

(19)



(11)

EP 2 766 503 B2

(12)

NOUVEAU FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

Après la procédure d'opposition

(45) Date de publication et mention de la décision concernant l'opposition:
11.09.2024 Bulletin 2024/37

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
C22C 21/12 ^(2006.01) **C22C 21/16** ^(2006.01)
C22F 1/057 ^(2006.01)

(45) Mention de la délivrance du brevet:
07.12.2016 Bulletin 2016/49

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
C22C 21/12; C22C 21/16; C22F 1/057

(21) Numéro de dépôt: **12788613.3**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2012/000414

(22) Date de dépôt: **12.10.2012**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2013/054013 (18.04.2013 Gazette 2013/16)

(54) PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION AMÉLIORÉ DE TÔLES EN ALLIAGE AL-CU-LI

VERBESSERTES VERFAHREN ZUM BEARBEITEN VON METALLBLECHEN AUS EINER AL-CU-LI-LEGIERUNG

IMPROVED METHOD FOR PROCESSING SHEET METAL MADE OF AN AL-CU-LI ALLOY

(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

(56) Documents cités:
EP-A1- 1 045 043 WO-A1-2006/131627
WO-A1-2007/080267 WO-A2-2012/033949
US-A- 5 455 003 US-A1- 2004 071 586
US-A1- 2008 289 728 US-A1- 2009 142 222
US-B2- 7 229 509

(30) Priorité: **14.10.2011 FR 1103155**
14.10.2011 US 201161547289 P

(43) Date de publication de la demande:
20.08.2014 Bulletin 2014/34

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

(72) Inventeurs:
• **BES, Bernard**
F-38180 Seyssins (FR)
• **EBERL, Frank**
F-63500 Isoire (FR)

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

- **B. DECREUS ET AL.:** "Understanding the mechanical properties of 2198 Al-Li-Cu alloy in relation with the intra-granular and inter-granular precipitate microstructure", 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRENGTH OF MATERIALS (ICSMA 15), JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES, vol. 240, no. 1, 2010, pages 012096
- **TEMPUS G:** "NEW ALUMINIUM ALLOYS AND FUSELAGE STRUCTURES IN AIRCRAFT DESIGN", INTERNET CITATION, 18 May 2001 (2001-05-18), pages 1 - 24, XP002664650, Retrieved from the Internet
<URL:http://www.mat.ethz.ch/news_events/archive/materialsday/matday01/pdf/TempusMD.pdf> [retrieved on 20111128]
- **ZHANG SIQI ET AL.:** "Mechanical properties and microstructures of Al-Mg-Li-Zr alloys-containing silver", TRANSACTIONS OF NONFERROUS METALS SOCIETY OF CHINA, NONFERROUS METALS SOCIETY OF CHINA, CN, vol. 4, no. 4, 1 December 1994 (1994-12-01), XP002664652, ISSN: 1003-6326

EP 2 766 503 B2

Description

Domaine de l'invention

- 5 **[0001]** L'invention concerne les produits en alliages aluminium-cuivre-lithium, plus particulièrement, de tels produits, leurs procédés de fabrication et d'utilisation, destinés en particulier à la construction aéronautique et aérospatiale.

Etat de la technique

- 10 **[0002]** Des produits laminés 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 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. Pour que ces alliages soient sélectionnés dans les avions, leur performance par rapport aux autres propriétés
- 15 d'usage doit atteindre celle des alliages couramment utilisés, en particulier en terme de compromis entre les propriétés de résistance mécanique statique (limite d'élasticité, résistance à la rupture) et les propriétés de tolérance aux dommages (ténacité, résistance à la propagation des fissures en fatigue), ces propriétés étant en général antinomiques. L'amélioration du compromis entre la résistance mécanique la tolérance aux dommages est constamment recherchée.
- [0004]** Une autre propriété importante des tôles minces en alliage Al-Cu-Li, notamment celles dont l'épaisseur est
- 20 comprise entre 0,5 et 12 mm, est l'aptitude à la mise en forme. Ces tôles sont notamment utilisées pour fabriquer des éléments de fuselage d'avion ou des éléments de fusée qui ont une forme générale complexe en 3 dimensions. Pour diminuer le coût de fabrication, les constructeurs aéronautiques cherchent à minimiser le nombre des étapes de formage des tôles, et à utiliser des tôles pouvant être fabriquées de manière peu onéreuse à l'aide de gammes de transformation courtes, c'est-à-dire comprenant aussi peu d'étapes individuelles que possible.
- 25 **[0005]** Pour la fabrication des panneaux de fuselage, il y a actuellement plusieurs successions possibles des étapes de transformation, qui dépendent notamment de la déformation requise pendant la mise en forme. Pour des faibles déformations lors de la mise en forme, typiquement inférieures à 4 %, il est possible d'approvisionner des tôles dans un état trempé mûri (état "T3" peu écroui ou "T4"), et de mettre en forme les tôles dans cet état. Cependant, dans la plupart des cas, la déformation recherchée est localement d'au moins 5% ou 6%. Une pratique actuelle des constructeurs
- 30 aéronautiques consiste en général alors à approvisionner des tôles laminées à chaud ou à froid selon l'épaisseur requise, à l'état brut de fabrication (état "F" selon la norme EN 515) à l'état trempé mûri (état "T3" ou "T4"), voir à l'état recuit (état « O »), à les soumettre à un traitement thermique de mise en solution suivi d'une trempe, puis à les mettre en forme sur trempe fraîche (état « W »), avant enfin de les soumettre à un vieillissement naturel ou artificiel, de manière à obtenir les caractéristiques mécaniques requises. D'une manière générale, après mise en solution et trempe, les tôles
- 35 se trouvent dans un état caractérisé par une bonne formabilité, mais cet état est instable (état "W"), et la mise en forme doit intervenir sur trempe fraîche, c'est-à-dire à l'intérieur d'un bref délai après la trempe, de l'ordre de quelques dizaines de minutes à quelques heures. Si cela n'est pas possible pour des raisons de gestion de la production, la tôle doit être stockée dans une chambre froide à une température suffisamment basse et pour une durée suffisamment courte de façon à éviter la maturation naturelle. Dans certains cas, il est constaté que pour des durées trop courtes après mise
- 40 en solution des lignes de Lüders apparaissent après mise en forme, ce qui impose une contrainte supplémentaire avec un délai d'attente minimum. Pour des pièces volumineuses et fortement formées, ce traitement thermique de mise en solution nécessite des fours de grande dimension, ce qui rend l'opération inconfortable, y compris par rapport à la même opération effectuée sur tôle plane. Le besoin éventuel d'une chambre froide rajoute aux coûts et inconvénients de l'état de la technique. De plus, après trempe la tôle peut être déformée et poser des problèmes liés à cette déformation par exemple lorsqu'il s'agit de la positionner dans les mors de l'outil d'étirage-formage. Pour des pièces fortement formées, cette opération doit éventuellement être répétée, si le matériau ne présente pas, à l'état métallurgique dans lequel il se trouve, une formabilité suffisante permettant d'atteindre la forme voulue en une seule opération.
- [0006]** Dans une autre pratique actuelle, on part d'une tôle à l'état O, voir à l'état T3, T4 ou à l'état F, on effectue une première opération de mise en forme à partir de cet état, et une deuxième mise en forme après mise en solution et
- 50 trempe. Cette variante est notamment utilisée lorsque la mise en forme visée est trop importante pour pouvoir être effectuée en une seule opération à partir d'un état W, mais peut cependant être effectuée en deux passes à partir de l'état O. De plus les tôles à l'état O étant stables dans le temps sont plus aisées à transformer. Toutefois, la fabrication de la tôle à l'état O fait intervenir un recuit final de la tôle brute de laminage, et donc généralement une étape de fabrication supplémentaire, et également une mise en solution et une trempe sur le produit formé ce qui est contraire au but de simplification visé par la présente invention.
- 55 **[0007]** La mise en forme d'éléments de structure complexes à l'état T8 se limite à des cas de formage peu sévères car l'allongement et le rapport $R_m/R_{p0,2}$ sont trop faibles dans cet état. On notera que les propriétés optimales en termes de compromis de propriétés doivent être obtenues une fois la pièce mise en forme, notamment en tant qu'élément de

fuselage, puisque que c'est la pièce mise en forme qui doit en particulier avoir de bonnes performances en tolérance aux dommages pour éviter une réparation trop fréquente d'éléments de fuselage. Il est généralement admis que les fortes déformations après mise en solution et trempe conduisent à une augmentation de la résistance mécanique mais à une forte dégradation de la ténacité.

[0008] 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 pourcent en poids, permet d'augmenter la résistance mécanique.

[0009] 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.

[0010] 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 teneur en lithium plus élevées en raison d'une dégradation du compromis entre ténacité et résistance mécanique.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] Le brevet EP 1,966,402 décrit un alliage ne contenant pas de zirconium destiné à des tôles de fuselage de structure essentiellement recristallisée comprenant (en % en poids) (2,1-2,8)Cu, (1,1-1,7) Li, (0,2-0,6) Mg, (0,1-0,8) Ag, (0,2-0,6) Mn. Les produits obtenus à l'état T8 ne sont pas aptes à la mise en forme, avec notamment un rapport $R_m/R_{p0.2}$ inférieur à 1,2 dans les directions L et LT.

[0014] Le brevet EP 1,891,247 décrit un alliage destiné à des tôles de fuselage comprenant (en % en poids) (3,0-3,4)Cu, (0,8-1,2) Li, (0,2-0,6) Mg, (0,2-0,5) Ag et au moins un élément parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, dans lequel les teneurs en Cu et en Li répondent à la condition $Cu + 5/3 Li < 5,2$. Les produits obtenus à l'état T8 ne sont pas apte à la mise en forme, avec notamment un rapport $R_m/R_{p0.2}$ inférieur à 1,2 dans les directions L et LT. Il a de plus été constaté que l'énergie globale à rupture mesurée par test Kahn qui est reliée à la ténacité diminue avec la déformation et de façon plus brutale pour une déformation de 6%, ce qui pose le problème de l'obtention d'une ténacité élevée quelque soit le taux de déformation local lors de la mise en forme.

[0015] Le brevet EP 1045043 décrit le procédé de fabrication de pièces formées en alliage de type AA2024, et notamment de pièces fortement déformées, par l'association d'une composition chimique optimisée et de procédés de fabrication particuliers, permettant d'éviter autant que possible la mise en solution sur tôle formée.

[0016] Dans l'article Al--(4.5-6.3)Cu--1.3Li--0.4Ag--0.4Mg--0.14Zr Alloy Weldalite 049 from Pickens, J R ; Heubaum, F H; Langan, T J ; Kramer, L S publié dans Aluminum--Lithium Alloys. Vol. III; Williamsburg, Virginia; USA; 27-31 Mar. 1989. (March 27, 1989), différents traitements thermique sont décrits pour ces alliages à forte teneur en cuivre. WO2006/131627 divulgue un procédé de fabrication d'une tôle à base d'alliage d'aluminium pour l'industrie aérospace et appropriés pour une utilisation dans des applications de fuselage, la tôle ayant une ténacité et une résistance mécanique élevées, dans lequel : a) on élabore un bain de métal liquide comprenant 2,7 à 3,4 % en poids de Cu, 0,8 à 1,4 % en poids de Li, 0,1 à 0,8 % en poids d'Ag, 0,2 à 0,6 % en poids de Mg et au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,13 % en poids pour Zr, 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,05 à 0,15 % en poids pour Ti, le reste étant de l'aluminium et des impuretés inévitables, avec la condition supplémentaire que la quantité de Cu et de Li soit telle que $Cu (\% \text{ en poids}) + 5/3 Li (\% \text{ en poids}) < 5,2$; b) on coule une plaque à partir dudit bain de métal liquide c) on homogénéise ladite plaque à une température comprise entre 490 à 530°C pendant une durée de 5 à 60 heures ; d) on lamine ladite plaque en une tôle ayant une épaisseur finale comprise entre 0,8 et 12 mm ; e) on met en solution et on trempe ladite tôle ; f) on tractionne de façon contrôlée ladite tôle avec une déformation permanente de 1 à 5 % ; g) on réalise un revenu de ladite tôle par chauffage à 140 à 170°C pendant 5 à 30 heures. Il existe un besoin pour des produits laminés en alliage aluminium-cuivre-lithium présentant 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 même après un niveau élevé de déformation lors de la mise en forme, tout en ayant une faible densité.

[0017] De plus il existe un besoin pour un procédé de fabrication simplifié permettant la mise en forme de ces produits pour obtenir notamment des éléments de fuselage de façon économique, tout en obtenant des caractéristiques mécaniques satisfaisantes.

Objet de l'invention

[0018] Un premier objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un produit laminé à base d'alliage d'aluminium notamment pour l'industrie aéronautique dans lequel, successivement,

- a) on élabore un bain de métal liquide à base d'aluminium comprenant 2,1 à 3,9 % en poids de Cu, 0,7 à 2,0 % en poids de Li, 0,1 à 1,0 % en poids de Mg, 0 à 0,6 % en poids d'Ag, 0 à 1 % en poids de Zn, au plus 0,20 % en poids de Fe + Si, au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant 0,05 à 0,18 % en poids pour Zr, 0,1 à 0,6 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr, 0,02 à 0,2 % en poids pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, les autres éléments au plus 0,05 % en poids chacun et 0,15 % en poids au total, le reste aluminium ;
- b) on coule une plaque de laminage à partir dudit bain de métal liquide ;
- c) on homogénéise ladite plaque de laminage de façon à atteindre une température comprise entre 450°C et 550°C pendant une durée comprise entre 5 et 60 heures ;
- d) on lamine à chaud et optionnellement à froid ladite plaque de laminage en une tôle ;
- e) on met en solution ladite tôle et on la trempe ;
- f) on réalise un planage et/ou on tractionne de façon contrôlée ladite tôle avec une déformation cumulée d'au moins 0,5 % et inférieure à 3 % ;
- g) on réalise un traitement thermique court dans lequel ladite tôle atteint une température comprise entre 130 et 170°C et de préférence entre 150 et 160°C pendant 0,1 à 13 heures et de préférence de 1 à 5 h ledit traitement thermique court induisant une diminution de la limite d'élasticité $R_{p0,2}$ d'au moins 20 MPa et une augmentation de l'allongement A % tel que A % est multiplié par un facteur d'au moins 1,1 par rapport à l'état obtenu sans traitement thermique court.

[0019] Un deuxième objet de l'invention est un produit laminé susceptible d'être obtenu par un procédé selon l'invention, présentant entre 0 et 50 jours après traitement thermique court, une combinaison d'au moins une propriété choisie parmi $R_{p,2}(L)$ d'au moins 250 MPa, $R_{p0,2}(LT)$ d'au moins 200 MPa et de préférence d'au moins 230 MPa, $R_m(L)$ d'au moins 380 MPa, $R_m(LT)$ d'au moins 320 MPa et de préférence d'au moins 360 MPa avec une propriété choisie parmi A % (L) au moins 15 %, A % (LT) au moins 24 % et de préférence au moins 26 %, $R_m/R_{p0,2}(L)$ au moins 1,40 et de préférence au moins 1,45, $R_m/R_{p0,2}(LT)$ au moins 1,45 et de préférence au moins 1,50.

[0020] Un autre objet de l'invention est un produit susceptible d'être obtenu par un procédé selon l'invention, présentant une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2}(L)$ au moins sensiblement égale et une ténacité K_R supérieure, de préférence d'au moins 5 %, à celles obtenue par un procédé semblable ne comprenant pas de traitement thermique court.

[0021] Encore un autre objet de l'invention est l'utilisation d'un produit susceptible d'être obtenu par un procédé selon l'invention pour la fabrication d'une peau de fuselage d'avion.

Description des figures

[0022]

Figure 1 Courbes R dans la direction T-L obtenue sur les échantillons de l'exemple 1

Figure 2 Rapport $R_m / R_{p0,2}$ dans la direction LT à l'issue du traitement thermique court en fonction du temps équivalent à 150 °C pour des températures de traitement de 145 °C, 150 °C et 155 °C, tel que décrit dans l'exemple 3.

Description de l'invention

[0023] 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. 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. La ténacité sous contrainte plane est déterminée grâce à une courbe du facteur d'intensité de contrainte en fonction de l'extension de fissure, connue comme la courbe R, selon la norme ASTM E 561. Le facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC} , en d'autres termes le facteur d'intensité qui rend la fissure instable, est calculé à partir de la courbe R. Le facteur d'intensité de contrainte K_{IC0} est également calculé en attribuant la longueur de fissure

initiale à la charge critique, au commencement de la charge monotone. Ces deux valeurs sont calculées pour une éprouvette de la forme requise. K_{app} représente le facteur K_{CO} correspondant à l'éprouvette qui a été utilisée pour effectuer l'essai de courbe R. K_{eff} représente le facteur K_C correspondant à l'éprouvette qui a été utilisée pour effectuer l'essai de courbe R. $\Delta a_{eff(max)}$ représente l'extension de fissure du dernier point valide de la courbe R.

[0024] 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) et longerons (spars)) et l'empennage composé notamment de stabilisateurs horizontaux et verticaux (horizontal or vertical stabilisers), ainsi que les profilés de plancher (floor beams), les rails de sièges (seat tracks) et les portes.

[0025] Selon l'invention, on réalise après laminage sous forme de tôle, mise en solution, trempe et planage et/ou traction au moins un traitement thermique court avec une durée et une température telles que la tôle atteigne une température comprise entre 130 et 170°C et de préférence entre 150 et 160°C pendant 0,1 à 13 heures de préférence de 0,5 à 9h et de manière préférée de 1 à 5 h. Suite à ce traitement thermique court, la limite d'élasticité $R_{p0,2}$ diminue d'au moins 20 MPa ou même plus, tandis que l'allongement A% est augmenté c'est à dire qu'il est multiplié par un facteur d'au moins 1,1, ou même d'au moins 1,2 voir d'au moins 1,3 par rapport à l'état obtenu sans traitement thermique court, typiquement T3 ou T4. Le traitement thermique court n'est donc pas un revenu avec lequel on obtiendrait un état T8 mais un traitement thermique particulier qui permet d'obtenir un état non standardisé particulièrement apte à la mise en forme. En effet, une tôle à l'état T8 présente une limite d'élasticité supérieure à celle d'un état T3 ou T4 alors qu'après le traitement thermique court selon l'invention la limite d'élasticité est au contraire plus faible que celle d'un état T3 ou T4. Avantageusement, le traitement thermique court est réalisé de façon à obtenir un temps équivalent à 150 °C de 0,5 h à 6 h et de préférence de 1h à 4h et de manière préférée de 1h à 3h, le temps équivalent t_i à 150 °C est défini par la formule :

$$t_i = \frac{\int \exp(-16400 / T) dt}{\exp(-16400 / T_{ref})}$$

où T (en Kelvin) est la température instantanée de traitement du métal, qui évolue avec le temps t (en heures), et T_{ref} est une température de référence fixée à 423 K. t_i est exprimé en heures, la constante $Q/R = 16400$ K est dérivée de l'énergie d'activation pour la diffusion du Cu, pour laquelle la valeur $Q = 136100$ J/mol a été utilisée. De manière surprenante, les présents inventeurs ont constaté que les propriétés mécaniques obtenues à l'issue du traitement thermique court sont stables dans le temps, ce qui permet d'utiliser les tôles dans l'état obtenu à l'issue du traitement thermique court à la place de tôle à l'état O ou l'état W pour la mise en forme.

[0026] Les présents inventeurs ont constaté que de manière surprenante, non seulement le traitement thermique court permet de simplifier le procédé de fabrication des produits en supprimant la mise en forme sur état O ou W, mais de plus que le compromis entre résistance mécanique statique et tolérance aux dommages est au moins identique ou même amélioré grâce au procédé de l'invention, à l'état revenu par rapport à un procédé ne comprenant pas de traitement thermique court. En particulier pour une déformation supplémentaire à froid d'au moins 5% après traitement thermique court, le compromis obtenu entre résistance mécanique statique et ténacité est amélioré par rapport à l'état de la technique.

[0027] L'avantage du procédé selon l'invention est obtenu pour des produits ayant teneur en cuivre comprise entre 2,1 et 3,9 % en poids. Dans une réalisation avantageuse de l'invention, la teneur en cuivre est au moins de 2,8 % ou 3% en poids. Une teneur en cuivre maximale de 3,7 ou 3,5 % en poids est préférée. La teneur en lithium est comprise entre 0,7% ou 0,8% et 2,0 % en poids. Avantageusement, la teneur en lithium est au moins 0,85 % en poids. Une teneur en lithium maximale de 1,6 ou même 1,2% en poids est préférée.

[0028] La teneur en magnésium est comprise entre 0,1% et 1,0% en poids. Préférentiellement, la teneur en magnésium est au moins de 0,2 % ou même 0,25 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur maximale en magnésium est de 0,6 % en poids. La teneur en argent est comprise entre 0 % et 0,6 % en poids. Dans une réalisation avantageuse de l'invention, la teneur en argent est comprise entre 0,1 et 0,5 % en poids et de manière préférée entre 0,15 et 0,4 % en poids. L'addition d'argent contribue à améliorer le compromis de propriétés mécaniques des produits obtenus par le procédé selon l'invention.

[0029] La teneur en zinc est comprise entre 0 % et 1 % en poids. Le zinc est généralement une impureté indésirable,

notamment en raison de sa contribution à la densité de l'alliage, cependant dans certains cas le zinc peut être utilisé seul ou en combinaison avec l'argent. De manière préférée, la teneur en zinc est inférieure à 0,40 % en poids, de préférence inférieure à 0,2 % en poids. Dans un mode de réalisation de l'invention la teneur en zinc est inférieure à 0,04 % en poids.

[0030] L'alliage contient également au moins un élément pouvant contribuer au contrôle de la taille de grain choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité de l'élément, s'il est choisi, étant de 0,05 à 0,18 % en poids pour Zr, 0,1 à 0,6 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr, 0,02 à 0,2 % en poids pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti. De manière préférée on choisit d'ajouter entre 0,08 et 0,15 % en poids de zirconium et entre 0,01 et 0,10 % en poids de titane et on limite la teneur en Mn, Cr, Sc et Hf à au maximum 0,05 % en poids, ces éléments pouvant avoir un effet défavorable, notamment sur la densité et n'étant ajoutés que pour favoriser encore l'obtention d'une structure essentiellement non-recristallisée si nécessaire. Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, la teneur en zirconium est au moins égale à 0,11 % en poids. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, la teneur en manganèse est comprise entre 0,2 et 0,4 % en poids et la teneur en zirconium est inférieure à 0,04 % en poids.

[0031] La somme de la teneur en fer et de la teneur en silicium est au plus de 0,20 % en poids. De préférence, les teneurs en fer et en silicium sont chacune au plus de 0,08 % en poids. Dans une réalisation avantageuse de l'invention les teneurs en fer et en silicium sont au plus de 0,06 % et 0,04 % en poids, respectivement. Une teneur en fer et en silicium contrôlée et limitée contribue à l'amélioration du compromis entre résistance mécanique et tolérance aux dommages. Les autres éléments on une teneur au plus 0,05 % en poids chacun et 0,15 % en poids au total, il s'agit d'impuretés inévitables, le reste est de l'aluminium.

[0032] Le procédé de fabrication selon l'invention comprend les étapes d'élaboration, coulée, homogénéisation, laminage, mise en solution, trempe, planage et/ou traction et traitement thermique court. Dans une première étape, on élabore un bain de métal liquide de façon à obtenir un alliage d'aluminium de composition selon l'invention. Le bain de métal liquide est ensuite coulé sous forme de plaque de laminage. La plaque de laminage est ensuite homogénéisée de façon à atteindre une température comprise entre 450 °C et 550 °C et de préférence entre 480 °C et 530 °C pendant une durée comprise entre 5 et 60 heures. Le traitement d'homogénéisation peut être réalisé en un ou plusieurs paliers.

[0033] La plaque de laminage est ensuite laminée à chaud et optionnellement à froid en une tôle. Avantageusement l'épaisseur de ladite tôle est comprise entre 0,5 et 15 mm et de préférence entre 1 et 8 mm.

[0034] Le produit ainsi obtenu est ensuite mis en solution typiquement par un traitement thermique permettant d'atteindre une température comprise entre 490 et 530 °C pendant 15 min à 8 h, puis trempé typiquement avec de l'eau à température ambiante ou préférentiellement de l'eau froide.

[0035] On réalise ensuite un planage et/ou on tractionne de façon contrôlée ladite tôle avec une déformation cumulée d'au moins 0,5 % et inférieure à 3 %. Lorsque qu'un planage est réalisé, la déformation effectuée lors du planage n'est pas toujours connue précisément mais elle est estimée à environ 0,5 %. Quand elle est réalisée, la traction contrôlée est mise en oeuvre avec une déformation permanente comprise entre 0,5 à 2,5 % et de préférence entre comprise entre 0,5 à 1,5 %. La combinaison entre une traction contrôlée avec une déformation permanente préférée et un traitement thermique court permet d'atteindre des résultats optimaux en termes de formabilité et de propriétés mécaniques, notamment quand une mise en forme supplémentaire et un revenu sont réalisés.

[0036] Le produit subit ensuite un traitement thermique court déjà décrit. A l'issue du traitement thermique court, la tôle obtenue par le procédé selon l'invention présente de préférence, entre 0 et 50 jours et de manière préférée entre 0 et 200 jours après traitement thermique court, une combinaison d'au moins une propriété choisie parmi $R_{p0,2}(L)$ d'au moins 250 MPa, $R_{p0,2}(LT)$ d'au moins 200 MPa et de préférence d'au moins 230 MPa, $R_m(L)$ d'au moins 380 MPa, $R_m(LT)$ d'au moins 320 MPa et de préférence d'au moins 360 MPa avec une propriété choisie parmi $A\%(L)$ au moins 15 %, $A\%(LT)$ au moins 24 % et de préférence au moins 26 %, $R_m/R_{p0,2}(L)$ au moins 1,40 et de préférence au moins 1,45, $R_m/R_{p0,2}(LT)$ au moins 1,45 et de préférence au moins 1,50.

[0037] Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention à l'issue du traitement thermique court, la tôle obtenue par le procédé selon l'invention présente un rapport $R_m/R_{p0,2}$ dans la direction LT d'au moins 1,52 ou 1,53.

[0038] Avantageusement, entre 0 et 50 jours et manière préférée entre 0 et 200 jours après le traitement thermique court, la tôle obtenue par le procédé selon l'invention présente une limite d'élasticité $R_{p0,2}(L)$ inférieure à 290 MPa et de préférence inférieure à 280 MPa et $R_{p0,2}(LT)$ inférieure à 270 MPa et de préférence inférieure à 260 MPa.

[0039] A l'issue du traitement thermique court, la tôle est donc prête pour une déformation supplémentaire à froid, notamment une opération de mise en forme en 3 dimensions. Un avantage de l'invention est que cette déformation supplémentaire peut atteindre localement ou de façon généralisée des valeurs de 6 à 8 % ou même jusque 10 %. Pour atteindre des propriétés mécaniques suffisantes à l'issue du revenu à l'état T8, une déformation minimale cumulée de 2 % entre ladite déformation supplémentaire et la déformation cumulée par planage et/ou on traction contrôlée réalisée avant le traitement thermique court est avantageuse. De manière préférée, la déformation supplémentaire à froid est localement ou de façon généralisée d'au moins 1 % de préférence au moins 4 % et de manière préférée d'au moins 6 %.

[0040] On réalise enfin un revenu dans lequel ladite tôle atteint une température comprise entre 130 et 170 °C et de

préférence entre 150 et 160°C pendant 5 à 100 heures et de préférence de 10 à 70h. Le revenu peut-être réalisé en un ou plusieurs paliers.

Avantageusement la déformation à froid est effectuée par un ou plusieurs procédés de mise en forme tels que l'étirage, l'étirage-formage, l'emboutissage, le fluotournage ou le pliage. Dans une réalisation avantageuse, il s'agit d'une mise en forme dans les trois dimensions de l'espace pour obtenir une pièce de forme complexe, de préférence par étirage-formage. Ainsi le produit obtenu à l'issue du traitement thermique court peut être mis en forme comme un produit à l'état O ou un produit à l'état W. Cependant, par rapport à un produit à l'état O il a l'avantage de ne plus nécessiter de mise en solution et trempé pour atteindre les propriétés mécaniques finales, un simple traitement de revenu étant suffisant. Par rapport à un produit à l'état W, il a l'avantage d'être stable et de ne pas nécessiter de chambre froide et de ne pas poser de problèmes liés à la déformation de cet état. Le produit présente également l'avantage en général de ne pas générer de lignes de Lüders rédhitoires lors de la mise en forme. Ainsi on peut par exemple effectuer le traitement thermique court chez le fabricant de tôle et la mise en forme chez le fabricant de structure aéronautique, directement sur le produit livré. Le procédé selon l'invention permet d'effectuer la mise en forme en 3 dimensions d'une tôle à l'issue du traitement thermique court sans que la tôle ne soit dans un état T8, un état O ou un état W avant cette mise en forme en 3 dimensions.

[0041] De manière surprenante, le compromis entre les propriétés mécaniques statiques et les propriétés de tolérance aux dommages obtenues à l'issue du revenu est avantageux par rapport à celui obtenue pour un traitement semblable ne comprenant pas de traitement thermique court. En particulier, les inventeurs ont constaté que la résistance mécanique, en particulier la limite d'élasticité en traction $R_{p0,2}(L)$ est élevée et augmente avec la déformation supplémentaire mais que contrairement à leur attente la ténacité mesurée par la courbe R (valeurs de K_R) ne diminue pas significativement, notamment jusqu'à une valeur d'extension de fissure de 60 mm quand on augmente la déformation supplémentaire, même jusque une déformation généralisée de 8%. Avantageusement le produit susceptible d'être obtenu par le procédé comprenant les étapes de déformation supplémentaire et de revenu présente une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2}(L)$ au moins sensiblement égale et une ténacité K_R supérieure, de préférence d'au moins 5%, à celle obtenue par un procédé semblable ne comprenant pas de traitement thermique court. Typiquement, la limite d'élasticité en traction $R_{p0,2}(L)$ est au moins égale à 90% ou de préférence 95% de celle obtenue par un procédé semblable ne comprenant pas de traitement thermique court. Le procédé selon l'invention permet d'obtenir notamment une tôle en alliage AA2198 dont l'épaisseur est comprise entre 0,5 et 15 mm et de préférence entre 1 et 8 mm ayant après traitement thermique de revenu à l'état T8, une combinaison d'au moins une propriété de résistance mécanique statique choisie parmi $R_{p0,2}(L)$ d'au moins 500 MPa et de préférence d'au moins 510 MPa et/ou $R_{p0,2}(LT)$ d'au moins 480 MPa et de préférence d'au moins 490 MPa, et d'au moins une propriété de ténacité mesurée sur des éprouvettes de type CCT760 (avec $2a_0 = 253$ mm) choisie parmi K_{app} dans le sens T-L d'au moins

$$160 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

et de préférence d'au moins

$$170 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

et/ou K_{eff} dans le sens T-L d'au moins

$$200 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

et de préférence d'au moins

$$220 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

et/ou $\Delta a_{eff(max)}$ dans le sens T-L d'au moins 40 mm et de préférence d'au moins 50 mm.

[0042] Ainsi les produits susceptibles d'être obtenus par le procédé selon l'invention sont particulièrement avantageux.

[0043] L'utilisation d'un produit susceptible d'être obtenu par le procédé selon l'invention comprenant les étapes de traitement thermique court, déformation à froid et revenu pour la fabrication d'un élément de structure pour avion, notamment d'une peau de fuselage est particulièrement avantageux..

Exemple**Exemple 1**

- 5 **[0044]** Une plaque de laminage en alliage AA2198 a été homogénéisée puis laminée à chaud jusqu'à l'épaisseur 4 mm. Les tôles ainsi obtenues ont été mises en solution 30 mn à 505 °C puis trempées à l'eau.
- [0045]** Les tôles ont ensuite été tractionnées de façon contrôlée. La traction contrôlée a été réalisée avec un allongement permanent de 2.2 %.
- [0046]** Les tôles ont ensuite subi un traitement thermique court de 2h à 150 °C.
- 10 **[0047]** Les propriétés mécaniques ont été mesurées avant le traitement thermique court et entre deux et soixante cinq jours après le traitement. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. On constate que l'état obtenu après le traitement thermique court est remarquablement stable dans le temps.

Tableau 1

15		Rm(L)	R _{p0,2} (L)	A%(L)	Rm(LT)	R _{p0,2} (LT)	A%(LT)
	Avant traitement thermique court	438	323	13	404	287	23
	Durée après traitement thermique court (jours)						
20	2	396	270	16,8	370	244	27,1
	8	396	269	15,3	372	247	28,0
	15	398	273	14,5	374	248	27,2
25	43	397	270	14,9	375	248	27,5
	65	398	271	15,0	373	250	27,2
	104	398	273	14,3	373	250	26,9
	203	401	277	16,1	375	253	26,9
30	239	402	278	16,7	376	255	27,7

Exemple 2

- 35 **[0048]** Une plaque de laminage en alliage AA2198 a été homogénéisée puis laminée à chaud jusqu'à l'épaisseur 4 mm. Les tôles ainsi obtenues ont été mises en solution 30 mn à 505 °C puis trempées à l'eau.
- [0049]** Les tôles ont ensuite été planées et fractionnées de façon contrôlée. La traction contrôlée a été réalisée avec un allongement permanent de 1%.
- [0050]** Les tôles ont ensuite subi un traitement thermique court de 2h à 150 °C.
- 40 **[0051]** Les tôles ainsi obtenues ont ensuite subi une déformation supplémentaire à froid par une traction contrôlée avec un allongement permanent compris de 2,5 %, 4% ou 8%. Les tôles n'ont pas présenté après déformation de lignes de Lüders rédhibitoires.
- Les tôles ont enfin subi un revenu de 12h à 155 °C pour obtenir un état T8. A titre de référence une tôle a subi directement après la trempe une traction contrôlée de 2% suivi d'un revenu de 14h à 155 °C à l'état T8, sans traitement thermique court intermédiaire.
- 45 **[0052]** Les propriétés mécaniques statiques ont été caractérisées à l'issue du revenu et sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous : échantillons #1, #2 et #3 : selon l'invention et échantillon #4 : référence.

Tableau 2 - Propriétés mécaniques statiques (MPa)

50	N° Echantillon	Déformation supplémentaire à froid après traitement thermique court	Rm(L)	R _{p0,2} (L)	A%(L)	Rm(LT)	R _{p0,2} (LT)	A%(LT)
	#1	2,5%	511	474	11,0	499	464	11,0
55	#2	4%	526	499	10,4	513	485	10,4
	#3	8%	541	518	9,7	516	491	9,7

EP 2 766 503 B2

(suite)

N° Echantillon	Déformation supplémentaire à froid après traitement thermique court	R _m (L)	R _{p0,2} (L)	A%(L)	R _m (LT)	R _{p0,2} (LT)	A%(LT)
#4	Pas de traitement thermique court	497	454	10.2	486	440	12.7

[0053] Les courbes R ont été mesurées dans la direction T-L selon la norme E561-05 sur des échantillons d'essai CCT760, qui avaient une largeur de 760 mm. La longueur de fissure initiale était $2a_0 = 253$ mm. Les courbes R obtenues sont présentées sur la figure 1.

[0054] Les résultats de ténacité sous contrainte plane obtenus sont présentés dans le Tableau 3. On constate en particulier que même pour une déformation supplémentaire de 8%, les valeurs de K_{app} et K_{eff} sont élevées. Ainsi la diminution de K_{app} dans la direction T-L est faible, inférieure à 5%, entre une traction contrôlée de 2,5% et une traction contrôlée de 8%.

Tableau 3

N° Echantillon	Déformation supplémentaire à froid après traitement thermique court	K_{app} (MPa√m) T-L	K_{eff} (MPa√m) T-L	$\Delta a_{eff\ max}$ (mm)
#1	2,5%	182	262	79
#2	4%	177	265	97
#3	8%	174	238	68
#4	Pas de traitement thermique court	190	274	60

[0055] On constate que même après une déformation supplémentaire de 8%, la courbe R est tout à fait satisfaisante : la courbe est suffisamment longue, supérieure à 60 mm, et les valeurs de K_R sont voisins de ceux obtenus avec une déformation plus faible (Figure 1).

Exemple 3

[0056] Dans cet exemple on a étudié les conditions de durée et de température du traitement thermique court. Une plaque de laminage en alliage AA2198 a été homogénéisée puis laminée à chaud jusqu'à l'épaisseur 4 mm. Les tôles ainsi obtenues ont été mises en solution 30 mn à 505 °C puis trempées à l'eau.

[0057] Les tôles ont ensuite été planées et tractionnées de façon contrôlée. La traction contrôlée a été réalisée avec un allongement permanent de 1%. Les tôles ont été vieillies suffisamment pour atteindre un état T3 stabilisé.

[0058] Les tôles ont ensuite subi un traitement thermique court à 145 °C, 150 °C ou 155 °C. Le temps équivalent à 150 °C a été calculé en tenant compte d'une vitesse de montée en température de 20 °C/h. Les caractéristiques mécaniques statiques des tôles ont été caractérisées après le traitement thermique court dans le sens TL.

[0059] Les résultats sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous et représentés graphiquement sur la figure 2. On constate que le rapport $R_m/R_{p0,2}$ le plus élevé dans le sens TL est obtenu pour une température comprise entre 150 et 160 °C et pour un temps équivalent à 150 °C compris entre une et trois heures.

Tableau 4

Durée traitement thermique court (h)	Température traitement thermique court (°C)	Temps équivalent t_i à 150 °C	R _{p0,2} TL (MPa)	R _m TL (MPa)	A TL (%)	R _m /R _{p0,2} (TL)
0	0	0	288,0	407,3	22,6	1,41
2,5	145	1,90	245,7	371,7	29,1	1,51
5	145	3,47	251,3	373,7	27,6	1,49
7	145	4,73	264,3	378,7	27,7	1,43
10	145	6,62	283,3	386,3	25,9	1,36

EP 2 766 503 B2

(suite)

Durée traitement thermique court (h)	Température traitement thermique court (°C)	Temps équivalent t_i à 150 °C	$R_{p0,2}$ TL (MPa)	R_m TL (MPa)	A TL (%)	$R_m/R_{p0,2}$ (TL)
0,5	150	1,02	240,3	369,3	25,9	1,54
1	150	1,52	237,3	366,0	26,1	1,54
2	150	2,52	240,3	369,3	27,6	1,54
3	150	3,52	246,7	369,3	28,1	1,50
4	150	4,52	253,0	373,3	26,3	1,48
5	150	5,52	259,3	376,7	27,9	1,45
6	150	6,52	264,7	375,7	26,5	1,42
0,5	155	1,63	235,0	364,0	28,1	1,55
1	155	2,41	238,3	367,7	26,4	1,54
2	155	3,98	246,7	369,3	29,2	1,50
3	155	5,55	262,0	380,7	24,8	1,45
4	155	7,12	275,3	382,3	25,5	1,39
5	155	8,70	295,3	392,0	25,1	1,33

Exemple 4

[0060] Dans cet exemple comparatif, on a étudié l'effet du taux de traction sur la ténacité dans un procédé ne comportant pas de traitement thermique court. Une plaque de laminage en alliage AA2198 a été homogénéisée puis laminée à chaud jusqu'à l'épaisseur 3.2 mm. Les tôles ainsi obtenues ont été mises en solution 30 mn à 505 °C puis trempées à l'eau. Les tôles ont ensuite été planées et tractionnées de façon contrôlée. La traction contrôlée a été réalisée avec un allongement permanent de 3% ou de 5%. Les tôles ont ensuite subi un revenu de 14h à 155 °C jusqu'à l'état T8.

[0061] Les propriétés mécaniques statiques ont été caractérisées à l'issue du revenu et sont présentées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5

Echantillon	Traction contrôlée	R_m (L)	$R_{p0,2}$ (L)	A%(L)	R_m (LT)	$R_{p0,2}$ (LT)	A%(LT)
#5 - 3%	3%	525	486	11.1	499	459	14.1
#6 - 5%	5%	545	519	10.4	518	487	14.0

[0062] Les courbes R ont été mesurées selon la norme E561-05 sur des échantillons d'essai CCT760, qui avaient une largeur de 760 mm dans la direction T-L et dans la direction L-T. La longueur de fissure initiale était $2a_0 = 253$ mm.

[0063] Les résultats de ténacité obtenus sont présentés dans le Tableau 6. On constate en particulier que la diminution de K_{app} dans la direction T-L est significative, de l'ordre de 9%, entre une traction contrôlée de 3% et une traction contrôlée de 5% .

Tableau 6

Echantillon	Epaisseur [mm]	T-L			L-T		
		K_{app} (MPa√m)	K_{eff} (MPa√m)	$\Delta a_{eff\ max}$ (mm)	K_{app} (MPa√m)	K_{eff} (MPa√m)	$\Delta a_{eff\ max}$ (mm)
#5 - 3%	3.2 mm	151	178	61	124	152	115
#6 - 5%	3.2 mm	138	174	67	119	142	55

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un produit laminé à base d'alliage d'aluminium notamment pour l'industrie aéronautique dans lequel, successivement,

a) on élabore un bain de métal liquide à base d'aluminium comprenant 2,1 à 3,9 % en poids de Cu, 0,7 à 2,0 % en poids de Li, 0,1 à 1,0 % en poids de Mg, 0 à 0,6 % en poids d'Ag, 0 à 1 % en poids de Zn, au plus 0,20 % en poids de Fe + Si, au moins un élément choisi parmi Zr, Mn, Cr, Sc, Hf et Ti, la quantité dudit élément, s'il est choisi, étant 0,05 à 0,18 % en poids pour Zr, 0,1 à 0,6 % en poids pour Mn, 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr, 0,02 à 0,2 % en poids pour Sc, 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,01 à 0,15 % en poids pour Ti, les autres éléments au plus 0,05 % en poids chacun et 0,15 % en poids au total, le reste aluminium ;
 b) on coule une plaque de laminage à partir dudit bain de métal liquide ;
 c) on homogénéise ladite plaque de laminage de façon à atteindre une température comprise entre 450 °C et 550 °C pendant une durée comprise entre 5 et 60 heures ;
 d) on lamine à chaud et optionnellement à froid ladite plaque de laminage en une tôle,
 e) on met en solution ladite tôle et on la trempe ;
 f) on réalise un planage et/ou on tractionne de façon contrôlée ladite tôle avec une déformation cumulée d'au moins 0,5 % et inférieure à 3 %,
 g) on réalise un traitement thermique court dans lequel ladite tôle atteint une température comprise entre 130 et 170 °C et de préférence entre 150 et 160 °C pendant 0,1 à 13 heures et de préférence de 1 à 5 h, ledit traitement thermique court induisant une diminution de la limite d'élasticité $R_{p0,2}$ d'au moins 20 MPa et une augmentation de l'allongement A % tel que A % est multiplié par un facteur d'au moins 1,1 par rapport à l'état obtenu sans traitement thermique court.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel le dit traitement thermique court est réalisé de façon à obtenir un temps équivalent à 150 °C de 0,5 h à 6 h et de préférence de 1 h à 4 h, le temps équivalent t_i à 150 °C est défini par la formule :

$$t_i = \frac{\int \exp(-16400/T) dt}{\exp(-16400/T_{ref})}$$

où T (en Kelvin) est la température instantanée de traitement du métal, qui évolue avec le temps t (en heures), et T_{ref} est une température de référence fixée à 423 K. t_i est exprimé en heures, la constante $Q/R = 16400$ K est dérivée de l'énergie d'activation pour la diffusion du Cu, pour laquelle la valeur $Q = 136100$ J/mol a été utilisée.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel l'épaisseur de ladite tôle est comprise entre 0,5 et 15 mm et de préférence entre 1 et 8 mm.
4. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel on réalise à l'étape f une traction contrôlée avec une déformation permanente comprise entre 0,5 et 1,5 %.
5. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 4 dans lequel la teneur en cuivre est au moins de 3 % et au maximum de 3,5 % en poids.
6. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel la teneur en lithium est au moins 0,85 % en poids et au maximum de 1,2 % en poids.
7. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel la teneur en magnésium est au moins de 0,2 % et au maximum de 0,6 % en poids.
8. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel la teneur en argent est comprise entre 0,1 et 0,5 % en poids et de manière préférée entre 0,15 et 0,4 % en poids et/ou la teneur en zinc est inférieure à 0,4 % en poids et de préférence inférieure à 0,2 % en poids.
9. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel l'alliage contient entre 0,08 et 0,15 % en poids de zirconium, entre 0,01 et 0,10 % en poids de titane et dans lequel la teneur en Mn, Cr, Sc et Hf est au maximum 0,05 % en poids.

10. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 9 dans lequel après l'étape g,

h) on réalise une déformation supplémentaire à froid de ladite tôle de telle sorte que la déformation supplémentaire soit inférieure à 10%,

i) on réalise un revenu dans lequel ladite tôle atteint une température comprise entre 130 et 170°C et de préférence entre 150 et 160°C pendant 5 à 100 heures et de préférence de 10 à 70h.

11. Procédé selon la revendication 10 dans lequel ladite déformation supplémentaire à froid est localement ou de façon généralisée d'au moins 1% de préférence au moins 4% et de manière préférée d'au moins 6%.

12. Procédé selon la revendication 10 ou la revendication 11 dans lequel la déformation à froid est effectuée par un ou plusieurs procédés de mise en forme tels que l'étirage, l'étirage-formage, l'emboutissage, le fluotournage ou le pliage.

13. Produit laminé susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 1 à 9, présentant entre 0 et 50 jours après traitement thermique court, une combinaison d'au moins une propriété choisie parmi $R_{p0,2}(L)$ d'au moins 250 MPa, $R_{p0,2}(LT)$ d'au moins 200 MPa et de préférence d'au moins 230 MPa, $R_m(L)$ d'au moins 380 MPa, $R_m(LT)$ d'au moins 320 MPa et de préférence d'au moins 360 MPa avec une propriété choisie parmi $A\%(L)$ au moins 15%, $A\%(LT)$ au moins 24% et de préférence au moins 26%, $R_m/R_{p0,2}(L)$ au moins 1,40 et de préférence au moins 1,45, $R_m/R_{p0,2}(LT)$ au moins 1,45 et de préférence au moins 1,50.

14. Produit susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 10 à 12, présentant une limite d'élasticité en traction $R_{p0,2}(L)$ au moins sensiblement égale et une ténacité K_R supérieure, de préférence d'au moins 5%, à celle obtenue par un procédé semblable ne comprenant pas de traitement thermique court.

15. Produit susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 10 à 12 **caractérisé en ce qu'il** s'agit d'une tôle en alliage AA2198 dont l'épaisseur est comprise entre 0,5 et 15 mm et de préférence entre 1 et 8 mm ayant après traitement thermique de revenu à l'état T8, une combinaison d'au moins une propriété de résistance mécanique statique choisie parmi $R_{p0,2}(L)$ d'au moins 500 MPa et de préférence d'au moins 510 MPa et/ou $R_{p0,2}(LT)$ d'au moins 480 MPa et de préférence d'au moins 490 MPa, et d'au moins une propriété de ténacité mesurée sur des éprouvettes de type CCT760 (avec $2a_0 = 253$ mm) choisie parmi K_{app} dans le sens T-L d'au moins

$$160 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

et de préférence d'au moins

$$170 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

et/ou K_{eff} dans le sens T-L d'au moins

$$200 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

et de préférence d'au moins

$$220 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

et/ou $\Delta a_{eff(max)}$ dans le sens T-L d'au moins 40 mm et de préférence d'au moins 50 mm

16. Utilisation d'un produit susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 10 à 12 pour la fabrication d'un élément de structure pour avion, notamment d'une peau de fuselage d'avion.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Walzerzeugnisses aus Aluminiumlegierung insbesondere für die Luftfahrtindustrie,

bei dem nacheinander

- a) ein Flüssigmetallbad auf Aluminiumbasis hergestellt wird, enthaltend 2,1 bis 3,9 Gew.-% Cu, 0,7 bis 2,0 Gew.-% Li, 0,1 bis 1,0 Gew.-% Mg, 0 bis 0,6 Gew.-% Ag, 0 bis 1 Gew.-% Zn, maximal 0,20 Gew.-% Fe + Si, wenigstens ein Element ausgewählt unter Zr, Mn, Cr, Sc, Hf und Ti, wobei die Menge des Elements, falls es gewählt wird, 0,05 bis 0,18 Gew.-% für Zr, 0,1 bis 0,6 Gew.-% für Mn, 0,05 bis 0,3 Gew.-% für Cr, 0,02 bis 0,2 Gew.-% für Sc, 0,05 bis 0,5 Gew.-% für Hf und 0,01 bis 0,15 Gew.-% für Ti beträgt, weitere Elemente jeweils maximal 0,05 Gew.-% und insgesamt 0,15 Gew.-%, Rest Aluminium;
- b) aus dem Flüssigmetallbad ein Walzbarren gegossen wird;
- c) der Walzbarren homogenisiert wird um eine Temperatur von 450°C bis 550°C während einer Zeitspanne von 5 bis 60 Stunden zu erreichen;
- d) der Walzbarren zu einem Blech warm- und wahlweise kaltgewalzt wird;
- e) das Blech lösungsgeglüht und abgeschreckt wird;
- f) das Blech gerichtet und/oder kontrolliert gezogen wird, mit einer Gesamtverformung von mindestens 0,5 % und weniger als 3,0 %;
- g) eine kurze Wärmebehandlung durchgeführt wird, bei der das Blech eine Temperatur zwischen 130 und 170°C und vorzugsweise zwischen 150 und 160°C während 0,1 bis 13 Stunden und vorzugsweise 1 bis 5 Stunden erreicht, wobei die kurze Wärmebehandlung eine Erniedrigung der Streckgrenze $R_{p0,2}$ um mindestens 20 MPa und eine Erhöhung der Dehnung A% induziert, so dass A% mindestens um einen Faktor 1,1 höher ist als in dem ohne kurze Wärmebehandlung erhaltenen Zustand.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kurze Wärmebehandlung so durchgeführt wird, dass eine Äquivalentzeit bei 150°C von 0,5 bis 6 Stunden und vorzugsweise 1 Stunde bis 4 Stunden erhalten wird, wobei die Äquivalentzeit t_i bei 150°C definiert ist durch die Formel

$$t_i = \frac{\int \exp(-16400 / T) dt}{\exp(-16400 / T_{ref})}$$

worin T (in Kelvin) die momentane, mit der Zeit t (in Stunden) sich ändernde Metallbehandlungstemperatur ist und T_{ref} eine auf 423 K festgelegte Referenztemperatur ist, t_i in Stunden ausgedrückt ist, die Konstante $Q/R = 16400$ K von der Aktivierungsenergie für die Diffusion von Cu abgeleitet ist, für die der Wert $Q = 136000$ J/mol verwendet wurde.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem die Dicke des Blechs zwischen 0,5 und 15 mm und vorzugsweise zwischen 1 und 8 mm beträgt.
4. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem im Schritt f) ein kontrolliertes Ziehen mit einer bleibenden Verformung von 0,5 bis 1,5 % durchgeführt wird.
5. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Kupfergehalt mindestens 3 und höchstens 3,5 Gew.-% beträgt.
6. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Lithiumgehalt mindestens 0,85 und höchstens 1,2 Gew.-% beträgt.
7. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem der Magnesiumgehalt mindestens 0,2 und höchstens 0,6 Gew.-% beträgt.
8. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der Silbergehalt zwischen 0,1 und 0,5 Gew.-% und vorzugsweise zwischen 0,15 und 0,4 Gew.-% beträgt und/oder der Zinkgehalt kleiner als 0,4 Gew.-% und vorzugsweise kleiner als 0,2 Gew.-% ist.
9. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Legierung zwischen 0,08 und 0,15 Gew.-% Zirkonium, zwischen 0,01 und 0,10 Gew.-% Titan enthält und bei dem der Gehalt an Mn, Cr, Sc und Hf höchstens 0,05 Gew.-% beträgt.
10. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem nach dem Schritt g)

h) eine weitere Kaltverformung des Blechs so durchgeführt wird, dass diese weitere Verformung weniger als 10 % beträgt,
 i) eine Auslagerungsbehandlung durchgeführt wird, bei der das Blech eine Temperatur zwischen 130 und 170°C und vorzugsweise zwischen 150 und 160°C während 5 bis 100 Stunden und vorzugsweise 10 bis 70 Stunden erreicht.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die weitere Kaltverformung örtlich oder allgemein mindestens 1 %, vorzugsweise mindestens 4 % und bevorzugt mindestens 6 % beträgt.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder Anspruch 11, bei dem die Kaltverformung mittels einem oder mehreren Formgebungsverfahren durchgeführt wird, wie z.B. Ziehen, Ziehformen, Tiefziehen, Drückwalzen oder Biegen.
13. Walzerzeugnis, erhältlich durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9, das 0 bis 5 Tage nach der kurzen Wärmebehandlung eine Eigenschaftskombination aufweist, bestehend aus mindestens einer Eigenschaft ausgewählt unter $R_{p0,2}(L)$ von mindestens 250 MPa, $R_{p0,2}(LT)$ von mindestens 200 MPa und vorzugsweise mindestens 230 MPa, $R_m(L)$ von mindestens 380 MPa, $R_m(LT)$ von mindestens 320 MPa und vorzugsweise mindestens 360 MPa, und einer Eigenschaft ausgewählt unter $A\%(L)$ von mindestens 15%, $A\%(LT)$ von mindestens 24% und vorzugsweise mindestens 26%, $R_m/R_{p0,2}(L)$ von mindestens 1,40 und vorzugsweise mindestens 1,45, $R_m/R_{p0,2}(LT)$ von mindestens 1,45 und vorzugsweise mindestens 1,50.
14. Walzerzeugnis, erhältlich durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 10 bis 12, das eine zumindest im Wesentlichen gleiche Streckgrenze unter Zugbeanspruchung $R_{p0,2}(L)$ und eine vorzugsweise um mindestens 5% höhere Zähigkeit im Vergleich zur Zähigkeit aufweist, die durch ein ähnliches Verfahren ohne kurze Wärmebehandlung erhalten wird.
15. Walzerzeugnis, erhältlich durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich um ein Blech aus der Legierung AA2198 mit einer Dicke von 0,5 bis 15 mm und vorzugsweise 1 bis 8 mm handelt, das nach Warmauslagerung im Zustand T8 eine Eigenschaftskombination aufweist, bestehend aus mindestens einer statischen Festigkeitseigenschaft ausgewählt unter $R_{p0,2}(L)$ von mindestens 500 MPa und vorzugsweise mindestens 510 MPa und/oder $R_{p0,2}(LT)$ von mindestens 480 MPa und vorzugsweise mindestens 490 MPa, und mindestens einer, an Proben vom Typ CCT760 (mit $2a_0 = 253$ mm) gemessenen Zähigkeitseigenschaft ausgewählt unter K_{app} in TL-Richtung von mindestens 160 MPa $\sqrt{m}$ und vorzugsweise mindestens 170 MPa $\sqrt{m}$ und/oder K_{eff} in TL-Richtung von mindestens 200 MPa $\sqrt{m}$ und vorzugsweise mindestens 220 MPa $\sqrt{m}$ und/oder $\Delta_{eff(max)}$ in TL-Richtung von mindestens 40 mm und vorzugsweise mindestens 50 mm.
16. Verwendung eines durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 10 bis 12 erhältlichen Walzerzeugnisses für die Herstellung eines Flugzeugstrukturelementes, insbesondere einer Rumpfhaut eines Flugzeugs.

Claims

1. A method of manufacturing a rolled product made of aluminium alloy in particular for the aerospace industry wherein, successively,
 - a) a bath of molten metal based on aluminium is prepared comprising 2.1 to 3.9 % by weight of Cu, 0.7 to 2.0 % by weight of Li, 0.1 to 1.0 % by weight of Mg, 0 to 0.6 % by weight of Ag, 0 to 1% % by weight of Zn, at the most 0.20 % by weight of Fe + Si, at least one element selected from Zr, Mn, Cr, Sc, Hf and Ti, the amount of said element, if selected, being 0.05 to 0.18 % by weight of Zr, 0.1 to 0.6% by weight of Mn, 0.05 to 0.3 % by weight of Cr, 0.02 to 0.2 % by weight of Sc, 0.05 to 0.5 % by weight of Hf and 0.01 to 0.15 % by weight of Ti, other elements at the most 0.05% by weight each and 0.15% by weight in total, the remainder aluminium;
 - b) a rolling slab is cast from said liquid metal bath;
 - c) said rolling slab is homogenized so as to reach a temperature from 450°C to 550°C for a period from 5 to 60 hours;
 - d) said rolling slab is hot rolled and optionally cold rolled into a sheet,
 - e) said sheet undergoes solution heat treatment and quenching;
 - f) said sheet is flattened and/or stretched in a controlled manner, with cumulative deformation of at least 0.5 % and less than 3%;
 - g) a short heat treatment is performed wherein said sheet reaches a temperature between 130 and 170°C and

preferably between 150 and 160°C for 0.1 to 13 hours and preferably from 1 to 5 hours, said short heat treatment inducing a decrease of the yield strength $R_{p0.2}$ by at least 20 MPa and an increase of the elongation A% such as A% is multiplied by a factor of at least 1.1 in relation to the temper obtained without short heat treatment.

2. Method of claim 1 wherein said short heat treatment is carried out so as to obtain an equivalent time at 150°C of 0.5 h to 6 h, preferably 1h to 4h, the equivalent time t_i at 150 C is defined by the formula:

$$t_i = \frac{\int \exp(-16400 / T) dt}{\exp(-16400 / T_{ref})}$$

where T (in Kelvin) is the instantaneous metal treatment temperature which changes with time t (in hours), and T_{ref} is a reference temperature set at 423 K. t_i is expressed in hours, the constant $Q/R = 16400$ K is derived from the activation energy for diffusion of Cu, for which the value $Q = 136100$ J/mol was used.

3. Method of claim 1 or claim 2 wherein the thickness of said sheet is between 0.5 and 15 mm and preferably between 1 and 8 mm.

4. Method according to any of claims 1 to 3 wherein controlled stretching is carried out in step f with a permanent deformation of between 0.5 and 1.5 %.

5. Method according to any of claims 1 to 4 wherein the copper content is at least 3% and at most 3.5% by weight.

6. Method according to any of claims 1 to 5 wherein the lithium content is at least 0.85% by weight and at most 1.2% by weight.

7. Method according to any of claims 1 to 6 wherein the magnesium content is at least 0.2 % and at most 0.6 % by weight.

8. Method according to any of claims 1 to 7 wherein the silver content is between 0.1 and 0.5% by weight and preferably between 0.15 and 0.4 % by weight and/or the zinc content is less than 0.4 % by weight and preferably less than 0.2 % by weight.

9. Method according to any of claims 1 to 8 wherein the alloy contains between 0.08 and 0.15% zirconium by weight, from 0.01 to 0.10 % titanium by weight and wherein the Mn, Cr, Sc and Hf content is at the most 0.05% by weight.

10. Method according to any of claims 1 to 9 wherein after step g,

h) further cold deformation of said sheet is carried out so that the additional deformation is less than 10 %,

i) ageing is performed wherein said sheet reaches a temperature between 130 and 170°C and preferably between 150 and 160°C for 5 to 100 hours and preferably from 10 to 70h.

11. Method of claim 10 wherein said additional cold bending is locally or generally at least 1%, preferably at least 4 % and most preferably at least 6 %.

12. Method of claim 10 or claim 11 wherein cold working is performed by one or more shaping methods such as stretching, stretch-forming, deep drawing, flow forming or bending.

13. Rolled product obtainable by the method according to any one of claims 1 to 9, having, between 0 and 50 days after short heat treatment, a combination of at least one property selected from $R_{p0.2}(L)$ of at least 250 MPa, $R_{p0.2}(LT)$ at least 200 MPa and preferably at least 230 MPa, $R_m(L)$ at least 380 MPa, $R_m(LT)$ at least 320 MPa and preferably at least 360 MPa with a property selected from A%(L) at least 15%, A%(LT) at least 24% and preferably at least 26%, $R_m/R_{p0.2}(L)$ at least 1.40 and preferably at least 1.45, $R_m/R_{p0.2}(LT)$ at least 1.45 and preferably at least 1.50.

14. Product obtainable by the method according to any one of claims 10 to 12, having a tensile yield stress $R_{p0.2}(L)$ at least substantially equal to, and tenacity K_R greater, preferably by at least 5 %, than that obtained by a similar method including no short thermal treatment.

15. Product obtainable by the method according to any one of claims 10 to 12 **characterized in that** it is an AA2198 alloy sheet having a thickness between 0.5 and 15 mm and preferably between 1 and 8 mm having, after heat ageing treatment in state T8, a combination of at least one static strength property selected from $R_{p0.2}$ (L) of at least 500 MPa and preferably at least 510 MPa and/or $R_{p0.2}$ (LT) of at least 480 MPa and preferably at least 490 MPa, and at least one tenacity property measured on test pieces of type CCT760 (with $2a_0 = 253$ mm) chosen among K_{app} in the T-L direction of at least 160 MPa $\sqrt{m}$ and preferably at least 170 MPa $\sqrt{m}$ and/or K_{eff} in the T-L direction of at least 200 MPa $\sqrt{m}$ and preferably at least 220 MPa $\sqrt{m}$ and/or $\Delta a_{eff(max)}$ in the T-L direction of at least 40 mm and preferably at least 50 mm.
16. Use of a product obtainable by the method according to any one of claims 10 to 12 for the manufacture of a structural element for an aircraft, in particular an aircraft fuselage skin.

Figure 1

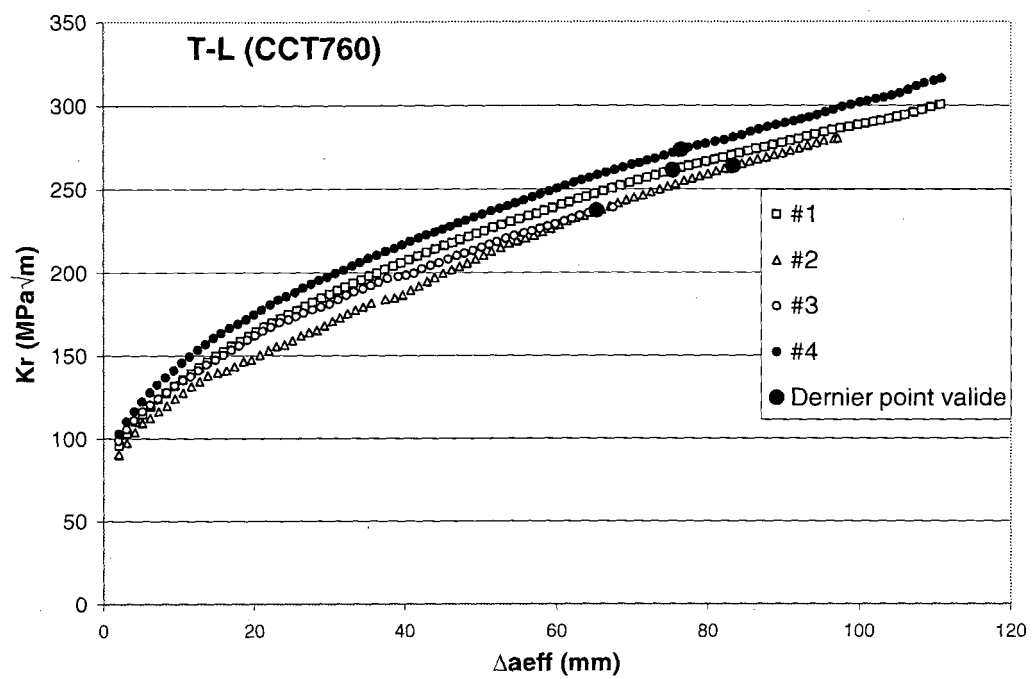
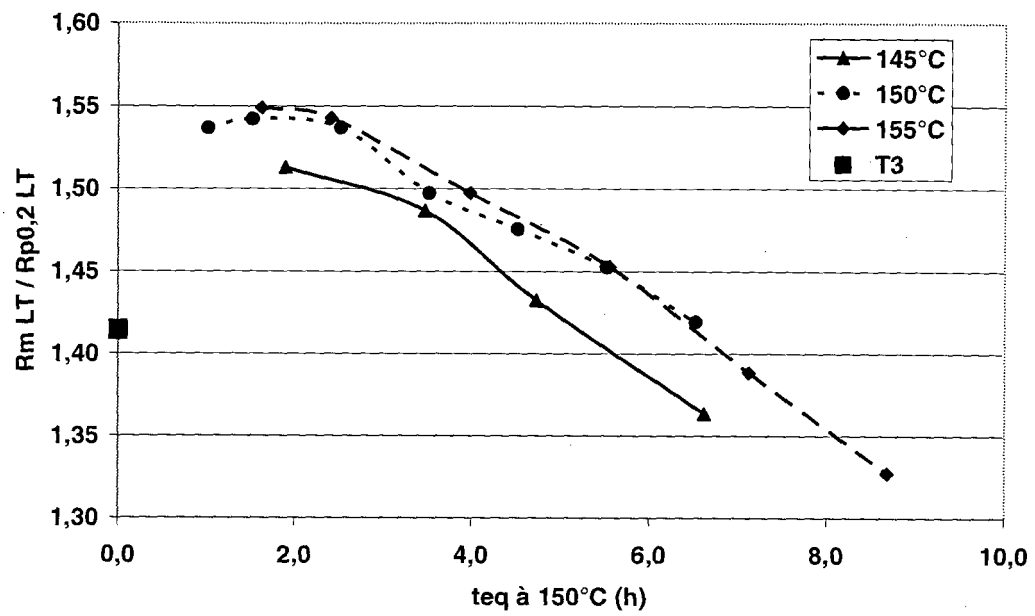


Figure 2



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 [0008]
- US 5455003 A [0009]
- US 7438772 B [0010]
- US 7229509 B [0011]
- US 2009142222 A1 [0012]
- EP 1966402 A [0013]
- EP 1891247 A [0014]
- EP 1045043 A [0015]
- WO 2006131627 A [0016]

Littérature non-brevet citée dans la description

- PICKENS, J R ; HEUBAUM, F H ; LANGAN, T J ;
KRAMER, L S. *Aluminum--Lithium Alloys*, 27 Mars
1989, vol. III [0016]