

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 909 828 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
21.04.1999 Bulletin 1999/16

(51) Int. Cl.⁶: **C22C 21/06**

(21) Numéro de dépôt: **98123582.3**

(22) Date de dépôt: **21.02.1996**

(84) Etats contractants désignés:
CH DE DK ES FR GB IT LI NL SE

(30) Priorité: **24.02.1995 FR 9502387**
09.10.1995 FR 9512065

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
96904891.7 / 0 804 626

(71) Demandeur: **Pechiney Rhenalu**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **Raynaud, Guy-Michel**
63500 Issoire (FR)

• **Hoffmann, Jean-Luc**
67150 Erstein (FR)
• **Cottignies, Laurent**
38320 Poisat (FR)
• **Pillet, Georges**
73160 Saint Cassin (FR)

(74) Mandataire:
Mougeot, Jean-Claude et al
PECHINEY
28, rue de Bonnel
69433 Lyon Cedex 03 (FR)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 10 - 12 - 1998
comme demande divisionnaire de la demande
mentionnée sous le code INID 62.

(54) **Produit pour construction soudée en alliage AlMgMn à résistance mécanique améliorée**

(57) L'invention concerne des produits laminés ou
filés pour constructions soudées en alliage d'aluminium
du type AlMgMn.

à la construction navale, aux véhicules industriels et
aux cadres de bicyclettes en tubes soudés.

Ces produits ont pour composition (% en poids):

$3,0 < \text{Mg} < 5,0$
 $0,75 < \text{Mn} < 1,0$
 $\text{Fe} < 0,25$
 $\text{Si} < 0,25$
 $\text{Zn} < 0,40$

éventuellement un ou plusieurs des éléments Cr, Cu, Ti,
Zr, tels que:

$\text{Cr} < 0,25$
 $\text{Cu} < 0,20$
 $\text{Ti} < 0,20$
 $\text{Zr} < 0,20$

autres éléments $< 0,05$ chacun et $< 0,15$ au total.

avec: $\text{Mn} + 2\text{Zn} > 0,75$

ces produits présentant une fraction volumique de dis-
persoïdes au manganèse de plus de 1,2%.

Ces produits présentent à l'état soudé une résis-
tance mécanique et une tenue en fatigue améliorée
sans conséquences défavorables pour la tenacité et la
résistance à la corrosion, et sont particulièrement aptes

EP 0 909 828 A2

Description**Domaine technique**

- 5 **[0001]** L'invention concerne le domaine des produits laminés ou filés, tels que tôles, profilés, fils ou tubes, en alliage d'aluminium du type AlMgMn à Mg > 3% en poids, destinées à des constructions soudées présentant une limite élastique élevée, une bonne résistance à la fatigue et une bonne tenacité pour des applications structurales, comme, par exemple, les bateaux, les véhicules industriels ou les cadres de bicyclettes soudés.

10 **Etat de la technique**

[0002] Le dimensionnement optimal des structures soudées en alliage d'aluminium conduit à utiliser des alliages AlMg de la série 5000 selon la nomenclature de l'Aluminum Association, comme par exemple l'alliage 5083 dont la composition déposée à l'Aluminum Association est (% en poids):

- 15 Mg: 4,0 - 4,9
Mn: 0,4 - 1,0
Fe < 0,40
Si < 0,40
20 Zn < 0,25
Cu < 0,10
Cr: 0,05 - 0,25
Ti < 0,15

- 25 Le brevet allemand n° 2443332 de Siemens décrit un exemple d'utilisation de ce type d'alliage à l'état soudé pour des éléments de machine aptes à subir un formage par explosion. L'article de J.S. Vetrano et al. "Effect of Precipitate Structure on Hot Deformation of Al-Mg-Mn Alloys" in "Advances in Hot Deformation Textures and Microstructures", TMS, Pittsburgh, 18-20 octobre 1993, pp. 223-234, décrit, pour le même type d'alliage, les différents précipités, notamment au manganèse, formant la microstructure, et leur influence sur la déformation à chaud de l'alliage.

- 30 Ces alliages sont utilisés à l'état écroui (état H1 selon la norme NF-EN-515), ou partiellement adouci (état H2), ou stabilisé (état H3), tout en conservant une bonne résistance à la corrosion (état H116), plutôt qu'à l'état recuit (état O). Mais, le plus souvent, l'augmentation des caractéristiques mécaniques par rapport à l'état O ne subsiste pas après soudage, et les recommandations des organismes de certification et de contrôle conseillent généralement, pour les structures soudées, de ne tenir compte que des caractéristiques à l'état O. On doit prendre en compte également, pour les
- 35 dimensionnement, la tenue à la fatigue et la vitesse de propagation des fissures.

Dans ce domaine, les travaux de recherche se sont surtout concentrés sur la conduite de l'opération de soudage elle-même. De plus, on a cherché, par des traitements thermomécaniques appropriés, à améliorer la tenue à la corrosion de la pièce.

- La demande de brevet japonais JP 06-212373 propose, pour minimiser la réduction de la résistance mécanique due
- 40 au soudage, d'utiliser un alliage contenant de 1,0 à 2,0% de Mn, de 3,0 à 6,0% de Mg et moins de 0,15% de fer. Mais, l'utilisation d'un alliage avec une teneur aussi élevée en manganèse conduit à un abaissement de la résistance à la fatigue et de la tenacité.

Objet de l'invention

- 45 **[0003]** L'invention a pour but, dans des conditions de soudage déterminées, d'améliorer de manière significative la résistance mécanique et la tenue à la fatigue des structures soudées en alliage AlMgMn, sans conséquences défavorables sur d'autres paramètres tels que la tenacité, la résistance à la corrosion et la déformation à la découpe, due aux contraintes internes.

- 50 L'invention a pour objet des produits destinés à des constructions soudées en alliage AlMgMn de composition (en poids %):

- 3,0 < Mg < 5,0
0,5 < Mn < 1,0

- 55 contenant Fe, Si et Zn en quantité telle que:

Fe < 0,25

Si < 0,25

Zn < 0,40

éventuellement l'un au moins des éléments Cr, Cu, Ti, Zr tels que:

Cr < 0,25

Cu < 0,2

Ti < 0,20

Zr < 0,20

autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total.

avec la relation: $Mn + 2Zn > 0,75$

ce produit présentant une fraction volumique de dispersoïdes au manganèse supérieure à 1,2%

Description de l'invention

[0004] Contrairement aux recherches antérieures concentrées sur le procédé de soudage et les traitements thermomécaniques, les inventeurs ont trouvé un domaine de composition particulier pour les éléments d'addition mineurs, en particulier le fer, le manganèse et le zinc, conduisant à un ensemble de propriétés intéressantes associant les caractéristiques mécaniques statiques, la ténacité, la résistance à la fatigue, la résistance à la corrosion et la déformation à la découpe, cet ensemble de propriétés étant particulièrement bien adapté à l'utilisation de ces alliages pour la construction navale, les véhicules utilitaires ou les cadres de cycles soudés.

Cet ensemble de propriétés est obtenu par la combinaison d'une basse teneur en fer, < 0,25%, de préférence < 0,20%, et même 0,15%, et d'une teneur en manganèse et en zinc telle que $Mn + 2Zn > 0,75\%$, de préférence > 0,8%. La teneur en Mn doit être > 0,5%, et de préférence > 0,8%, pour avoir des caractéristiques mécaniques suffisantes, mais ne doit pas dépasser pour autant 1%, si on veut éviter une dégradation de la ténacité et de la résistance à la fatigue. L'addition de zinc en combinaison avec le manganèse s'est révélée avoir un effet bénéfique sur les caractéristiques mécaniques des tôles et des joints soudés. Toutefois, il vaut mieux ne pas dépasser 0,4%, car on peut alors rencontrer des problèmes au soudage.

Le magnésium est maintenu de préférence > 4,3%, car il a un effet favorable sur la limite élastique et la résistance à la fatigue, mais au-delà de 5% la résistance à la corrosion est moins bonne. L'addition de Cu et Cr sont également favorables à la limite élastique, mais Cr est maintenu de préférence < 0,15% pour conserver une bonne résistance à la fatigue.

La résistance mécanique des tôles dépend à la fois de la teneur du magnésium en solution solide et des dispersoïdes au manganèse. Il a été constaté que la fraction volumique de ces dispersoïdes, qui est liée aux teneurs en fer et en manganèse, doit être maintenue, de préférence, au dessus de 1,2%. Cette fraction volumique est calculée à partir de la moyenne des fractions surfaciques mesurées sur des coupes polies réalisées dans les 3 directions (longueur, largeur et épaisseur) par microscopie électronique à balayage et analyse d'images.

Les produits selon l'invention peuvent être des produits laminés ou filés tels que des tôles laminées à chaud ou à froid, des fils, des profilés ou des tubes filés éventuellement rétirés.

Les tôles selon l'invention, assemblées par soudage bout à bout à l'aide d'un procédé MIG ou TIG et avec un chanfrein de l'ordre de 45° sur environ les 2/3 de l'épaisseur, présentent dans la zone soudée une limite élastique $R_{0,2}$ pouvant être supérieure d'au moins 25 MPa à celle d'un alliage conventionnel ayant la même teneur en magnésium, soit un gain de l'ordre de 20%.

La largeur de la zone affectée thermiquement est réduite de l'ordre d'un tiers par rapport à un alliage 5083 habituel, et la dureté du joint soudé passe d'environ 75 Hv à plus de 80Hv. Les joints soudés présentent également une résistance à la rupture qui dépasse le minimum imposé par les organismes de contrôle pour les tôles brutes écrouies non soudées.

Les tôles selon l'invention présentent une résistance à la fatigue, mesurée en flexion plane avec un rapport de contraintes $R = 0,1$ sur des éprouvettes prélevées dans le sens travers-long, supérieure à:

10^5 cycles pour une contrainte maximale > 280 MPa

10^6 cycles pour une contrainte maximale > 220 MPa

10^7 cycles pour une contrainte maximale > 200 MPa

La vitesse de propagation de fissure $_K$, mesurée pour $R = 0,1$, est > 22 MPa \sqrt{m} pour $da/dN = 5 \cdot 10^{-4}$ mm/cycle et > 26 MPa \sqrt{m} pour $da/dN = 10^{-3}$ mm/cycle.

Les tôles selon l'invention sont le plus souvent d'épaisseur supérieure à 1,5 mm. Pour les épaisseurs supérieures à 2,5

mm, elles peuvent être obtenues directement par laminage à chaud, sans nécessité d'un laminage à froid ultérieur, et, de plus, ces tôles laminées à chaud présentent à la découpe une distorsion plus faible que les tôles laminées à froid. Les produits selon l'invention présentent une résistance à la corrosion aussi bonne que les alliages habituels à même teneur en magnésium, par exemple le 5083 de composition courante, largement utilisé dans la construction navale.

Exemple

[0005] On a préparé 13 échantillons de tôles par coulée semi-continue conventionnelle sous forme de plaques, réchauffées pendant 20 h à une température > 500°C, puis laminées à chaud jusqu'à l'épaisseur finale de 6 mm. La référence 0 correspond à une composition classique de 5083 et la référence 1 a une composition légèrement en dehors de l'invention. Les 11 autres (réf. 2 à 12) ont une composition selon l'invention.

[0006] Les compositions étaient les suivantes (% en poids):

Réf	Mg	Cu	Mn	Fe	Cr	Zn	Ti	Zr
0	4,40	< 0,01	0,50	0,27	0,09	0,01	0,01	0,11
1	4,68	< 0,01	0,72	0,12	0,05	< 0,01	0,01	
2	4,56	< 0,01	0,83	0,12	0,13	0,01	0,01	
3	4,60	< 0,01	0,85	0,17	0,10	0,16	0,01	
4	4,62	< 0,01	0,96	0,10	0,05	0,02	0,01	
5	4,80	0,09	0,80	0,11	0,03	0,02	0,01	
6	4,72	< 0,01	0,87	0,13	0,03	0,02	0,01	
7	4,88	0,05	0,78	0,16	0,02	0,01	0,09	
8	4,92	0,06	0,94	0,08	0,02	0,19	0,01	
9	4,69	< 0,01	0,72	0,07	0,02	0,10	0,01	
10	4,71	< 0,01	0,82	0,06	0,02	< 0,01	0,01	
11	4,73	< 0,01	0,95	0,17	0,03	< 0,01	0,01	
12	4,70	< 0,01	0,92	0,22	0,03	0,01	0,01	

[0007] Les échantillons présentent tous, après laminage, une limite élastique $R_{0,2} > 220$ MPa dans le sens L.

On a mesuré la résistance mécanique des joints soudés à partir de ces tôles dans les conditions suivantes: soudage MIG bout à bout continu automatique, avec un chanfrein symétrique de pente 45° par rapport à la verticale sur une épaisseur de 4 mm et fil d'apport en alliage 5183.

Les caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture R_m , limite élastique $R_{0,2}$) ont été obtenues par traction sur des éprouvettes normalisées par l'organisme norvégien de contrôle DNV pour la construction navale, de longueur 140 mm, de largeur 35 mm, le cordon de soudure de largeur 15 mm étant au centre et la longueur de la partie étroite de l'éprouvette étant de 27 mm, soit la somme de la largeur du cordon et de 2 fois l'épaisseur (15 + 12 mm).

On a mesuré également les fractions volumiques de dispersoïdes au manganèse.

Les résultats sont les suivants (en MPa pour les résistances et % pour les fractions):

Réf.	R_m	$R_{0,2}$	fractions
0	285	131	0,62
1	292	144	1,2
2	302	150	1,4
3	300	146	1,6

EP 0 909 828 A2

(suite)

Réf.	R _m	R _{0,2}	fractions
4	310	158	1,7
5	309	149	1,4
6	305	155	1,5
7	315	166	1,3
8	318	164	1,9
9	310	153	1,5
10	312	150	1,5
11	315	153	1,6
12	315	151	1,5

[0008] On constate que la limite élastique des échantillons soudés selon l'invention présente, par rapport à l'échantillon de référence une augmentation comprise entre 15 et 35 MPa.

[0009] On a mesuré aussi, pour les références 0 à 5, la résistance à la fatigue des tôles non soudées en flexion plane, avec $R = 0,1$, en déterminant la contrainte maximale (en MPa) correspondant respectivement à 10^6 et 10^7 cycles, ainsi que la vitesse de propagation de fissure ΔK mesurée pour $da/dn = 5 \times 10^{-4}$ mm/cycle (en MPavm).

Les résultats ont été les suivants:

Réf.	10^6 cycles	10^7 cycles	ΔK
0	220	200	22
1	235	205	22
2	230	200	23
3	225	200	23
4	230	205	22
5	225	200	22

[0010] On constate que, malgré l'augmentation de la résistance mécanique, les tôles selon l'invention présentent une résistance à la fatigue au moins aussi bonne que celle des tôles en 5083 classique.

Revendications

1. Produit pour construction soudée en alliage d'aluminium AlMgMn de composition (% en poids):

$3,0 < \text{Mg} < 5,0$

$0,5 < \text{Mn} < 1,0$

contenant Fe, Si et Zn en quantité telle que:

$\text{Fe} < 0,25$

$\text{Si} < 0,25$

$\text{Zn} < 0,40$

éventuellement un ou plusieurs des éléments Cr, Cu, Ti, Zr tels que:

$\text{Cr} < 0,25$

$\text{Cu} < 0,20$

Ti < 0,20

Zr < 0,20

autres éléments < 0,05 chacun et < 0,15 au total,

avec Mn + 2Zn > 0,75 et, de préférence > 0,8%.

ce produit présentant une fraction volumique de dispersoïdes supérieure à 1,2%.

2. Produit selon la revendication 1, caractérisé en ce que Mg > 4,3%.

3. Produit selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que Mn > 0,8%.

4. Produit selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que Fe < 0,20%.

5. Produit selon la revendication 4, caractérisée en ce que Fe < 0,15%.

6. Tôle selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle est d'épaisseur > 2,5 mm et qu'elle est uniquement laminée à chaud.

7. Utilisation d'un produit selon l'une des revendications 1 à 6 pour la construction navale.

8. Utilisation d'un produit selon l'une des revendications 1 à 6 pour la construction de véhicules industriels.

9. Utilisation de tubes filés selon l'une des revendications 1 à 5 pour la fabrication de cadres de bicyclettes soudés.

10. Tôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente une résistance à la fatigue, mesurée en flexion plane avec R = 0,1 dans le sens travers-long, supérieure à:

10⁵ cycles pour une contrainte maximale > 280 MPa

10⁶ cycles pour une contrainte maximale > 220 MPa

10⁷ cycles pour une contrainte maximale > 200 MPa

11. Tôle selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente une vitesse de propagation de fissure ΔK , mesurée pour R = 0,1, supérieure à:

22 MPavm pour da/dn = 5 10⁻⁴ mm/cycle

26 MPavm pour da/dn = 10⁻³ mm/cycle.