

(19)



(11)

EP 2 836 620 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
27.03.2019 Bulletin 2019/13

(51) Int Cl.:
C22C 21/12 (2006.01) C22F 1/057 (2006.01)
C22C 21/16 (2006.01) C22C 23/00 (2006.01)
B21C 29/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13722480.4**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2013/000096

(22) Date de dépôt: **10.04.2013**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2013/153292 (17.10.2013 Gazette 2013/42)

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

ALUMINIUM-KUPFER-LITHIUM-LEGIERUNG MIT VERBESSERTER SCHLAGZÄHIGKEIT

ALLIAGE ALUMINIUM CUIVRE LITHIUM À RÉSISTANCE AU CHOC AMÉLIORÉE

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(74) Mandataire: **Constellium - Propriété Industrielle C-TEC Constellium Technology Center Propriété Industrielle Parc Economique Centr'Alp 725, rue Aristide Bergès CS10027 38341 Voreppe (FR)**

(30) Priorité: **11.04.2012 FR 1201063 11.04.2012 US 201261622774 P**

(43) Date de publication de la demande:
18.02.2015 Bulletin 2015/08

(56) Documents cités:
WO-A1-2009/036953 US-A- 5 455 003

(73) Titulaire: **Constellium Isoire 63500 Isoire (FR)**

- **EBERL I ET AL: "Friction stir welding dissimilar alloys for tailoring properties of aerospace parts", SCIENCE AND TECHNOLOGY OF WELDING AND JOINING, INSTITUTE OF MATERIALS, LONDON, GB , vol. 15, no. 8 1 janvier 2010 (2010-01-01), pages 699-705, XP008159131, ISSN: 1362-1718, DOI: 10.1179/136217110X12813393169499 Extrait de l'Internet: URL:http://www.ingentaconnect.com/content/maney/stwj/2010/00000015/00000008 [extrait le 2013-01-08]**
- **HATCH J E ED - HATCH J E: "Aluminium, Properties and Physical Metallurgy, passage", 1 janvier 1987 (1987-01-01), ALUMINUM. PROPERTIES AND PHYSICAL METALLURGY, OHIO, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, US, PAGE(S) 224 - 241, XP002441131, page 234, dernier alinéa**

- (72) Inventeurs:
- **DANIELOU Armelle 73360 Les Echelles (FR)**
 - **MARQUETTE Mathieu F-49070 1 Beaucouze (FR)**
 - **PIGNATEL Jérôme 44240 La Chapelle sur Erdre (FR)**
 - **POUGET Gaëlle 38000 Grenoble (FR)**
 - **WARNER Timothy 38700 Corenc (FR)**

EP 2 836 620 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description**Domaine de l'invention**

5 **[0001]** 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

10 **[0002]** 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.

[0003] 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.

15 **[0004]** 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.

20 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
25 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
30 et dans le sens TL.

[0005] Les alliages AlCuLi sont connus.

[0006] 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.

35 **[0007]** 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.

[0008] 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.

40 **[0009]** 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.

[0010] 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
45 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
50 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.

55 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

5 **[0011]** Un premier 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

10 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,
15 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.

[0012] Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un produit filé selon l'invention dans lequel :

20 (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,
25 (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,
(h) on réalise un revenu dudit produit filé par chauffage à une température de 100 °C à 170°C pendant 5 à 100 heures.

30 **[0013]** 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

35 **[0014]**

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.

40

Description de l'invention

[0015] 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.

50 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.

[0016] 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_{1C} . 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.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] 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 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

EP 2 836 620 B1

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 trempe 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.

[0020] 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 $22 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

[0021] 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.

[0022] 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.

5 **[0023]** 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									

20 **[0024]** 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.

25 **[0025]** 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

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

30 **[0026]** 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 _{1C} L-T (MPa m ^{1/2})	22,5	22,8	21,4	28,6	23,9
K _{1C} T-L (MPa m ^{1/2})	18,8	18,3	19,5	22,7	19,0
EA	9896	10635	8331	9033	10204

35 **[0027]** 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.

50 **[0028]** 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

[0029] 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.

[0030] 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 %.

[0031] 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		

[0032] 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

- 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.

EP 2 836 620 B1

2. Produit filé selon la revendication 1, comprenant 4,3 % à 4,7 % en poids de Cu et de préférence 4,35 % à 4,55 % en poids de Cu.
3. Produit filé selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant 0,95 à 1,05 % en poids de Li.
4. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 3 comprenant 0,30 à 0,50 % en poids de Mg et/ou 0,10 à 0,13 % en poids de Zr.
5. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 4 comprenant 0,3 à 0,5 % en poids de Mn.
6. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 5 comprenant moins de 0,15% de Zn et de préférence moins de 0,1 % de Zn.
7. Produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 6 **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 et de manière préférée entre 5 et 16 mm.
8. Produit selon une quelconque des revendications 1 à 7 dont le taux de recristallisation entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$ épaisseur dudit rectangle élémentaire est inférieur à 30% et de préférence inférieur à 10%.
9. 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 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.

10. Produit selon la revendication 9 ayant

pour une épaisseur comprise entre 5 et 16 mm une ténacité $K_{1C}(L-T)$, d'au moins 24 MPa \sqrt{m} et de préférence
d'au moins 25 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} et de préférence
d'au moins 22 MPa \sqrt{m} .

11. Procédé de fabrication d'un produit filé selon une quelconque des revendications 1 à 10 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,
 (h) on réalise un revenu dudit produit filé par chauffage à une température de 100 °C à 170°C pendant 5 à 100 heures.

12. Utilisation d'un produit selon une quelconque des revendications 1 à 10 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.

Patentansprüche

1. Strangpresserzeugnis, bei dem die gemäß EN 2066:2001 bestimmte Dicke wenigstens eines elementaren Rechtecks zwischen 1 mm und 30 mm beträgt, aus einer Legierung auf Aluminiumbasis, enthaltend
 4,2 bis 4,8 Gew.-% Cu,
 0,9 bis 1,1 Gew.-% Li,
 0,15 bis 0,25 Gew.-% Ag,
 0,2 bis 0,6 Gew.-% Mg,
 0,07 bis 0,15 Gew.-% Zr,
 0,2 bis 0,6 Gew.-% Mn,
 0,01 bis 0,15 Gew.-% Ti,
 Zn in einer Menge von weniger als 0,2 Gew.-%, Fe und Si jeweils in einer Menge von 0,1 Gew.-% oder weniger, und unvermeidbare Verunreinigungen mit einem Gehalt von jeweils höchstens 0,05 Gew.-% und insgesamt höchstens 0,15 Gew.-%.
2. Strangpresserzeugnis nach Anspruch 1, enthaltend 4,3 bis 4,7 Gew.-% Cu, vorzugsweise 4,35 bis 4,55 Gew.-% Cu.
3. Strangpresserzeugnis nach Anspruch 1 oder 2, enthaltend 0,95 bis 1,05 Gew.-% Li.
4. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, enthaltend 0,30 bis 0,50 Gew.-% Mg und/oder 0,10 bis 0,13 Gew.-% Zr.
5. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, enthaltend 0,3 bis 0,5 Gew.-% Mn.
6. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, enthaltend weniger als 0,15 % Zn, vorzugsweise weniger als 0,1 % Zn.
7. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein Strangpressprofil ist, bei dem die Dicke wenigstens eines elementaren Rechtecks zwischen 2 und 20 mm und vorzugsweise zwischen 5 und 16 mm beträgt.
8. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der Rekristallisationsgrad zwischen einem Viertel und der halben Dicke eines elementaren Rechtecks weniger als 30 % und vorzugsweise weniger als 10 % beträgt.
9. Strangpresserzeugnis nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8, das in halber Dicke
 bei einer Dicke zwischen 5 und 16 mm
 eine mittlere Dehngrenze $R_{p0,2}$ in L-Richtung von mindestens 630 MPa und vorzugsweise mindestens 635 MPa
 und
 eine mittlere Dehngrenze $R_{p0,2}$ in TL-Richtung von mindestens 625 MPa und vorzugsweise mindestens 630 MPa und
 einen Faktor EA

$$EA = (Rm(L) + Rp_{0,2}(L)) / 2 * A\%(L) + (Rm(TL) + Rp_{0,2}(TL)) / 2 * A\%(TL)$$

EP 2 836 620 B1

von mindestens 14000 und vorzugsweise mindestens 14500 aufweist,
und/oder
bei einer Dicke zwischen 17 und 30 mm
eine mittlere Dehngrenze $R_{p0,2}$ in L-Richtung von mindestens 655 MPa und vorzugsweise mindestens 660 MPa
und
eine mittlere Dehngrenze $R_{p0,2}$ in TL-Richtung von mindestens 600 MPa und vorzugsweise mindestens 605 MPa und
einen Faktor EA

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

von mindestens 9500 und vorzugsweise mindestens 9800 aufweist.

10. Erzeugnis nach Anspruch 9,

das bei einer Dicke zwischen 5 und 16 mm eine Bruchzähigkeit $K_{IC}(L-T)$ von mindestens $24 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ und vorzugsweise mindestens $25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ aufweist und bei einer Dicke zwischen 17 und 30 mm eine Bruchzähigkeit $K_{IC}(L-T)$ von mindestens $21 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ und vorzugsweise mindestens $22 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ aufweist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Strangpresserzeugnisses nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem

- (a) eine Rohform aus einer Legierung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 gegossen wird,
- (b) die Rohform bei einer Temperatur von 490°C bis 520°C für 8 bis 48 Stunden homogenisiert wird,
- (c) die Rohform mit einer anfänglichen Warmumformtemperatur von 420°C bis 480°C durch Strangpressen warmumgeformt wird, um ein Strangpresserzeugnis zu erhalten,
- (d) das Strangpresserzeugnis bei einer Temperatur von 500°C bis 520°C für 15 Minuten bis 8 Stunden lösungsgeglüht wird,
- (e) ein Abschrecken erfolgt,
- (f) das Strangpresserzeugnis mit einer bleibenden Verformung von 2 bis 4 % kontrolliert gereckt wird,
- (g) das Strangpresserzeugnis optional gerichtet wird,
- (h) eine Auslagerungsbehandlung des Strangpresserzeugnisses durch Erwärmen auf eine Temperatur von 100°C bis 170°C für 5 bis 100 Stunden durchgeführt wird.

12. Verwendung eines Erzeugnisses nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 10 für den Flugzeugbau als Rumpfersteifung oder Stringer, Rumpffrahmen, Flügelversteifung, Bodenprofil oder -träger oder Sitzschiene.

Claims

1. Extruded product for which the thickness of at least one elementary rectangle, defined according to the standard EN 2066:2001, is between 1 mm and 30 mm, made of an aluminium-based alloy comprising
4.2wt% to 4.8wt% of Cu,
0.9wt% to 1.1wt% of Li,
0.15wt% to 0.25wt% of Ag,
0.2wt% to 0.6wt% of Mg,
0.07wt% to 0.15wt% of Zr,
0.2wt% to 0.6wt% of Mn,
0.01wt% to 0.15wt% of Ti,
a quantity of Zn less than 0.2wt%, a quantity of Fe and Si each less than or equal to 0.1wt%, and inevitable impurities each with a content less than or equal to 0.05wt% and 0.15wt% in total.
2. Extruded product according to claim 1, comprising 4.3wt% to 4.7wt% of Cu and preferably 4.35wt% to 4.55wt% of Cu.
3. Extruded product according to claim 1 or claim 2, comprising 0.95wt% to 1.05wt% of Li.

EP 2 836 620 B1

4. Extruded product according to any one of claims 1 to 3 comprising 0.30wt% to 0.50wt% of Mg and/or 0.10wt% to 0.13wt% of Zr.

5. Extruded product according to any one of claims 1 to 4 comprising 0.3wt% to 0.5wt% of Mn.

6. Extruded product according to any one of claims 1 to 5 comprising less than 0.15wt% Zn and preferably less than 0.1wt% Zn.

7. Extruded product according to any one of claims 1 to 6 **characterised in that** it is a profile for which the thickness of said at least one elementary rectangle is between 2 mm and 20 mm and preferably between 5 mm and 16 mm.

8. Product according to any one of claims 1 to 7 for which the recrystallisation rate between $\frac{1}{4}$ and $\frac{1}{2}$ thickness of said elementary rectangle is less than 30% and preferably less than 10%.

9. Extruded product according to any one of claims 1 to 8 having at mid-thickness for a thickness of between 5 mm and 16 mm an average tensile yield stress $R_{p0.2}$ in the L-direction of at least 630 MPa and preferably of at least 635 MPa and an average tensile yield stress $R_{p0.2}$ in the TL-direction at least 625 MPa and preferably at least 630 MPa and a factor EA

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

at least equal to 14,000 and preferably at least equal to 14,500 and/or

for a thickness between 17 mm and 30 mm

an average tensile yield stress $R_{p0.2}$ in the L-direction of at least 655 MPa and preferably of at least 660 MPa and an average tensile yield stress $R_{p0.2}$ in the TL-direction of at least 600 MPa and preferably of at least 605 MPa and a factor EA

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

at least equal to 9,500 and preferably at least equal to 9,800.

10. Product according to claim 9 having

for a thickness of between 5 mm and 16 mm, toughness $K_{1C}(L-T)$, of at least $24 \text{ MPa} \sqrt{m}$ and preferably of at least $25 \text{ MPa} \sqrt{m}$ and

a thickness between 17 mm and 30 mm, a toughness $K_{1C}(L-T)$, of at least $21 \text{ MPa} \sqrt{m}$ and preferably of at least $22 \text{ MPa} \sqrt{m}$.

11. Process for manufacturing a product according to any one of claims 1 to 10 wherein:

- (a) an alloy unwrought product is cast according to one of claims 1 to 6,
- (b) said unwrought product is homogenised at a temperature of 490°C to 520°C for 8 to 48 hours,
- (c) said unwrought product is hot worked by extrusion at an initial hot working temperature of 420°C to 480°C to obtain an extruded product,
- (d) said extruded product undergoes solution heat treatment at a temperature of 500°C to 520°C for 15 minutes to 8 hours,
- (e) quenching,
- (f) said extruded product undergoes controlled stretching with a permanent set of 2 to 4%,

EP 2 836 620 B1

(g) optionally, said extruded product is straightened,

(h) said extruded product is aged by heating at a temperature of 100°C to 170°C for 5 to 100 hours.

- 5 **12.** Use of a product according to any one of claims 1 to 10 for aeronautic construction as a fuselage stiffener or stringer, circumferential frame, wing stiffener, floor profile or beam or seat track.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Figure 1

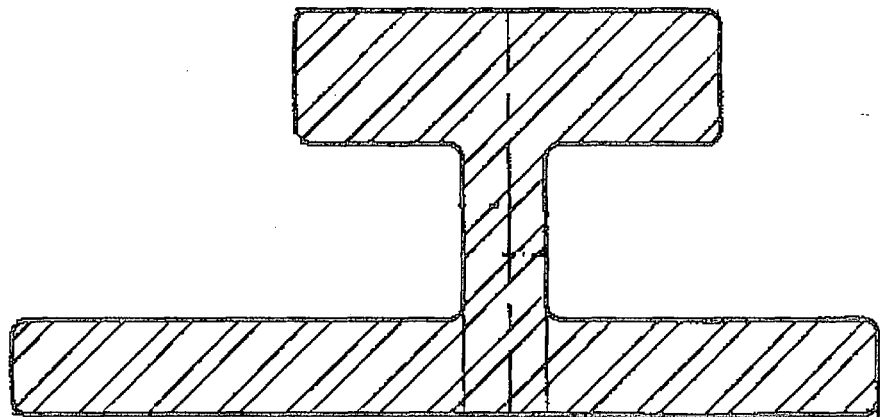
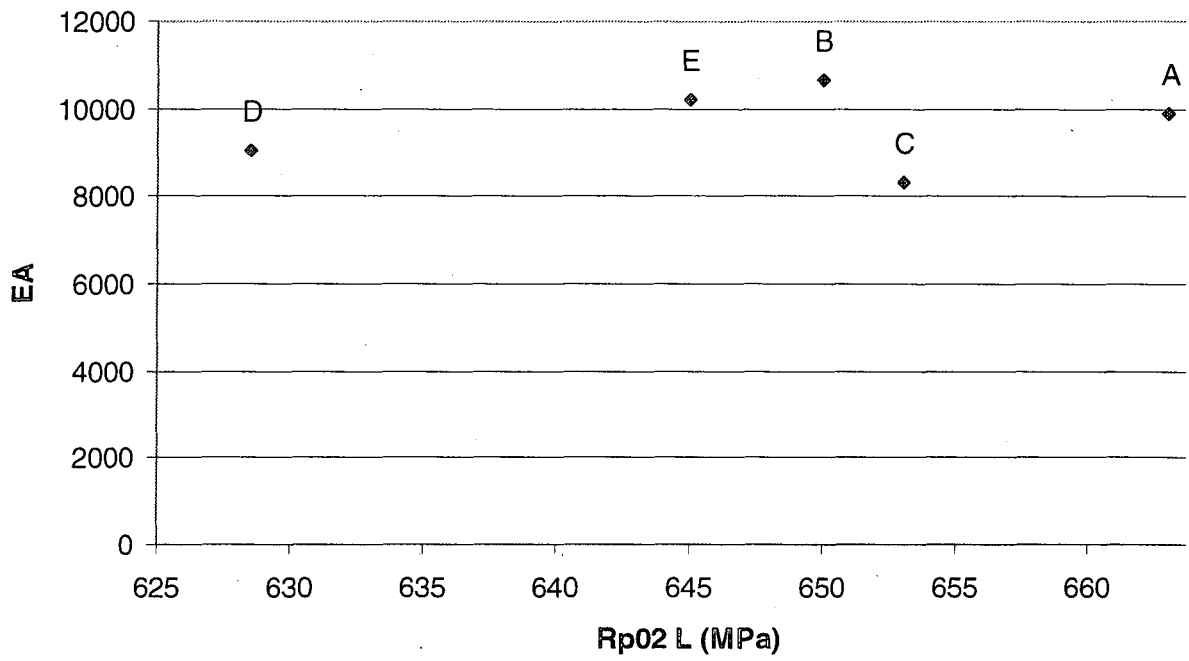


Figure 2



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5032359 A [0006]
- US 5455003 A [0007]
- US 7438772 B [0008]
- US 7229509 B [0009]
- US 2009142222 A1 [0010]
- WO 2009036953 A [0010]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **I. EBERL ; C. HANTRAIS ; J.-C. EHRSTROM ; C. NARDIN.** Friction stir welding dissimilar alloys for tailoring properties of aerospace parts. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2010, vol. 15 (8), 699-705 [0010]
- Les définitions des états métallurgiques sont indiquées dans la norme européenne EN 515. Aluminum Standards and Data. The Aluminium Association, 2-12, 2-13 [0015]