

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 804 626 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
11.07.2001 Bulletin 2001/28

(51) Int Cl.7: **C22C 21/06**, B23K 101/00,
B23K 103/10

(21) Numéro de dépôt: **96904891.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR96/00279

(22) Date de dépôt: **21.02.1996**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 96/26299 (29.08.1996 Gazette 1996/39)

(54) **CONSTRUCTION SOUDEE EN ALLIAGE AlMgMn A RESISTANCE MECANIQUE AMELIOREE**

GESCHWEISSTE KONSTRUKTIONEN AUS EINER ALUMINIUM-MAGNESIUM-MANGAN
LEGIERUNG MIT VERBESSERTEN MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN

WELDED CONSTRUCTION OF AlMgMn ALLOY WITH IMPROVED MECHANICAL RESISTANCE

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

(56) Documents cités:
EP-A- 0 015 799 EP-A- 0 385 257
EP-A- 0 507 411 DE-A- 2 443 332
US-A- 3 502 448 US-A- 4 043 840
US-A- 5 181 969

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

(43) Date de publication de la demande:
05.11.1997 Bulletin 1997/45

(60) Demande divisionnaire:
98123582.3 / 0 909 828

(73) Titulaire: **PECHINEY RHENALU**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **RAYNAUD, Guy-Michel**
F-63500 Issoire (FR)
• **HOFFMANN, Jean-Luc**
F-38430 Moirans (FR)
• **COTTIGNIES, Laurent**
F-38100 Grenoble (FR)
• **PILLET, Georges**
F-73160 Saint-Cassin (FR)

(74) Mandataire: **Mougeot, Jean-Claude et al**
PECHINEY
Immeuble "SIS"
217 ,cours Lafayette
69451 Lyon Cedex 06 (FR)

- **J.S. Vetrano et al "Effect of Precipitate Structure on Hot Deformation of Al-Mg-Mn Alloys", "Advances in Hot Deformation Textures and Microstructures", TMS, 1994, pp 223-235**
- **B.A. Cassie et al, "Composition affects tensile strength of welded aluminium-magnesium alloy", Metal Construction and British Welding Journal, January 1973, pp 11-19**
- **Aluminum standards and data, 1986 Metric SI, The Aluminum Association, pp 15-16**
- **NRIM Fatigue Data Sheet No. 64, "Data Sheets on Fatigue Properties for Butt Welded Joints of A5083P-O (Al-4.5Mg-0.6Mn) Aluminium Alloy Plates", National Research Institute for Metals, Tokyo, Japan, date of issue: 25 decembre 1990**
- **J.S. Vetrano et al "Effect of Precipitate Structure on Hot Deformation of Al-Mg-Mn Alloys", "Advances in Hot Deformation Textures and Microstructures", TMS, 1994, Ed. J.J. Jonas, T.R. Bieler a**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 804 626 B1

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. 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 0). Mais, le plus souvent, l'augmentation des caractéristiques mécaniques par rapport à l'état 0 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 0. On doit prendre en compte également, pour le dimensionnement, la tenue à la fatigue et la vitesse de propagation des fissures.

30 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.

35 La demande de brevet japonais JP 06-212373 propose, pour minimiser la réduction de la résistance mécanique due 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.

40 **[0003]** L'article de B.A. Cassie et al, "Composition affects tensile strength of welded aluminium-magnesium alloy", Metal Construction and British Journal, 1973, p 11-19 étudie l'influence de Mg et Mn de l'alliage selon la spécification NS8 sur la résistance mécanique de tôles soudées. Une teneur élevée en Mg et Mn, y compris dans le métal d'apport, est bénéfique.

45 **Objet de l'invention**

[0004] 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 constructions soudées en alliage AlMgMn de composition (en poids %):

4,3 < Mg < 5,0
0,72 < Mn < 1,0

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

Fe < 0,20

Si < 0,25

Zn < 0,40

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

Cr < 0,25

Cu < 0,20

Ti < 0,20

Zr < 0,20

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

avec la relation: $Mn + 2Zn > 0,8$

ce produit présentant dans la zone soudée une dureté > 80, HV.

[0005] L'invention a également pour objet l'utilisation de ces constructions soudées pour la construction navale, la fabrication de véhicules industriels et de cadres de bicyclettes.

Description de l'invention

[0006] 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, < 0,20%, et même 0,15%, et d'une teneur en manganèse et en zinc telle que $Mn + 2Zn > 0,8\%$. La teneur en Mn doit être > 0,72%, 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.

[0007] Le magnésium est maintenu > 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.

[0008] 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.

[0009] 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.

[0010] 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%.

[0011] 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 ΔK , 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

EP 0 804 626 B1

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

[0012] 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 les références 1 et 12 ont des compositions légèrement en dehors de l'invention. Les 10 autres (réf. 2 à 11) ont une composition selon l'invention. 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	

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
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

[0013] 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.

[0014] 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 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$).

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

[0015] 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. Construction soudée par fusion en alliage d'aluminium AlMgMn de composition (% en poids) :

$$4,3 < \text{Mg} < 5,0$$

$$0,72 < \text{Mn} < 1,0$$

contenant Fe, Si et Zn en quantité telle que :

$$\text{Fe} < 0,20$$

$$\text{Si} < 0,25$$

$$\text{Zn} < 0,40$$

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 $\text{Mn} + 2 \text{Zn} > 0,8$
présentant dans la zone soudée une dureté $> 80 \text{ Hv}$.

2. Construction soudée selon la revendication 1, caractérisée en ce que $\text{Fe} < 0,15$.

3. Construction soudée selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle est réalisée à partir de tôles d'épaisseur $> 2,5 \text{ mm}$ uniquement laminées à chaud.

4. Construction soudée selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que l'alliage présente une fraction volumique de dispersoïdes au manganèse supérieure à 1,2%.

5. Construction soudée selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle est réalisée à partir de tôles présentant une résistance à la fatigue, mesurée en flexion plane avec $R = 0,1$ dans le sens travers-long, supérieure à:

$$10^5 \text{ cycles pour une contrainte maximale } > 280 \text{ MPa}$$

EP 0 804 626 B1

10^6 cycles pour une contrainte maximale > 220 MPa

10^7 cycles pour une contrainte maximale > 200 MPa.

6. Construction soudée selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle est réalisée à partir de tôles présentant une vitesse de propagation de fissures ΔK , mesurée pour $R = 0,1$, supérieure à :

22 Mpa \sqrt{m} pour $da/dn = 5 \cdot 10^{-4}$ mm/cycle

26 Mpa \sqrt{m} pour $da/dn = 10^{-3}$ mm/cycle.

7. Utilisation d'une construction soudée selon l'une des revendications 1 à 6 pour la construction navale.
8. Utilisation d'une construction soudée selon l'une des revendications 1 à 6 pour la fabrication de véhicules industriels.
9. Utilisation d'une construction soudée réalisée à partir de tubes filés, selon l'une des revendications 1 ou 2 pour la fabrication de cadres de bicyclettes.

Claims

1. Welded construction by fusion made of AlMgMn aluminium alloy composed of (% by weight):

$4,3 < \text{Mg} < 5,0$

$0,72 < \text{Mn} < 1,0$

containing Fe, Si and Zn in amounts such that:

$\text{Fe} < 0,25$

$\text{Si} < 0,25$

$\text{Zn} < 0,40$

optionally one or more of the elements Cr, Cu, Ti, Zr such that:

$\text{Cr} < 0,25$

$\text{Cu} < 0,20$

$\text{Ti} < 0,20$

$\text{Zr} < 0,20$

other elements $< 0,05$ and $< 0,15$ in total, wherein $\text{Mn} + 2\text{Zn} > 0,8\%$, exhibiting in the welded zone a hardness > 80 Hv.

2. Welded construction according to claim 1, characterized in that $\text{Fe} < 0,15\%$.
3. Welded construction according to one of claims 1 or 2, characterized in that it is manufactured by using merely hot rolled sheets having a thickness $> 2,5$ mm.
4. Welded construction according to one of claims 1 to 3, characterized in that the alloy has a volumetric fraction of manganese-containing dispersoids greater than $1,2\%$.
5. Welded construction according to one of claims 1 to 4, characterized in that it is manufactured by using sheets with a fatigue resistance, measured by plane bending with $R = 0,1$ in the T-L direction, higher than :
- 10^5 cycles with a maximum stress > 280 MPa
- 10^6 cycles with a maximum stress > 220 MPa
- 10^7 cycles with a maximum stress > 200 MPa
6. Welded construction according to one of claims 1 to 5, characterized in that it is manufactured by using sheets exhibiting a crack growth rate ΔK , measured when $R = 0,1$, higher than:

22 MPa \sqrt{m} when $da/dn = 5 \times 10^{-4}$ mm/cycle

26 MPa \sqrt{m} when $da/dn = 10^{-3}$ mm/cycle

7. Use of a welded construction according to one of claims 1 to 6 in naval construction.
8. Use of a welded construction according to one of claims 1 to 6 for the construction of industrial vehicles.
9. Use of a welded construction made of extruded tubes according to one of claims 1 or 2 for the manufacture of welded bicycle frames.

Patentansprüche

1. Bei Schmelzen geschweisste Konstruktion aus AlMgMn-Aluminiumlegierung einer Zusammensetzung (Gew. %):

4,3 < Mg < 5,0

0,72 < Mn < 1,0

die Fe, Si und Zn in solche Mengen enthält, dass :

Fe < 0,20

Si < 0,25

Zn < 0,40

eventuell eines oder mehrere der Elemente Cr, Cu, Ti, Zr wie

Cr < 0,25

Cu < 0,20

Ti < 0,20

Zr < 0,20

andere Elemente jedes < 0,05 und gesamt < 0,15 mit Mn + 2Zn > 0,8%,
die in der geschweissten Zone eine Härte > 80 Hv aufweist.

2. Geschweisste Konstruktion nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Fe > 0,15.
3. Geschweisste Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus zu einer Dicke > 2,5 mm nur warmgewalzten Blechen hergestellt wird.
4. Geschweisste Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung einen Volumenanteil von Mangan-Dispersoiden über 1,2% aufweist.
5. Geschweisste Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus Blechen hergestellt wird, die eine beim ebenen Biegen mit R = 0,1 in der Quer-Lang-Richtung gemessene Ermüdungsfestigkeit über :
 10^5 Zyklen für eine Maximalbelastung > 280 MPa
 10^6 Zyklen für eine Maximalbelastung > 220 MPa
 10^7 Zyklen für eine Maximalbelastung > 200 MPa aufweist.

6. Geschweisste Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie aus Blechen hergestellt wird, die eine für R = 0,1 gemessene Rissausbreitungsgeschwindigkeit ΔK über :

22 MPa \sqrt{m} für $da/dn = 5 \times 10^{-4}$ mm/Zyklus

26 MPa \sqrt{m} für $da/dn = 10^{-3}$ mm/Zyklus aufweist.

7. Verwendung einer geschweissten Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 bis 6 beim Schiffsbau.
8. Verwendung einer geschweissten Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 bis 6 beim Bau von Kraftfahrzeugen..

9. Verwendung einer mit stranggepressten Röhren gebauten geschweissten Konstruktion nach einem der Ansprüche 1 oder 2 für die Herstellung von geschweissten Fahrradrahmen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55