

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet :
30.09.87

(51) Int. Cl.⁴ : **C 22 C 21/06, C 22 C 21/00**

(21) Numéro de dépôt : **85900122.4**

(22) Date de dépôt : **22.11.84**

(86) Numéro de dépôt international :
PCT/FR 84/00273

(87) Numéro de publication internationale :
WO/8502416 (06.06.85 Gazette 85/13)

(54) **ALLIAGES A BASE D'ALUMINIUM CONTENANT DU LITHIUM, DU MAGNESIUM ET DU CUIVRE.**

(30) Priorité : **24.11.83 FR 8319070**

(43) Date de publication de la demande :
27.11.85 Bulletin 85/48

(45) Mention de la délivrance du brevet :
30.09.87 Bulletin 87/40

(84) Etats contractants désignés :
AT BE CH DE FR GB LI NL SE

(56) Documents cités :
EP-A- 0 088 511
EP-A- 0 142 261
FR-A- 1 220 961
FR-A- 1 519 021
Alloys Index, vol. 9, 1982, American Society for
Metals and Metals Society, see pages E-21 and E-22

(73) Titulaire : **CEGEDUR SOCIETE DE TRANSFORMA-**
TION DE L'ALUMINIUM PECHINEY
23, Rue Balzac
F-75008 Paris (FR)

(72) Inventeur : **DUBOST, Bruno**
3, rue Casimir Brenier
F-38120 Saint Egreve (FR)
Inventeur : **MEYER, Philippe**
9, avenue Dugueyt-Jouvin
F-38500 Voiron (FR)

(74) Mandataire : **Séraphin, Léon et al**
PECHINEY 28, rue de Bonnel
F-69433 Lyon Cedex 3 (FR)

EP 0 162 096 B1

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).

Description

La présente invention est relative à des alliages à base d'Al, contenant du Li, du Mg et du Cu et possédant des caractéristiques mécaniques équivalentes à celles des alliages d'aluminium à durcissement structural conventionnels à moyenne résistance avec une densité diminuée d'au moins 9 % par rapport à ces alliages conventionnels.

- 5 Il est connu des métallurgistes que l'addition de lithium diminue la densité et augmente le module d'élasticité et la résistance mécanique des alliages d'aluminium. Ceci explique l'intérêt des concepteurs pour ces alliages en vue d'applications dans l'industrie aéronautique, et plus particulièrement, pour les alliages d'aluminium au lithium contenant d'autres éléments d'addition tels que le magnésium ou le cuivre. Toutefois, de tels alliages au lithium devront impérativement posséder une ductilité et une ténacité
10 au moins équivalentes, à résistance mécanique égale, à celle des alliages aéronautiques conventionnels tels que les alliages 2024-T4 ou T351, 2214-T6(51), 7175-T73(51) ou T7652 et 7150-T651 (selon la nomenclature de l'Aluminium Association), ce qui n'est pas le cas des alliages au lithium connus.

- Dans le système Aluminium-Lithium-Magnésium, le seul alliage industriel connu est l'alliage soviétique 01420, de composition nominale (en poids %) : Li = 2,0 à 2,2 ; Mg = 5,0 à 5,4 ; Mn = 0 à 0,6 ;
15 Zr = 0 à 0,15. Cet alliage confère aux tôles minces et produits filés traités à l'état T6 (16 h à 170 °C) des caractéristiques mécaniques de traction moyennement élevées (FRIDLYANDER et coll. Met. Science and Heat Treatment n° 3-4, Avril 1968, page 212 — Traduct. de Metalov. i. Term. Obrab. Metallov n° 3, page 5052, mars 1968) et inférieures à celles des alliages aéronautiques conventionnels. Par ailleurs, l'étude des lois statistiques de modification de caractéristiques des alliages du système Al-Li-Mg-Zr en fonction de leurs teneurs en Li et Mg (I.N. FRIDLYANDER et coll. « Zavod. Lab. », juillet 1974, T7, page 847) montre
20 qu'il n'est pas possible d'augmenter le compromis entre résistance mécanique et allongement de cet alliage jusqu'au niveau des alliages aéronautiques classiques, par diminution des teneurs en Lithium et en Magnésium. Ces tendances sont confirmées par les résultats de SANDES (rapport final NADC Contract n° N 622 69-74-C-0438, juin 1976) montrant que le compromis entre limite élastique et ténacité des
25 produits filés en alliages Al-Li-Mg est d'autant plus élevé que la teneur en lithium et, dans une moindre mesure, la teneur en magnésium sont faibles. En particulier, les auteurs montrent que les alliages à teneurs globales en lithium-magnésium élevées possèdent à l'état trempé-revenu un compromis entre résistance mécanique, ductilité et ténacité très inférieur à celui des alliages conventionnels des séries 2000 et 7000.

- 30 Plus récemment, les métallurgistes ont proposé de nouvelles compositions d'alliages aluminium-lithium au cuivre (Cu = 1,5 à 3 %) et au magnésium (Mg = 0,5 à 1,4 %) à faible densité et haute résistance mécanique. Il s'agit, en particulier, de l'alliage expérimental F92 (spécification britannique DXXXXA) de composition nominale (en poids %) : Li = 2,5 ; Cu = 1,2 ; Mg = 0,7 ; Zr = 0,12, dont les compromis de caractéristiques mécaniques types annoncées en 1983 par British ALCAN sur tôles minces à l'état T8 (Rm = 500 MPa ; Rp 0,2 = 420 MPa ; A = 6 %) et sur tôles épaisses à l'état T651 (Rm = 520 MPa ; Rp 0,2 = 460 MPa ; A = 7 %) montrent que cet alliage possède un compromis entre résistance mécanique et ductilité
35 encore inférieur à celui des alliages aéronautiques des séries 2000 et 7000, comme tous les autres alliages des systèmes AlLiCu et AlLiCuMg à teneur en lithium supérieure à 2 % connus à ce jour.

- Au cours d'essais métallurgiques, nous avons trouvé et expérimenté de nouvelles compositions
40 d'alliages industriels du système Al-Li-Mg-Cu (-Cr, Mn, Zr, Ti) plus performants que les alliages des systèmes AlCuMg (2024). AlLiCu et AlLiMg, et que les alliages connus du système AlLiCuMg, du point de vue du compromis entre la résistance mécanique, la densité et la résistance à la corrosion intergranulaire ou feuilletante.

Ces nouveaux alliages selon l'invention ont les compositions pondérales suivantes :

- 45
- | | | |
|----|-----------------------------|--------------------|
| Li | 1,8 à 3,5 % | } avec Mg/Cu ≥ 1,5 |
| Mg | 1,4 à 2,4 % | |
| Cu | 0,2 à 1,6 % | |
| Fe | ≤ 0,20 % | |
| 50 | Si | ≤ 0,12 % |
| | Cr | 0 à 0,3 % |
| | Mn | 0 à 1,0 % |
| | Zr | 0 à 0,2 % |
| | Zn | 0 à 0,35 % |
| 55 | Ti | 0 à 0,1 % |
| | Be | 0 à 0,02 % |
| | autres éléments (impuretés) | |
| | chacun < 0,05 % | |
| | total < 0,15 % | |
| 60 | reste : aluminium. | |

La teneur en éléments principaux est de préférence tenue individuellement ou en combinaison entre

2,3 à 3,3 % pour Li, 1,4 et 2,4 % pour Mg et 0,25 et 1,2 % pour Cu. La teneur en Zr est de préférence comprise entre 0,08 et 0,18 %.

Pour obtenir un meilleur compromis, résistance mécanique-densité, on doit de plus observer la relation suivante :

$$\% \text{ Li } (\% \text{ Cu } + 2) + \% \text{ Mg } = K$$

avec $8,5 \leq K \leq 11,5$ et de préférence $9 \leq K \leq 11$.

Les alliages selon l'invention possèdent leur niveau optimal de résistance et de ductilité après des traitements d'homogénéisation des produits coulés et de mise en solution des produits transformés comportant au moins un palier à une température θ (en °C) de l'ordre de $\theta = 535-5$ (% Mg) pendant une durée suffisante pour qu'après trempe, les composés intermétalliques des phases quaternaires (AlLi-CuMg) détectables lors d'examen micrographique ou par microanalyse électronique ou ionique (SIMS) aient une taille inférieure à 5 μm . L'homogénéisation peut se faire dans un domaine de température compris entre $\theta + 10$ (°C) et $\theta - 20$ (°C) ; la mise en solution est de préférence effectuée entre $\theta + - 10$ °C.

Les durées optimales de traitement thermique d'homogénéisation à la température θ sont de 0,5 à 8 heures pour les alliages élaborés par solidification rapide (atomisation — splat cooling — ou tout autre moyen) et de 12 à 72 heures pour les produits moulés ou élaborés en coulée semi-continue.

Ces alliages possèdent leurs propriétés mécaniques optimales après revenus de durées de 8 à 48 heures à des températures comprises entre 170 et 220 °C et il est préférable de faire subir aux produits de forme adéquate (tôles, barres, largets) un écrouissage donnant lieu à une déformation plastique de 1 à 5 % (préférentiellement 2 à 4 %) entre trempe et revenu, ce qui permet d'améliorer encore la résistance mécanique des produits.

Dans ces conditions, les alliages selon l'invention possèdent une résistance mécanique supérieure à celle de l'alliage AlLiMgMn 01420, ce qui ne permettrait pas de prévoir les résultats des études disponibles sur le système. Nous avons constaté que les alliages selon l'invention ont un compromis entre caractéristiques mécaniques et densité supérieur à celui des alliages AlLiCuMg connus (à faibles teneurs en magnésium). Ils possèdent aussi une résistance à la corrosion intergranulaire ou feuilletante satisfaisante très supérieure à celle des alliages AlCuMg, AlLiCu, et AlLiCuMg connus.

Ces alliages sont donc particulièrement intéressants pour la fabrication de demi-produits moulés ou corroyés (élaborés par coulée semi-continue, atomisation ou solidification rapide, etc...) qu'il s'agisse par exemple de produits filés, laminés, forgés ou matricés utilisés en particulier dans les industries aéronautique ou spatiale.

En particulier, il a été constaté de façon surprenante que les alliages selon l'invention, très chargés en Li et Mg, étaient coulables sans difficulté majeure en coulée semi-continue sous forme de billettes ou de plateaux de format industriel (absence de criques et de porosités).

L'invention sera mieux comprise et illustrée à l'aide des exemples suivants :

Exemples

Nous avons élaboré par coulée semi-continue des billettes de diamètre 200 mm constituées d'alliages d'aluminium aéronautiques de compositions connues et de différents alliages au lithium selon l'invention. Ces billettes ont subi des homogénéisations de longue durée à température suffisante pour dissoudre la quasi-totalité des phases eutectiques et transformées, après écrouissage, en largets de largeur 100 mm et d'épaisseur 13 mm.

Les largets ont subi une mise en solution dans les conditions jugées optimales du point de vue de la dissolution des phases riches en éléments d'addition principaux (Li, Cu, Mg, Zn), puis trempés à l'eau froide (20 °C), avant de subir une traction contrôlée à 2 % de déformation rémanente et différentes températures de revenu en four ventilé pendant une durée de 24 heures. Certains largets filés n'ont pas été tractionnés entre trempe et revenu, de façon à mettre en évidence l'influence de l'écrouissage entre trempe et revenu sur les propriétés mécaniques.

Tous les largets ainsi fabriqués ont été caractérisés par essais de traction et mesure de densité. Des tests de sensibilité à la corrosion intergranulaire selon la norme AIR 9048 (immersion continue 6 heures en solution NaCl — H₂O₂) et à la corrosion feuilletante selon le test EXCO (immersion continue 96 heures selon la norme ASTM G 34-79) ont également été effectués.

Le tableau I donne les compositions chimiques des alliages mesurées par absorption atomique et spectrométrie d'émission à étincelles, et leurs caractéristiques (coefficient K) par rapport aux domaines selon l'invention.

Le tableau II donne les caractéristiques mécaniques de traction et la densité en fonction de la composition chimique des largets, pour les différents traitements thermiques effectués et le taux d'écrouissage entre trempe et revenu. On donne la limite élastique (Rp 0,2), la charge de rupture (Rm) et l'allongement à rupture (A %).

Le tableau III donne les résultats obtenus lors des essais de corrosion.

Les résultats des tests de sensibilité à la corrosion intergranulaire et à la corrosion feuilletante effectués, pour certains états de revenu à l'état T651, montrent que les alliages selon l'invention

possèdent une résistance améliorée à la corrosion par rapport aux alliages conventionnels de la série 2000 et aux alliages au lithium connus, qui sont moins chargés en Mg.

L'ensemble des résultats obtenus montre donc que les alliages selon l'invention possèdent des résistances mécaniques de niveaux comparables à celles des alliages des séries 2000 sans lithium actuellement utilisés dans l'aéronautique, et supérieurs à ceux des alliages Al-Li-Mg connus (par ex. alliage 01420) avec l'avantage d'une densité nettement plus faible que celle des alliages conventionnels et inférieure à celle des alliages au lithium connus des systèmes Al-Li-Cu, Al-Li-Cu-Mg. Ils montrent également l'intérêt d'un écrouissage entre trempe et revenu sur les propriétés mécaniques.

Tableau I

Compositions chimiques de méplats filés en alliages conventionnels et en alliages au Li connus et selon l'invention

Référence	Alliage		Composition chimique (teneurs pondérales)									
Désignation	Type	K	Li	Mg	Cu	Zn	Cr	Mn	Zr	Ti	Fe	Si
2024	convent.	-	0	1,33	4,38	-	-	0,75	-	0,02	0,18	0,09
7474	convent.	-	0	2,36	1,32	5,7	0,21	0,02	-	0,02	0,09	0,06
01420	référ.	-	2,15	5,40	0	-	-	0,20	-	0,02	0,03	0,03
DTDXXXA	référ.	-	2,28	0,75	1,32	-	-	0,01	0,14	0,04	0,04	0,03
2	invent.	9,9	3,1	1,9	0,58	-	-	-	0,10	0,02	0,02	0,02
3	invent.	10,5	3,2	1,5	0,80	-	-	-	0,10	0,02	0,02	0,02
4	hors invent.	-	3,0	4,5	0,02	-	-	-	0,12	0,02	0,02	0,02

(Voir Tableaux II-III pages suivantes)

Tableau II

Conditions de traitements thermiques et thermomécaniques, densité et caractéristiques mécaniques de traction de larges filés

Alliage		Densité	Homogénéisation	Mise en solution	Traction contrôlée %	Revenu	Caractéristiques mécaniques			
Repère	Traitement						Sens*	Rp 0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A 5d %
2024	conv.	2,79	8 h - 490°C	2 h - 490°C	2,1	T351	L TL	401 342	530 491	12,3 19,0
7475	conv.	2,80	16 h - 470°C	2 h - 475°C	2,0	T7351 (6 h à 107°C + 24 h à 160°C)	L TL	460 446	530 517	11,6 13,1
01420	réf.	2,49	14 h - 500°C	1 h - 500°C	2,0	16 h - 170°C	L TL	360 325	480 448	8,0 8,5
DTDXA	réf.	2,55	24 h - 538°C	2 h - 538°C	3,5	12 h - 190°C	L TL	462 399	523 487	4,6 7,0
2	invent.	2,48	48 h - 535°C	6 h - 535°C	2	24 h - 170°C	L TL	444 426	522 567	4,0 6,0
2	invent.	2,48	48 h - 535°C	6 h - 535°C	2	24 h - 190°C	L TL	462 444	520 523	4,0 6,0
3	invent.	2,48	72 h - 535°C	2,5 h - 538°C	2	24 h - 170°C	L TL	456 432	565 570	5,0 6,0
3	invent.	2,48	72 h - 535°C	2,5 h - 538°C	2	24 h - 210°C	L TL	452 427	568 572	5,0 6,0

* L : long ; TL : travers long

Tableau II (suite)

Alliage		Densité	Homogénéisation	Mise en solution	Traction contrôlée %	Revenu	Caractéristiques mécaniques			
Repère	Traitement						Sens*	Rp 0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A 5d %
2	invent.	2,48	48 h - 535°C	6 h - 535°C	0	24 h - 170°C	L TL	378 371	532 516	8,0 8,0
2	invent.	2,48	48 h - 535°C	6 h - 535°C	0	24 h - 190°C	L TL	394 383	509 519	7,0 7,0
4	hors invent.	2,43	8 h - 470°C +24 h - 520°C	2 h - 522°C	0	24 h - 200°C	L TL	354 362	495 490	5,0 4,0

* L : long ; TL : travers long

Tableau III

Essais de corrosion

5					
	Alliage	Taux de traction	Revenu	Corrosion intergranulaire*	Corrosion feuilletante*
10	2024	2,1 %	T351	I	EB
	DTDXXXA	3,5 %	12 h - 190 °C	I + P	EB
	2	2 %	24 h - 190 °C	P	P
15	3	2 %	24 h - 210 °C	P (+ I)	P

* I corrosion intergranulaire marquée

(I) corrosion intergranulaire locale

P piqures

20 EB corrosion feuilletante marquée

Revendications

25 1. Alliage à base d'Al à haute résistance et haute ductilité, caractérisé en ce qu'il contient (en poids %):

30 Li 1,8 à 3,5
Mg 1,4 à 2,4 } avec Mg/Cu ≥ 1,5
Cu 0,2 à 1,6
Fe ≤ 0,20
Si ≤ 0,12
Cr 0 à 0,3
Mn 0 à 1,0
35 Zr 0 à 0,2
Ti 0 à 0,1
Be 0 à 0,02
Zn 0 à 0,35
autres éléments (impuretés)
40 chacun < 0,05
total < 0,15
reste : aluminium

45 2. Alliage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il contient de 2,3 à 3,3 % Li

3. Alliage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il contient de 0,25 à 1,2 % Cu.

4. Alliage selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il contient de 2,3 à 3,3 % Li, de 0,25 à 1,2 % Cu et de 1,4 à 2,4 % Mg.

5. Alliage selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que :

$$50 \quad \% \text{ Li } (\% \text{ Cu } + 2) + \% \text{ Mg } = K$$

avec $8,5 \leq K < 11,5$

6. Alliage selon la revendication 5, caractérisé en ce que $9 \leq K \leq 11$.

7. Procédé de traitement thermique des alliages selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant
55 une homogénéisation, une mise en solution, une trempe et un revenu, caractérisé en ce que l'alliage est homogénéisé et mis en solution à une température (en °C) de l'ordre de $\theta = 535 - 5 (\% \text{ Mg})$.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la durée de l'homogénéisation et de la mise en solution est suffisamment longue pour qu'après la trempe, les phases intermétalliques quaternaires (Al, Li, Mg, Cu) résiduelles aient une taille inférieure à 5 µm.

60 9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que l'homogénéisation a lieu dans le domaine de température limité par $\theta + 10$ (°C) et $\theta - 20$ (°C).

10. Procédé selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que la mise en solution a lieu dans le domaine de température limité par $\theta + 10$ (°C) et $\theta - 10$ (°C).

65 11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que le revenu est effectué entre 170 et 220 °C pendant une durée allant de 8 à 48 heures.

12. Procédé selon l'une des revendications 7 à 11, caractérisé en ce qu'une déformation plastique de 1 à 5 %, et de préférence, entre 2 et 4 %, est appliquée au produit traité entre la trempe et le revenu.

5 Claims

1. Al-base alloy having high strength and high ductility characterized in that it contains (in % by weight) :

- | | | | |
|----|-----------------------------|----------------|--------------------|
| 10 | Li | = 1.8 to 3.5 | } with Mg/Cu ≥ 1.5 |
| | Mg | = 1.4 to 2.4 | |
| | Cu | = 0.2 to 1.6 % | |
| | Fe | ≤ 0.20 | |
| | Si | ≤ 0.12 | |
| 15 | Cr | 0 to 0.3 | |
| | Mn | 0 to 1.0 | |
| | Zr | 0 to 0.2 | |
| | Ti | 0 to 0.1 | |
| | Be | 0 to 0.02 | |
| 20 | Zn | 0 to 0.35 | |
| | other elements (impurities) | | |
| | each < 0.05 | | |
| | total < 0.15 | | |
| | balance : aluminium. | | |

25

2. Alloy according to claim 1 characterised in that it contains from 2.3 to 3.3 % Li.

3. Alloy according to claim 1 characterised in that it contains from 0.25 to 1.2 % Cu.

4. Alloy according to one of claims 1 to 3 characterised in that it contains from 2.3 to 3.3 % Li, 0.25 to 1.2 % Cu and 1.4 to 2.4 % Mg.

30 5. Alloy according to one of claims 1 to 4 characterised in that :

$$\% \text{ Li } (\% \text{ Cu } + 2) + \% \text{ Mg } = K$$

with $8.5 \leq K \leq 11.5$.

35 6. Alloy according to claim 5 characterised in that $9 \leq K \leq 11$.

7. A process for the heat treatment of the alloys according to one of claims 1 to 6 comprising a homogenization operation, a solution treatment, a quenching operation and a tempering operation, characterised in that the alloy is subjected to homogenization and solution treatment at a temperature (in °C) of the order of $\theta = 535 - 5 (\% \text{ Mg})$.

40 8. A process according to claim 7 characterised in that the duration of the homogenization operation and the solution treatment is sufficiently long that, after the quenching operation, the residual quaternary intermetallic phases (Al, Li, Mg, Cu) are less than 5 µm in size.

9. A process according to claim 7 or claim 8 characterised in that the homogenization operation is carried out in the temperature range which is defined by $\theta + 10$ (°C) and $\theta - 20$ (°C).

45 10. A process according to claim 7 or claim 8 characterised in that the solution treatment is carried out in the temperature range defined by $\theta + 10$ (°C) and $\theta - 10$ (°C).

11. A process according to one of claims 7 to 10 characterised in that the tempering operation is effected at from 170 to 220 °C for a period ranging from 8 to 48 hours.

50 12. A process according to one of claims 7 to 11 characterised in that plastic deformation of from 1 to 5 % and preferably from 2 to 4 % is applied to the treated product between the quenching and tempering operations.

Patentansprüche

55

1. Legierung auf Al-Basis mit hoher Festigkeit und hoher Dehnbarkeit, dadurch gekennzeichnet, daß sie (in Gew.%) enthält :

- | | | | |
|----|----|-------------|-------------------|
| 60 | Li | 1,8 bis 3,5 | } mit Mg/Cu ≥ 1,5 |
| | Mg | 1,4 bis 2,4 | |
| | Cu | 0,2 bis 1,6 | |
| | Fe | ≤ 0,20 | |
| | Si | ≤ 0,12 | |
| | Cr | 0 bis 0,3 | |
| 65 | Mn | 0 bis 1,0 | |

- Zr 0 bis 0,2
 Ti 0 bis 0,1
 Be 0 bis 0,02
 Zn 0 bis 0,35
 5 andere Elemente (Verunreinigungen)
 jedes < 0,05
 gesamt < 0,15
 Rest : Aluminium.
- 10 2. Legierung nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie 2,3 bis 3,3 % Li enthält.
 3. Legierung nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie 0,25 bis 1,2 % Cu enthält.
 4. Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß sie 2,3 bis 3,3 % Li,
 0,25 bis 1,2 % Cu und 1,4 bis 2,4 % Mg enthält.
 5. Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß :
- 15
$$\% \text{ Li } (\% \text{ Cu } + 2) + \% \text{ Mg } = K$$

 mit $8,5 \leq K < 11,5$.
 6. Legierung nach dem Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß $9 \leq K < 11$.
 7. Verfahren zur Wärmebehandlung der Legierungen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, die eine
 20 Homogenisierung, eine Lösungsglühung, ein Abschrecken und ein Anlassen umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung bei einer Temperatur (in °C) der Größenordnung von $\theta = 535 - 5 (\% \text{ Mg})$
 homogenisiert und lösungsgeglüht wird.
 8. Verfahren nach dem Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Homogenisierung
 und der Lösungsglühung ausreichend lang ist, damit nach dem Abschrecken die intermetallischen
 25 quaternären (Al, Li, Mg, Cu)-Restphasen eine Abmessung unter 5 µm haben.
 9. Verfahren nach dem Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Homogenisierung in
 dem von $\theta + 10$ (°C) und $\theta - 20$ (°C) begrenzten Temperaturbereich erfolgt.
 10. Verfahren nach dem Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lösungsglühung in
 dem von $\theta + 10$ (°C) und $\theta - 10$ (°C) begrenzten Temperaturbereich erfolgt.
 30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Anlassen
 zwischen 170 und 220 °C während einer von 8 bis 48 Stunden reichenden Dauer durchgeführt wird.
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine plastische
 Verformung von 1 bis 5 % und vorzugsweise zwischen 2 und 4 % auf das behandelte Erzeugnis zwischen
 dem Abschrecken und dem Anlassen angewandt wird.
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65