dass dem Stahl eine erhöhte Härte oder Härte gleich 55 HRC mitgeteilt wird.

4. Feder, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus Stahl nach einem der Ansprüche 1 bis 2 ist.

5. Feder nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus einem Stahl ist, der durch das Verfahren nach dem Anspruch 3 erhalten wird.

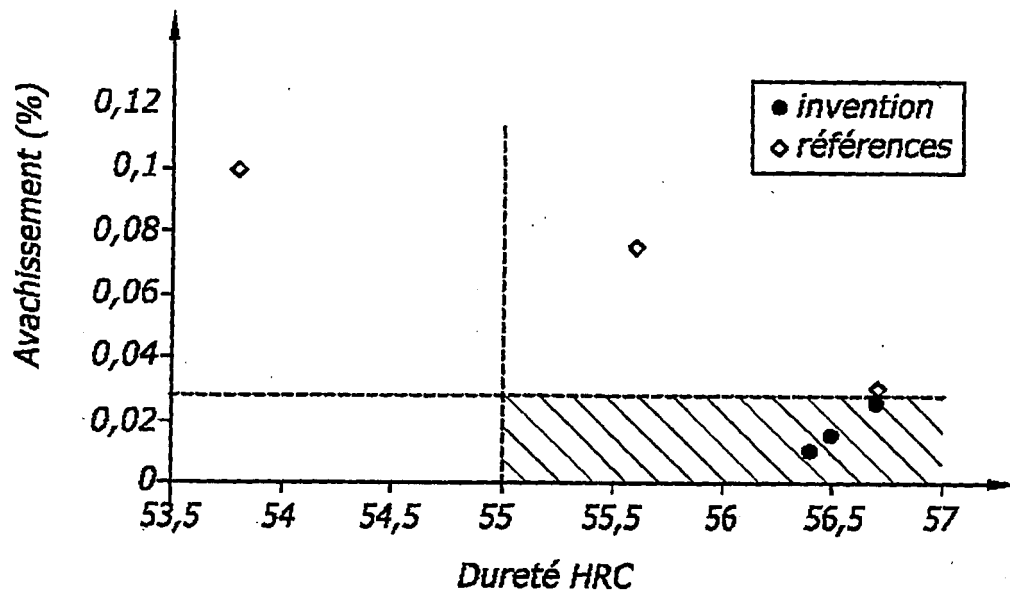


FIG.1

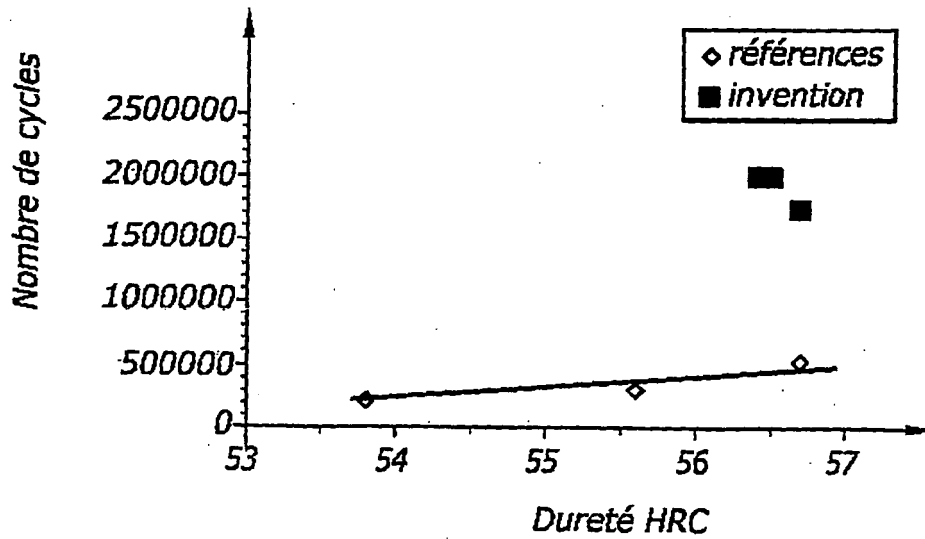


FIG.2

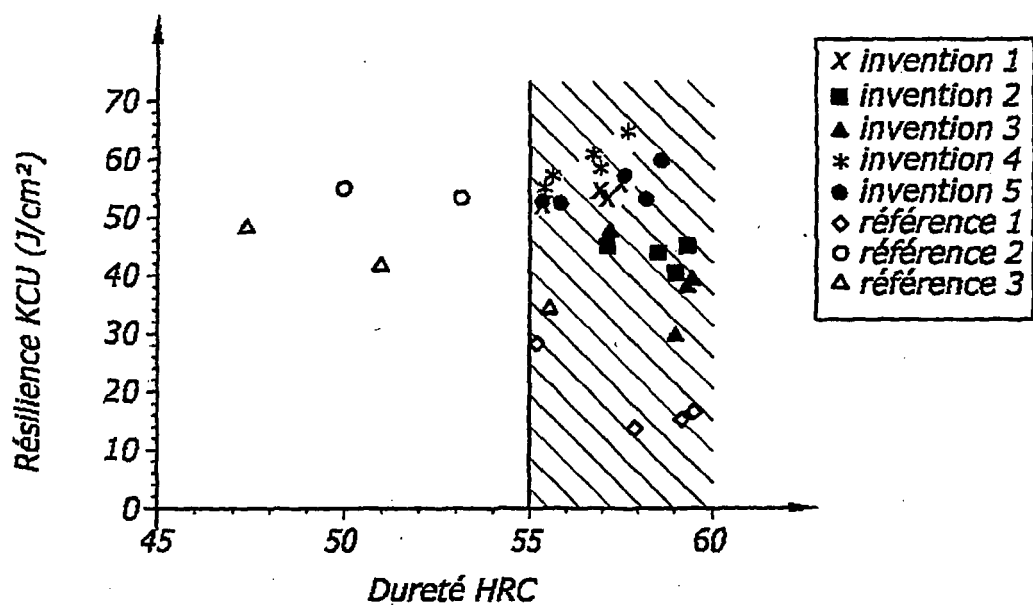


FIG.3

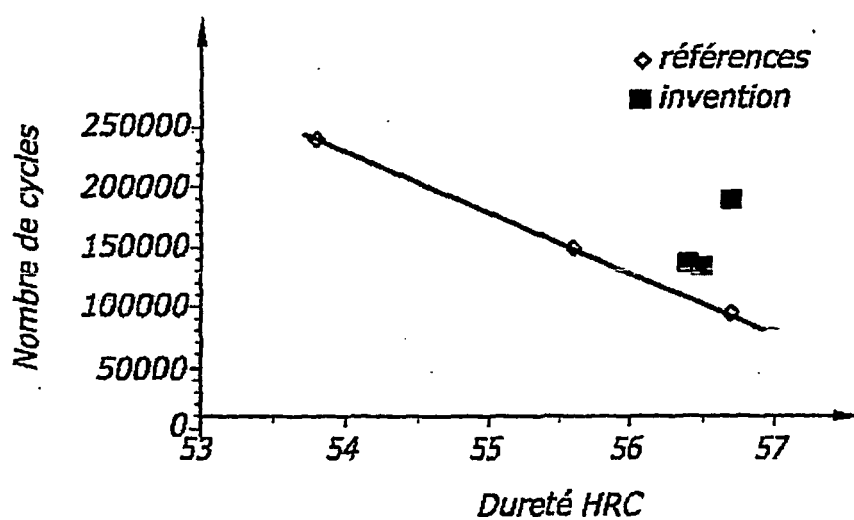


FIG.4

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

- FR 2740476 A [0003]
- JP 3474373 A [0003]
- EP 0943697 A1 [0003]
- JP 09324219 A [0004]