

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication :

3 026 411

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

14 02186

⑤① Int Cl⁸ : C 22 F 1/047 (2016.01), C 22 C 21/08, 21/06, B 64 C
1/06, 3/18

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 29.09.14.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 01.04.16 Bulletin 16/13.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : CONSTELLIUM FRANCE Société par
actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : POUGET GAELLE et BES BERNARD.

⑦③ Titulaire(s) : CONSTELLIUM FRANCE Société par
actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CONSTELLIUM CRV.

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION DE PRODUITS EN ALLIAGE ALUMINIUM MAGNESIUM LITHIUM.

⑤⑦ L'invention concerne un procédé de fabrication d'un
produit corroyé dans lequel: (a) on coule une forme brute en
alliage d'aluminium de composition, en % en poids: Mg: 4,0
- 5,0; Li: 1,0 -1,8; Zr: 0,05 - 0,15; Mn: 0,6; Ag: 0,5; Fe:
0,1; Ti: < 0,15; Si: 0,05; autres éléments 0,05 chacun et
0,15 en association; reste aluminium; (b) optionnellement,
on homogénéise ladite forme brute; (c) on déforme à chaud
ladite forme brute pour obtenir un produit déformé à chaud;
(d) optionnellement, on met en solution ledit produit déformé
à chaud à une température de 360°C à 460°C, préférentiel-
lement 380-420°C, pendant 15 minutes à 8 heures; (e) on
trempe ledit produit déformé à chaud; (f) optionnellement,
on effectue un dressage ou un planage dudit produit défor-
mé et trempé; (g) on réalise un revenu dudit produit déformé
et trempé; (h) on déforme à froid de façon contrôlée le pro-
duit déformé ainsi revenu pour obtenir une déformation per-
manente à froid de 1 à 10 %, de préférence de 2 à 6%, plus
préférentiellement encore de 3 à 5%. L'invention a encore
pour objets, un produit corroyé susceptible d'être obtenu se-
lon le procédé de l'invention ainsi que l'utilisation dudit pro-
duit corroyé pour réaliser des éléments de structure
d'aéronefs.

FR 3 026 411 - A1



Procédé de fabrication de produits en alliage aluminium magnésium lithium

5

Domaine de l'invention

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un produit corroyé en alliage aluminium-magnésium-lithium, plus particulièrement un procédé de fabrication d'un tel produit présentant un compromis de propriétés amélioré, notamment un compromis amélioré entre limite d'élasticité en traction et ténacité desdits produits. L'invention a également pour objet un produit susceptible d'être obtenu par ledit procédé de fabrication et son utilisation, ledit produit étant destiné en particulier à la construction aéronautique et aérospatiale.

15

Etat de la technique

Des produits corroyés en alliage d'aluminium sont développés pour produire des pièces de haute résistance destinées notamment à l'industrie aéronautique et à l'industrie aérospatiale.

20

Les alliages d'aluminium contenant du lithium sont très intéressants à cet égard, car le lithium peut réduire la densité de l'aluminium de 3 % et augmenter le module d'élasticité de 6 % pour chaque pourcent en poids de lithium ajouté. En particulier, les alliages d'aluminium contenant simultanément du magnésium et du lithium permettent d'atteindre des densités particulièrement faibles et ont donc été extensivement étudiés.

25

Le brevet GB 1,172,736 enseigne un alliage contenant, en pourcentage en poids, 4 à 7 % de Mg, 1,5 – 2,6 % de Li, 0,2 – 1 % de Mn et/ou 0,05 – 0,3 % de Zr, reste aluminium. Cet alliage est utile pour l'élaboration de produits présentant une résistance mécanique élevée, une bonne résistance à la corrosion, une faible densité et un module

30

d'élasticité élevé. Lesdits produits sont obtenus par un procédé comprenant une trempe optionnelle puis d'un revenu. A titre d'exemple, les produits issus du procédé selon GB 1,172,736 présentent une résistance à la rupture allant d'environ 440 MPa à environ 490 MPa, une limite d'élasticité en traction allant d'environ 270MPa à environ 340 MPa et un allongement à la rupture de l'ordre de 5-8%.

La demande internationale WO 92/03583 décrit un alliage utile pour les structures aéronautiques ayant une faible densité et de formule générale $Mg_aLi_bZn_cAg_dAl_{bal}$, dans lequel a est compris entre 0,5 et 10%, b est compris entre 0,5 et 3%, c est compris entre 0,1 et 5%, d est compris entre 0,1 et 2% et bal indique que le reste est de l'aluminium.

Ce document divulgue également un procédé d'obtention dudit alliage comprenant les étapes : a) couler d'un lingot de composition ci-avant décrite, b) retirer les contraintes résiduelles dudit lingot par traitement thermique, c) homogénéiser par chauffage et maintien en température puis refroidir le lingot, d) laminier à chaud ledit lingot jusqu'à son épaisseur finale, e) mettre en solution puis tremper le produit ainsi laminé, f) tractionner le produit et g) réaliser un revenu dudit produit par chauffage et maintien en température.

Le brevet US 5,431,876 enseigne un groupe d'alliages ternaire d'aluminium lithium et magnésium ou cuivre, incluant au moins un additif tel que le zirconium, le chrome et/ou le manganèse. L'alliage est préparé selon des procédés connus de l'homme du métier comprenant, à titre d'exemple, une extrusion, une mise en solution, une trempe, une traction du produit de 2 à 7 % puis un revenu.

Le brevet US 6,551,424 décrit un procédé de fabrication de produits laminés en alliage aluminium-magnésium-lithium de composition (en % en poids) Mg : 3,0 – 6,0 ; Li : 0,4 – 3,0 ; Zn jusqu'à 2,0 ; Mn jusqu'à 1,0 ; Ag jusqu'à 0,5 ; Fe jusqu'à 0,3 ; Si jusqu'à 0,3 ; Cu jusqu'à 0,3 ; 0,02 – 0,5 d'un élément sélectionné dans le groupe consistant en Sc, Hf, Ti, V, Nd, Zr, Cr, Y, Be, ledit procédé incluant un laminage à froid dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur.

Le brevet US 6,461,566 décrit un alliage de composition (en % en poids) Li : 1,5 – 1,9 ; Mg : 4,1 – 6,0 ; Zn 0,1 – 1,5 ; Zr 0,05 – 0,3 ; Mn 0,01 – 0,8 ; H $0,9 \times 10^{-5}$ – $4,5 \times 10^{-5}$ et au moins un élément sélectionné dans le groupe Be 0,001 – 0,2 ; Y 0,001 – 0,5 et Sc 0,01 – 0,3.

La demande de brevet WO 2012/16072 décrit un produit corroyé en alliage d'aluminium de composition en % en poids, Mg : 4,0 – 5,0 ; Li : 1,0 – 1,6 ; Zr : 0,05 – 0,15 ; Ti : 0,01 – 0,15 ; Fe : 0,02 - 0,2 ; Si : 0,02 - 0,2 ; Mn : $\leq$ 0,5 ; Cr $\leq$ 0,5 ; Ag : $\leq$ 0,5 ; Cu $\leq$ 0,5 ; Zn $\leq$ 0,5 ; Sc < 0,01 ; autres éléments < 0,05 ; reste aluminium. Ledit

5 produit est en particulier obtenu selon un procédé de fabrication comprenant notamment successivement la coulée de l'alliage sous forme brute, sa déformation à chaud et optionnellement à froid, la mise en solution puis la trempe du produit ainsi déformé, optionnellement la déformation à froid du produit ainsi mis en solution et trempé et enfin le revenu du produit corroyé à une température inférieure à 150 °C. L'état
10 métallurgique obtenu pour les produits laminés est avantageusement un état T6 ou T6X ou T8 ou T8X et pour les produits filés avantageusement un état T5 ou T5X dans le cas de la trempe sur presse ou un état T6 ou T6X ou T8 ou T8X.

Les produits corroyés en alliage aluminium-magnésium-lithium présentent une faible densité et sont donc particulièrement intéressants dans le domaine extrêmement
15 exigeant de l'aéronautique. Pour que de nouveaux produits soient sélectionnés dans un tel domaine, leur performance doit être significativement améliorée par rapport à celle des produits existants, en particulier leur performance en terme de compromis entre les propriétés de résistance mécanique statique (notamment limite d'élasticité en traction et en compression, résistance à la rupture) et les propriétés de tolérance aux dommages
20 (ténacité, résistance à la propagation des fissures en fatigue), ces propriétés étant en général antinomiques.

Ces alliages doivent également présenter une résistance à la corrosion suffisante, pouvoir être mis en forme selon les procédés habituels et présenter de faibles contraintes résiduelles de façon à pouvoir être usinés sans distorsion substantielle lors dudit
25 usinage.

Il existe donc un besoin pour des produits corroyés en alliage aluminium-magnésium-lithium présentant une faible densité ainsi que des propriétés améliorées par rapport à celles des produits connus, en particulier en termes de compromis entre les propriétés de résistance mécanique statique et les propriétés de tolérance aux dommages. Concernant
30 les propriétés de tolérance aux dommages, les produits corroyés doivent en particulier présenter une ténacité élevée ainsi qu'une faible propension au délaminage. De tels

produits doivent de plus pouvoir être obtenus selon un procédé de fabrication fiable, économique et facilement adaptable à une ligne de fabrication conventionnelle.

5 Objet de l'invention

Un premier objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un produit corroyé dans lequel :

- (a) on coule une forme brute en alliage d'aluminium de composition, en % en poids :
10 Mg : 4,0 – 5,0 ; Li : 1,0 – 1,8 ; Zr : 0,05 – 0,15 ; Mn : $\leq 0,6$; Ag : $\leq 0,5$; Fe : $\leq 0,1$; Ti : $< 0,15$; Si : $\leq 0,05$; autres éléments $\leq 0,05$ chacun et $\leq 0,15$ en association ; reste aluminium ;
- (b) optionnellement, on homogénéise ladite forme brute;
- (c) on déforme à chaud ladite forme brute pour obtenir un produit déformé à chaud;
- 15 (d) optionnellement, on met en solution ledit produit déformé à chaud à une température de 360°C à 460°C, préférentiellement 380-420°C, pendant 15 minutes à 8 heures ;
- (e) on trempe ledit produit déformé à chaud ;
- (f) optionnellement, on effectue un dressage ou un planage dudit produit déformé et
20 trempé ;
- (g) on réalise un revenu dudit produit déformé et trempé ;
- (h) on déforme à froid de façon contrôlée le produit déformé à chaud ainsi revenu pour obtenir une déformation permanente à froid de 1 à 10 %, de préférence de 2 à 6%, plus préférentiellement encore de 3 à 5%.

25

L'invention a encore pour objets, un produit corroyé susceptible d'être obtenu selon le procédé de l'invention ainsi que l'utilisation dudit produit corroyé pour réaliser des éléments de structure d'aéronefs.

30

Description des figures

Figure 1 : Profilé pour cadre de fuselage de l'exemple 1

- 5 Figure 2 : Limite d'élasticité, $R_{p0,2}$, en fonction de la ténacité, K_Q^* pour une barre plate de 10 mm d'épaisseur (* toutes les valeurs de K_Q sont invalides en raison du critère $P_{\max} / P_Q \leq 1,10$ de la norme ASTM E399)

- Figure 3 : Limite d'élasticité, $R_{p0,2}$, en fonction du facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale, $K_{\max}$ (évaluée selon la norme ASTM E399) pour
10 une barre plate de 10 mm d'épaisseur

Description de l'invention

- 15 Sauf mention contraire, toutes les indications concernant la composition chimique des alliages sont exprimées comme un pourcentage en poids basé sur le poids total de l'alliage. A titre d'exemple, l'expression 1,4 Cu signifie que la teneur en cuivre exprimée en % en poids est multipliée par 1,4. La désignation des alliages se fait en conformité avec les règlements de The Aluminium Association, connus de l'homme du
20 métier. La densité dépend de la composition et est déterminée par calcul plutôt que par une méthode de mesure de poids. Les valeurs sont calculées en conformité avec la procédure de The Aluminium Association, qui est décrite pages 2-12 et 2-13 de « Aluminum Standards and Data ». Les définitions des états métallurgiques sont indiquées dans la norme européenne EN 515.
- 25 Les caractéristiques mécaniques statiques en traction, en d'autres termes la résistance à la rupture R_m , la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2% d'allongement $R_{p0,2}$, et l'allongement à la rupture A%, sont déterminés par un essai de traction selon la norme NF EN ISO 6892-1, le prélèvement et le sens de l'essai étant définis par la norme EN 485-1.
- 30 La ténacité est déterminée par essai de ténacité K_{Ic} selon la norme ASTM E399. Une courbe donnant le facteur d'intensité de contrainte effectif en fonction de l'extension de

fissure effective est déterminée selon la norme ASTM E399. Les essais ont été réalisés avec une éprouvette CT8 ($B = 8\text{mm}$, $W = 16\text{ mm}$). Dans le cas de valeurs de K_Q invalides selon la norme ASTM E399, en particulier par rapport au critère $P_{\max}/P_Q \leq 1,10$, les résultats ont été aussi présentés en $K_{\max}$ (facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale $P_{\max}$).

L'augmentation des contraintes sur le produit lors de l'essai de ténacité K_{Ic} selon la norme ASTM E399 peut être révélatrice de la propension du produit au délaminage. On entend ici par « délaminage » (« crack delamination » et/ou « crack divider » en anglais) une fissuration dans des plans orthogonaux au front de la fissure principale.

L'orientation de ces plans correspond à celle des joints de grains non recristallisés après déformation par corroyage. Un faible délaminage est le signe d'une moindre fragilité des plans concernés et minimise les risques de déviation de fissure vers la direction longitudinale lors d'une propagation en fatigue ou sous sollicitation monotone.

Sauf mention contraire, les définitions de la norme EN 12258 s'appliquent.

Par ailleurs, on appelle ici « élément de structure » ou « élément structural » d'une construction mécanique une pièce mécanique pour laquelle les propriétés mécaniques statiques et/ou dynamiques sont particulièrement importantes pour la performance de la structure et pour laquelle un calcul de structure est habituellement prescrit ou réalisé. Il s'agit typiquement d'éléments dont la défaillance est susceptible de mettre en danger la sécurité de ladite construction, de ses utilisateurs, de ses usagers ou d'autrui. Pour un avion, ces éléments de structure comprennent notamment les éléments qui composent le fuselage (tels que la peau de fuselage, (fuselage skin en anglais), les raidisseurs ou lisses de fuselage (stringers), les cloisons étanches (bulkheads), les cadres de fuselage (circumferential frames), les ailes (tels que la peau de voilure extradors ou intrados (upper or lower wing skin), les raidisseurs (stringers ou stiffeners), les nervures (ribs), les longerons (spars), les profilés de plancher (floor beams) et les rails de sièges (seat tracks)) et l'empennage composé notamment de stabilisateurs horizontaux et verticaux (horizontal or vertical stabilisers), ainsi que les portes.

Le procédé de fabrication des produits selon l'invention comprend les étapes successives d'élaboration d'un bain de métal liquide de façon à obtenir un alliage Al-

Mg-Li de composition particulière, la coulée dudit alliage sous forme brute, optionnellement l'homogénéisation de ladite forme brute ainsi coulée, la déformation à chaud de ladite de forme brute pour obtenir un produit déformé à chaud, optionnellement la mise en solution séparée du produit ainsi déformé à chaud, la trempe
 5 dudit produit déformé à chaud, optionnellement le dressage/planage du produit déformé et trempé, le revenu dudit produit déformé et trempé et la déformation à froid de façon contrôlée du produit revenu pour obtenir une déformation permanente à froid de 1 à 10 %, de préférence de 2 à 6%, plus préférentiellement encore de 3 à 5%.

Le procédé de fabrication consiste donc tout d'abord à la coulée d'une forme brute en
 10 alliage Al-Mg-Li de composition, en % en poids : Mg : 4,0 – 5,0 ; Li : 1,0 – 1,8 ; Zr : 0,05 – 0,15; Mn : $\leq 0,6$; Ag : $\leq 0,5$; Fe : $\leq 0,1$; Ti : $< 0,15$; Si : $\leq 0,05$; autres éléments $\leq 0,05$ chacun et $\leq 0,15$ en association ; reste aluminium. Un bain de métal liquide est donc réalisé puis coulé sous forme brute, typiquement une plaque de laminage, une billette de filage ou une ébauche de forge.

15 Selon un mode de réalisation avantageux, l'alliage Al-Mg-Li présente une teneur en Mn, en % en poids, de 0,2 à 0,6, préférentiellement de 0,35 à 0,5.

Les produits en alliage tel que décrit précédemment et ayant la teneur en Mn avantageuse présentent en particulier des propriétés mécaniques statiques améliorées ainsi qu'une faible propension au délaminage.

20 Selon un mode de réalisation avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en argent inférieure ou égale à 0,25 % en poids, plus préférentiellement une teneur en argent de 0,05 % à 0,1 % en poids. Cet élément contribue notamment aux propriétés mécaniques statiques. De plus, selon un mode de réalisation encore plus avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium présente une
 25 teneur totale en Ag et Cu inférieure à 0,15 % en poids, préférentiellement inférieure ou égale à 0,12%. Le contrôle de la teneur maximale en ces deux éléments en association permet en particulier d'améliorer la résistance à la corrosion intergranulaire du produit corroyé.

Selon un mode de réalisation particulier, la forme brute présente une teneur en zinc, en
 30 % en poids, inférieure à 0,04%, préférentiellement inférieure ou égale à 0,03%. Une

telle limitation de teneur en zinc dans l'alliage particulier décrit précédemment a donné d'excellents résultats en termes de densité et de résistance à la corrosion de l'alliage.

Selon un autre mode de réalisation compatible avec les modes précédents, la forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Fe, en % en poids, inférieure à 0,08%, préférentiellement inférieure ou égale à 0,07%, plus préférentiellement encore inférieure ou égale à 0,06%. Les présents inventeurs pensent qu'une teneur minimum en Fe, ainsi qu'éventuellement celle de Si, peut contribuer à améliorer les propriétés mécaniques et notamment les propriétés en fatigue de l'alliage. D'excellents résultats ont en particulier été obtenus pour une teneur en Fe de 0,02 à 0,06 % en poids et/ ou une teneur en Si de 0,02 à 0,05% en poids.

La teneur en lithium des produits selon l'invention est comprise entre 1,0 et 1,8 % en poids. Selon un mode de réalisation avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Li, en % en poids, inférieure à 1,6%, préférentiellement inférieure ou égale à 1,5%, préférentiellement encore inférieure ou égale à 1,4%. Une teneur minimale en lithium de 1,1 % en poids et de préférence de 1,2 % en poids est avantageuse. Les présents inventeurs ont constaté qu'une teneur en lithium limitée, en présence de certains éléments d'addition, permet d'améliorer très significativement la ténacité, ce qui compense largement la légère augmentation de densité et la diminution des propriétés mécaniques statiques.

Selon un mode de réalisation préféré, la forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Zr, en % en poids, de 0,10 à 0,15%. Les inventeurs ont en effet constaté qu'une telle teneur en Zr permet d'obtenir un alliage présentant une structure fibrée favorable pour des propriétés mécaniques statiques améliorées.

Selon un mode de réalisation avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Mg, en % en poids, de 4,5 à 4,9%. D'excellents résultats ont été obtenus pour des alliages selon ce mode de réalisation notamment pour ce qui concerne les propriétés mécaniques statiques.

Certains éléments peuvent être néfastes pour les alliages Al-Mg-Li tels que précédemment décrits, en particulier pour des raisons de transformation de l'alliage telles que la toxicité et/ou les casses lors de la déformation. Il est donc préférable de limiter ces éléments à un niveau très faible, i.e. inférieur à 0,05 % en poids ou même

moins. Dans un mode de réalisation avantageux, les produits selon l'invention ont une teneur maximale de 10 ppm de Na, préférentiellement de 8 ppm de Na, et/ou une teneur maximale de 20 ppm de Ca. Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium est substantiellement exempte de Sc, Be, Y, plus
 5 préférentiellement ladite forme brute comprend moins de 0,01% en poids de ces éléments pris en combinaison.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, la forme brute en alliage d'aluminium présente une composition, en % en poids :

- Mg : 4,0 – 5,0, préférentiellement 4,5 – 4,9;
- 10 Li : 1,1 – 1,6, préférentiellement 1,2 – 1,5 ;
- Zr : 0,05 – 0,15, préférentiellement 0,10 – 0,15 ;
- Ti : < 0,15, préférentiellement 0,01-0,05 ;
- Fe : 0,02 - 0,1, préférentiellement 0,02 – 0,06 ;
- Si : 0,02 – 0,05 ;
- 15 Mn : $\leq 0,6$, préférentiellement 0,2 - 0,6, plus préférentiellement encore 0,35 – 0,5 ;
- Cr : < 0,05, préférentiellement < 0,01 ;
- Ag : $\leq 0,5$; préférentiellement $\leq 0,25$; plus préférentiellement encore $\leq 0,1$;
- Sc : < 0,01 ;
- autres éléments $\leq 0,05$ chacun et $\leq 0,15$ en association ;
- 20 reste aluminium. D'excellents résultats ont été obtenus avec un alliage présentant une telle composition.

Suite à l'étape de coulée de la forme brute, le procédé de fabrication comprend optionnellement une étape d'homogénéisation de la forme brute de façon à atteindre une température comprise entre 450 °C et 550 °C et, de préférence, entre 480 °C et 520 °C
 25 pendant une durée comprise entre 5 et 60 heures. Le traitement d'homogénéisation peut être réalisé en un ou plusieurs paliers. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, on procède directement à la déformation à chaud à la suite d'un simple réchauffage sans effectuer d'homogénéisation.

La forme brute est ensuite déformée à chaud, typiquement par filage, laminage et/ou
 30 forgeage, pour obtenir un produit déformé. Cette déformation à chaud est effectuée de préférence à une température d'entrée supérieure à 400 °C et, de manière avantageuse,

de 420°C à 450°C. Selon un mode de réalisation avantageux, la déformation à chaud est une déformation par filage de la forme brute.

Dans le cas de la fabrication de tôles par laminage, il est nécessaire de réaliser une étape de laminage à froid (qui constitue alors première étape optionnelle de déformation à
5 froid) pour les produits dont l'épaisseur est inférieure à 3 mm. Il peut s'avérer utile de réaliser un ou plusieurs traitements thermiques intermédiaires, typiquement réalisés à une température comprise entre 300 et 420 °C, avant ou au cours du laminage à froid.

Le produit déformé à chaud et, optionnellement, à froid est optionnellement soumis à une mise en solution séparée à une température de 360°C à 460°C, préférentiellement
10 de 380°C à 420°C, pendant 15 minutes à 8 heures.

Le produit déformé à chaud et, optionnellement, mis en solution est ensuite trempé. La trempe est effectuée à l'eau et/ou à l'air. Il est avantageux de réaliser la trempe à l'air car les propriétés de corrosion intergranulaire sont améliorées. Dans le cas d'un produit filé, il est avantageux de réaliser la trempe sur presse (ou trempe sur chaleur de filage),
15 préférentiellement une trempe sur presse à l'air, une telle trempe permettant en particulier d'améliorer les propriétés mécaniques statiques. Selon un autre mode de réalisation, il peut également s'agir d'une trempe sur presse à l'eau. Dans le cas de la trempe sur presse, le produit est mis en solution sur chaleur de filage.

Le produit déformé à chaud et trempé peut éventuellement être soumis à une étape de dressage ou de planage selon qu'il s'agit d'un profilé ou d'une tôle. On entend ici par
20 « dressage/planage » une étape de déformation à froid sans déformation permanente ou avec une déformation permanente inférieure ou égale à 1%.

Le produit déformé à chaud, trempé et, optionnellement dressé/plané, subit ensuite une étape de revenu. Avantageusement, le revenu est réalisé par chauffage, en un ou
25 plusieurs paliers, à une température inférieure à 150 °C, de préférence à une température de 70 °C à 140 °C, pendant 5 à 100 heures.

Finalement, le produit déformé à chaud ainsi revenu est déformé à froid de façon contrôlée pour obtenir une déformation permanente à froid de 1 à 10 %, de préférence de 2 à 6%, plus préférentiellement encore de 3 à 5%. La déformation à froid peut en
30 particulier être réalisée par traction, compression et/ou laminage. Selon un mode de réalisation préféré, la déformation à froid est réalisée par traction. De façon tout à fait

inattendue, il a été mis en évidence que, lorsqu'elle est réalisée après l'étape de revenu, la déformation à froid de façon contrôlée d'un produit corroyé de composition telle que décrite précédemment permet d'obtenir un excellent compromis entre les propriétés mécaniques statiques et celles de tolérance aux dommages, en particulier de ténacité.

- 5 L'état métallurgique obtenu pour les produits corroyés correspond notamment un état T9 selon la norme EN515. Selon un mode de réalisation avantageux, le procédé de fabrication d'un produit corroyé ne comprend aucune étape de déformation à froid induisant une déformation permanente d'au moins 1% entre l'étape de déformation à chaud ou, si cette étape est présente, de mise en solution et l'étape de revenu.
- 10 La combinaison de la composition choisie, en particulier de la teneur en Mg, Li et Mn si ce dernier est présent, et des paramètres de transformation, en particulier l'ordre des étapes du procédé de fabrication, permet avantageusement d'obtenir des produits corroyés ayant un compromis de propriétés amélioré tout à fait particulier, en particulier le compromis entre la résistance mécanique et la tolérance aux dommages, tout en
- 15 présentant une faible densité et une bonne performance en corrosion.

Les produits corroyés selon l'invention sont préférentiellement des produits filés tels que des profilés, des produits laminés tels que des tôles ou des tôles épaisses et/ou des produits forgés.

- 20 L'invention a également pour objet des produits corroyés susceptibles d'être obtenus selon le procédé précédemment décrit, de tels produits présentant en effet des caractéristiques tout à fait nouvelles et particulières.

Les produits corroyés susceptibles d'être obtenus par le procédé selon l'invention ont en particulier à mi-épaisseur, pour une épaisseur comprise entre 0,5 et 15 mm, au moins

- 25 une propriété de résistance mécanique statique choisie parmi les propriétés (i) à (iii) et au moins une propriété de tolérance aux dommages choisie parmi les propriétés (iv) à (v) :

- (i) une limite d'élasticité en traction $R_m(L) \geq 440 \text{ MPa}$, de préférence $R_m(L) \geq 445 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_m(L) \geq 450 \text{ MPa}$;

- (ii) une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2} (L) \geq 360 \text{ MPa}$ et de préférence $R_{p0,2} (L) \geq 380 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_{p0,2} (L) \geq 400 \text{ MPa}$;
- (iii) une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2} (TL) \geq 330 \text{ MPa}$ et de préférence $R_{p0,2} (TL) \geq 340 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_{p0,2} (TL) \geq 370 \text{ MPa}$;
- (iv) une ténacité, mesurée selon la norme ASTM E399 avec des éprouvettes CT8 de largeur $W = 16 \text{ mm}$ et d'épaisseur $= 8 \text{ mm}$, $K_Q (L-T) \geq 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, de préférence $K_Q (L-T) \geq 22 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$;
- (v) un facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale P_{max} , mesurée selon la norme ASTM E399 avec des éprouvettes CT8 de largeur $W = 16 \text{ mm}$ et d'épaisseur $= 8 \text{ mm}$, $K_{\text{max}} (L-T) \geq 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, de préférence $K_{\text{max}} (L-T) \geq 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

Selon un mode de réalisation préféré, les produits corroyés susceptibles d'être obtenus par le procédé selon l'invention ont, pour une épaisseur comprise entre 0,5 et 15 mm, à mi-épaisseur au moins deux propriétés de résistance mécanique statique choisies parmi les propriétés (i) à (iii) et au moins une propriété de tolérance aux dommages choisies parmi les propriétés (iv) à (v).

Les produits filés selon l'invention présentent des caractéristiques particulièrement avantageuses. Les produits filés ont de préférence une épaisseur comprise entre 0,5 mm et 15 mm, mais des produits d'épaisseur supérieure à 15 mm, jusque 50 mm ou même 100 mm ou plus peuvent avoir également des propriétés avantageuses. L'épaisseur des produits filés est définie selon la norme EN 2066 : 2001 : la section transversale est divisée en rectangles élémentaires de dimensions A et B ; A étant toujours la plus grande dimension du rectangle élémentaire et B pouvant être considéré comme l'épaisseur du rectangle élémentaire. La semelle est le rectangle élémentaire présentant la plus grande dimension A.

Les produits corroyés selon l'invention sont avantageusement utilisés pour réaliser des éléments de structure d'aéronef, notamment d'avions. Des éléments de structure d'aéronef préférés sont notamment une peau de fuselage, un cadre de fuselage, un

raidisseur ou une lisse de fuselage ou encore une peau de voilure, un raidisseur de voilure, une nervure ou un longeron. Ces aspects, ainsi que d'autres de l'invention sont expliqués plus en détails à l'aide des exemples illustratifs et non limitatifs suivants.

5 Exemples

Exemple 1

Plusieurs formes brutes en alliage Al-Mg-Li dont la composition est donnée dans le tableau 1 ont été coulées. Les alliages A et B ont tous deux une composition apte à la mise en œuvre du procédé selon l'invention. La densité des alliages A et B, calculée en conformité avec la procédure de The Aluminium Association décrite en pages 2-12 et 2-13 de « Aluminum Standards and Data », est de 2,55.

15 Tableau 1 - Composition en % en poids et densité des alliages Al-Mg-Li utilisés

Alliage	Ag	Li	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Mg	Zn	Zr	Na (ppm)	Ca (ppm)	Densité
A	0,10	1,39	0,04	0,05	0,01	0,03	0,14	4,56	0,03	0,12	8	22	2,55
B	0,11	1,39	0,03	0,06	0,01	0,03	0,41	4,57	0,03	0,11	8	15	2,55

Des billettes de 358 mm de diamètre ont été réalisées dans les formes brutes. Elles ont été réchauffées à 430-440°C puis déformées à chaud par filage sur une presse sous forme d'un profilé pour cadre de fuselage tel que représenté à la figure 1. Les produits ainsi filés ont été trempés à l'air (trempe sur presse). Ils ont ensuite subi :

- pour les produits à l'état final T6 : un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C ;
- pour les produits à l'état final T8 : une traction contrôlée avec déformation permanente de 3 ou 5% (respectivement T8-3% et T8-5%) puis un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C;
- pour les produits à l'état final T9 : un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C puis une traction contrôlée avec déformation permanente de 3 ou 5% (respectivement T9-3% et T9-5%).

Des échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques (limite d'élasticité $R_{p0,2}$ en MPa, résistance à la rupture R_m en MPa, et allongement A en %).

- 5 Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux 2 (sens L) et 3 (sens TL) ci-dessous. Ces résultats sont les moyennes de 4 mesures effectuées sur des échantillons prélevés sur 4 positions sur le cadre de fuselage (positions référencées a, b, c et d sur la figure 1) pour le sens L et de 2 mesures effectuées sur des échantillons prélevés sur 1 position unique, référencée c sur la figure 1, pour le sens TL.

10

Tableau 2 - Propriétés mécaniques des produits obtenus (sens L)

Alliage	Propriété mécanique	T6	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	R_m (MPa)	427	447	449	449	460
	$R_{p0,2}$ (MPa)	298	330	346	382	409
	A (%)	12	11	10	9	9
B	R_m (MPa)	441	453	459	460	468
	$R_{p0,2}$ (MPa)	321	340	354	398	418
	A (%)	11	10	9	8	7

15 Tableau 3 - Propriétés mécaniques des produits obtenus (sens TL)

Alliage	Propriété mécanique	T6	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	R_m (MPa)	441	441	439	441	454
	$R_{p0,2}$ (MPa)	308	308	302	335	371
	A (%)	14	14	13	11	9
B	R_m (MPa)	444	456	459	456	467
	$R_{p0,2}$ (MPa)	298	309	333	328	347
	A (%)	15	14	14	10	11

- 20 Les propriétés mécaniques, en particulier la contrainte maximale supportable par le produit, R_m , et la limite d'élasticité $R_{p0,2}$ (valeur de contrainte pour une déformation plastique de 0,2%) des produits à l'état T9 sont globalement significativement plus hautes que celles des produits aux états T8 ou T6. Par ailleurs, les propriétés mécaniques, en particulier $R_{p0,2}$, augmentent avec l'augmentation de la traction contrôlée ($T6 < T8-3\% < T8-5\% < T9-3\% < T9-5\%$).

- Une teneur en Mn de l'alliage Al-Mg-Li d'environ 0,4 % en poids (alliage B) permet d'améliorer significativement la résistance mécanique ($R_{p0,2}$ et R_m), en particulier dans le sens L, de l'alliage par rapport à celle d'un alliage présentant une teneur en Mn
- 5 d'environ 0,14 % en poids (alliage A).

Exemple 2

- 10 Plusieurs formes brutes en alliage Al-Mg-Li dont la composition est donnée dans le tableau 1 de l'exemple précédent ont été coulées. Les alliages A et B ont tous deux une composition apte à la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

- Des billettes de 358 mm de diamètre ont été réalisées dans les formes brutes. Elles ont
- 15 été réchauffées à 430-440°C puis déformées à chaud par filage sur une presse sous forme d'une barre plate (100 mm x 10 mm). Les produits ainsi filés ont été trempés à l'air (trempe sur presse). Ils ont ensuite subi :

- pour les produits à l'état final T6 : un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C ;
- 20 - pour les produits à l'état final T8 : une traction contrôlée avec déformation permanente de 3 ou 5% (respectivement T8-3% et T8-5%) puis un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C;
- pour les produits à l'état final T9 : un revenu bi-palier effectué pendant 30h à 120°C suivi de 10h à 100°C puis une traction contrôlée avec déformation permanente de 3 ou
- 25 5% (respectivement T9-3% et T9-5%).

Des échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques (limite d'élasticité, $R_{p0,2}$, en MPa ; résistance à la rupture, R_m , en MPa et allongement, A, en %).

- 30 Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux 4 (sens L) et 5 (sens TL) ci-dessous.

Tableau 4 - Propriétés mécaniques des produits obtenus (sens L).

Alliage	Propriété mécanique	T6	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	Rm (MPa)	421	439	441	444	453
	Rp0,2 (MPa)	286	319	330	381	398
	A (%)	13	11	11	9	10
B	Rm (MPa)	439	453	456	451	462
	Rp0,2 (MPa)	309	337	352	383	424
	A (%)	11	10	8	9	6

Tableau 5 - Propriétés mécaniques des produits obtenus (sens TL).

Alliage	Propriété mécanique	T6	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	Rm (MPa)	400	428	417	430	438
	Rp0,2 (MPa)	267	300	303	334	345
	A (%)	16	17	15	14	14
B	Rm (MPa)	423	437	447	448	449
	Rp0,2 (MPa)	290	315	323	339	371
	A (%)	16	16	16	14	12

5

La limite d'élasticité (valeur de contrainte pour une déformation plastique de 0,2%, Rp0,2) des produits à l'état T9 est significativement plus haute que celles des produits aux états T8 ou T6. Par ailleurs, Rp0,2 augmente avec l'augmentation de la contrainte de la traction contrôlée ($T6 < T8-3\% < T8-5\% < T9-3\% < T9-5\%$).

10

Une teneur en Mn de l'alliage Al-Mg-Li d'environ 0,4 % en poids (alliage B) permet d'améliorer significativement la résistance mécanique de l'alliage (Rp0,2 et Rm) par rapport à celle d'un alliage présentant une teneur en Mn d'environ 0,14 % en poids (alliage A).

15

La ténacité des produits a été caractérisée par l'essai de K1c suivant la norme ASTM E399. Les essais ont été effectués avec une éprouvette CT8 (B = 8mm, W = 16 mm). Les valeurs de K_Q ont toujours été invalides selon la norme ASTM E399, en particulier par rapport au critère $P_{max}/P_Q \leq 1,10$. Pour cela, les résultats sont présentés en K_{max} (facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale P_{max}). Les résultats

20

sont reportés dans les tableaux 6 et 7 et illustrés aux figures 2 et 3 (éprouvettes L-T et T-L respectivement). Ces résultats sont les moyennes d'au moins deux valeurs.

Tableau 6 – Résultats des essais de ténacité sur éprouvettes L-T ($K_{\max}$ et K_Q en $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)

Alliage	Ténacité	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	$K_{\max}$ L-T	32,2	33,6	32,5	25,9
	K_Q L-T	24,6	26,3	25,2	22,3
B	$K_{\max}$ L-T	30,0	32,2	25,9	-
	K_Q L-T	24,6	26,2	22,0	-

5

Tableau 7 – Résultats des essais de ténacité sur éprouvettes T-L ($K_{\max}$ et K_Q en $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)

Alliage	Ténacité	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	$K_{\max}$ T-L	30,8	29,5	29,9	-
	K_Q T-L	25,4	25,0	24,7	-
B	$K_{\max}$ T-L	28,5	28,2	25,2	-
	K_Q T-L	24,2	24,3	22,4	-

Les produits selon l'invention présentent une ténacité satisfaisante quelle que soit la teneur en Mn de l'alliage.

10

La figure 2 illustre la limite d'élasticité, $R_{p0,2}$, des produits du présent exemple en fonction de la ténacité, K_Q (toutes les valeurs de K_Q sont invalides en raison du critère $P_{\max} / P_Q \leq 1,10$). La figure 3 illustre la limite d'élasticité, $R_{p0,2}$, des produits du présent exemple en fonction du facteur d'intensité de contrainte correspondant à la contrainte maximale, $K_{\max}$.

15

Les produits en T9 présentent un excellent compromis entre leurs propriétés statiques, en particulier $R_{p0,2}$, et leur ténacité, K_Q , ou leur facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale, $K_{\max}$.

20

Le délaminage a été quantifié de façon semi-quantitative sur les surfaces de rupture des éprouvettes K1c précédemment décrites selon un score de 0 à 2 : score 0 = absence de délaminage visible, score 1 = faible délaminage, score 2 = délaminage marqué (plusieurs feuillets/fissures secondaires dans le sens L visibles). Les tableaux 8 et 9

25

récapitulent les scores attribués aux différentes éprouvettes (éprouvettes L-T et T-L respectivement).

Tableau 8 – Evaluation du délaminage sur éprouvettes L-T (scores)

Alliage	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	1	2	2	1
B	0	1	0	-

5

Tableau 9 – Evaluation du délaminage sur éprouvettes T- L (scores)

Alliage	T8 (3%)	T8 (5%)	T9 (3%)	T9 (5%)
A	0	1	1	-
B	0	0	0	-

Les produits en alliage B présentent un délaminage plus faible que les produits en alliage A.

10

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un produit corroyé dans lequel :
 - (a) on coule une forme brute en alliage d'aluminium de composition, en % en poids : Mg : 4,0 – 5,0 ; Li : 1,0 – 1,8 ; Zr : 0,05 – 0,15 ; Mn : $\leq 0,6$; Ag : $\leq 0,5$; Fe : $\leq 0,1$; Ti : $< 0,15$; Si : $\leq 0,05$; autres éléments $\leq 0,05$ chacun et $\leq 0,15$ en association ; reste aluminium ;
 - (b) optionnellement, on homogénéise ladite forme brute ;
 - (c) on déforme à chaud ladite forme brute pour obtenir un produit déformé à chaud;
 - 10 (d) optionnellement, on met en solution ledit produit déformé à chaud à une température de 360°C à 460°C, préférentiellement 380-420°C, pendant 15 minutes à 8 heures ;
 - (e) on trempe ledit produit déformé à chaud;
 - (f) optionnellement, on effectue un dressage ou un planage dudit produit déformé et trempé ;
 - 15 (g) on réalise un revenu dudit produit déformé et trempé ;
 - (h) on déforme à froid de façon contrôlée le produit déformé ainsi revenu pour obtenir une déformation permanente à froid en traction de 1 à 10 %, de préférence de 2 à 6%, plus préférentiellement encore de 3 à 5%.
 - 20
2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel la déformation à chaud de l'étape (c) est une déformation par filage de la forme brute.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 dans lequel la déformation à chaud de l'étape (c) est réalisée à une température initiale supérieure à 400°C, de préférence de 420°C à 450°C.
- 25
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel la trempe de l'étape (e) est une trempe sur presse.
- 30
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel la trempe de l'étape (e) est effectuée à l'air.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel le revenu du produit déformé à chaud et trempé de l'étape (g) est réalisé par chauffage, en un ou plusieurs paliers, à une température inférieure à 150°C, de préférence à une température
5 de 70 °C à 140°C, pendant 5 à 100 heures.

7. Procédé selon la revendication 1 dans lequel ladite forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Mn, en % en poids, de 0,2 à 0,6, préférentiellement de 0,35 à 0,5.
10

8. Procédé selon la revendication 1 dans lequel ladite forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Zn, en % en poids, inférieure à 0,04%, préférentiellement inférieure ou égale à 0,03%.

15 9. Procédé selon la revendication 1 dans lequel ladite forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Fe, en % en poids, inférieure à 0,08%, préférentiellement inférieure ou également à 0,07%, plus préférentiellement encore inférieure ou égale à 0,06%.

20 10. Procédé selon la revendication 1 dans lequel ladite forme brute en alliage d'aluminium présente une teneur en Li, en % en poids, inférieure à 1,6%, préférentiellement inférieure ou également à 1,5%, préférentiellement encore inférieure ou égale à 1,4%.

25 11. Produit corroyé susceptible d'être obtenu selon l'un quelconque des procédés des revendications 1 à 10.

12. Produit corroyé selon la revendication 11 ayant à mi-épaisseur, pour une épaisseur comprise entre 0,5 et 15 mm, au moins une propriété de résistance mécanique
30 statique parmi les propriétés (i) à (iii) et au moins une propriété de tolérance aux dommages parmi les propriétés (iv) à (v) :

- (i) une limite d'élasticité en traction $R_m (L) \geq 440 \text{ MPa}$, de préférence $R_m (L) \geq 445 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_m (L) \geq 450 \text{ MPa}$;
- (ii) une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2} (L) \geq 360 \text{ MPa}$ et de préférence $R_{p0,2} (L) \geq 380 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_{p0,2} (L) \geq 400 \text{ MPa}$;
- (iii) une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2} (TL) \geq 330 \text{ MPa}$ et de préférence $R_{p0,2} (TL) \geq 340 \text{ MPa}$ et, plus préférentiellement encore, $R_{p0,2} (TL) \geq 370 \text{ MPa}$;
- (iv) une ténacité, mesurée selon la norme ASTM E399 avec des éprouvettes CT8 de largeur $W = 16 \text{ mm}$ et d'épaisseur $= 8 \text{ mm}$, $K_Q (L-T) \geq 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, de préférence $K_Q (L-T) \geq 22 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$;
- (v) un facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale P_{max} , mesurée selon la norme ASTM E399 avec des éprouvettes CT8 de largeur $W = 16 \text{ mm}$ et d'épaisseur $= 8 \text{ mm}$, $K_{\text{max}} (L-T) \geq 20 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, de préférence $K_{\text{max}} (L-T) \geq 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

13. Utilisation d'un produit corroyé obtenu selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 ou selon la revendication 11 ou 12, pour réaliser un élément de structure d'aéronef, préférentiellement une peau de fuselage, un cadre de fuselage, un raidisseur ou une lisse de fuselage ou encore une peau de voilure, un raidisseur de voilure, une nervure ou un longeron.

1/3

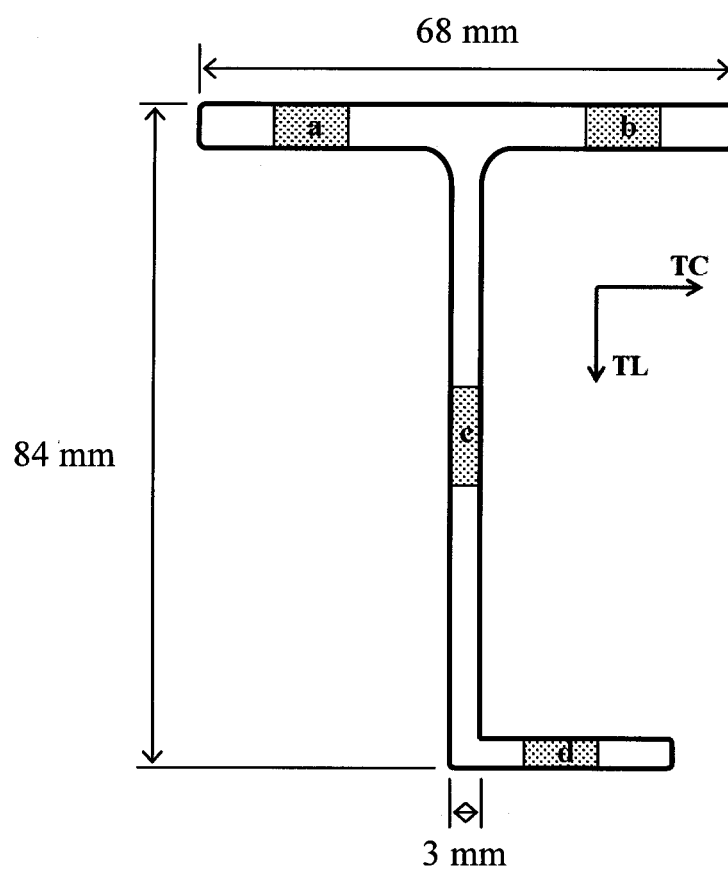


Figure 1 : Profilé pour cadre de fuselage de l'exemple 1

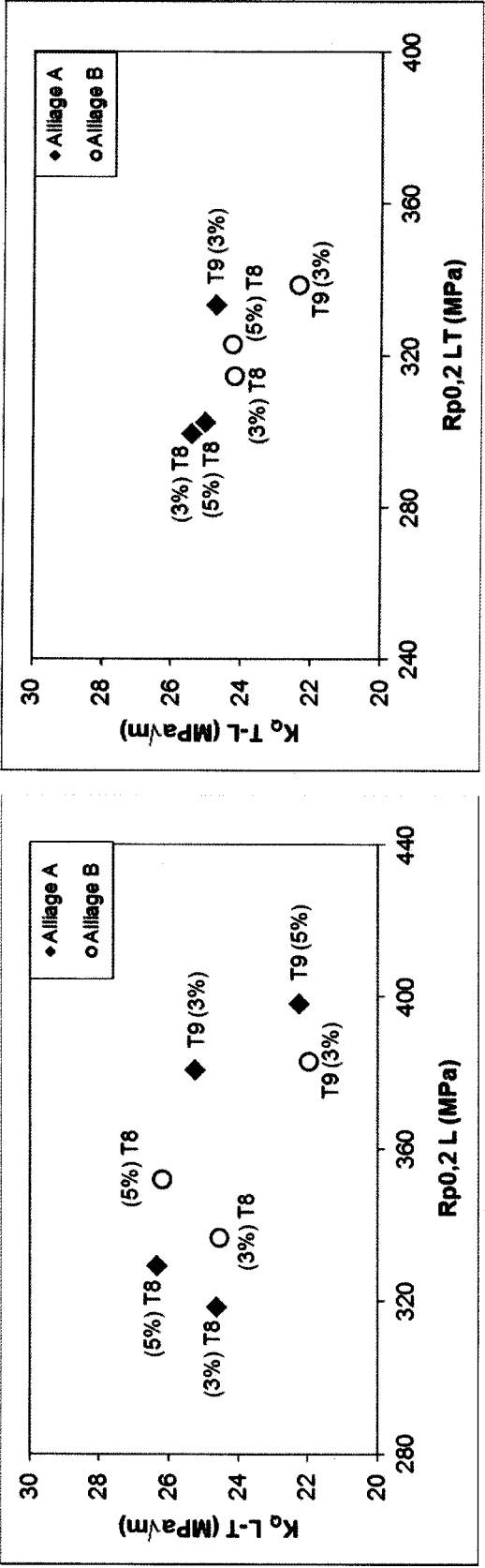


Figure 2: Limite d'élasticité, Rp0,2, en fonction de la ténacité, K_Q* pour une barre plate de 10 mm d'épaisseur
(* toutes les valeurs de K_Q sont invalides en raison du critère $P_{\max} / P_Q \leq 1,10$ de la norme ASTM E399)

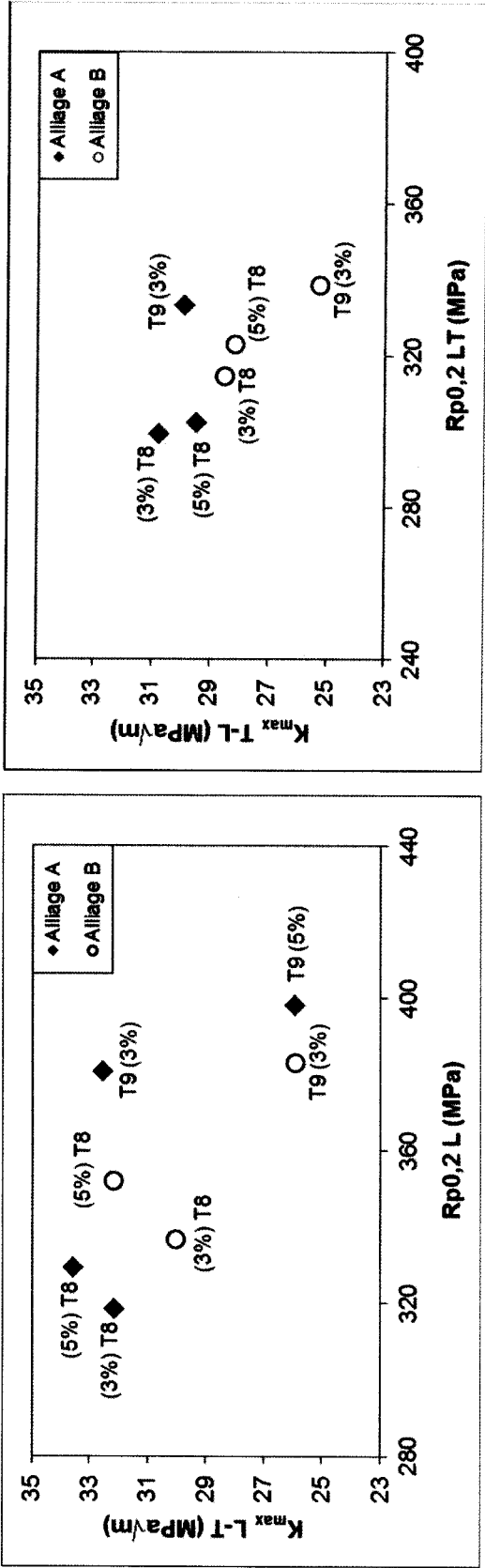


Figure 3: Limite d'élasticité, Rp0,2, en fonction du facteur d'intensité de contrainte correspondant à la force maximale, K_{max} (évaluée selon la norme ASTM E399) pour une barre plate de 10 mm d'épaisseur



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 800419
FR 1402186

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 1 519 021 A (IOSIF NAUMOVICH FRIDLYANDER NI; ALEXANDR NIKOLAEVICH KUZNETSOV) 29 mars 1968 (1968-03-29)	1,2,5,7, 11-13	C22F1/047 C22C21/08 C22C21/06
A	* résumé, page 1 paragraphe 1, page 2 paragraphe 6; tableau 1 *	3,4,6, 8-10	B64C1/06 B64C3/18
X	----- SU 1 367 517 A1 (FRIDLYANDER I N, CHERTOVNIKOV V M, FRIDLYANDER I N, KOLOBNEV N I) 25 juillet 1995 (1995-07-25)	1,5,6, 9-13	
A	* page 3 paragraphes 1, 4 et 5; revendication 1; tableau 1 *	2-4,7,8	
A	----- FRIDLYANDER I N: "Aluminum alloys containing lithium and magnesium", METALLOVEDENIE I TERMICHESKAYA OBRABOTKA METALLOV (RU), no. 9, 1 janvier 2003 (2003-01-01), pages 13-16, XP009181595, ISSN: 0026-0819 * le document en entier *	1-13	
A	----- FRIDLYANDER I N ET AL: "Soviet aluminum-lithium alloys of aerospace application", ALUMINIUM-LITHIUM: PAPERS PRESENTED AT THE SIXTH INTERNATIONAL ALUMINIUM-LITHIUM CONFERENCE, 1991, GARMISCH-PARTENKIRCHEN (FRG),, vol. 1, 1 janvier 1992 (1992-01-01), pages 35-42, XP009181554, * le document en entier *	1-13	C22C C22F
	----- -/-		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 décembre 2014		Abrasonis, Gintautas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 800419
FR 1402186

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
A	FRIDLYANDER ET AL: "Aluminum-lithium structural alloys", METALLOVEDENIE I TERMICESKAYA OBRABOTKA METALLOV // MÉTALLURGIE PHYSIQUE ET TRAITEMENT THERMIQUE DES MÉTAUX, IZDATEL'STVO MASINOSTROENIE, MOSCOW, RU, no. 4, 1 janvier 1990 (1990-01-01), pages 2-8, XP009181555, ISSN: 0026-0819 * le document en entier *	1-13		
A	A.A. ALEKSEEV ET AL: "Nature of Formation of the Areas Having an Ultrafine Grain Structure in Al-Li-Mg System Alloys", MATERIALS SCIENCE FORUM, vol. 519-521, 1 janvier 2006 (2006-01-01), pages 265-270, XP055156875, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.519-521.265 * le document en entier *	1-13		
A	EP 0 273 600 A2 (COMALCO ALU [AU]) 6 juillet 1988 (1988-07-06) * le document en entier *	1-13		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	V. G. KOVSIZHNYKH ET AL: "Mechanical Properties of Extruded Panels of Alloy 01420", METAL SCIENCE AND HEAT TREATMENT., vol. 11, no. 2, 1 janvier 1969 (1969-01-01), pages 20-21, XP055156887, US ISSN: 0026-0673 * le document en entier *	1-13		
		-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur		
8 décembre 2014		Abrasonis, Gintautas		
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant				



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 800419
FR 1402186

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	EP 0 377 640 A1 (MARTIN MARIETTA CORP [US]) 18 juillet 1990 (1990-07-18) * le document en entier *	1-13	
A	RU 2 256 720 C1 (AVIATION MATERIALS RES INST) 20 juillet 2005 (2005-07-20) * le document en entier *	1-13	
A	CHEN Z G ET AL: "The effect of small additions of silver on aging behavior of Al-Mg-Li alloys", ALUMIUM ALLOYS: THEIR PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES, PAPERS PRESENTED AT THE INTERNATIONAL CONFERENCE, 4TH, ATLANTA, SEPT. 11-16, 1994,, vol. 2, 11 septembre 1994 (1994-09-11), pages 177-182, XP009181561, * le document en entier *	1-13	
A	KUMAR S; MCSHANE H B; SHEPPARD T: "EFFECT OF EXTRUSION PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF AN AL-LI-MG-ZR ALLOY", JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, vol. 29, no. 4, 15 février 1994 (1994-02-15), pages 1067-1074, XP009181605, ISSN: 0022-2461 * le document en entier *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 décembre 2014		Abrasonis, Gintautas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1402186 FA 800419

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-12-2014**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1519021	A	29-03-1968	AUCUN	

SU 1367517	A1	25-07-1995	-----	
EP 0273600	A2	06-07-1988	AU 606366 B2	07-02-1991
			AU 8147787 A	02-06-1988
			CA 1337747 C	19-12-1995
			DE 3777586 D1	23-04-1992
			EP 0273600 A2	06-07-1988
			ES 2033324 T3	16-03-1993
			GR 3004498 T3	31-03-1993
			JP S63206445 A	25-08-1988
			US 5431876 A	11-07-1995

EP 0377640	A1	18-07-1990	AU 615946 B2	17-10-1991
			AU 2314988 A	09-03-1989
			BR 8807653 A	12-06-1990
			CA 1335697 C	30-05-1995
			DE 3884957 D1	18-11-1993
			DE 3884957 T2	03-02-1994
			EP 0377640 A1	18-07-1990
			IL 87229 A	01-12-1992
			JP 2892666 B2	17-05-1999
			JP H02504531 A	20-12-1990
			NO 900587 A	07-02-1990
			NZ 225563 A	21-12-1990
			WO 8901531 A1	23-02-1989

RU 2256720	C1	20-07-2005	AUCUN	
