(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 561 260**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **84 04483**

(51) Int Cl⁴ : C 22 C 21/12.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 15 mars 1984.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 38 du 20 septembre 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *CEGEDUR SOCIETE DE TRANSFORMATION DE L'ALUMINIUM PECHINEY.* — FR.

(72) Inventeur(s) : Bruno Dubost.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Léon Séraphin, Pechiney.

(54) Alliages Al-Cu-Li-Mg à très haute résistance mécanique spécifique.

(57) La présente invention est relative à des alliages à base d'Al contenant essentiellement du Cu, du Li et du Mg, possédant une très haute résistance mécanique spécifique et utilisables, en particulier, pour l'obtention de pièces traitées thermiquement de forme complexe.

Les analyses sont les suivantes (en poids %) :
Cu : 2,4 à 4 %; Li : 1,9 à 2,7 %; Mg : de 0 à 0,8 % et jusqu'à :
0,20 % Fe; 0,10 % Si; 1 % Mn; 0,30 % Cr; 0,2 % Zr; 0,1 % Ti; 0,02 % Be
avec, de préférence, la limitation suivante :
$4,8 \leqslant \%\,Cu + \%\,Li + \%\,Mg/2 \leqslant 6,0$.

Ces alliages possèdent à l'état traité une très haute résistance mécanique spécifique (dureté Vickers/densité $\geqslant 70$), même en l'absence de déformation plastique entre trempe et revenu, ce qui justifie leur emploi, entre autres, pour des pièces de forme complexe telles que des pièces moulées ou matricées.

FR 2 561 260 - A1

ALLIAGES Al-Cu-Li-Mg A TRES HAUTE RESISTANCE MECANIQUE SPECIFIQUE

La présente invention est relative à des alliages à base d'Al contenant essentiellement du Cu, du Li et du Mg, possédant une très haute résistance mécanique spécifique, et utilisables, en particulier, pour l'obtention de pièces traitées thermiquement de forme complexe.

Il est connu des métallurgistes que l'addition de lithium diminue la densité (de 3 % par pour cent pondéral de lithium) 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 qui requièrent des alliages dotés d'une résistance mécanique spécifique (rapport résistance mécanique sur densité) et d'un module spécifique aussi élevés que possible, à condition toutefois que ces alliages possèdent par ailleurs une ductilité (allongements à la rupture) et une ténacité acceptable.

On sait que les alliages d'aluminium au lithium binaires possèdent une résistance mécanique insuffisante ainsi qu'une ductilité rédhibitoire pour applications aéronautiques. Les métallurgistes ont donc eu recours à des additions de cuivre, dont l'effet bien connu sur le durcissement structural des alliages d'aluminium est supérieur à celui du lithium et superposable à ce dernier pour obtenir des alliages Al-Li-Cu à haute résistance mécanique plus ductiles, mais aussi plus denses que les alliages au lithium binaires.

Il s'agit, en particulier, de l'alliage américain 2020, de composition nominale Al - 4,5 % Cu - 1,2 % Li - 0,2 % Cd - 0,5 % Mn, et de l'alliage soviétique VAD 93, de composition nominale Al - 5,4 % Cu - 1,2 % Li - 0,2 % Cd - 0,6 % Mn. Ces alliages, utilisés à l'état T651 (trempe + traction contrôlée 2 % + revenu au maximum de la résistance mécanique) possèdent des niveaux très élevés de résistance mécanique (notamment l'alliage VAD 93), mais il est apparu que les additions de lithium, quoique faibles, entraînaient une perte appréciable de ductilité et de ténacité sans permettre un allègement significatif des pièces de structure aéronautiques, compte tenu de la densité relativement peu diminuée de ces alliages par rapport à celle des alliages conventionnels sans lithium.

Plus récemment, des métallurgistes ont proposé un nouvel alliage expérimental de composition nominale Al - 3 % Li - 2 % Cu - 2 % Zr (à haute résistance, faible densité et faible ductilité), ainsi que de nouveaux alliages du système Aluminium-Lithium-Cuivre-Magnésium à moyenne résistance, faible densité et ductilité améliorée. Il s'agit en particulier de l'alliage de composition moyenne Al - 2,4 % Li - 1,25 % Cu - 0,75 % Mg (+ Cr, Mn, Zr, Ni) qui a fait l'objet de la demande de brevet européen n° 0088511 du Secretary of State for Defence du Royaume-Uni.

Or, on peut constater que tous les alliages au lithium à faible densité connus et cités ci-dessus (hormis les alliages VAD 93 et 2020 très riches en cuivre) ne possèdent pas des niveaux de résistance mécanique équivalents à celui des alliages d'aluminium conventionnels actuellement les plus résistants (7075-T 6, 7010-T 736) sauf si les produits subissent entre trempe et revenu au maximum de durcissement un écrouissage par déformation plastique de 2 à 4 % environ. L'effet favorable de cet écrouissage sur la limite élastique, la charge de rupture et même sur la ductilité, est bien connu des métallurgistes.

Ceci explique la relative abondance des résultats récents obtenus sur tôles minces ou épaisses et produits filés en alliages Al-Li-Cu, Al-Li-Mg et Al-Li-Cu-Mg à l'état T 651, et dont la gamme de fabrication doit obligatoirement comporter une traction contrôlée de 2 à 4 % entre trempe et revenu de façon à permettre à ces alliages d'obtenir leurs meilleurs niveaux de caractéristiques mécaniques.

Cette particularité des alliages au lithium connus constitue évidemment une importante restriction pour l'utilisation d'alliages d'aluminium au lithium à haute résistance mécanique spécifique dans la fabrication de pièces de géométrie complexe, telles que les pièces matricées ou les produits moulés, auxquelles il est généralement impossible d'imposer une déformation plastique, même par compression contrôlée, entre trempe et revenu.

L'invention décrite ci-après permet de disposer de nouveaux alliages au lithium ne présentant pas ces limitations. Ces alliages confèrent aux produits de toutes configurations, de très hautes caractéristiques

mécaniques à l'état T 6 (équivalentes à celles des alliages 7075-T 6 et 7010-T 736) combinées à une densité diminuée de 6 à 9 % par rapport à celle des alliages conventionnels des séries 2000 ou 7000. A fortiori, les produits en alliages selon l'invention possèdent une résistance mécanique spécifique encore améliorée par écrouissage entre trempe et revenu (états T 651, T 652 ou T 8) mais cette opération de déformation plastique peut être limitée par exemple au seul détentionnement ou au planage des produits trempés.

Au cours d'essais métallurgiques, nous avons en effet trouvé et expérimenté de nouvelles compositions d'alliages industriels du système Al-Li-Cu-Mg + (Cr, Mn, Zr, Ti) plus résistants et plus performants que les alliages au Li connus, du point de vue du compromis résistance mécanique-densité.

Les alliages selon l'invention possèdent les compositions pondérales suivantes :

Cu	de 2,4 à 4 %	(de préférence de 2,5 à 3,1 %)
Li	de 1,9 à 2,7 %	(de préférence de 2 à 2,5 %)
Mg	de 0 à 0,8 %	(de préférence de 0 à 0,5 %)
Fe	$\leqslant$ 0,20 %	(de préférence $\leqslant$ 0,10 %)
Si	$\leqslant$ 0,10 %	(de préférence $\leqslant$ 0,06 %)
Cr	de 0 à 0,30 %	
Zr	de 0 à 0,20 %	
Ti	de 0 à 0,10 %	
Mn	de 0 à 1 %	
Be	de 0 à 0,02 %	
Autres (impuretés)		
Chacun	$\leqslant$ 0,05 %	
Total	$\leqslant$ 0,15 %	
Reste Al		

Il a été montré que ces alliages possèdent les caractéristiques optimales lorsque la relation :

$$4,8 \leqslant \%\,Cu + \%\,Li + \frac{\%\,Mg}{2} \leqslant 6,0$$

est vérifiée, et de préférence :

$$5,0 \leqslant \%\,Cu + \%\,Li + \frac{\%\,Mg}{2} \leqslant 5,8$$

Pour les valeurs inférieures à 4,8 (ou 5,0) on observe une chute notable des caractéristiques de résistance et pour les valeurs supérieures à 5,8 (ou 6) on observe une chute notable de la ductilité.

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_H comprise entre 520 et 545° C pendant une durée suffisante, soit pour dissoudre complètement les composés intermétalliques des phases riches en Cu et Li et soit pour obtenir une taille inférieure à 5 µm. Les durées optimales de traitement thermique d'homogénéisation à température θ_H étaient de 0,5 à 8 heures pour les alliages élaborés par solidification rapide (atomisation - splat cooling) et de 12 heures à 72 heures pour les produits moulés ou élaborés en coulée semi-continue, pour lesquels il est préférable d'effectuer lors de l'homogénéisation ou de la mise en solution un ou deux paliers intermédiaires de quelques heures à 500° C, 515° C ou 528° C environ, de façon à éviter la fusion commençante de l'alliage lors de son maintien à la température θ_H.

De plus, les essais de cinétique de revenu ont montré que ces alliages possèdent leurs propriétés mécaniques optimales après revenus de durées de 8 heures à 48 heures à des températures comprises entre 170 et 220° C (de préférence entre 190 et 200° C), et qu'il était préférable de faire subir aux produits de forme adéquate (tôles, barres, largets) un écrouissage donnant lieu à une déformation plastique de 1,5 à 5 % (préférentiellement 2 à 4 %) entre trempe et revenu, ce qui permet d'améliorer encore le compromis entre résistance mécanique et ductilité de ces alliages.

Dans ces conditions, nous avons constaté que les alliages selon l'invention ont à l'état T6(51) une résistance mécanique équivalente à celle des alliages 7075 ou 7010 T6(51), et à l'état T 351 une résistance mécanique équivalente à celle de l'alliage 2024 T 351. Ces niveaux élevés de limite élastique et de charge de rupture (équivalents à ceux des meilleurs alliages actuels pour ces états de traitement thermique) sont par ailleurs combinés avec des densités diminuées de 6 à 8 % par rapport à celles des alliages d'aluminium aéronautiques conventionnels (sans lithium) et avec des niveaux de ductilité ou allongements satisfaisants, ce qui montre

l'intérêt des alliages selon l'invention pour la fabrication de pièces de structure corroyées ou moulées à très haute résistance mécanique spécifique et bonnes propriétés dynamiques (ténacité, résistance à la fatigue), qu'il s'agisse de produits élaborés par coulée semi-continue, atomisation ou splat-cooling.

L'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples suivants, comparant les caractéristiques mécaniques spécifiques de divers alliages selon l'invention et hors de l'invention à des alliages connus.

EXEMPLES

Des lingotins dont l'analyse est reportée au tableau Ia ont été élaborés à partir d'aluminium raffiné (Al 99,99 %), affinés par addition de 0,15 % d'AT5B, puis coulés en moules avec une structure analogue à celle obtenue par coulée semi-continue industrielle.

Tous ces alliages contiennent moins de 0,02 % (en poids) de Fe et moins de 0,02 % de Si.

Ces alliages ont été homogénéisés dans les conditions permettant d'obtenir une dissolution quasi complète des composés intermétalliques riches en lithium et en cuivre, et trempés à l'eau à 20° C. Ils ont subi une maturation d'au moins 5 jours et des traitements de 24 heures à des températures de 150, 170, 190 et 210° C.

Le tableau Ib donne les traitements thermiques et les duretés Vickers moyennes après revenu, ainsi que le maximum de dureté spécifique de chacun de ces alliages (rapport dureté Vickers/densité).

Ces résultats montrent que les nouveaux alliages selon l'invention possèdent un compromis résistance mécanique/densité supérieur à celui de tous les autres alliages connus, dans pratiquement tout le domaine des températures de revenu et même dans le domaine des sous-revenus qui sont les plus aptes à conduire au meilleur compromis résistance mécanique-ductilité.

Les très hauts niveaux de dureté spécifiques obtenus après trempe et revenu (sans écrouissage intermédiaire par traction ou compression contrôlée)

justifient l'intérêt particulier de ces alliages légers pour les pièces de forme complexe telles que les pièces moulées ou matricées.

TABLEAU Ia - Compositions chimiques

Coulée repère	Type	Composition pondérale (%) Cu	Li	Mg	Zr
1	2020	4,35	1,35	-	0,11
2	VAD 93	5,05	1,30	-	0,10
3	LIN et STARKE	2,20	2,80	-	0,12
4	F92 (DTDXXXA)	1,5	2,35	0,80	0,15
5	Hors invention	3,1	1,9	1,2	0,12
6	Selon l'invention	3,05	2,55	0,10	0,12
7	Selon l'invention	3,45	2,05	0,48	0,12
8	Selon l'invention	2,95	2,4	0,26	0,13

TABLEAU Ib - Traitements thermiques, duretés Vickers et duretés spécifiques

Coulée repère	Homogénéisation	Dureté Vickers (kg/mm^2) Revenu 24 heures à 150° C	170° C	190° C	210° C	Rapport Dureté max. / Densité
1	2 h 500° C + 28 h 520° C	129	141	162	149	57,8
2	2 h 500° C + 43 h 520° C	134	165	163	151	60,4
3	8 h 530° C + 48 h 545° C	123	140	166	162	65,3
4	24 h 532° C	138	141	160	149	62,7
5	48 h 530° C	148	174	148	122	66,3
6	4 h 515° C + 72 h 540° C	156	169	185	173	71,5
7	8 h 500° C + 16 h 515° C + 48 h 528° C	176	190	170	142	72,3
8	48 h 528° C + 48 h 540° C	175	188	172	154	72,6

REVENDICATIONS

1°/ Alliage à base d'Al à très haute résistance mécanique spécifique contenant essentiellement du Cu, du Li et du Mg, caractérisé en ce qu'il contient (en poids %) :

Cu	de	2,4	à 3,5	%
Li	de	1,9	à 2,7	%
Mg	de	0	à 0,8	%
Fe			⩽ 0,20	%
Si			⩽ 0,10	%
Mn	de	0	à 1	%
Cr	de	0	à 0,30	%
Zr	de	0	à 0,20	%
Ti	de	0	à 0,10	%
Be	de	0	à 0,02	%
Autres (impuretés)				
Chacun			⩽ 0,05	%
Total			⩽ 0,15	%
Reste Al				

2°/ Alliage selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il contient de 2,5 à 3,1 % de Cu.

3°/ Alliage selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il contient de 2 à 2,5 % de Li.

4°/ Alliage selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il contient de 0 à 0,5 % de Mg.

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

$$4{,}8 \leqslant \%\,Cu + \%\,Li + \frac{\%\,Mg}{2} \leqslant 6{,}0$$

6°/ Alliage selon la revendication 5, caractérisé en ce que

$$5{,}0 \leqslant \%\,Cu + \%\,Li + \frac{\%\,Mg}{2} \leqslant 5{,}8$$

7°/ Alliage selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il contient au plus 0,10 % de Fe.

8°/ Alliage selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il contient au plus 0,06 % de Si.

9°/ Procédé de fabrication d'objets à partir des alliages revendiqués dans l'une des revendications 1 à 8, comprenant au moins une élaboration, une homogénéisation, une transformation à chaud, une transformation à froid éventuelle, une mise en solution, une trempe et un revenu, caractérisé en ce que l'homogénéisation et/ou la mise en solution sont effectuées entre 520 et 545° C.

10°/ Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la durée de l'homogénéisation doit être telle que la taille des particules riches en Li et en Cu soit comprise entre 0 et 5 µm, limites incluses.

11°/ Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que l'homogénéisation proprement dite est précédée de paliers à 500°, 515° et/ou 528° C environ en vue d'éviter la fusion commençante de l'alliage.

12°/ Procédé selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que le revenu est effectué dans le domaine de température allant de 170 à 220° C pendant une durée de 8 à 48 heures.

13°/ Procédé selon l'une des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que le produit subit une déformation plastique de 1,5 à 5 % entre trempe et revenu.