



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁷ : C22C 38/02, 38/04, 38/34, C21D 1/32, 1/78, C22C 38/38</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 00/06790</p> <p>(43) Date de publication internationale: 10 février 2000 (10.02.00)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/01815</p> <p>(22) Date de dépôt international: 23 juillet 1999 (23.07.99)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 98/09740 30 juillet 1998 (30.07.98) FR</p> <p>(71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): AS-COMETAL [FR/FR]; Immeuble "La Pacific", La Défense 7, 11/13, cours Valmy, F-92800 Puteaux (FR). SNR ROULEMENTS [FR/FR]; 1, rue des Usines, F-74010 Annecy (FR). VALTI - SOCIÉTÉ ANONYME POUR LA FABRICATION DE TUBES ROULEMENTS [FR/FR]; Route de Courtangis, F-21500 Montbard (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et</p> <p>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BAUDRY, Gilles [FR/FR]; 1C, allée des aubépines, F-57050 Ban Saint Martin (FR). BELLUS, Jacques [FR/FR]; 18, rue des cygnes, F-30900 Nîmes (FR). GIRODIN, Daniel [FR/FR]; La Radia, F-74150 Marcellaz Albanais (FR). DUDRAGNE, Gilles [FR/FR]; Chede Dessous, F-74540 Alby sous Cheran (FR). JACOB, Gérard [FR/FR]; 5, résidence Carnot, F-21500 Montbard (FR).</p>	<p>(74) Mandataire: VENTAVOLI, Roger; Usinor, Direction de la Propriété Industrielle, Immeuble "La Pacific", TSA 10001, F-92070 La Défense Cedex (FR).</p> <p>(81) Etats désignés: BR, CA, CN, CZ, IN, JP, KR, MX, PL, RU, SI, SK, TR, US, ZA, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	
<p>(54) Title: STEEL FOR MAKING A BALL BEARING PART</p>		
<p>(54) Titre: ACIER POUR LA FABRICATION D'UNE PIÈCE POUR ROULEMENT</p>		
<p>(57) Abstract</p>		
<p>The invention concerns steel for making a ball bearing part whereof the chemical composition comprises, by weight: $0.6\% \leq C \leq 1.5\%$; $0.4\% \leq Mn \leq 1.5\%$; $0.75\% \leq Si \leq 2.5\%$; $0.2\% \leq Cr \leq 2\%$; $0\% \leq Ni \leq 0.5\%$; $0\% \leq Mo \leq 0.2\%$; $0\% < Al \leq 0.05\%$; $S \leq 0.04\%$; the rest being iron and the impurities resulting from the preparation. The composition further satisfies the relationships: $Mn \leq 0.75 + 0.55 \times Si$ and $Mn \leq 2.5 - 0.8 \times Si$. The enclosure purity of the steel measured by method A of the ASTM E 45 standard further satisfying the following conditions: type A enclosures, fines: index ≤ 2.5; coarse particles: index 1.5; type B enclosures, fines: index ≤ 1.5 coarse particles: index ≤ 0.5; type C enclosures, fines: index = 0; coarse particles: index = 0; type D enclosures, fines: index ≤ 0.5; coarse particles ≤ 0.5. The invention also concerns a method for making a ball bearing part and the resulting ball bearing part.</p>		
<p>(57) Abrégé</p>		
<p>Acier pour la fabrication d'une pièce pour roulement dont la composition chimique comprend, en poids: $0,6\% \leq C \leq 1,5\%$; $0,4\% \leq Mn \leq 1,5\%$; $0,75\% \leq Si \leq 2,5\%$; $0,2\% \leq Cr \leq 2\%$; $0\% \leq Ni \leq 0,5\%$; $0\% \leq Mo \leq 0,2\%$; $0\% < Al \leq 0,05\%$; $S \leq 0,04\%$; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration. La composition satisfaisant, en outre, les relations: $Mn \leq 0,75 + 0,55 \times Si$ et $Mn \leq 2,5 - 0,8 \times Si$. La propreté inclusionnaire de l'acier, mesurée selon la méthode A de la norme ASTM E 45 satisfaisant, en outre, les conditions suivantes: inclusions de type A, fines: indice $\leq 2,5$; épaisses: indice $\leq 1,5$; inclusions de type B, fines: indice $\leq 1,5$; épaisses: indice $\leq 0,5$; inclusions de type C, fines: indice = 0; épaisses: indice = 0; inclusions de type D, fines: indices $\leq 0,5$; épaisses: indice $\leq 0,5$. Procédé pour la fabrication d'une pièce de roulement et roulement obtenu.</p>		

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

ACIER POUR LA FABRICATION D'UNE PIECE POUR ROULEMENT

L'invention est relative à un acier à roulement et à un roulement pouvant travailler à des niveaux de chargement élevés.

Les roulements à billes ou à rouleaux sont bien connus. Ils sont, en général, constitués de pièces en acier à roulement du type 100Cr6 contenant de 0,6 à 1,5 % de carbone, de 1,3 à 1,6 % de chrome, de 0,3 à 1 % de manganèse et moins de 0,4 % de silicium, le reste étant des impuretés résultant de l'élaboration. Dans les zones de contact des différentes pièces, l'acier est soumis à des contraintes de Hertz importantes qui, du fait de la rotation du roulement, engendrent des phénomènes de fatigue de roulement. Ces phénomènes de fatigue de roulement conduisent à la destruction du roulement au bout d'un temps fonction des conditions de chargement du roulement. Afin d'assurer une durée de vie suffisante, on dimensionne les roulements de façon telle que la contrainte maximale de Hertz reste inférieure à une valeur fonction de la résistance à la fatigue de l'acier utilisé et de la durée de vie minimale souhaitée. Par ailleurs, les déformations des roulements engendrées par les efforts qu'ils supportent, accroissent les phénomènes de détérioration par fatigue. Pour limiter cet effet défavorable, les roulements sont dimensionnés de manière à limiter les déformations à des valeurs faibles. Ces deux conditions conduisent à limiter les possibilités d'alléger les roulements. En effet, pour une application donnée, plus les roulements sont légers, plus les efforts spécifiques qu'ils doivent supporter sont importants. Ces limites apportées au dimensionnement des roulements présentent des inconvénients, notamment lorsqu'il est souhaitable de réduire la dimension ou le poids des mécanismes auxquels ils sont incorporés. C'est le cas, notamment, des roues de véhicules, lorsqu'on veut améliorer la tenue de route en diminuant le poids des masses non suspendues.

Le but de la présente invention est de remédier à cet inconvénient en proposant un acier à roulement dont la tenue à la fatigue est améliorée par rapport à celle des aciers à roulement connus, et ainsi de permettre d'utiliser des roulements plus légers que ceux qui sont utilisés actuellement. De plus, on a recherché un acier qui présente une bonne aptitude à la coulée et à la transformation à chaud comme à froid, et qui ne nécessite que des traitements thermiques en cours de fabrication ou en final relativement standards.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier pour la fabrication d'une pièce pour roulement dont la composition chimique comprend, en poids :

$$0,6 \% \leq C \leq 1,5 \%$$

$$0,4 \% \leq Mn \leq 1,5 \%$$

5 $0,75 \% \leq Si \leq 2,5 \%$

$$0,2 \% \leq Cr \leq 2 \%$$

$$0 \% \leq Ni \leq 0,5 \%$$

$$0 \% \leq Mo \leq 0,2 \%$$

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

10 $S \leq 0,04 \%$

$$O < 0,0009 \%$$

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ; la composition satisfaisant les relations :

$$Mn \leq 0,75 + 0,55 \times Si$$

15 $Mn \leq 2,5 - 0,8 \times Si$

et la propreté inclusionnaire de l'acier, mesurée selon la méthode A de la norme ASTM E 45 satisfaisant, en outre, les conditions suivantes :

- inclusions de type A, fines : indice $\leq 2,5$

- inclusions de type A, épaisses : indice $\leq 1,5$

20 - inclusions de type B, fines : indice $\leq 1,5$

- inclusions de type B, épaisses : indice $\leq 0,5$

- inclusions de type C, fines : indice = 0

- inclusions de type C, épaisses : indice = 0

- inclusions de type D, fines : indice $\leq 0,5$

25 - inclusions de type D, épaisses : indice $\leq 0,5$

De préférence, la composition chimique est telle que, séparément, ou mieux encore, simultanément, d'une part :

$$0,8 \% \leq Mn \leq 1,2 \%$$

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

30 et d'autre part :

$$0,9 \% \leq C \leq 1,1 \%$$

$$1,3 \% \leq Cr \leq 1,6 \%$$

De préférence également la teneur en silicium doit être supérieure à 1,2 %.

L'invention concerne également un procédé pour la fabrication d'une pièce pour roulement selon lequel :

- 5 - on met en forme par déformation plastique à chaud un demi-produit en acier selon l'invention, afin d'obtenir une ébauche de produit, et, plus particulièrement, une ébauche de tube sans soudure,
- 10 - on effectue sur l'ébauche de produit un traitement de globulisation consistant en un chauffage à une température comprise entre 750 °C et 850 °C suivi d'un refroidissement dont la vitesse maximale est de 10 °C/heure jusqu'à 650 °C, afin d'obtenir une structure de dureté inférieure à 270 HV et comportant une dispersion homogène de carbures globulaires fins, et, éventuellement, une mise en forme par déformation plastique à froid, par exemple, un laminage à froid ou un étirage à froid, de façon à obtenir un produit,
- 15 - on découpe dans le produit un tronçon qu'on met en forme par déformation plastique à froid ou à chaud, ou par usinage, afin d'obtenir une ébauche de pièce pour roulement,
- 20 - et on effectue sur l'ébauche de pièce un traitement thermique de trempe isotherme ou par refroidissement par exemple à l'huile après austénitisation entre 800 °C et 950 °C, et un traitement thermique de revenu entre 100 °C et 400 °C et de préférence en dessous de 250 °C, de façon à obtenir une pièce pour roulement ayant une structure dont la dureté est comprise entre 58 HRC et 67 HRC et qui est constituée de carbures résiduels, de martensite et de 5 % à 30 % d'austénite résiduelle. Le produit est, par exemple, un tube sans soudure.

L'invention concerne aussi une pièce pour roulement en acier selon l'invention
25 ayant une structure constituée de martensite, de carbures résiduels et de 5 % à 30 % d'austénite résiduelle.

L'invention concerne enfin, un roulement constitué de pièces selon l'invention, ayant, pour des conditions de travail correspondant à une contrainte maximale de Hertz pouvant atteindre 4,5 GPa et une déformation pouvant atteindre 150 µm, une
30 durée de vie L10 au moins 4 fois supérieure à celle obtenue avec de l'acier 100Cr6 utilisé dans les mêmes conditions de chargement.

L'invention va maintenant être décrite plus en détails et illustrée par des exemples.

Pour fabriquer un roulement comportant des pièces de roulement telles que des bagues et des corps roulants ayant une bonne résistance à la fatigue, on utilise un acier dont la composition chimique comprend, en poids :

- plus de 0,6 % et, de préférence plus de 0,9 % de carbone pour obtenir une dureté suffisante et un taux d'austénite résiduelle suffisant, mais moins de 1,5 % et, de préférence, moins de 1,1 % pour éviter la formation de ségrégations trop importantes et pour limiter la formation de carbures primaires,
- 10 - plus de 0,75 %, et, de préférence, plus de 0,8 %, et mieux encore, plus de 1,2 % de silicium, de façon à augmenter la stabilité à chaud de l'austénite résiduelle (entre 170°C et 450 °C, environ, et de préférence au dessus de 300 °C) et la dureté, mais, moins de 2,5 %, et de préférence, moins de 1,7 %, car lorsque la teneur en silicium est trop élevée, l'acier devient trop fragile notamment pour pouvoir être mis en forme par déformation plastique,
- 15 - plus de 0,4 % de manganèse, et de préférence, plus de 0,8 % pour pouvoir obtenir une structure trempée ayant une teneur en austénite résiduelle supérieure à 5 % et de préférence supérieure à 15 % ; la teneur en manganèse doit être telle que : $Mn \leq 0,75 + 0,55 \times Si$ pour obtenir une bonne coulabilité sans laquelle il devient difficile d'obtenir un acier suffisamment propre pour qu'il ait une bonne résistance à la fatigue de roulement , et telle que : $Mn \leq 2,5 - 0,8 \times Si$ pour permettre les opérations de parachèvement et la mise en forme par déformation plastique à froid ; il résulte de ces relations que la teneur en manganèse doit être inférieure à 1,5 %, et il est préférable qu'elle soit inférieure à 1,2 %,
- 20 - de 0,2 % à 2 % de chrome, et , de préférence, de 1,3 % à 1,6 %, de façon, d'une part à obtenir une trempabilité suffisante, et, d'autre part, à former des semis de carbures globulaires de taille inférieure à 2 μm , uniformément répartis et en quantité suffisante,
- moins de 0,5 % de nickel, élément résiduel qui n'est pas indispensable mais qui a un effet favorable sur la trempabilité,
- 30 - moins de 0,2 % de molybdène, élément qui ralentit l'adoucissement au revenu,
- entre 0 % et 0,05 % d'aluminium et moins de 0,04 % de soufre,

- moins de 0,0009 % d'oxygène pour obtenir une propreté inclusionnaire suffisante, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

Par ailleurs, pour obtenir une bonne endurance, la propreté inclusionnaire de l'acier est telle que, mesurée par la méthode A de la norme ASTM E 45, les conditions suivantes sont satisfaites :

- inclusions de type A, fines : indice $\leq 2,5$

- inclusions de type A, épaisses : indice $\leq 1,5$

- inclusions de type B, fines : indice $\leq 1,5$

- inclusions de type B, épaisses : indice $\leq 0,5$

- inclusions de type C, fines : indice = 0

- inclusions de type C, épaisses : indice = 0

- inclusions de type D, fines : indice $\leq 0,5$

- inclusions de type D, épaisses : indice $\leq 0,5$

Les inclusions de type A étant essentiellement des sulfures,

Les inclusions de type B étant essentiellement des aluminates,

Les inclusions de type C étant essentiellement des silicates,

Les inclusions de type D étant des inclusions globulaires.

Cet acier est coulé, et, éventuellement, laminé pour fabriquer un demi-produit qui peut être une billette ou un rond à tube.

Le demi produit est alors mis en forme par déformation plastique à chaud pour obtenir une ébauche de produit, par exemple, par laminage à chaud pour obtenir un fil machine, un rond ou un tube sans soudure.

L'ébauche de produit est alors soumise à un traitement thermique de globulisation consistant en un ou plusieurs chauffages à une température comprise 750 °C et 850°C suivi de refroidissements dont la vitesse maximale est de 10 °C/heure jusqu'à 650 °C, afin d'obtenir une structure de dureté inférieure à 270 HV et comportant une fine dispersion de carbures. Ce traitement thermique est nécessaire pour conférer à l'acier une bonne aptitude à la mise en forme par déformation plastique à froid et une bonne usinabilité, procédé utilisé pour fabriquer, par exemple, par laminage à froid, par étirage à froid ou par tréfilage, un produit. Ce produit sert à fabriquer les ébauches de pièces, par exemple, les ébauches de billes, de rouleau ou de bagues de roulement.

La fabrication des ébauches de pièces, qui se fait par mise en forme à froid ou à chaud ou par tréfilage ou par usinage de tronçons découpés dans le produit, se termine par un traitement thermique constitué d'une trempe et d'un revenu. On obtient, ainsi, une pièce pour roulement. La température d'austénitisation avant trempe, supérieure à 800 °C, est ajustée de façon à obtenir après la trempe une structure constituée de martensite, de 5% à 30% d'austénite résiduelle et d'une répartition homogène de carbures résiduels. Le taux d'austénite résiduelle dont la présence est indispensable pour obtenir une bonne résistance à l'indentation dépend de la valeur du point Ms (température de début de transformation martensitique) qui dépend, elle même, à la fois de la composition de l'acier et des conditions d'austénitisation. L'homme du métier sait déterminer ces paramètres, par exemple à l'aide d'essais dilatométriques. Le revenu est effectué par chauffage au dessus de 100 °C afin de stabiliser la structure, mais inférieure à 400 °C et de préférence inférieure à 250 °C pour ne pas déstabiliser l'austénite résiduelle.

L'acier ainsi obtenu a, à dureté égale de 62 HRC, une résistance à la fatigue sensiblement améliorée par rapport à l'acier 100Cr6 ayant la même propreté inclusionnaire que l'acier selon l'invention. Cette tenue à la fatigue est bien mise en évidence à l'aide d'essais en fatigue de compression sur des plots de compression de 7 mm de diamètre, comportant 4 facettes de 3 mm de largeur, et hauts de 12 mm. Ces plots sont soumis à des efforts de compression périodiques faisant varier la contrainte entre 2450 MPa et 50 MPa, et on détermine le nombre de cycles au bout du quel le plot est rompu. Les essais de fatigue ayant, par nature un caractère statistique, on recommence les essais plusieurs fois.

Les compositions chimiques des aciers testés à titre de premier exemple étaient (« inv »=acier selon l'invention; « comp »=100Cr6 à titre de comparaison) :

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Al	S	O
inv.	1,011	1,53	1,00	0,16	1,44	0,030	0,039	0,03	2,7 ppm
comp.	1,012	0,23	0,33	0,33	1,43	0,027	0,036	0,011	3,8 ppm

Les propriétés inclusionnaires étaient :

	type A		type B		type C		type D	
	mince	épaisse	mince	épaisse	mince	épaisse	mince	épaisse
inv.	1,5	0,5	1	0	0	0	0,5	0
comp.	2	0,5	1	0	0	0	0,5	0

Les résultats ont été les suivants :

5 Acier selon l'invention :

plot n°1 : Non rompu après 111 111 000 cycles
 plot n°2 : Rompu à 41 111 000 cycles
 plot n°3 : Non rompu après 111 111 000 cycles
 plot n°4 : Rompu à 51 111 000 cycles

10 Acier 100Cr6 selon l'art antérieur :

plot n°1 : Rompu à 16 630 000 cycles
 plot n°2 : Rompu à 31 111 000 cycles
 plot n°3 : Rompu à 20 788 000 cycles
 plot n°4 : Rompu à 21 111 000 cycles

15 De ces résultats il est possible de déduire que la limite d'endurance de l'acier selon l'invention est supérieure de 17 % à celle de l'acier 100Cr6, soit un gain d'environ 400 MPa.

A titre de deuxième exemple, avec l'acier selon l'invention, on a fabriqué un roulement pour roue, comportant deux rangées de rouleaux coniques et on l'a testé
 20 avec une charge radiale $F_r = 590$ daN correspondant à une accélération de 0,6 G et une charge axiale $F_a = 354$ daN. Ces charges induisaient une déformation radiale de 0,14 mm (alors que les règles de conception actuelles n'admettent pas, pour cette application, des déformations supérieures à 0,04 mm), et une contrainte maximale de Hertz, calculée sans tenir compte des déformations, $P_o = 3,4$ GPa. Les
 25 pièces du roulement ont subi une trempe étagée après austénitisation à 890 °C, puis revenues à 230°C de façon à obtenir une teneur en austénite résiduelle d'environ 17 %. Puis on a testé les roulements sur un banc d'essai de façon à mesurer la grandeur L10 correspondant à la durée d'essai conduisant à l'endommagement de

10 % des roulements. Le paramètre L10 est calculé selon la théorie statistique de WEIBULL sur un minimum de 8 roulements d'essai.

A titre de comparaison, on a réalisé des roulements identiques en acier 100Cr6, trempé après austénitisation à 835 °C et revenu à 170 °C, conformément à l'art antérieur. Ces roulements ont été testés dans les mêmes conditions que les précédents.

La propreté inclusionnaire était, dans les deux cas, conforme à l'invention.

Les résultats ont été les suivants :

	Acier selon l'invention			100Cr6
% austénite résiduelle	17 %	19 %	16 %	6 %
L10	85 h	109 h	220 h	43 h

10

Ces résultats montrent l'accroissement très sensible de durée de vie résultant de la meilleure tenue à la fatigue de l'acier selon l'invention.

Par ailleurs, les durées de vie mesurées peuvent être comparées aux résultats de durée de vie utilisés conformément à l'état de l'art pour dimensionner les roulements pour chaque application particulière. Pour le 100Cr6 classique, ces résultats ne sont valables que pour des taux de chargement conduisant à des contraintes maximales de Hertz inférieures à 3,5 GPa, et à des déformations inférieures à 50 µm. Dans cet exemple, la durée de vie évaluée a priori, conformément à l'art antérieur, aurait été supérieure à 80 h, ce qui aurait été considéré comme suffisant. Mais, les essais présentés ci-dessus, montrent que ces prévisions auraient été fausses pour l'acier 100Cr6 selon l'art antérieur, alors qu'elles sont valables pour l'acier selon l'invention.

A titre de troisième exemple, on a testé sur banc d'essai des roulements à rouleaux cylindriques pour boîte de vitesse relativement peu rigides, car de faible épaisseur (3,2 mm) réalisés d'une part en acier selon l'invention, d'autre part en acier 100Cr6, avec une charge radiale de 3000 daN conduisant à une contrainte maximale de Hertz calculée sans tenir compte des déformations (c'est à dire sous estimée) de 3,8 GPa, et à une déformation de 55 µm. L'acier selon l'invention avait une dureté de 61,5 HRC et un taux d'austénite résiduelle comprise entre 12 % et

25

14 %, le 100Cr6 avait une dureté de 62 HRC et un taux d'austénite résiduelle compris entre 5 et 8 %. La propreté inclusionnaire était, dans les deux cas, conforme à l'invention. Les roulements ont été testé à 100 °C avec une vitesse de rotation de 900 tours/mn. Les roulements conformes à l'invention ont eu une durée de vie L10 supérieure à 150 heures, alors que la durée de vie L10 des roulements en 100Cr6 était comprise entre 25 et 60 heures seulement.

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

$$\text{Si} \geq 1,2 \%$$

5 4 - Acier selon la revendication 1 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

$$0,9 \% \leq \text{C} \leq 1,1 \%$$

$$1,3 \% \leq \text{Cr} \leq 1,6 \%$$

5 - Acier selon la revendication 4 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

10 $0,8 \% \leq \text{Mn} \leq 1,2 \%$

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

6 - Acier selon la revendication 4 ou 5 caractérisé en ce que sa composition chimique est telle que :

$$\text{Si} \geq 1,2 \%$$

15 7 - Procédé pour la fabrication d'une pièce pour roulement caractérisé en ce que :

- on met en forme par déformation plastique à chaud un demi-produit en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, afin d'obtenir une ébauche de produit, et, plus particulièrement, une ébauche de tube sans soudure,
- 20 - on effectue sur l'ébauche de produit un traitement de globulisation consistant en un ou plusieurs chauffages à une température comprise entre 750 °C et 850 °C suivi de refroidissements dont la vitesse maximale est de 10 °C/heure jusqu'à 650 °C, afin d'obtenir une structure de dureté inférieure à 270 HV et comportant une dispersion homogène de carbures globulaires fins, et, éventuellement, une mise en forme par
- 25 déformation plastique à froid, par exemple, un laminage à froid ou un étirage à froid ou un tréfilage, de façon à obtenir un produit,
- on découpe dans le produit un tronçon qu'on met en forme par déformation plastique à froid ou à chaud, ou par usinage, afin d'obtenir une ébauche de pièce pour roulement,
- 30 - et on effectue sur l'ébauche de pièce un traitement thermique de trempe isotherme ou par refroidissement par exemple à l'huile après austénitisation entre 800 °C et 950 °C, et un traitement thermique de revenu entre 100 °C et 400 °C et de

préférence en dessous de 250 °C, de façon à obtenir une pièce pour roulement ayant une structure dont la dureté est comprise entre 58 HRC et 67 HRC et qui est constituée d'une répartition homogène de carbures fins, de martensite et de 5 % à 30 % d'austénite résiduelle.

5 8 - Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que le produit est un tube sans soudure.

 9 - Tube sans soudure en acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

 10 - Pièce pour roulement en acier selon l'une quelconque des revendications
10 1 à 6 ayant une structure constituée d'une répartition homogène de carbures fins, de martensite et de 5 % à 30 % d'austénite résiduelle.

 11 - Roulement constitué de pièces selon la revendication 10 caractérisé en ce que pour des conditions de travail correspondant à une contrainte maximale de Hertz comprise entre 3 GPa et 4,5 GPa et une déformation radiale comprise entre
15 50 µm et 150 µm, il a une durée de vie L10 supérieure à 4 fois la durée de vie du même roulement réalisé en acier 100Cr6 selon l'art antérieur et travaillant dans les mêmes conditions.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/01815

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 C22C38/02 C22C38/04 C22C38/34 C21D1/32 C21D1/78
C22C38/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C22C C21D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 721 996 A (NIPPON STEEL CORP) 17 July 1996 (1996-07-17) claims 1-3 page 9, paragraph 1 ---	1-11
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 098, no. 003, 27 February 1998 (1998-02-27) & JP 09 302444 A (KAWASAKI STEEL CORP), 25 November 1997 (1997-11-25) abstract ---	1-6
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 098, no. 003, 27 February 1998 (1998-02-27) & JP 09 302443 A (KAWASAKI STEEL CORP), 25 November 1997 (1997-11-25) abstract ---	1-6
-/--		

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 August 1999

Date of mailing of the international search report

07/09/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vlassi, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/01815

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 177 214 A (UGINE ACIERS) 2 November 1973 (1973-11-02) page 2, line 1 - line 25 ---	1,7
A	GB 1 512 323 A (CESKOSLOVENSKA AKADEMIE VED) 1 June 1978 (1978-06-01) figures 1,2 example 1 ---	1,7
A	US 3 663 314 A (MONMA KAIZO ET AL) 16 May 1972 (1972-05-16) claim 1 ---	1,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 227 (C-0718), 15 May 1990 (1990-05-15) & JP 02 054739 A (KOBE STEEL LTD), 23 February 1990 (1990-02-23) abstract ---	1
A	US 4 077 812 A (TANI HAJIME) 7 March 1978 (1978-03-07) claim 1 ---	7
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 124, no. 2, 8 January 1996 (1996-01-08) Columbus, Ohio, US; abstract no. 12893, XU, L. ET AL: "Wear performance of 0.6%Cr alloyed cast and heat treated steels with carbon contents of 0.7, 1.0, and 1.3%" XP002094915 abstract & MATER. SCI. TECHNOL. (1995), 11(8), 787-90 CODEN: MSCTEP;ISSN: 0267-0836,1995, -----	7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/01815

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0721996 A	17-07-1996	JP 8003682 A	09-01-1996
		AU 676804 B	20-03-1997
		AU 2683095 A	05-01-1996
		BR 9506268 A	12-08-1997
		US 5705124 A	06-01-1998
		CA 2169474 A	21-12-1995
		CN 1129465 A, B	21-08-1996
		WO 9534692 A	21-12-1995
JP 09302444 A	25-11-1997	NONE	
JP 09302443 A	25-11-1997	NONE	
FR 2177214 A	02-11-1973	AT 333820 B	10-12-1976
		BE 797221 A	24-09-1973
		CA 990544 A	08-06-1976
		CH 560763 A	15-04-1975
		DD 106202 A	05-06-1974
		DE 2313967 A	04-10-1973
		GB 1408218 A	01-10-1975
		IT 983601 B	11-11-1974
		JP 49047212 A	07-05-1974
		LU 67275 A	27-07-1973
		NL 7304076 A	26-09-1973
		SE 393636 B	16-05-1977
GB 1512323 A	01-06-1978	NONE	
US 3663314 A	16-05-1972	NONE	
JP 02054739 A	23-02-1990	JP 2726440 B	11-03-1998
US 4077812 A	07-03-1978	JP 1093371 C	16-04-1982
		JP 51110420 A	30-09-1976
		JP 56036686 B	26-08-1981
		JP 1054429 C	23-07-1981
		JP 51110407 A	30-09-1976
		JP 55049126 B	10-12-1980
		JP 1054430 C	23-07-1981
		JP 51110408 A	30-09-1976
		JP 55049127 B	10-12-1980
		CA 1077378 A	13-05-1980
		DE 2612736 A	14-10-1976
		FR 2305272 A	22-10-1976
		GB 1547907 A	27-06-1979

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der. e Internationale No

PCT/FR 99/01815

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 C22C38/02 C22C38/04 C22C38/34 C21D1/32 C21D1/78 C22C38/38		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 C22C C21D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porte la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 721 996 A (NIPPON STEEL CORP) 17 juillet 1996 (1996-07-17) revendications 1-3 page 9, alinéa 1 ---	1-11
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 098, no. 003, 27 février 1998 (1998-02-27) & JP 09 302444 A (KAWASAKI STEEL CORP), 25 novembre 1997 (1997-11-25) abrégé ---	1-6
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 098, no. 003, 27 février 1998 (1998-02-27) & JP 09 302443 A (KAWASAKI STEEL CORP), 25 novembre 1997 (1997-11-25) abrégé ---	1-6
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/>	Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 31 août 1999		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 07/09/1999
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Vlasi, E

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der. e Internationale No

PCT/FR 99/01815

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 177 214 A (UGINE ACIERS) 2 novembre 1973 (1973-11-02) page 2, ligne 1 - ligne 25 ---	1,7
A	GB 1 512 323 A (CESKOSLOVENSKA AKADEMIE VED) 1 juin 1978 (1978-06-01) figures 1,2 exemple 1 ---	1,7
A	US 3 663 314 A (MONMA KAIZO ET AL) 16 mai 1972 (1972-05-16) revendication 1 ---	1,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 227 (C-0718), 15 mai 1990 (1990-05-15) & JP 02 054739 A (KOBE STEEL LTD), 23 février 1990 (1990-02-23) abrégé ---	1
A	US 4 077 812 A (TANI HAJIME) 7 mars 1978 (1978-03-07) revendication 1 ---	7
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 124, no. 2, 8 janvier 1996 (1996-01-08) Columbus, Ohio, US; abstract no. 12893, XU, L. ET AL: "Wear performance of 0.6%Cr alloyed cast and heat treated steels with carbon contents of 0.7, 1.0, and 1.3%" XP002094915 abrégé & MATER. SCI. TECHNOL. (1995), 11(8), 787-90 CODEN: MSCTEP; ISSN: 0267-0836, 1995, -----	7

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Den. Internationale No

PCT/FR 99/01815

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0721996 A	17-07-1996	JP 8003682 A	09-01-1996
		AU 676804 B	20-03-1997
		AU 2683095 A	05-01-1996
		BR 9506268 A	12-08-1997
		US 5705124 A	06-01-1998
		CA 2169474 A	21-12-1995
		CN 1129465 A, B	21-08-1996
		WO 9534692 A	21-12-1995
JP 09302444 A	25-11-1997	AUCUN	
JP 09302443 A	25-11-1997	AUCUN	
FR 2177214 A	02-11-1973	AT 333820 B	10-12-1976
		BE 797221 A	24-09-1973
		CA 990544 A	08-06-1976
		CH 560763 A	15-04-1975
		DD 106202 A	05-06-1974
		DE 2313967 A	04-10-1973
		GB 1408218 A	01-10-1975
		IT 983601 B	11-11-1974
		JP 49047212 A	07-05-1974
		LU 67275 A	27-07-1973
		NL 7304076 A	26-09-1973
		SE 393636 B	16-05-1977
		GB 1512323 A	01-06-1978
US 3663314 A	16-05-1972	AUCUN	
JP 02054739 A	23-02-1990	JP 2726440 B	11-03-1998
US 4077812 A	07-03-1978	JP 1093371 C	16-04-1982
		JP 51110420 A	30-09-1976
		JP 56036686 B	26-08-1981
		JP 1054429 C	23-07-1981
		JP 51110407 A	30-09-1976
		JP 55049126 B	10-12-1980
		JP 1054430 C	23-07-1981
		JP 51110408 A	30-09-1976
		JP 55049127 B	10-12-1980
		CA 1077378 A	13-05-1980
		DE 2612736 A	14-10-1976
		FR 2305272 A	22-10-1976
		GB 1547907 A	27-06-1979