



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2013/04/10
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2013/10/17
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/07/20
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2014/10/06
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2013/000096
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2013/153292
 (30) Priorités/Priorities: 2012/04/11 (US61/622,774);
 2012/04/11 (FR12/01063)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C22C 21/12* (2006.01),
B21C 29/00 (2006.01), *C22C 21/16* (2006.01),
C22C 23/00 (2006.01), *C22F 1/057* (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
 DANIELOU, ARMELLE, FR;
 MARQUETTE, MATHIEU, FR;
 PIGNATEL, JEROME, FR;
 POUGET, GAELLE, FR;
 WARNER, TIMOTHY, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
 CONSTELLIUM ISSOIRE, FR
 (74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
 LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : ALLIAGE ALUMINIUM CUIVRE LITHIUM A RESISTANCE AU CHOC AMELIOREE
 (54) Title: ALUMINIUM COPPER LITHIUM ALLOY WITH IMPROVED IMPACT STRENGTH

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un produit filé en alliage à base d'aluminium comprenant 4,2 à 4,8 % en poids de Cu, 0,9 à 1,1 % en poids de Li, 0,15 à 0,25 % en poids de Ag, 0,2 à 0,6 % en poids de Mg, 0,07 à 0,15 % en poids de Zr, 0,2 à 0,6 % en poids de Mn, 0,01 à 0,15 % en poids de Ti une quantité de Zn inférieure à 0,2 % en poids, une quantité de Fe et de Si inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun, et des impuretés inévitables à une teneur inférieure ou égale à 0,05 % en poids chacune et 0,15 % en poids au total. Les profilés selon l'invention sont particulièrement utiles comme raidisseur ou lisse de fuselage, cadre de fuselage, raidisseur de voilure, profilé ou poutre de plancher ou rail de siège, notamment en raison de leur propriétés améliorées par rapport à celles des produits connus, en particulier en termes d'absorption d'énergie lors d'un choc; de propriétés de résistance mécanique statique et de résistance à la corrosion, et de leur faible densité.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
17 octobre 2013 (17.10.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/153292 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
C22C 21/12 (2006.01) C22C 23/00 (2006.01)
C22F 1/057 (2006.01) B21C 29/00 (2006.01)
C22C 21/16 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/000096
- (22) Date de dépôt international :
10 avril 2013 (10.04.2013)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
12/01063 11 avril 2012 (11.04.2012) FR
61/622,774 11 avril 2012 (11.04.2012) US
- (71) Déposant : CONSTELLIUM FRANCE [FR/FR]; 40-44,
Rue Washington, 75008 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : DANIELOU Armelle; Les Modelons, 73360
Les Echelles (FR). MARQUETTE Mathieu; 1, hameau
des Landes, F-49070 1, Beaucauze (FR). PIGNATEL Jé-
rome; 11, Rue du Sucé, 44240 La Chapelle sur Erdre (FR).
POUGET Gaëlle; 104, Rue Abbé Grégoire, 38000 Gre-
noble (FR). WARNER Timothy; 62, Rue de Bouvardière,
38340 Voreppe (FR).
- (74) Mandataire : BUTRUILLE Jean-Rémi; Constellium
CRV, 725, Rue Aristide Bergès, BP 27, 38341 Voreppe
(FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Déclarations en vertu de la règle 4.17 :
— relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de
la demande antérieure (règle 4.17.iii)
— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : ALUMINIUM COPPER LITHIUM ALLOY WITH IMPROVED IMPACT STRENGTH

(54) Titre : ALLIAGE ALUMINIUM CUIVRE LITHIUM À RÉSISTANCE AU CHOC AMÉLIORÉE

(57) Abstract : The invention relates to an extruded product made of an aluminium-based alloy comprising 4.2% to 4.8% by weight of Cu, 0.9% to 1.1% by weight of Li, 0.15% to 0.25% by weight of Ag, 0.2% to 0.6% by weight of Mg, 0.07% to 0.15% by weight of Zr, 0.2% to 0.6% by weight of Mn, 0.01% to 0.15% by weight of Ti, an amount of Zn of less than 0.2% by weight, an amount of Fe and of Si of less than or equal to 0.1% by weight each, and inevitable impurities at a content of less than or equal to 0.05% by weight each and 0.15% by weight in total. The sections according to the invention are particularly useful as fuselage stringer or stiffener, fuselage frame, wing stiffener, floor beam or section or seat track, especially due to their improved properties compared to those of known products, in particular in terms of energy absorption during an impact; static mechanical strength and corrosion resistance properties, and their low density.

(57) Abrégé : L'invention concerne un produit filé en alliage à base d'aluminium comprenant 4,2 à 4,8 % en poids de Cu, 0,9 à 1,1 % en poids de Li, 0,15 à 0,25 % en poids de Ag, 0,2 à 0,6 % en poids de Mg, 0,07 à 0,15 % en poids de Zr, 0,2 à 0,6 % en poids de Mn, 0,01 à 0,15 % en poids de Ti une quantité de Zn inférieure à 0,2 % en poids, une quantité de Fe et de Si inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun, et des impuretés inévitables à une teneur inférieure ou égale à 0,05 % en poids chacune et 0,15 % en poids au total. Les profilés selon l'invention sont particulièrement utiles comme raidisseur ou lisse de fuselage, cadre de fuselage, raidisseur de voilure, profilé ou poutre de plancher ou rail de siège, notamment en raison de leur propriétés améliorées par rapport à celles des produits connus, en particulier en termes d'absorption d'énergie lors d'un choc; de propriétés de résistance mécanique statique et de résistance à la corrosion, et de leur faible densité.



WO 2013/153292 A1

Alliage aluminium cuivre lithium à résistance au choc améliorée

Domaine de l'invention

L'invention concerne les produits filés en alliages aluminium-cuivre-lithium, plus particulièrement, de tels produits, leurs procédés de fabrication et d'utilisation, destinés notamment à la construction aéronautique et aérospatiale.

Etat de la technique

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

Les produits filés en alliage d'aluminium sont utilisés dans l'industrie aéronautique pour de nombreuses applications, tels que les raidisseurs ou lisses de fuselage, les cadres de fuselage, les raidisseurs de voilure, les profilés ou poutres de plancher ainsi que les rails de siège.

L'incorporation progressive de davantage de matériaux composites dans les structures aéronautiques a modifié les exigences en ce qui concerne les produits filés incorporés dans les avions, notamment pour des éléments de structure tels que les poutres de plancher. Il est apparu que l'absorption d'énergie lors d'un choc, ou plus particulièrement lors d'un crash, est un critère désormais important pour sélectionner ce produit. Les autres propriétés essentielles sont des caractéristiques mécaniques les plus élevées possible, de façon à diminuer le poids des structures, et la tenue à la corrosion.

Une grandeur telle que la capacité spécifique d'absorption peut être utilisée pour caractériser l'absorption d'énergie lors d'un choc.

La capacité spécifique d'absorption d'énergie lors d'un choc peut être mesurée lors d'un test d'écrasement dans lequel on mesure l'effort fourni en fonction du déplacement réalisé

lors de l'écrasement. Il s'agit de la quantité d'énergie dépensée pour écraser une unité de masse de matériau dans la phase d'écrasement stable. Les alliages d'aluminium ductiles ont une capacité importante d'absorption de l'énergie d'impact lors du choc, en particulier car ils se déforment plastiquement. En première approximation la capacité spécifique d'absorption d'énergie lors d'un choc d'un profilé en alliage d'aluminium peut être reliée à la courbe obtenue lors d'un test en traction du matériau considéré, en particulier à l'aire sous la courbe force déformation. On peut ainsi l'évaluer par le produit $R_m \times A\%$ ou $R_{p0,2} \times A\%$ dans le sens L et dans le sens TL.

Les alliages AlCuLi sont connus.

Le brevet US 5,032,359 décrit une vaste famille d'alliages aluminium-cuivre-lithium dans lesquels l'addition de magnésium et d'argent, en particulier entre 0,3 et 0,5 pour cent en poids, permet d'augmenter la résistance mécanique.

Le brevet US 5,455,003 décrit un procédé de fabrication d'alliages Al-Cu-Li qui présentent une résistance mécanique et une ténacité améliorées à température cryogénique, en particulier grâce à un écrouissage et un revenu appropriés. Ce brevet recommande en particulier la composition, en pourcentage en poids, Cu = 3,0 – 4,5, Li = 0,7 – 1,1, Ag = 0 – 0,6, Mg = 0,3-0,6 et Zn = 0 – 0,75.

Le brevet US 7,438,772 décrit des alliages comprenant, en pourcentage en poids, Cu : 3-5, Mg : 0,5-2, Li : 0,01-0,9 et décourage l'utilisation de teneurs en lithium plus élevées en raison d'une dégradation du compromis entre ténacité et résistance mécanique.

Le brevet US 7,229,509 décrit un alliage comprenant (% en poids) : (2,5-5,5) Cu, (0,1-2,5) Li, (0,2-1,0) Mg, (0,2-0,8) Ag, (0,2-0,8) Mn, 0,4 max Zr ou d'autres agents affinant le grain tels que Cr, Ti, Hf, Sc, V.

La demande de brevet US 2009/142222 A1 décrit des alliages comprenant (en % en poids), 3,4 à 4,2% de Cu, 0,9 à 1,4 % de Li, 0,3 à 0,7 % de Ag, 0,1 à 0,6% de Mg, 0,2 à 0,8 % de

Zn, 0,1 à 0,6 % de Mn et 0,01 à 0,6 % d'au moins un élément pour le contrôle de la structure granulaire. Cette demande décrit également un procédé de fabrication de produits filés.

La demande de brevet WO 2009/036953 divulgue un alliage pour éléments de structure comprenant (en % en poids) 3,4 à 6,0 % de Cu, 0,9 à 1,7 % de Li, environ 0,2 à 0,8 % de Mg, environ 0,1 à 0,8 % de Ag, environ 0,1 à 0,8 % de Mn, jusque 1,5 % de Zn et un ou plusieurs éléments choisis dans le groupe consistant en Zr, Cr, Ti, Sc et Hf, avec Fe < 0,15 et Si < 0,15.

On connaît par ailleurs l'alliage AA2195 comprenant (en % en poids) 3,7 à 4,3 % de Cu, 0,8 à 1,2 % de Li, 0,25 à 0,8 % de Mg, 0,25 à 0,6 % de Ag, moins de 0,25% de Mn, moins de 0,25% de Zn 0,08 à 0,16 % de Zr, moins de 0,10% de Ti, moins de 0,15 % de Fe et moins de 0,12 % de Si. Des profilés en alliage 2195 sont décrits par exemple dans le document « Friction stir welding dissimilar alloys for tailoring properties of aerospace parts », I. Eberl, C. Hantrais, J.-C. Ehrstrom et C. Nardin, Science and Technology of Welding and Joining, 2010 vol 15 N°8 pp 699 – 705.

Il existe un besoin pour des produits filés en alliage aluminium-cuivre-lithium présentant des propriétés améliorées par rapport à celles des produits connus, en particulier en termes d'absorption d'énergie lors d'un choc, de propriétés de résistance mécanique statique et de résistance à la corrosion, tout en ayant une faible densité. Simultanément il convient de maintenir une ténacité satisfaisante pour ces produits.

Objet de l'invention

Un premier objet de l'invention est un produit filé en alliage à base d'aluminium comprenant

- 4,2 à 4,8 % en poids de Cu,
- 0,9 à 1,1 % en poids de Li,
- 0,15 à 0,25 % en poids de Ag,
- 0,2 à 0,6 % en poids de Mg,
- 0,07 à 0,15 % en poids de Zr,

0,2 à 0,6 % en poids de Mn,
0,01 à 0,15 % en poids de Ti

une quantité de Zn inférieure à 0,2 % en poids, une quantité de Fe et de Si inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun, et des impuretés inévitables à une teneur inférieure ou égale à 0,05% en poids chacune et 0,15% en poids au total.

Un deuxième objet de l'invention est un produit filé dont l'épaisseur d'au moins un rectangle élémentaire, définie selon la norme EN 2066:2001, est comprise entre 1 mm et 30 mm, en alliage à base d'aluminium comprenant

4,2 à 4,8 % en poids de Cu,
0,9 à 1,1 % en poids de Li,
0,15 à 0,25% en poids de Ag,
0,2 à 0,6 % en poids de Mg,
0,07 à 0,15 % en poids de Zr,
0,2 à 0,6 % en poids de Mn,
0,01 à 0,15 % en poids de Ti,

une quantité de Zn inférieure à 0,2 % en poids, une quantité de Fe et de Si inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun, et des impuretés inévitables à une teneur inférieure ou égale à 0,05% en poids chacune et 0,15% en poids au total.

Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un produit filé selon l'invention dans lequel:

- (a) on coule une forme brute en alliage selon l'invention,
- (b) on homogénéise ladite forme brute à une température de 490°C à 520 °C pendant 8 à 48 heures,
- (c) on déforme à chaud par filage ladite forme brute avec une température initiale de déformation à chaud de 420 °C à 480 °C pour obtenir un produit filé,
- (d) on met en solution ledit produit filé à une température de 500 °C à 520 °C pendant 15 minutes à 8 heures,
- (e) on trempe,
- (f) on tractionne de façon contrôlée ledit produit filé avec une déformation permanente de 2 à 4%,
- (g) optionnellement on effectue un dressage dudit produit filé, et
- (h) on réalise un revenu dudit produit filé par chauffage à une température de 100 °C à 170°C pendant 5 à 100 heures.

Encore un autre objet de l'invention est l'utilisation d'un produit selon l'invention pour la construction aéronautique comme raidisseur ou lisse de fuselage, cadre de fuselage, raidisseur de voilure, profilé ou poutre de plancher ou rail de siège.

Description des figures

Figure 1 : Vue en coupe du produit filé de l'exemple 1.

Figure 2 : Compromis entre la limite d'élasticité et le paramètre EA pour les produits filés de l'exemple 1.

Description de l'invention

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. 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 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.

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.

Le facteur d'intensité de contrainte (K_Q) est déterminé selon la norme ASTM E399. La norme ASTM E399 donne les critères qui permettent de déterminer si K_Q est une valeur valide de K_{IC} . Pour une géométrie d'éprouvette donnée, les valeurs de K_Q obtenues pour différents matériaux sont comparables entre elles pour autant que les limites d'élasticité des matériaux soient du même ordre de grandeur.

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

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.

Selon la présente invention, une classe sélectionnée d'alliages d'aluminium-cuivre-lithium permet de fabriquer des produits filés présentant des propriétés améliorées par rapport à

celles des produits connus, en particulier en termes d'absorption d'énergie lors d'un choc, de propriétés de résistance mécanique statique, de résistance à la corrosion et ayant une faible densité.

L'addition simultanée de manganèse, de titane, de zirconium, de magnésium et d'argent, permet pour les teneurs en cuivre et en lithium sélectionnées, d'obtenir un compromis entre un paramètre représentatif de l'absorption d'énergie lors d'un choc et la limite d'élasticité particulièrement avantageux.

La teneur en cuivre est au moins de 4,2 % en poids, de préférence au moins 4,3 % et de manière préférée au moins 4,35 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en cuivre est au moins de 4,50 % en poids. La teneur en cuivre est au plus de 4,8 % en poids, de préférence au plus 4,7 % en poids et de manière préférée au plus 4,55 % en poids. La teneur en cuivre sélectionnée améliore notamment les propriétés mécaniques statiques. Une teneur en cuivre élevée est cependant défavorable notamment pour la densité de l'alliage.

La teneur en lithium est au moins de 0,9 % en poids et de préférence au moins 0,95 % en poids. La teneur en lithium est au plus de 1,1 % en poids et de préférence au plus 1,05 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en lithium est au plus de 1,04 % en poids. La teneur en lithium sélectionnée améliore notamment l'énergie absorbée lors d'un choc. Une teneur en lithium trop faible est cependant défavorable notamment pour la densité de l'alliage.

L'addition de manganèse est un aspect important de la présente invention. La teneur en manganèse est au moins de 0,2 % en poids et de préférence au moins 0,3 % en poids. La teneur en manganèse est au plus de 0,6 % en poids et de préférence au plus 0,5 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en manganèse est au plus de 0,40 % en poids. L'addition de manganèse dans ces quantités améliore en particulier le compromis entre les propriétés recherchées.

La teneur en magnésium est au moins 0,2% en poids et de préférence au moins 0,30% en poids. La teneur en magnésium est au plus de 0,6 % en poids et de préférence au plus de 0,50 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en magnésium est au plus de 0,40 % en poids. La teneur en argent est au moins de 0,15 % en poids. La teneur en

argent est au plus de 0,25 % en poids. Les présents inventeurs ont constaté que de manière surprenante une addition d'argent de plus de 0,25% en poids pouvait avoir un effet défavorable sur l'absorption d'énergie lors d'un choc. Il est important de combiner la teneur en argent de 0,15% à 0,25% en poids à une traction contrôlée après mise en solution et trempe avec une déformation permanente de 2 à 4%, notamment car une traction contrôlée inférieure à 2% ne permet pas alors d'obtenir la résistance mécanique souhaitée. L'addition de magnésium et d'argent est nécessaire pour atteindre le compromis favorable entre résistance mécanique statique, énergie absorbée, densité et ténacité.

La teneur en zirconium est au moins de 0,07 % en poids et de préférence au moins de 0,10% en poids. La teneur en zirconium est au plus de 0,15% en poids et de préférence au plus de 0,13 % en poids. L'addition de zirconium est notamment nécessaire pour maintenir la structure essentiellement non-recristallisée souhaitée pour les produits filés selon l'invention.

La teneur en titane est comprise entre 0,01 et 0,15 % en poids et de préférence entre 0,02 et 0,05 % en poids. L'addition de titane permet notamment d'obtenir une structure granulaire contrôlée de la forme brute obtenue après la coulée.

La quantité de Fe et de Si est inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun. De préférence la teneur en Fe et en Si est inférieure à 0,08 % en poids chacun.

La teneur en Zn est inférieure à 0,2 % en poids, de préférence inférieure à 0,15 % en poids et de manière préférée inférieure à 0,1 % en poids. La présence de Zn peut avoir un effet défavorable sur le compromis entre résistance mécanique statique, énergie absorbée, densité et ténacité, notamment car cet élément nuit à la densité de l'alliage sans apporter d'effet favorable sur la résistance mécanique statique, l'énergie absorbée et la ténacité.

Les impuretés inévitables sont maintenues à une teneur inférieure ou égale à 0,05% en poids chacune et 0,15% en poids au total.

Les produits filés selon l'invention sont préparés à l'aide d'un procédé dans lequel tout d'abord on coule une forme brute en alliage selon l'invention. De préférence, la forme brute est une billette de filage. La forme brute est ensuite homogénéisée à une température de 490°C à 520 °C pendant 8 à 48 heures. L'homogénéisation peut être réalisée en un ou plusieurs paliers. La forme brute peut être refroidie jusqu'à température ambiante après

homogénéisation ou directement amenée à la température de déformation à chaud. La forme brute homogénéisée est déformée à chaud par filage avec une température initiale de déformation à chaud de 420 °C à 480 °C pour obtenir un produit filé. La température de filage utilisée permet notamment d'obtenir la structure essentiellement non-recristallisée souhaitée.

Les produits filés selon l'invention sont de préférences des profilés dont l'épaisseur d'au moins un des rectangles élémentaires est comprise entre 1 mm et 30 mm, de préférence entre 2 à 20 mm et de manière préférée entre 5 et 16 mm. Les produits filés utilisés en construction aéronautique comprennent généralement plusieurs segments ou rectangles élémentaires d'épaisseurs différentes. Une difficulté rencontrée avec ces produits est d'atteindre des propriétés satisfaisantes dans les différents segments. L'alliage selon l'invention permet notamment d'obtenir un compromis favorable entre résistance mécanique statique, énergie absorbée, densité et ténacité pour des rectangles élémentaires d'épaisseurs différentes.

Le produit filé ainsi obtenu est ensuite mis en solution à une température de 500 °C à 520 °C pendant 15 minutes à 8 heures puis trempé avec de l'eau à température ambiante. La trempé est effectuée de préférence à l'eau, par aspersion ou par immersion.

Le produit filé ainsi mis en solution et trempé est ensuite tractionné avec une déformation permanente de 2 à 4%. Une déformation permanente par traction trop faible, telle qu'une déformation par traction de 1,5%, ne permet pas d'atteindre le compromis entre propriétés souhaité. Une déformation permanente par traction trop élevée, telle qu'une déformation de 6 % ne permet notamment pas de garantir les caractéristiques dimensionnelles du produit filé, typiquement en ce qui concerne les angles entre les différents rectangles élémentaires.

Il peut être nécessaire de réaliser une opération de dressage du produit filé pour obtenir les propriétés souhaitées d'un point de vue dimensionnel.

Le produit filé est enfin revenu par chauffage à une température de 100 °C à 170°C pendant 5 à 100 heures. Le revenu peut être effectué en un ou plusieurs paliers. De manière préférée, le revenu est effectué en un palier à une température comprise entre 130 °C et 170 °C et avantageusement entre 150 et 160 °C pendant une durée de 20 à 40 h.

Les produits filés ainsi obtenus ont de préférence une structure granulaire essentiellement non-recristallisée. Dans le cadre de la présente invention, on appelle structure granulaire

essentiellement non-recristallisée une structure granulaire telle que le taux de recristallisation entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur d'un rectangle élémentaire est inférieur à 30% et de préférence inférieur à 10%.

Les produits filés selon l'invention ont des propriétés mécaniques particulièrement avantageuses.

Ainsi de manière préférée, les produits filés selon l'invention ont comme propriétés à mi-épaisseur :

pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm

une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L d'au moins 630 MPa et de préférence d'au moins 635 MPa et

une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL d'au moins 625 MPa et de préférence d'au moins 630 MPa et

un facteur EA

$$EA = (R_m(L) + R_{p0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (R_m(TL) + R_{p0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$$

au moins égal à 14000 et de préférence au moins égal à 14500

et/ou

pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm

une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L d'au moins 655 MPa et de préférence d'au moins 660 MPa et

une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL d'au moins 600 MPa et de préférence d'au moins 605 MPa et

un facteur EA

$$EA = (R_m(L) + R_{p0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (R_m(TL) + R_{p0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$$

au moins égal à 9500 et de préférence au moins égal à 9800.

De plus les produits selon l'invention ont une ténacité avantageuse.

Ainsi les produits selon l'invention ont de préférence pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm une ténacité $K_{1C}(L-T)$, d'au moins $24 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ et de préférence d'au moins $25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ et pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm une ténacité $K_{1C}(L-T)$, d'au moins $21 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ et de préférence d'au moins $22 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

Enfin les produits selon l'invention présentent une excellente résistance à la corrosion. Ainsi les produits filés selon l'invention présentent une résistance d'au moins 30 jours lors

d'un test de corrosion sous contrainte selon les normes ASTM G44 et ASTM G49 sur des éprouvettes prélevées dans le sens TL pour une tension de 450 MPa.

Les produits filés selon l'invention sont particulièrement avantageux pour la construction aéronautique. Ainsi, les produits selon l'invention sont utilisés pour la construction aéronautique comme raidisseur ou lisse de fuselage, cadre de fuselage, raidisseur de voilure, profilé ou poutre de plancher ou rail de siège. Dans un mode de réalisation préféré on utilise les produits selon l'invention comme poutre de plancher, notamment comme poutre du plancher inférieur des avions, ou plancher cargo, ce plancher étant particulièrement important lors du choc.

Exemples

Exemple 1.

Dans cet exemple, cinq alliages dont la composition est donnée dans le tableau 1 ont été préparés et coulés sous une forme brute.

Tableau 1. Composition en % en poids des alliages

	Cu	Li	Mn	Mg	Zr	Ag	Ti	Si	Fe
A (inv)	4,52	1,02	0,37	0,35	0,11	0,21	0,03	0,05	0,05
B (ref)	4,36	1,13	0,01	0,35	0,13	0,33	0,05	0,03	0,01
C (ref)	4,30	1,17	0,31	0,39	0,12	0,35	0,02	0,06	0,03
D (ref)	4,10	0,98	0,00	0,35	0,12	0,35	0,02	0,04	0,03
E (ref)	4,16	1,02	0,00	0,36	0,14	0,29	0,03	0,05	0,03

inv : invention – ref : référence

Les formes brutes ont été homogénéisées à une température de 490°C à 520 °C adaptée selon leur composition, filées sous forme de produit filé décrit dans la Figure 1, dont l'épaisseur des rectangles élémentaires est comprise entre 17 et 22 mm, avec une température initiale de déformation à chaud d'environ 460 °C. Les produits filés obtenus ont été mis en solution à une température adaptée à l'alliage comprise entre 500 °C et 520 °C, trempés, tractionnés environ 3 % et revenus 30h à 155 °C.

Les propriétés mécaniques obtenues pour des échantillons cylindriques de diamètre 10 mm prélevés à mi-épaisseur et quart-largeur dans la semelle d'épaisseur 18 mm des produits filés sont présentées dans le tableau 2. Afin d'évaluer l'absorption d'énergie lors d'un choc on a calculé le paramètre

$$EA = (R_m(L) + R_{p0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (R_m(TL) + R_{p0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$$

La structure des produit filés obtenus était essentiellement non-recristallisée. Le taux de structure granulaire recristallisée entre ¼ et ½ épaisseur était inférieur à 10 %.

Tableau 2. Propriétés mécaniques obtenues pour les différents alliages.

Alliage	A	B	C	D	E
Rm L (MPa)	679	667	668	648	664
Rp0,2 L (MPa)	663	650	653	629	645
E% L	8,1	10,4	8,0	9,3	10,1
Rm TL (MPa)	641	635	619	601	622
Rp02 TL (MPa)	608	599	590	569	596
E% TL	7,2	6,2	5,1	5,3	5,9
K _{IC} L-T (MPa m ^{1/2})	22,5	22,8	21,4	28,6	23,9
K _{IC} T-L (MPa m ^{1/2})	18,8	18,3	19,5	22,7	19,0
EA	9896	10635	8331	9033	10204

La figure 2 présente le compromis entre la limite d'élasticité et le paramètre EA. L'alliage selon l'invention permet d'atteindre un compromis particulièrement avantageux.

Le produit filé en alliage A selon l'invention a subi un test de corrosion sous contrainte selon les normes ASTM G44 et ASTM G49 pour une tension de 450 MPa sur des éprouvettes prélevées dans le sens TL. Aucune rupture n'a été observée après 30 jours de test.

Exemple 2

Dans cet exemple, les alliages A et B présentés dans l'exemple 1 ont été filés sous forme d'un produit filé d'une forme différente et présentant des épaisseurs de rectangles élémentaires plus faibles, comprises entre 5 et 12 mm. Les formes brutes ont été homogénéisées 15h à 500 °C puis 20 à 25h à 510 °C, filées sous forme de produit filé en I avec une température initiale de déformation à chaud d'environ 460 °C. Les produits filés obtenus ont été mis en solution à une température d'environ 510 °C, trempés, tractionnés environ 3,5 % et revenus 30h à 155 °C.

Les propriétés mécaniques dans la direction longitudinale ont été mesurées sur des éprouvettes « pleine épaisseur », prélevées dans les différents rectangles élémentaires du produit filé (épaisseurs 5, 7 et 12 mm) et moyennées pour les différents profilés obtenus. La mesure « pleine épaisseur » sous estime la valeur réelle mesurée à mi-épaisseur sur des éprouvettes usinées, à cause de l'effet de la microstructure différente proche de la surface. Un facteur de correction a été introduit pour tenir compte de ce biais, cependant le facteur a été choisi de telle façon que la valeur réelle sur éprouvette usinée serait sans doute supérieure à la valeur corrigée indiquée. Les propriétés mécaniques dans la direction transverse ont été mesurées sur des éprouvettes usinées prélevées dans la zone de plus faible épaisseur, seule zone possible pour ce type de mesure en raison de la longueur des éprouvettes nécessaire pour cette mesure. Les propriétés de ténacité ont été mesurées sur des éprouvettes prélevées dans la zone de plus forte épaisseur. La structure des produit filés obtenus était essentiellement non-recristallisée. Le taux de structure granulaire recristallisée entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur était inférieur à 10 %.

Les propriétés mécaniques ainsi obtenues sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Propriétés mécaniques obtenues pour les différents alliages.

Alliage	A	B
Rm L*	661	651
Rp0,2 L*	639	627
E% L	10,8	9,8
Rm TL	664	663
Rp02 TL	633	622
E% TL	11,6	11,8
K1C L-T	25,3	22,9
K1C T-L	23,7	19,4

EA	14540	13840
----	-------	-------

* facteur de correction 1,033 appliqué au résultat obtenu sur éprouvette pleine épaisseur

A nouveau, le produit filé selon l'invention atteint un compromis plus favorable que le produit filé de référence entre la résistance mécanique et le paramètre EA.

Revendications

1. Produit filé dont l'épaisseur d'au moins un rectangle élémentaire, définie selon la norme EN 2066:2001, est comprise entre 1 mm et 30 mm, en alliage à base d'aluminium comprenant
4,2 à 4,8 % en poids de Cu,
0,9 à 1,1 % en poids de Li,
0,15 à 0,25% en poids de Ag,
0,2 à 0,6 % en poids de Mg,
0,07 à 0,15 % en poids de Zr,
0,2 à 0,6 % en poids de Mn,
0,01 à 0,15 % en poids de Ti,
une quantité de Zn inférieure à 0,2 % en poids, une quantité de Fe et de Si inférieure ou égale à 0,1 % en poids chacun, et des impuretés inévitables à une teneur inférieure ou égale à 0,05% en poids chacune et 0,15% en poids au total.
2. Produit filé selon la revendication 1, comprenant 4,3 % à 4,7 % en poids de Cu.
3. Produit filé selon la revendication 1 ou 2, comprenant 4,35 % à 4,55 % en poids de Cu.
4. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant 0,95 à 1,05 % en poids de Li.
5. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 4 comprenant 0,30 à 0,50 % en poids de Mg et/ou 0,10 à 0,13 % en poids de Zr.
6. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 5 comprenant 0,3 à 0,5 % en poids de Mn.
7. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 6 comprenant moins de 0,15% de Zn.

8. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant moins de 0,1 % de Zn.
9. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 8 caractérisé en ce qu'il s'agit d'un profilé dont l'épaisseur dudit au moins un rectangle élémentaire est comprise entre 2 à 20 mm.
10. Produit filé selon la revendication 9 caractérisé en ce que l'épaisseur dudit rectangle élémentaire est comprise entre 5 et 16 mm.
11. Produit selon une quelconque des revendications 1 à 10 dont le taux de recristallisation entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur dudit rectangle élémentaire est inférieur à 30%.
12. Produit selon une quelconque des revendications 1 à 10 dont le taux de recristallisation entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur dudit rectangle élémentaire est inférieur à 10%.
13. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 8 ayant à mi-épaisseur
 - pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm
 - une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L d'au moins 630 MPa et
 - une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL d'au moins 625 MPa et
 - un facteur EA
 - $EA = (R_m(L) + R_{p0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (R_m(TL) + R_{p0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$
 - au moins égal à 14000
 - ou
 - pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm
 - une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L d'au moins 655 MPa et
 - une limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL d'au moins 600 MPa et
 - un facteur EA
 - $EA = (R_m(L) + R_{p0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (R_m(TL) + R_{p0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$
 - au moins égal à 9500.

14. Produit filé selon la revendication 13, caractérisé en ce que pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm la limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L est d'au moins 635 MPa.
15. Produit filé selon la revendication 13 ou 14, caractérisé en ce que pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm la limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL est d'au moins 630 MPa.
16. Produit filé selon une quelconque des revendications 13 à 15 caractérisé en ce que pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm le facteur EA est au moins égal à 14500.
17. Produit filé selon la revendication 13 caractérisé en ce que pour une épaisseur entre 17 et 30 mm la limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens L est d'au moins 660 MPa.
18. Produit filé selon la revendication 13 caractérisé en ce que pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm la limite d'élasticité moyenne $R_{p0,2}$ dans le sens TL est d'au moins 605 MPa.
19. Produit filé selon la revendication 13 caractérisé en ce que pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm le facteur EA est au moins égal à 9800.
20. Produit selon la revendication 13 ayant
 - pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm une ténacité $K_{1C}(L-T)$, d'au moins 24 MPa \sqrt{m} et
 - pour une épaisseur comprise entre 17 et 30 mm une ténacité $K_{1C}(L-T)$, d'au moins 21 MPa \sqrt{m} .
21. Produit selon la revendication 20 caractérisé en ce que pour une épaisseur entre 5 et 16 mm la ténacité $K_{1C}(L-T)$, est d'au moins 25 MPa \sqrt{m} .

22. Produit selon la revendication 20 caractérisé en ce que pour une épaisseur entre 17 et 30 mm la ténacité $K_{1C}(L-T)$ est d'au moins $22 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$.
23. Procédé de fabrication d'un produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 22 dans lequel :
- (a) on coule une forme brute en alliage selon une des revendications 1 à 6,
 - (b) on homogénéise ladite forme brute à une température de 490°C à 520°C pendant 8 à 48 heures,
 - (c) on déforme à chaud par filage ladite forme brute avec une température initiale de déformation à chaud de 420°C à 480°C pour obtenir un produit filé,
 - (d) on met en solution ledit produit filé à une température de 500°C à 520°C pendant 15 minutes à 8 heures,
 - (e) on trempe,
 - (f) on tractionne de façon contrôlée ledit produit filé avec une déformation permanente de 2 à 4%,
 - (g) optionnellement on effectue un dressage dudit produit filé, et
 - (h) on réalise un revenu dudit produit filé par chauffage à une température de 100°C à 170°C pendant 5 à 100 heures.
24. Utilisation d'un produit selon une quelconque des revendications 1 à 22 pour la construction aéronautique comme raidisseur ou lisse de fuselage, cadre de fuselage, raidisseur de voilure, profilé ou poutre de plancher ou rail de siège.

1/2

Figure 1

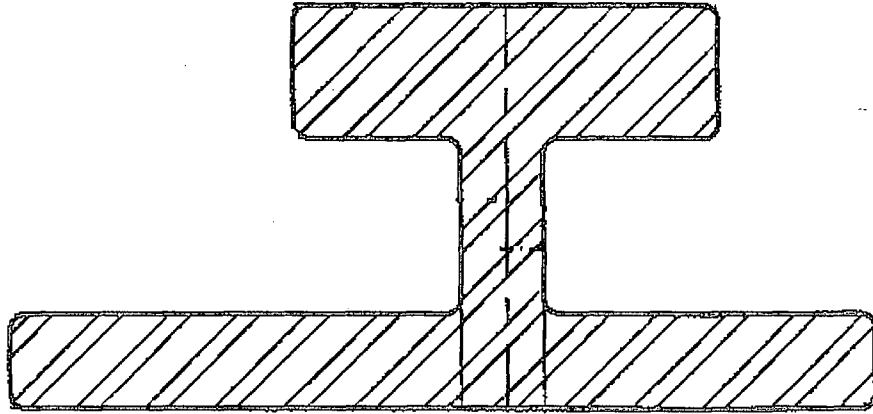


Figure 2

