

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 79101333.7

51 Int. Cl.³: **C 22 C 38/08**
C 22 C 38/16

22 Date de dépôt: 02.05.79

43 Date de publication de la demande:
12.11.80 Bulletin 80/23

84 Etats Contractants Désignés:
AT BE CH DE FR GB IT LU NL SE

71 Demandeur: **Giflo, Henrik**
Ujitok u. 5.
3532 Miskolc, III(HU)

72 Inventeur: **Giflo, Henrik**
Ujitok u. 5.
3532 Miskolc, III(HU)

74 Mandataire: **Casalonga, Alain et al,**
Bureau D.A. Casalonga Lilienstrasse 77
D-8000 München 80(DE)

54 **Acier de construction présentant une haute résistance à la fatigue, procédé de fabrication d'un tel acier.**

57 **Acier de construction présentant une haute résistance à la fatigue.**

L'invention est relative à des aciers de construction. Ces aciers sont essentiellement caractérisés par le fait qu'ils comprennent en plus du fer, au maximum 1,6% (en poids) de C, 0,3 à 3,0 % (en poids) de Mn et/ou de Ni, au maximum 1,8 % (en poids) de Si, 0,6 à 4,0 % (en poids) de Cu, au maximum 3,0 % (en poids) de Mo et/ou de Co, 0,02 à 0,4 % (en poids) de Nb et/ou de V, au maximum 0,006 % (en poids) de B, au maximum 0,4 % (en poids) de Zr et/ou de Be, 0,02 à 0,2 % (en poids) de Al, 0,005 à 0,2 (en poids) de N, au minimum 0,0001 % (en poids) de Ca, et au maximum 0,25 % (en poids) de Ce et/ou de Pb, et jusqu'à 0,1 % de soufre.

Ces aciers présentent une haute résistance à la fatigue et jusqu'à une teneur en carbone bien définie (0,30 %) une bonne soudabilité et sont résistants à la corrosion à l'air.

EP 0 018 425 A1

La présente invention concerne un acier de construction présentant une haute résistance à la fatigue et, jusqu'à une teneur en carbone bien définie, une bonne soudabilité, et qui est résistant à la corrosion par l'air, cet acier étant notamment destiné à la réalisation de constructions et ossatures, d'ouvrages terrestres ou hydrauliques, de véhicules, de machines et éléments de machines, d'infrastructures et superstructures pour les chemins de fer, etc..., qui sont exposés à de grandes sollicitations cycliques et aux intempéries.

La conjoncture économique actuelle, qui rend notamment nécessaire de parvenir à une réduction générale de la consommation d'énergie et de matériaux, place l'ensemble de l'industrie, en particulier dans les domaines du bâtiment, de la recherche et de la production des hydrocarbures et des transports, devant des exigences techniques et économiques auxquelles les propriétés des aciers classiques ne peuvent plus répondre, ce qui, dans un certain sens, freine l'évolution de ces secteurs.

Un développement rentable des méthodes de construction et de production et des technologies classiques, ainsi que l'application de nouvelles solutions techniques et technologiques, et même également l'exploitation des produits du sous-sol qui n'ont pas été mis en valeur jusqu'à présent pour des raisons techniques et économiques, sont impensables si l'on ne dispose pas d'une nouvelle nuance d'acier présentant une suffisante résistance à la fatigue et des propriétés complexes favorables pour une transformation industrielle, cette nuance d'acier devant pouvoir être produite en grande quantité et à un prix de revient suffisamment bas pour pouvoir être utilisée de façon très large.

Il devenait donc indispensable d'élaborer une nouvelle nuance d'acier qui, conformément à ces principes d'économie de l'énergie et des matériaux, puisse supporter les sollicitations actuelles, la section transversale de la construction, et donc son poids propre, étant nettement moindres, tout en offrant une plus grande sécurité, et qui

soit même capable de satisfaire à des paramètres plus exigeants, et de reprendre les charges ainsi engendrées, le coût de l'élaboration industrielle et de la transformation de cet acier ne devant en outre pas excéder les frais spécifiques encourus pour la réalisation des produits fabriqués avec les aciers classiques.

On connaît déjà des aciers de construction présentant de bonnes propriétés mécaniques et une bonne soudabilité lorsque les conditions sont appropriées.

10 Dans le domaine des aciers soudables, on peut énumérer, à titre d'exemples, les nuances d'acier suivantes: T 1, RQC-100 A, HY et NAXTRA, en provenance des Etats-Unis, ou HT, HW, KLN et RIVER-ACE, en provenance du Japon. La composition chimique de ces aciers est caractérisée par les teneurs suivantes : 0,10 à 0,23 % (en poids) de C, 0,50 à 1,50 % (en poids) de Mn, 0,60 à 1,50 % (en poids) de Cr, et 1,0 à 9,5 % (en poids) de Ni, et quelques nuances contiennent de plus 0,50 à 1,00 % (en poids) de Mo, 0,08 à 0,15 % (en poids) de V, 0,003 à 0,04 % (en poids) de B et 20 0,5 à 0,7 % (en poids) de Cu.

Il est caractéristique des propriétés mécaniques de ces aciers que leur limite apparente d'élasticité - rapportée à un allongement de 0,2 % - soit comprise entre 500 et 700 N/mm², et que leur plasticité se prête à une transformation industrielle. Leur limite de résistance à la fatigue, dans le cas d'une rupture survenant après 10⁵ sollicitations, est comprise, pour une sollicitation R = -1, entre 200 et 400 N/mm² et, pour une sollicitation R = 0, entre 250 et 500 N/mm² (sur des éprouvettes non soudées).

30 Quelques nuances d'acier présentent une certaine résistance à la corrosion par l'air.

L'inconvénient de ces aciers est cependant que l'on ne peut leur donner leurs bonnes caractéristiques de résistance que par un traitement de trempe et de revenu appliqué dans des installations spéciales. Leurs propriétés mécaniques sont donc le résultat de la trempe et du revenu, ce qui limite le nombre de profils pouvant être réalisés dans cette qualité, donne lieu en outre à une grande ins-

tabilité de ces propriétés mécaniques par suite du manque d'homogénéité de la trempe, et se solde de plus, en raison de la capacité de passage limitée de l'installation, de la complexité de celle-ci et des frais élevés qui sont encourus, par un coût de fabrication qui atteint plusieurs fois le prix de revient de l'élaboration normale de l'acier.

L'état du matériau qui a subi un traitement de trempe et de revenu constitue une difficulté supplémentaire pour la transformation industrielle, notamment pendant le découpage ou tronçonnage à chaud, la réalisation de jonctions soudées et le pliage ou cintrage à chaud.

L'utilisation des aciers ayant subi un traitement de trempe et de revenu est ainsi fortement limitée, en dépit de leurs propriétés mécaniques favorables, et ceci par suite de l'absence des profils indispensables, du manque d'homogénéité des propriétés mécaniques, des difficultés liées à leur transformation et de leur prix élevé. Dans le domaine des matériaux non soudables, on connaît également des aciers qui ont d'excellentes propriétés mécaniques, tels que, par exemple, les nuances En et AISI-V, mises au point aux Etats-Unis, ou la nuance GhNW, en provenance de l'Union Soviétique, les nuances Rex, Melt-A et HST, en provenance de Grande-Bretagne, ou CSV4 et MOG en provenance de la République Fédérale d'Allemagne. Leur composition chimique est caractérisée par les teneurs suivantes : 0,2 à 0,6 % (en poids) de C, 0,2 à 1,6 % (en poids) de Si, 0,3 à 1,6 % (en poids) de Mn, 0,3 à 5,0 % (en poids) de Mo et 0,1 à 1,0 % (en poids) de V, mais quelques nuances contiennent aussi 1,5 à 3,0 % (en poids) de W et 0,1 à 0,3 % (en poids) de Ti.

Il est caractéristique des propriétés mécaniques de ces aciers que leur limite apparente d'élasticité, pour un allongement de 0,2 %, soit comprise entre 1300 et 1600 N/mm² lorsqu'ils ont subi un traitement de trempe et de revenu, et que leur résistance à la traction soit comprise entre 1700 et 2000 N/mm², ce à quoi correspondent un allongement de 7 à 10 % et une résilience comprise entre 0,7 et 2 daJ/cm², sur une éprouvette Izod non entaillée. Pour une

sollicitation $R = 0$, rapportée à un nombre de cycles de 10^4 jusqu'à rupture, leur limite de résistance à la fatigue est comprise entre 400 et 800 N/mm².

L'inconvénient de ces aciers est que leurs propriétés, précédemment mentionnées, ne se manifestent qu'après un traitement de trempe et de revenu, ce qui limite fortement leur utilisation en raison des difficultés de transformation (battitures, calamine, réticulation ou gauchissement, degré d'usinabilité), et ce qui rend en outre ces aciers assez fragiles et sensibles à l'effet d'entaille, le coût de leur élaboration excluant de plus pratiquement une application industrielle à grande échelle, à cause de leur forte teneur en éléments alliés.

Les aciers de construction actuellement connus présentent donc d'assez bonnes propriétés mécaniques, à la fois dans le domaine soudable et dans le domaine non soudable, et ceci en raison des additions d'alliage et des traitements thermiques, c'est-à-dire de la trempe suivie de revenu. Mais cette méthode d'augmentation de la résistance limite l'assortiment des profilés que l'on peut ainsi fabriquer, les éléments de construction ayant subi un traitement de trempe peuvent en outre difficilement être usinés à l'aide des machines habituelles, et enfin, dans le cas des éléments de construction ayant subi une transformation avant la trempe, la haute température de trempe provoque une décarburation, une réticulation ou un gauchissement, et éventuellement des fissurations. L'élaboration de ces aciers nécessite des équipements spéciaux, qui augmentent encore les dépenses et ne permettent pas une application industrielle de grande envergure. La combinaison de ces inconvénients en arrive à réduire sensiblement la valeur utile de ces aciers, en dépit de leurs propriétés mécaniques apparemment favorables.

La présente invention a pour objet de mettre au point des aciers de construction résistants à l'usure et à la corrosion par l'air, et présentant une bonne soudabilité jusqu'à certaines limites de teneur en carbone (0,30 %) aciers dont la limite de résistance à la fatigue

et la limite apparente d'élasticité soient supérieures à celles des aciers classiques et qui puissent, grâce à leurs différents mécanismes de renforcement et sans trempe, servir de matériau de base pour la réalisation de constructions et ossatures, d'ouvrages terrestres ou hydrauliques, de véhicules, de machines et éléments de machines, qui sont exposés à de grandes sollicitations cycliques et aux intempéries.

La présente invention permet d'atteindre l'objectif fixé par le fait que l'acier ainsi élaboré contient, outre le fer, les éléments résiduels habituels tels que P, As, Se, etc..., au maximum 1,6 % (en poids) de C, 0,3 à 3,0 % (en poids) de Mn et/ou de Ni, au maximum 1,8 % (en poids) de Si, 0,6 à 4,0 % (en poids) de Cu, au maximum 3,0 % (en poids) de Mo et/ou de Co, 0,02 à 0,4 % (en poids) de Nb et/ou de V, au maximum 0,006 % (en poids) de B, au maximum 0,4 % (en poids) de Zr et/ou de Be, 0,02 à 0,2 % (en poids) de Al, 0,005 à 0,2 % (en poids) de N, au minimum 0,0001 % (en poids) de Ca, et au maximum 0,25 % (en poids) de Ce et/ou de Pb, le soufre peut être présent dans certains cas jusqu'à 0,1 %.

Des compositions plus particulièrement préférées selon l'invention comprennent :

	C	0,04 - 0,5 %	Nb	0,01 - 0,15 %
25	Mn	1,50 - 2 %	V	0,01 - 0,15 %
	Si	0,5 - 1 %	Zr	0,01 - 0,15 %
	S	0,01 - 0,05 %	Al	0,02 - 0,2 %
	Cu	1,20 - 2 %	N	0,01 - 0,04 %
	Ni	1 - 1,50 %	B	0,0001 - 0,005 %
30	Mo	0,05 - 0,5 %	Ca	0,0001 - 0,005 %
			Pb	0,01 - 0,25 %

pour des aciers soudables.

La composition préférée pour des aciers non soudables est la suivante :

	C	0,04 - 0,5 %		Nb	0,01 - 0,15 %
	Mn	1,50 - 2 %		V	0,05 - 0,15 %
5	Si	0,5 - 1 %		Zr	0,01 - 0,15 %
	S	0,01 - 0,05 %		Be	0,01 - 0,05 %
	Cu	1,5 - 2 %		B	0,0001 - 0,006 %
	Ni	1 - 1,50 %		Al	0,01 - 0,2 %
	Mo	0,05 - 1 %		Ca	0,0005 - 0,005 %
10				Pb	0,01 - 0,25 %

Quelques-uns des éléments alliés forment, lorsqu'ils sont dans le rapport selon la présente invention, des composés métalliques complexes qui, en partie, produisent déjà, dès le stade de la coulée, des germes actifs de dimension critique, et qui sont aussi, en partie, mis en solution dans les interstices en créant ainsi une précontrainte dans le réseau du fer et en augmentant ainsi le nombre de défauts du réseau. D'autres éléments alliés provoquent des précipitations métalliques ayant une grande résistance au cisaillement, lesquelles augmentent et stabilisent en même temps, de façon cohérente, la tension interne du réseau de matière de base.

L'augmentation du nombre de germes de dimension critique entraîne une forte augmentation de l'aptitude à la cristallisation que présente la coulée, une diminution du temps de solidification et de la grosseur de grain primaire, une augmentation brusque des surfaces des limites des grains et une limitation de la formation possible d'enrichissements intermétalliques.

Les propriétés et le rapport avantageux des composants créent, dans le système d'allié selon la présente invention, des conditions thermodynamiques, cinétiques et de germination telles, pendant la mise en solution, la solidification, la recristallisation et la déformation à chaud, que la disposition des composants à la mise en solution interstitielle, la quantité de ces composants ainsi que le nombre et le degré de contrainte des réseaux ainsi mis sous précontrainte se trouvent nettement augmentés.

Grâce à l'augmentation du nombre des réseaux présentant une précontrainte interstitielle et de leur degré de contrainte, le nombre des dislocations produites par voie métallurgique et qui favorisent et déterminent la formation, ainsi que la dispersion des précipitations métalliques se trouve fortement augmenté, ce qui augmente sensiblement l'efficacité de la fonction d'ancrage ou de fixation des précipitations lors du mouvement de front de dislocation que déclenchent les précipitations.

Les composants selon la présente invention et leur rapport avantageux assurent ainsi automatiquement l'excellente qualité métallurgique de l'acier pendant son élaboration et l'effet positif des différents mécanismes de renforcement actuels, dont l'action combinée et cumulée augmente la résistance mécanique utile et la limite de résistance à la fatigue de l'acier.

La composition chimique de l'acier selon la présente invention comprend aussi des éléments alliés qui ne se mettent pas en solution dans le fer et ne se combinent pas avec celui-ci, mais qui s'enrichissent à la surface de l'acier. Il en résulte qu'il se forme à la longue sur la surface, par l'effet de l'atmosphère, une couche de protection dense qui se dissout difficilement et qui protège l'acier contre l'action corrosive de l'environnement et de fluides bien déterminés, en éliminant la possibilité de corrosion par piqûres et en améliorant la solidité de la couleur de l'acier.

L'acier selon la présente invention présente une bonne soudabilité pour une teneur en carbone donnée et avec un apport de chaleur approprié, et les propriétés de la zone thermiquement affectée sont identiques à celles du matériau de base.

L'élaboration de l'acier selon la présente invention ne nécessitant pas d'atmosphère réductrice, elle peut se dérouler à l'aide des installations classiques, et l'on peut, par des procédés de façonnage à chaud, conférer à l'acier des dimensions et profils quelconques, par laminage ou estampage, la production pouvant se faire en

grande série sans installations particulières.

L'acier selon la présente invention présente, sans trempe, d'excellentes propriétés mécaniques, et permet en même temps l'application des technologies de transformation et d'assemblage classiques.

Dans le domaine de l'acier non soudable, on peut régler par revenu l'aptitude à la transformation ou à l'usinage, ainsi que la dureté après usinage, par un traitement thermique à basse température. Le prix de l'acier selon la présente invention n'est ainsi pas grevé, en tant que matériau de base, par le coût du traitement compliqué de trempe et de revenu exécuté dans un liquide spécial, ainsi que par celui des installations nécessaires à cet effet, et en outre les frais de fabrication des produits réalisés avec l'acier selon la présente invention n'excèdent pas le coût des produits classiques.

C'est pourquoi le bénéfice que l'on peut obtenir sur le plan économique, de par les avantages techniques offerts par l'acier selon la présente invention (réduction de la consommation d'énergie et du poids, etc...), grâce aux limites élevées de la résistance à la fatigue et de l'élasticité, n'est pratiquement pas affecté du fait des frais d'élaboration et d'utilisation du nouveau matériau de base.

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description détaillée de plusieurs modes de réalisation pris comme exemples non limitatifs de l'élaboration de l'acier et de ses propriétés mécaniques.

EXEMPLE 1

Trois charges de l'acier selon la présente invention sont présentées, à titre d'exemple, dans le domaine des aciers soudables. Les charges ont été élaborées dans des fours à arc de 60 t et ensuite affinées dans des équipements métallurgiques comportant des poches. La coulée a été effectuée dans une installation de coulée continue à quatre filières ayant un profil de 240 x 240 mm, et l'on a ensuite produit par laminage, à partir des billettes, et dans des conditions normales, des ronds en acier d'un diamètre de

20 mm, que l'on a ensuite refroidis à l'air sur des refroidisseurs.

Les résultats des examens des charges selon la présente invention figurent ci-après :

5 1.1. Composition chimique des charges en pourcentages (poids)

TABLEAU 1

Charge	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
1	0,08	1,69	0,88	0,018	0,012	1,63	1,10
2	0,155	1,63	0,905	0,015	0,022	1,70	1,09
3	0,21	1,66	0,76	0,014	0,014	1,39	1,12
	Mo	Nb	V	Zr	Al	N	
1	0,10	0,030	0,04	0,04	0,15	0,0213	
2	0,08	0,050	0,07	0,029	0,059	0,0248	
3	0,12	0,051	0,05	0,027	0,027	0,0244	
	B	Ca	Pb				
1	0,0024	0,0020	0,07				
2	0,0025	0,0015	0,09				
3	0,0022	0,0011	0,06				

Dans les exemples qui suivent les abréviations qui suivent ont les significations suivantes :

Rp la limite élastique

25 Rm la charge de rupture

A₅ allongement

Z striction

KCU resiliance

1.2. Propriétés mécaniquesTABLEAU 2

	Désignation	Laminé 1/			500° C ^{2/}		
		1.	2.	3.	1.	2.	3.
5	Unité de mesure	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	$R_p^{0,002}$ N/mm ²	800	790	800	855	860	920
	R_m N/mm ²	970	1010	900	1050	1066	1090
10	A_5 %	18,5	19	18,5	18,2	18	17
	Z %	49	50	50	49	46	41
	KCU :						
	da J/cm ² + 20°C	20	22	21,4	18,7	19,4	20
15	da J/cm ² - 40°C	8	8,7	8	9	9,7	10,2
	Désignation	1250 C ^{3/}					
	Unité de mesure	1.	2.	3.			
20	$R_p^{0,002}$ N/mm ²	810	800	890			
	R_m N/mm ²	1040	1030	1085			
	A_5 %	16,4	16	15			
	Z %	43	42	39			
25	KCU						
	da J/cm ² + 20°C	17,1	18	19,4			
	da J/cm ² - 40°C	8	7	7,3			

1/ état laminé sans traitement thermique

2/ maintenue à chaud, à 500°C, pendant 90 minutes, puis refroidie à l'air

3/ maintenue à chaud, à 1250°C, pendant 45 minutes, puis refroidie à l'air

1.3. Soudabilité

On a examiné les éprouvettes, soudées en atmosphère inerte, d'une plaque de 12 mm d'épaisseur fabriquée avec la charge 2. La plaque n'a été soumise à aucun traitement thermique, ni avant ni après le soudage.

Epaisseur de la plaque = $V = 12$ mm

Type de soudure = contre-soudure (à un angle de 60°)

Apport de chaleur = 3000 joule/cm $\sqrt{\text{mm}}$

10 Nombre de soudures = $3 + 1$

Atmosphère inerte = CO_2

Fil à souder = le matériau lui-même, avec un diamètre de $1,6$ mm

1.31. Essai de traction

15 $R_P^{0,002} = 784,7$ N/mm 2

$R_m = 902,6$ N/mm 2

$A_5 = 16$ %

$Z = 52$ %

20 Rupture se produisant en dehors de la soudure

1.32. Plasticité de la zone thermiquement affectéeTABLEAU 3

25	Entaille de l'éprouvette pour essai au choc, mesurée à partir de l'arête rectiligne de la soudure non chanfreinée mm	Effet de choc à KCU - 40° C
		da J/cm 2
	0	7
	1	8,4
30	2	10
	3	9
	4	8,7
	5	8
	7	10
	10	9,7
35	15	10,5

1.4. Résistance à la corrosion par l'air
(mesurée dans le volume d'air d'un local industriel)

TABLEAU 4

5	Période d'essai (années)	Profondeur moyenne de la pénétration de la corrosion (mm)		
		Charge 2		Aciers servant de base de comparaison
10		Acier au carbone	Acier contenant 0,6 % de cuivre	
15	0,5	0,007	0,08	0,030
	1	0,010	0,12	0,045
	2,5	0,012	0,16	0,070

1.5. Résistance à la fatigue

L'essai de fatigue ou d'endurance a été effec-
tué sur une machine pour essais de fatigue du type Schenk-
20 Erlinger, fonctionnant d'après le principe de résonance.
Dans ce cas, ce sont à la fois la composante de la pré-
contrainte statique et la charge oscillante ($\pm Fa$) qui
sont appliquées par des ressorts s'appuyant sur une tête
de charge commune. La charge statique est établie et ré-
25 glée par un axe fileté et le ressort oscillant est excité
par un moteur électrique. L'oscillation ou vibration
excitée par la rotation de la masse excentrique actionne
le pulsateur au point de résonance, et ledit pulsateur
produit une charge statique comprise entre 0 et 20 méga-
30 pond et une charge cyclique de ± 10 mp.

Un rond en acier, d'un diamètre de 20 mm, réa-
lisé par laminage à partir de la charge 2, a été soumis
à l'essai de fatigue. Les résultats de l'essai de traction
de contrôle, effectué sur une éprouvette laminée n'ayant
35 pas subi de traitement thermique, figurent sur le tableau
5.

TABLEAU 5

5	Désignation	Propriétés mécaniques	
	Unité de mesure	Charge 2 sans traitement thermique	Acier de traitement 420.D4
10	$R_p^{0,002}$ N/mm ²	892,7	1079,1
	R_m N/mm ²	983,9	1147,7
	A ₅ %	16,4	14,6
	Z %	57	50,7
	KCU + 20°C da J/cm ²	19,8	11,8

15 A titre de comparaison, l'essai a aussi été effectué sur la nuance d'acier 42CD4, selon la même méthode et sur une éprouvette similaire. La composition chimique de l'acier ayant servi de base de comparaison figure sur le tableau 6, tandis que ses propriétés mécaniques sont indiquées sur le tableau 5.

20

TABLEAU 6

25	Nuance d'acier	Composition chimique en pourcentages (poids)						
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Ti
	42CD4	0,42	0,29	0,65	1,10	0,20	0,20	0,05

1.51. Degrés de charge de l'essai de fatigue

TABLEAU 7

5

<u>Désignation</u>	<u>Degrés de charge (N)</u>					
	42CD4 _{I.}	Ch 2	42CD4 _{II.}	Ch 2	42CD4 _{III.}	Ch 2
F max	68000	96000	68000	78000	68000	68000
F min	9000	9000	29000	9000	39000	9000
Fa	29000	44000	19000	34000	18000	29000

10 1.52. Contrainte correspondant aux degrés ou échelons de charge et à laquelle les éprouvettes ont été soumises

TABLEAU 8

15

<u>Désignation</u>	<u>Contraintes correspondant aux charges N/cm²</u>					
	I.		II.		III.	
	42CD4	Ch 2	42CD4	Ch 2	42CD4	Ch 2
20 F max	27664	39534	27664	31588	27664	27664
F min	3953	3953	11870	3953	15794	13832
Fa	11870	17805	7906	14782	5935	11870

25 1.53. Résultat de l'essai de fatigue

TABLEAU 9

<u>Dans le cas de l'acier 42CD4_s</u>			
<u>Degré de charge</u>	<u>E lg Ni</u>	<u>durée de vie de 50 % probable</u>	
	n		
I.	10,9985	59783	
II.	12,1960	198000	
III.	12,8229	370594	
	<u>carré de dispersion empirique</u>	<u>15 %</u>	<u>85 %</u>
		<u>Probabilité de rupture</u>	
I.	0,04606	47258	75628
II.	0,17445	126692	309442
III.	0,06455	281653	487621
<u>Dans le cas de l'acier de la charge 2</u>			
<u>Degré de charge</u>	<u>E lg Ni</u>	<u>durée de vie de 50 % probable</u>	
	n		
I.	11,4256	91638	
II.	12,3315	226715	
III.	13,4427	688732	
	<u>carré de dispersion empirique</u>	<u>15 %</u>	<u>85 %</u>
		<u>Probabilité de rupture</u>	
I.	0,2795	52485	160000
II.	0,22673	131822	389917
III.	0,73595	278821	1701277

1.54. Interprétation des résultats de l'essai de fatigue

En comparant les résultats d'essais obtenus avec une sollicitation identique de l'acier 42CD4 et de l'acier de la charge 2 élaboré selon la présente invention, on constate, pour la probabilité de rupture de 50 %, qu'à cette valeur correspondent 60 000 sollicitations dans le cas de l'acier servant de base de comparaison, contre 700 000 sollicitations dans le cas de l'acier selon la présente invention. La comparaison des résultats obtenue par des méthodes d'essai identique fait ressortir qu'avec

une charge identique la durée de vie de l'acier selon la présente invention est à peu près égale à dix fois celle de l'acier classique servant de base de comparaison.

5 En comparant les valeurs de résistance ou les charges de la durée correspondant à la probabilité de rupture de 50 %, c'est-à-dire les droites qui représentent, dans une même figure, la résistance à la fatigue des deux matériaux, on constate que l'acier selon la présente invention supporte des charges qui sont presque le double
10 de celles que supporte l'acier 42CD4.

TABLEAU 10

15	<u>Nombre de sollicitations</u>	<u>Charge Fa correspondant à une probabilité de rupture de 50 %</u>	
	Ni	(N)	
		<u>42 CD4</u>	<u>Charge 2</u>
	$9 \cdot 10^5$	26000	44000
	$2 \cdot 10^6$	19000	38000
	$3 \cdot 10^6$	16000	35000
20	$4 \cdot 10^6$	14000	32000
	$6 \cdot 10^6$	11000	29000
	$8 \cdot 10^6$	9000	26000

EXEMPLE 2

25 Deux charges constituées par de l'acier selon la présente invention sont présentées, à titre d'exemples, dans le domaine des aciers non soudables. Les charges ont été produites dans un four à arc de 65 t, puis affinées dans des équipements métallurgiques comportant des poches,
30 et coulées dans une installation à coulée continue ayant un profil de 240 x 240 mm. Des ronds en acier ont ensuite été produits, par laminage, dans des conditions normales, à partir des biellettes, et refroidis sur des refroidisseurs. Le diamètre de ces ronds en acier était de 20 mm.
35 Les résultats des essais sont représentés ci-après.

2.1. Composition chimique des chargesTABLEAU 11

		Charge Composition chimique en pourcentages (poids)								
5		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Mo	
	4	0,36	1,62	0,84	0,012	0,010	1,59	1,20	0,07	
	5	0,45	1,80	0,74	0,011	0,015	1,69	1,22	0,09	
10		Nb	V	Zr	Be	B	Al	Ca	Pb	
	4	0,07	0,07	0,03	0,0219	0,0050	0,03	0,0017	0,04	
	5	0,036	0,07	0,03	0,0201	0,0035	0,04	0,002	0,06	

2.2. Propriétés mécaniquesTABLEAU 12

15	Désignation	450° C ^{1/}		650° C ^{2/}		850° C ^{3/}	
	Unité de mesure	4	5	4	5	4	5
	R _p ^{0,002} N/mm ²	1412	1569	931	1140	1716	1600
20	R _m N/mm ²	1765	2060	1030	1210	1863	2100
	A ₅ %	10	8	17	16	10	10
	Z %	20	20	45	48	15	18
25	KCU -40°C (da J/cm ²)	2,5	2,2	3	4	2,9	2,7

2.3. Résistance à la fatigue

L'essai de fatigue avait pour objet d'examiner les propriétés de l'acier selon la présente invention lorsqu'il est soumis à un effort d'oscillation ou de vibration variant avec le temps. La méthode d'essai utilisée était, outre les essais de fatigue par efforts de torsion cycliques avec les éprouvettes de fatigue par torsion qui sont usuels, la méthode Locati, destinée à déterminer la résistance aux efforts combinés de flexion et de torsion, et l'on a finalement calculé la résistance aux oscillations ou vibrations en traitant les résultats sur ordina-

teur. Pour l'essai de fatigue de la charge 4, on a utilisé des éprouvettes fabriquées avec des ronds en acier laminés et soumis à un traitement de détensionnement, d'un diamètre de 40 mm. Les résultats de l'essai mécanique statique des ronds en acier produits par laminage à partir de la charge 4 figurent sur le tableau 13.

TABLEAU 13

<u>Désignation</u>	<u>Valeurs correspondant à</u>
<u>Unité de mesure</u>	<u>la charge 4</u>
$R_p^{0,002}$ N/mm ²	1150
R_m N/mm ²	1200
A_5 %	14
Z %	43

2.31. Essai de fatigue par efforts de torsion cycliques

Cet essai avait pour objet de déterminer le diagramme de Wöhler pour l'effort combiné de flexion et d'oscillation symétrique.

2.32. Degrés ou échelons de charge de l'essai de fatigue par efforts de torsion cycliques

TABLEAU 14

<u>Degré de charge</u>	<u>Effort de flexion (N/mm²)</u>
I.	588
II.	539
III.	515
IV.	490

2.33. Paramètres de l'essai de fatigue par efforts de torsion cycliques

TABLEAU 15

5	R_1	= charge initiale		
	N_1	= cycle de sollicitation (nombre de sollicitations)		
	ΔR_1	= valeur du degré ou de l'échelon de charge		
	ΔN	= nombre de cycles		
10	R_1 N/mm ²	N_1	ΔR_1	ΔN
	294	$7,5 \cdot 10^5$	24,5	10^5
	441	$3,0 \cdot 10^6$	24,5	10^5
15	490	$4,6 \cdot 10^6$	24,5	10^5
	441	10^6	24,5	10^5
	441	$6,1 \cdot 10^6$	24,5	10^5

20 2.34. Résultat de l'essaiTABLEAU 16

	<u>Degré ou échelon de charge</u>	<u>Effort de flexion</u> N/mm ²	<u>Durée de vie</u>
25	I.	588	$1,1 \cdot 10^5$ - $1,26 \cdot 10^5$
	II.	539	$1,65 \cdot 10^5$ - $2,48 \cdot 10^5$
	III.	515	$2,00 \cdot 10^5$ - $7,00 \cdot 10^5$
	IV.	490	$2,7 \cdot 10^5$ - $3,64 \cdot 10^6$

30 2.35. Données relatives à la répartition des résultats de l'essai de fatigue par efforts de torsion cycliques, après traitement de ces résultats par l'ordinateur.

TABLEAU 17

	Degré ou échelon de charge	Durée de vie de 50 % probable	Carré de dispersion	Durée de vie de 84 %	Durée de vie de 16 %
5	I.	$1,15 \cdot 10^5$	1,066	$1,23 \cdot 10^5$	$1,02 \cdot 10^5$
	II.	$1,93 \cdot 10^5$	1,175	$2,27 \cdot 10^5$	$1,64 \cdot 10^5$
	III.	$3,26 \cdot 10^5$	1,508	$4,92 \cdot 10^5$	$2,17 \cdot 10^5$
	IV.	$1,06 \cdot 10^6$	3,658	$3,89 \cdot 10^6$	$2,86 \cdot 10^5$

10 2.36. Essai de fatigue par effort de torsion

Cet essai avait pour objet de déterminer le diagramme de Wöhler pour l'effort combiné de torsion et d'oscillation symétrique.

15 2.37. Degrés ou échelons de charge de l'essai de fatigue par efforts de torsion

TABLEAU 18

	Degré ou échelon de charge	Couple de rotation (joule) de l'essai de fatigue par efforts de torsion	Contrainte (N/mm^2)
20	I.	27,47	408
	II.	24,52	365
	III.	22,56	335
	IV.	20,60	306

25 2.38. Paramètres de l'essai de fatigue par efforts de torsion

TABLEAU 19

30	Couple initiale $M_{csa-1} = 19,62$ joule
	Contrainte initiale $T_{a-1} = 291$ N/mm^2
	Valeur du degré ou de l'échelon de contrainte ou de charge $T_a = 14,7$ N/mm^2
	Nombre de sollicitations $N_1 = 10^5$
	Nombre de cycles $N = 10^5$

2.39. Résultat de l'essai de fatigue par efforts de torsion

TABLEAU 20

	<u>Degré ou échelon de charge</u>	<u>Couple de rotation</u> (Joule)	<u>Contrainte</u> (N/mm ²)	<u>Durée de vie</u>
5	I.	27,47	408	0,4.10 ⁵ - 2,16.10 ⁵
10	II.	24,52	365	0,8.10 ⁵ - 7,90.10 ⁵
	III.	22,56	335	1,55.10 ⁵ - 9,54.10 ⁵
	IV.	20,60	306	2,86.10 ⁵ - 1,48.10 ⁶

2.4. Valeurs de résistance dynamique ou aux oscillations ou vibrations déterminées sur la base de l'essai de fatigue par efforts de torsion cycliques

TABLEAU 21

	<u>Probabilité de rupture</u>	<u>Résistance aux oscillations ou vibrations R_{vh}</u> N/mm ²
20	16 %	373
	50 %	409
25	84 %	441

2.5. Valeurs de résistance aux oscillations ou vibrations déterminées sur la base de l'essai de fatigue par efforts de torsion

TABLEAU 22

	<u>Probabilité de rupture</u>	<u>Résistance aux oscillations ou vibrations Tv</u> N/mm ²
5	16 %	254
	50 %	254
	84 %	255

2.6. Interprétation des résultats

10 Les valeurs de résistance aux oscillations ou vibrations qui ont été obtenues, soit $R_{vh} = 373$ à 441 N/mm^2 et $T_v = 254$ à 255 N/mm^2 , avec un rond en acier produit à partir de l'acier selon la présente invention, n'ayant pas subi de traitement de trempe suivi de revenu et d'un diamètre de 40 mm, concordent avec les valeurs de résistance

15 aux oscillations ou vibrations des aciers de ressorts connus ayant subi une trempe ou un traitement de trempe suivi de revenu. Il y a lieu de noter qu'au cours des essais de fatigue par efforts de torsion cycliques, on a pu obtenir

20 une amélioration sensible des valeurs de résistance aux oscillations ou vibrations par une charge préalable appropriée, de l'ordre de plusieurs millions, qui a été produite par une contrainte d'environ 440 N/mm^2 . Les valeurs de

25 résistance aux oscillations ou vibrations de l'acier selon la présente invention s'améliorent donc sensiblement lorsqu'il a été mis en place dans une construction, par suite du travail des ossatures, ce qui constitue une propriété très utile de l'acier selon la présente invention.

REVENDICATIONS

1 - Acier de construction présentant une haute résistance à la fatigue et, jusqu'à une teneur en carbone bien définie, une bonne soudabilité, et qui est résistant à la corrosion par l'air, caractérisé par le fait qu'il contient, outre le fer, au maximum 1,6 % (en poids) de C, 0,3 à 3,0 % (en poids) de Mn et/ou de Ni, au maximum, 1,8 % (en poids) de Si, 0,6 à 4,0 % (en poids) de Cu, au maximum 3,0 % (en poids) de Mo et/ou de Co, 0,02 à 0,4 % (en poids) de Nb et/ou de V, au maximum 0,006 % (en poids) de B, au maximum 0,4 % (en poids) de Zr et/ou de Be, 0,02 à 0,2 % (en poids) de Al, 0,005 à 0,2 % (en poids) de N, au minimum 0,0001 % (en poids) de Ca, et au maximum 0,25 % (en poids) de Ce et/ou de Pb, et jusqu'à 0,1 % de soufre.

2 - Acier de construction selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il a la composition suivante en plus du fer et de certains éléments résiduels :

	C	0,04	-	0,5	%	Nb	0,01	-	0,15	%
20	Mn	1,50	-	2	%	V	0,01	-	0,15	%
	Si	0,5	-	1	%	Zr	0,01	-	0,15	%
	S	0,01	-	0,05	%	Al	0,02	-	0,2	%
	Cu	1,20	-	2	%	N	0,01	-	0,04	%
	Ni	1	-	1,50	%	B	0,0001	-	0,005	%
25	Mo	0,05	-	0,5	%	Ca	0,0001	-	0,005	%
						Pb	0,01	-	0,25	%

3 - Acier de construction selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il a la composition suivante en fer et de certains éléments résiduels :

	C	0,04	-	0,5	%	Nb	0,01	-	0,15	%
30	Mn	1,50	-	2	%	V	0,05	-	0,15	%
	Si	0,5	-	1	%	Zr	0,01	-	0,15	%
	S	0,01	-	0,05	%	Be	0,01	-	0,05	%
	Cu	1,5	-	2	%	B	0,0001	-	0,006	%
35	Ni	1	-	1,50	%	Al	0,01	-	0,2	%
	Mo	0,05	-	1	%	Ca	0,0001	-	0,005	%
						Pb	0,01	-	0,25	%

4 - Procédé de fabrication d'un acier de construction présentant une haute résistance à la fatigue et jusqu'à une teneur en carbone bien définie, une bonne soudabilité et qui est résistant à la corrosion, caractérisé

5 par le fait que l'on élabore dans un four une charge comprenant outre le fer, au maximum 1,6 % (en poids) de C, 0,3 à 3,0 % (en poids) de Mn et/ou de Ni, au maximum 1,8 % (en poids) de Si, 0,6 à 4,0 % (en poids) de Cu, au maximum 3,0 % (en poids) de Mo et/ou de Co, 0,2 à 0,4 % (en

10 poids) de Nb et/ou de V, au maximum 0,006 % (en poids) de B, au maximum 0,4 % (en poids) de Zr et/ou de Be, 0,02 à 0,2 % (en poids) de Al, 0,005 à 0,2 % (en poids) de N, au minimum 0,0001 % (en poids) de Ca, et au maximum 0,25 % (en poids) de Ce et/ou de Pb, le soufre peut être présent

15 dans certains cas, jusqu'à 0,1 % que l'on procède ensuite à l'affinage dans un équipement métallurgique équipé de poches, puis à la coulée, au laminage et au refroidissement.



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.)
Catégorie	Citation du document avec indication en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	<u>SU - A - 570 657</u> (GOLOVIN et al.) * Résumé *	1,2	C 22 C 38/08 C 22 C 38/16
	--		
	<u>FR - A - 2 245 775</u> (LENIN KOHASZATI MÚVEK) * Revendication *	1,2	
	--		
	<u>FR - A - 1 418 471</u> (SHIKAWAJIMA HARIMA JUKOGYO K.K.) * Résumé 4,5,6 *	1,2	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 7)
	--		
	<u>GB - A - 1 128 527</u> (FUJI IRON & STEEL CY LTD) * Revendications 1,2,3,4 *	1,3	C 22 C 38/

			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
<input checked="" type="checkbox"/> Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			&. membre de la même famille, document correspondant
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examineur	
La Haye	10-12-1979	LIPPENS	