



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
21.01.2009 Bulletin 2009/04

(51) Int Cl.:
C22C 21/12 (2006.01) C22F 1/057 (2006.01)
B64C 1/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **08018130.8**

(22) Date de dépôt: **02.06.2006**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR

(30) Priorité: **06.06.2005 US 687444 P**
05.08.2005 FR 0508374

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
06764718.0 / 1 891 247

(71) Demandeur: **Alcan Rhenalu**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **Bes, Bernard**
38180 Seyssins (FR)

• **Ribes, Hervé**
68000 Colmar (FR)
• **Sigli, Christophe**
38000 Grenoble (FR)
• **Warner, Timothy**
38340 Voreppe (FR)

(74) Mandataire: **Fénot, Dominique et al**
Alcan France S.A.S.
Propriété Industrielle
217, cours Lafayette
69451 Lyon Cedex 06 (FR)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 16-10-2008 comme
demande divisionnaire de la demande mentionnée
sous le code INID 62.

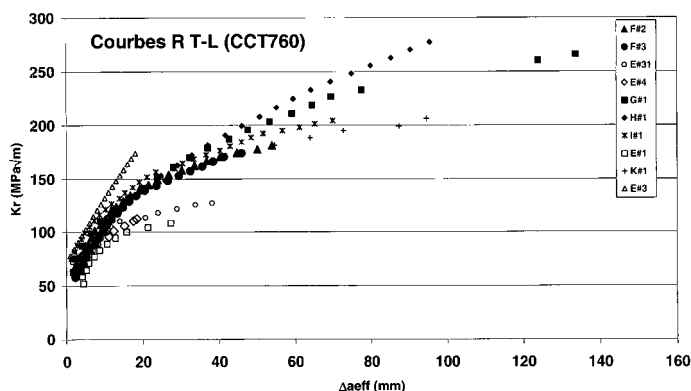
(54) **Tôle en aluminium-cuivre-lithium à haute ténacité pour fuselage d'avion**

(57) Un alliage à base d'aluminium de faible masse volumique utile dans une structure d'aéronef pour les applications de tôle de fuselage qui a une résistance mécanique élevée, une haute ténacité et une haute résistance à la corrosion, comprenant en % en poids, 2,7 à 3,4 de Cu, 0,8 à 1,4 de Li, 0,1 à 0,8 de Ag, 0,2 à 0,6 de Mg et un élément tel que Zr, Mn, Cr, Sc, Hf, Ti ou une combinaison de ceux-ci, dont la quantité, en % en poids, est de 0,05 à 0,13 pour Zr, 0,05 à 0,8 pour Mn, 0,05 à 0,3 pour Cr et Sc, 0,05 à 0,5 pour Hf et 0,05 à 0,15 pour Ti. La quantité de Cu et de Li est déterminée selon la formule

$$\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5,2.$$

et dont la microstructure est recristallisée ou non recristallisée mais n'est pas mixte c'est-à-dire que la microstructure ne comprend pas des zones recristallisées et des zones non recristallisées.

Figure 1



Description**Domaine de l'invention**

- 5 **[0001]** La présente invention concerne en général des produits en alliages d'aluminium et, en particulier, de tels produits utiles dans l'industrie aérospatiale et appropriés pour une utilisation dans des applications de fuselage.

Etat de la technique

- 10 **[0002]** Dans l'industrie aéronautique civile d'aujourd'hui et, en particulier, pour des applications de fuselage, il existe une forte motivation pour réduire tant le poids que le coût. Le fuselage d'un avion de transport commercial est soumis à un ensemble complexe de contraintes, dépendant de la phase de fonctionnement (décollage, croisière, manoeuvre, atterrissage...) et des conditions environnementales (rafales de vent, vents de face,...). De plus, les différentes parties du fuselage sont soumises à des contraintes différentes. En dépit de cette complexité, il est possible de distinguer des
- 15 lignes directrices majeures de conception qui déterminent le poids de la structure, certaines ayant un impact sur le poids total plus important que d'autres.

- [0003]** A titre d'exemple, la résistance à la compression et au cisaillement en compression est une ligne directrice de conception extrêmement importante, puisque les panneaux de fuselage les plus lourds subissent ce type de contrainte. Afin qu'un nouveau matériau puisse permettre une réduction du poids de ces panneaux contraints en compression, il
- 20 doit avoir un module d'élasticité élevé, une limite d'élasticité à 0,2 % élevée (pour résister au flambage) et une faible masse volumique.

- [0004]** La deuxième ligne directrice majeure est la résistance résiduelle de panneaux longitudinalement (dans l'axe du fuselage) fissurés. Les règlements de certification aéronautiques obligent la prise en compte de la tolérance aux dommages dans la conception, ainsi il est habituel d'envisager de grandes fissures longitudinales ou circonférentielles
- 25 dans les panneaux de fuselage, pour prouver qu'un certain niveau de contrainte peut être appliqué sans rupture catastrophique. Une propriété connue des matériaux gouvernant la conception est ici la ténacité sous contrainte plane. Tous les facteurs connus d'intensité de contrainte critique ne confèrent toutefois qu'une vue limitée de la ténacité. L'essai de courbe R est un moyen largement reconnu pour caractériser les propriétés de ténacité. La courbe R représente l'évolution du facteur d'intensité de contrainte effective critique pour la propagation de fissure en fonction de l'extension de fissure effective, sous une contrainte monotone. Elle permet la détermination de la charge critique pour une rupture instable pour toute configuration pertinente à des structures d'aéronef fissurées. Les valeurs du facteur d'intensité de contrainte effective et de l'extension de fissure effective sont des valeurs définies dans la norme ASTM E561. La longueur de la courbe R - à savoir l'extension de fissure maximale de la courbe - est un paramètre en lui-même important pour la conception de fuselage. L'analyse classique, généralement utilisée, des essais réalisés sur des panneaux à fissure
- 30 centrale donne un facteur d'intensité de contrainte apparent à la rupture (K_{app}). Cette valeur ne varie pas significativement en fonction de la longueur de la courbe R, spécialement lorsque la pente de la courbe R est proche de la pente de la courbe liée au facteur d'intensité de contrainte appliqué à la longueur de fissure (courbe appliquée). Toutefois, dans une structure d'élément structural réel tel qu'un panneau comportant des raidisseurs fixés, lorsqu'une fissure progresse sous un raidisseur non rompu, la courbe appliquée chute en raison de l'effet de pontage du raidisseur. Dans ce cas, un
- 40 minimum local de la courbe appliquée peut se produire pour une longueur de fissure plus grande que la somme de la longueur de fissure initiale et de l'extension de fissure sous une charge monotone. Dans ce cas, de plus grandes contraintes avant rupture instable sont permises pour de longues courbes R. Il est ainsi intéressant d'avoir une plus longue courbe R, même pour des facteurs d'intensité de contrainte critiques identiques, tels qu'ils sont déterminés classiquement.

- 45 **[0005]** Pour des produits ayant des propriétés mécaniques identiques, une masse volumique inférieure est clairement bénéfique pour le poids d'un élément de structure. Une troisième ligne directrice majeure est ainsi la masse volumique du matériau. De plus, de grandes parties du fuselage ne sont pas aussi fortement chargées et le poids de la conception est limité par une certaine limite généralement appelée « épaisseur minimale ». Le concept d'épaisseur minimale correspond à la plus faible épaisseur utilisable pour la fabrication (en particulier la manipulation des panneaux) et la
- 50 réparation (rivetage de réparation). La seule manière de réduire le poids dans ce cas consiste à utiliser un matériau de plus faible masse volumique.

- [0006]** D'autres lignes directrices importantes sont la propagation de fissures en fatigue, soit sous contrainte à amplitude constante, soit avec une amplitude variable (en raison de manoeuvres et de rafales de vent, spécialement dans la direction longitudinale, mais également autour de l'aile, dans toutes les directions).

- 55 **[0007]** Aujourd'hui, les fuselages des avions civils sont, pour la majeure partie, constitués de tôle en alliage 2024, 2056, 2524, 6013, 6156 ou 7475, plaquée sur chaque face avec un alliage d'aluminium peu chargé en éléments d'alliage, un alliage 1050 ou 1070 par exemple. Le but de l'alliage de revêtement est de conférer une résistance à la corrosion suffisante. Une corrosion légère, généralisée ou par piqûre est tolérable mais elle ne doit pas être pénétrante de façon

à ne pas attaquer l'alliage de coeur. Il existe une tendance à essayer d'utiliser des matériaux non-plaqués pour la conception de fuselage, de façon à réduire le coût. La résistance à la corrosion, et en particulier la corrosion intergranulaire et la corrosion sous contrainte, du panneau de fuselage est ainsi un aspect important de ses propriétés.

[0008] Comme énoncé ci-dessus, la seule manière de réduire le poids consiste, dans certains cas, à réduire la masse volumique des matériaux utilisés pour la construction aéronautique. Les alliages en aluminium-lithium ont depuis longtemps été reconnus comme une solution efficace pour réduire le poids en raison de la faible masse volumique de ces alliages. Toutefois, les différentes exigences citées ci-dessus : module d'élasticité élevé, résistance à la compression élevée, tolérance aux dommages élevée et résistance à la corrosion élevée, n'ont pas été satisfaites simultanément par les alliages aluminium-lithium de l'art antérieur. Obtenir une ténacité élevée avec ces alliages s'est en particulier révélé être un problème difficile à résoudre. Prasad et al, par exemple, ont établi récemment (dans Sadhana, vol. 28, parties 1 & 2, février/avril 2003 pages 209 à 246) que « des alliages Al-Li sont des matériaux candidats de premier ordre pour remplacer les alliages en Al traditionnellement utilisés. En dépit de leurs nombreux avantages de propriétés, une faible ductilité en tension et une ténacité inadéquate, spécialement dans les directions à travers l'épaisseur, militent contre leur acceptabilité ». Aujourd'hui, les alliages en Al-Li ont été limités à des applications militaires très spécifiques telles que les matériaux ayant une résistance élevée à haute température, les matériaux ayant une ténacité améliorée à des températures cryogénique pour des applications aérospatiales, dans certaines parties d'hélicoptères, et des pièces de fuselage d'avions militaires.

[0009] Le brevet US 5 032 359 (Martin Marietta) décrit une famille d'alliages basée sur des alliages aluminium-cuivre-magnésium-argent auxquels du lithium a été ajouté, dans des gammes spécifiques et qui présentent une résistance élevée à température ambiante et à haute température, une ductilité élevée à températures ambiante et à haute température, une aptitude à l'extrusion, une forgeabilité, et de bonnes propriétés de soudabilité et de réponse au vieillissement naturel. Les exemples décrivent des produits extrudés. Aucune information n'est fournie quant à la ténacité, au comportement en fatigue ou à la résistance à la corrosion. Dans un mode de réalisation préféré, l'alliage a pour composition de 3,0 à 6,5 % de cuivre, de 0,05 à 2,0 % de magnésium, de 0,05 à 1,2 % d'argent, de 0,2 à 3,1 % de lithium, de 0,05 à 0,5 % d'un élément choisi parmi le zirconium, le chrome, le manganèse, le titane, le bore, l'hafnium, le vanadium, le diborure de titane et les mélanges de ces derniers.

[0010] Le document US 5 122 339 (Martin Marietta) est une continuation de la demande précédente. Il est décrit en outre une utilisation d'alliages similaire en tant qu'alliages de soudage ou en tant qu'alliages soudés.

[0011] Le document US 5 211 910 (Martin Marietta) décrit les alliages à base d'aluminium contenant du Cu, du Li, du Zn, du Mg et de l'Ag qui possèdent des propriétés favorables, comme une masse volumique relativement faible, un module élevé, des combinaisons résistance mécanique/ductilité élevées, une forte réponse au vieillissement naturel avec et sans écrouissage antérieur, et un module élevé après revenu avec ou sans écrouissage antérieur. Les alliages ont pour composition de 1 à 7% de Cu, de 0,1 à 4% de Li, de 0,01 à 4% de Zn, de 0,05 à 3% de Mg, de 0,01 à 2 % d'Ag, de 0,01 à 2 % d'un élément choisi parmi Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B et TiB₂, le reste étant de l'Al conjointement avec ses impuretés inévitables. Cette invention décrit comment des additions de Zn peuvent être utilisées pour réduire la teneur en Ag présents dans les alliages enseignés dans le document US 5 032 359 de façon à de réduire le coût.

[0012] Le document US 5 455 003 (Martin Marietta) décrit un procédé de production d'alliages aluminium-cuivre-lithium qui présentent une résistance mécanique et une ténacité améliorées à des températures cryogéniques. Les propriétés cryogéniques améliorées sont atteintes en ajustant la composition de l'alliage, conjointement avec les paramètres de traitement tels que la quantité d'écrouissage et le revenu. Le produit est utilisé pour des réservoirs cryogéniques dans des véhicules de lancement spatial.

[0013] Le document US 5 389 165 (Reynolds) décrit un alliage à base d'aluminium utile dans des structures d'aéronef et aérospatiales qui a une faible masse volumique, une résistance mécanique élevée et une haute ténacité et qui a pour formule: Cu_aLi_bMg_cAg_dZr_eAl_{bal} dans laquelle a, b, c, d, e et bal indiquent la quantité en % en poids de composants d'alliage, et dans laquelle

2,8 < a < 3,8,

0,80 < b < 1,3, 0,20 < c < 1,00, 0,20 < d < 1,00 et

0,08 < e < 0,40. De préférence, les composants cuivre et lithium sont ajustés de sorte que la teneur combinée en cuivre et en lithium est maintenue en dessous de la limite de solubilité afin d'éviter une perte de la ténacité pendant une exposition à une température élevée. La relation entre les teneurs en cuivre et en lithium doit également satisfaire la relation suivante :

$$\text{Cu (\% en poids)} + 1,5 \text{ Li (\% en poids)} < 5,4.$$

[0014] Des conditions spéciales de traction contrôlée, entre 5 et 11 %, sont appliquées. Les exemples sont limités à une épaisseur de 19 mm et une teneur en zirconium supérieure ou égale à 0,13 % en poids.

[0015] Le document US 2004/0071586 (Alcoa) divulgue un alliage Al-Cu-Mg comprenant de 3 à 5 % en poids de Cu, de 0,5 à 2 % en poids de Mg et de 0,01 à 0,9 % en poids de Li. D'après cette demande de brevet, la ténacité des alliages pour lesquels un ajout de Li compris entre 0,2 et 0,7 % en poids est améliorées de façon significative par rapport à des alliages semblables contenant soit pas de Li soit une quantité de Li plus élevée.

[0016] Il existe un besoin d'un alliage en Al-Li de résistance mécanique élevée, de haute ténacité et en particulier d'extension de fissure élevée avant une rupture instable, de résistance à la corrosion élevée, pour des applications aéronautiques et en particulier pour des applications de tôle de fuselage.

Objet de l'invention

[0017] Pour ces raisons et d'autres, les présents inventeurs sont parvenus à la présente invention concernant un alliage aluminium-cuivre-lithium-magnésium-argent, qui présente une résistance mécanique élevée, une haute ténacité et spécifiquement une extension de fissure élevée avant une rupture instable de panneaux larges pré-fissurés, et une haute résistance à la corrosion.

[0018] Un objet de la présente invention est un procédé de fabrication d'une tôle à base d'alliage d'aluminium 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 $\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5,2$;

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.

[0019] Un autre objet de l'invention est un produit laminé, extrudé et/ou forgé en alliage d'aluminium 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

$$\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5,2 .$$

[0020] Encore d'autres objets de l'invention sont des éléments de structures, raidisseurs et panneaux de fuselage obtenus à partir desdits produits laminés, extrudés et/ou forgés.

Description des figures

[0021]

Figure 1 : Courbe R dans le sens T-L (éprouvette CCT760).

Figure 2 : Courbe R dans le sens L-T (éprouvette CCT760).

Figure 3 : évolution de la vitesse de fissuration dans le sens T-L lorsque l'amplitude du facteur d'intensité de contrainte varie.

Figure 4 : évolution de la vitesse de fissuration dans le sens L-T lorsque l'amplitude du facteur d'intensité de contrainte varie.

Figure 5 : Courbe R dans le sens T-L (éprouvette CCT760) d'échantillons selon l'invention ayant été obtenu avec différents niveaux de déformation par traction.

Description détaillée de l'invention

[0022] 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. 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.

[0023] Sauf mention contraire, les caractéristiques mécaniques statiques, 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 déterminées par un essai de traction selon la norme EN 10002-1, le prélèvement et le sens de l'essai étant définis par la norme EN-485-1.

[0024] La vitesse de fissuration (da/dN) est déterminée selon la norme ASTM E 647. Une courbe de l'intensité de contrainte en fonction de l'extension de fissure, connue comme la courbe R, est déterminée 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_{ICO} 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_{ICO} correspondant à l'éprouvette qui a été utilisée pour effectuer l'essai de courbe R. K_{eff} représente le facteur K_{IC} 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. Sauf mention contraire, la taille de fissure à la fin du stade de pré-fissurage par fatigue est W/3 pour des éprouvettes du type M(T), dans laquelle W est la largeur de l'éprouvette telle que définie dans la norme ASTM E561. Il faut remarquer que la largeur de l'éprouvette utilisée dans un essai de courbe R peut avoir une influence substantielle sur l'intensité de contrainte mesurée dans l'essai. Les tôles de fuselage étant de grands panneaux, les résultats de courbe R obtenus sur échantillons suffisamment larges, tels que des échantillons ayant une largeur supérieure ou égale à 400 mm, sont jugés les plus significatifs pour l'évaluation de la ténacité. Pour cette raison, les échantillons d'essai CCT760, qui avaient une largeur de 760 mm, ont été utilisés préférentiellement pour l'évaluation de la ténacité. La longueur de fissure initiale $2a_0 = 253$ mm.

[0025] La ténacité a été également évaluée dans les sens T-L à l'aide de l'énergie globale à rupture E_g selon l'essai Kahn. La contrainte Kahn R_e (en MPa) est égale au rapport de la charge maximale F_{max} que peut supporter l'éprouvette sur la section de l'éprouvette (produit de l'épaisseur B par la largeur W). R_e ne permet pas d'évaluer la ténacité relative d'échantillons dont les caractéristiques mécaniques statiques sont différentes. L'énergie globale à rupture E_g est déterminée comme l'aire sous la courbe Force-Déplacement jusqu'à la rupture de l'éprouvette, E_g est directement reliée à la ténacité. L'essai est décrit dans l'article « Kahn-Type Tear Test and Crack Toughness of Aluminum Alloy Sheet », paru dans la revue Materials Research & Standards, Avril 1964, p. 151- 155. L'éprouvette utilisée pour l'essai de ténacité Kahn est décrite, par exemple, dans le « Metals Handbook », 8th Edition, vol. 1, American Society for Metals, pp. 241-242.

[0026] Par « tôle », on veut dire ici un produit laminé n'excédant pas 12 mm d'épaisseur.

[0027] Le terme « élément de structure » se réfère à un élément utilisé en construction mécanique pour lequel les caractéristiques mécaniques statiques et / ou dynamiques ont une importance particulière pour la performance et l'intégrité de la structure, et pour lequel un calcul de la structure est généralement prescrit ou effectué. Il s'agit typiquement d'une pièce mécanique 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 (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.

[0028] L'alliage aluminium - cuivre - lithium - argent-magnésium selon un mode de réalisation de l'invention a de manière avantageuse la composition suivante :

Tableau 1 :

Gammes de composition d'alliages (% en poids, le reste étant du Al)				
	Cu	Li	Ag	Mg
Large	2,7 à 3,4	0,8 à 1,4	0,1 à 0,8	0,2 à 0,6
Préférée	3,0 à 3,4	0,8 à 1,2	0,2 à 0,5	0,2 à 0,6
Plus préférée	3,1 à 3,3	0,9 à 1,1	0,2 à 0,4	0,2 à 0,4

[0029] Afin d'obtenir des résultats souhaités en termes de ténacité, il peut être avantageux d'obtenir une dissolution presque parfaite pendant un traitement thermique de mise en solution et également de minimiser la décomposition de la solution solide pendant la trempe. Les inventeurs ont déterminé que ceci peut être obtenu, par exemple, en limitant la quantité totale de Cu et de Li, selon la relation suivante entre le cuivre et le lithium

$$\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5,2$$

et en assurant une vitesse de refroidissement pendant la trempe suffisamment élevée, par exemple en trempant à l'eau froide.

[0030] Pour les compositions préférée et plus préférée du tableau 1, la relation entre le cuivre et le lithium est de préférence :

$$\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5.$$

[0031] Au moins un élément tel que Zr, Mn, Cr, Sc, Hf, Ti ou une combinaison de ceux-ci est inclus de façon à affiner le grain. Les additions dépendent de l'élément: de 0,05 à 0,13 % en poids (de préférence de 0,09 à 0,13 % en poids) pour Zr, de 0,05 à 0,8 % en poids pour Mn, de 0,05 à 0,3 % en poids pour Cr et Sc, de 0,05 à 0,5 % en poids pour Hf et de 0,05 à 0,15 % en poids pour Ti. Lorsque plusieurs de ces éléments anti-recristallisants sont ajoutés, la somme peut être limitée par l'apparition de phases primaires.

[0032] Dans une autre réalisation avantageuse de l'invention, l'affinage de grain est réalisé grâce à l'ajout de 0,05 à 0,13% en poids de Zr, de 0,02 à 0,3% en poids de Sc et optionnellement de 0,05 à 0,8 % en poids de Mn, de 0,05 à 0,3 % en poids de Cr, de 0,05 à 0,5 % en poids de Hf et de 0,05 à 0,15 % en poids de Ti.

[0033] Dans certains cas, et particulièrement pour les tôles laminées à chaud d'épaisseur comprise entre 4 et 12 mm, il peut être avantageux de limiter la teneur en Mn à 0,05 % en poids et de préférence à 0,03 % en poids. Les inventeurs ont observé que pour de telles épaisseurs la présence de Mn rend plus difficile le contrôle de la structure granulaire et peut affecter à la fois les propriétés mécaniques et la ténacité.

[0034] Fe et Si affectent généralement les propriétés de ténacité. La quantité de Fe devrait de préférence être limitée à 0,1 % en poids et la quantité de Si devrait de préférence être limitée à 0,1 % en poids (de préférence à 0,05 % en poids). Tous les autres éléments devraient également de préférence être limités à 0,1 % en poids (de préférence à 0,05 % en poids).

[0035] Les inventeurs ont trouvé que si la teneur en cuivre est supérieure à 3,4 % en poids, les propriétés de ténacité peuvent dans certains cas chuter rapidement. Pour certains modes de réalisation de l'invention, il est recommandé de ne pas dépasser une teneur en cuivre de 3,3 % en poids. De manière préférée, la teneur en cuivre est supérieure à 3,0% ou même 3,1% en poids.

[0036] Les présents inventeurs ont observé que les teneurs en Zr supérieures à 0,13 % en poids peuvent, dans certains cas, conduire à une performance de ténacité inférieure. Quelle que soit la raison de cette chute de la ténacité, les inventeurs ont trouvé que la teneur en Zr supérieure conduisait à une formation de phases primaires Al_3Zr . Dans ce cas, une température de coulée élevée peut être utilisée afin d'éviter la formation des phases primaires, mais ceci peut conduire à une plus faible qualité du métal liquide, en termes d'inclusion et de teneur en gaz. C'est pourquoi les présents inventeurs considèrent que le Zr devrait avantageusement ne pas excéder 0,13 % en poids.

[0037] Les inventeurs ont trouvé que si la teneur en Li est inférieure à 0,8 % en poids ou même 0,9% en poids, l'amélioration de la résistance mécanique est trop faible. Dans certains cas, il peut être avantageux que la teneur en Li soit > 0,9 % en poids. Egalement, avec ces faibles teneur en Li la diminution de la densité de l'alliage est trop faible. Pour une teneur en Li supérieure à 1,4 % voir supérieure à 1,2 % en poids ou même supérieure à 1,1 % en poids, la ténacité est réduite de façon significative. Egalement, ces teneurs en Li élevées ont plusieurs désavantages liés notamment à la stabilité thermique, la coulabilité et le coût des matières premières.

[0038] L'ajout d'Ag est une caractéristique essentielle de l'invention. Les performances en résistance mécanique et en ténacité observées par les inventeurs ne sont habituellement pas atteintes pour des alliages ne contenant pas d'argent. Les inventeurs pensent que l'argent joue un rôle lors de la formation des phases durcissantes contenant du cuivre, formées pendant le vieillissement naturel ou artificiel et permet en particulier la formation de phases plus fines et une distribution plus homogène de ces phases. L'effet avantageux de Ag est observé pour une teneur de cet élément supérieure à 0,1 % en poids et préférentiellement supérieure à 0,2 % en poids. De façon à limiter le coût associé à l'ajout de Ag, il peut être avantageux de ne pas excéder 0,5% en poids ou même 0,4% en poids.

[0039] L'ajout de Mg améliore la résistance mécanique et diminue la densité. Une addition excessive de Mg aurait

cependant un effet néfaste sur la ténacité. Dans une réalisation avantageuse de l'invention, la teneur en Mg est limitée à 0,4% en poids. Les inventeurs pensent que l'ajout de Mg pourrait également avoir un rôle pendant la formation des phases contenant du cuivre.

[0040] Le bain de métal liquide ayant une composition selon l'invention est ensuite coulé. La présente invention permet d'obtenir un produit laminé, extrudé et/ou forgé dont l'épaisseur est, d'une façon avantageuse, comprise entre 0,8 et 12 mm et de préférence entre 2 et 12 mm.

[0041] Selon un mode de réalisation avantageux de la présente invention, un alliage ayant des quantités ajustées d'éléments d'alliage est coulé sous forme de plaque. La plaque est ensuite homogénéisée à 490 à 530 °C pendant 5 à 60 heures. Les inventeurs ont observé que les températures d'homogénéisation supérieures à 530 °C peuvent tendre à réduire la performance de ténacité dans certains cas.

[0042] Avant le laminage à chaud, les plaques sont chauffées à 490 à 530 °C pendant 5 à 30 h. Un laminage à chaud est réalisé pour obtenir une épaisseur comprise entre 4 et 12 mm. Pour une épaisseur d'approximativement 4 mm ou moins, une étape de laminage à froid peut être ajoutée, si nécessaire. La tôle obtenue a une épaisseur comprise de préférence entre 0,8 et 12 mm, et l'invention est plus avantageuse pour des tôles de 2 à 12 mm d'épaisseur et même 2 à 9 mm et encore plus avantageuse pour des tôles de 3 à 7 mm d'épaisseur. Les tôles sont ensuite mises en solution, par exemple par traitement thermique entre 490 et 530 °C pendant 15 min à 2 h, puis trempées avec de l'eau à température ambiante ou préférentiellement de l'eau froide.

[0043] Le produit subit ensuite une traction contrôlée de 1 à 5 % et préférentiellement de 2,5 à 4 %. De tels niveaux d'érouissage à froid peuvent également être obtenus par laminage à froid, planage, forgeage ou une combinaison de ces méthodes et de la traction contrôlée. De manière avantageuse, l'érouissage à froid total après trempe est compris entre 2,5 et 4%. En particulier, quand une opération de planage est effectuée entre la trempe et la traction contrôlée et qu'aucune autre déformation à froid n'est réalisée, il peut être avantageux que la déformation par traction contrôlée soit comprise entre 1,7 et 3,5%. Les inventeurs ont observé que la ténacité tend à diminuer quand la déformation par traction contrôlée est supérieure à 5%. De plus, les résultats de Kahn test, en particulier E_g tend à diminuer pour des déformations permanentes supérieures à 5%. Il est de ce fait recommandé de ne pas dépasser une déformation permanente de 5%. Par ailleurs, si la traction est supérieure à 5 % on peut rencontrer des difficultés industrielles telles qu'une mise en oeuvre élevée ainsi que des difficultés de mise en forme, ce qui augmenterait le coût du produit.

[0044] Un revenu est réalisé à une température comprise entre 140 et 170°C pendant 5 à 30 h, ce qui permet d'obtenir un état T8. Dans certains cas et en particulier pour les compositions préférée et plus préférée du tableau 1 le revenu est plus préférentiellement réalisé, entre 140 et 155°C pendant 10 à 30 h. Des températures de revenu basses favorisent généralement une haute ténacité. Dans un mode de réalisation de la présente invention, l'étape de revenu est divisée en deux étapes : une étape de pré-revenu antérieure à une opération de soudage, et un traitement thermique final d'un élément de structure soudé. Dans le cadre de la présente invention, un soudage par friction-malaxage est une technique de soudage préférée.

[0045] Les tôles selon l'invention ont des propriétés avantageuses pour des microstructures recristallisées, non recristallisées ou mixtes (c'est à dire comprenant des zones recristallisées et des zones non recristallisées). Dans certains cas, les inventeurs ont observé qu'il pouvait être avantageux d'éviter les microstructures mixtes : pour les tôles dont l'épaisseur est comprise entre 4 et 12 mm, il peut être avantageux que la microstructure soit complètement non recristallisée.

[0046] Les caractéristiques des tôles obtenues selon l'invention sont à l'état T8 :

- La limite d'élasticité conventionnelle $R_{p0,2}$ dans le sens L est de préférence d'au moins 440 MPa, préférentiellement d'au moins 450 MPa ou même d'au moins 460 MPa.
- La résistance à la rupture R_m dans le sens L est de préférence d'au moins 470 MPa préférentiellement d'au moins 480 MPa ou même d'au moins 490 MPa.
- Les propriétés de ténacité utilisant des éprouvettes CCT760 (avec $2a_0 = 253$ mm) sont telles que :

K_{app} dans la direction T-L est de préférence d'au moins $110 \text{ MPa} \sqrt{m}$ et préférentiellement d'au moins 130

$\text{MPa} \sqrt{m}$ ou même d'au moins $140 \text{ MPa} \sqrt{m}$;

K_{app} dans la direction L-T est d'au moins $150 \text{ MPa} \sqrt{m}$ et préférentiellement d'au moins $170 \text{ MPa} \sqrt{m}$;

K_{eff} dans la direction T-L est d'au moins $130 \text{ MPa} \sqrt{m}$ et préférentiellement d'au moins $150 \text{ MPa} \sqrt{m}$;

K_{eff} dans la direction L-T est d'au moins $170 \text{ MPa} \sqrt{m}$ ou même d'au moins $190 \text{ MPa} \sqrt{m}$ et préférentiellement

d'au moins 230 MPa $\sqrt{m}$;

$\Delta a_{eff(max)}$, l'extension de fissure du dernier point valide de la courbe R dans la direction T-L est de préférence d'au moins 30 mm et préférentiellement d'au moins 40 mm ;

5 $\Delta a_{eff(max)}$, l'extension de fissure du dernier point valide de la courbe R dans la direction L-T, est de préférence d'au moins 50 mm.

[0047] La mise en forme de la tôle de l'invention peut avantageusement être effectuée par emboutissage profond, étirage, fluotournage, roulage ou pliage, ces techniques étant connues de l'homme du métier.

10 **[0048]** Dans l'assemblage de pièces structurales, toutes les techniques connues et possibles de rivetage et de soudage appropriées pour des alliages en aluminium peuvent être utilisées, si souhaité. Ladite tôle peut être fixée à des raidisseurs ou des cadres, par exemple par rivetage ou soudage. Les inventeurs ont trouvé que si le soudage est choisi, il peut être préférable d'utiliser des techniques de soudage à basse température, qui aident à assurer que la zone affectée thermiquement soit aussi faible que possible. A cet égard, le soudage au laser et le soudage par friction-malaxage donnent
15 souvent des résultats particulièrement satisfaisants. Dans le cadre de l'invention, le soudage par friction-malaxage est la méthode de soudage préférée. Les joints soudés de tôles selon l'invention obtenus avantageusement par soudage par friction-malaxage ont un coefficient d'efficacité du joint supérieur à 70% et de préférence supérieur à 75%. Ce résultat avantageux est obtenu que le revenu soit pratiqué avant ou après l'opération de soudage.

[0049] Un élément de structure, formé d'au moins un produit selon l'invention, en particulier d'une tôle selon l'invention et de raidisseurs ou de cadres, ces raidisseurs ou cadres étant de préférence constitués de profilés extrudés, peut être
20 utilisé en particulier pour la fabrication de panneaux de fuselage d'aéronefs de même que toute autre utilisation où les présentes propriétés pourraient être avantageuses.

[0050] Selon l'invention, des éléments de structures, des raidisseurs, et/ou des panneaux de fuselage, peuvent être fabriqués à partir des produits laminés, extrudés, et/ou forgés obtenus. Les inventeurs ont trouvé que la tôle de l'invention
25 a des propriétés mécaniques statiques particulièrement favorables et une haute ténacité. Pour des produits connus, les tôles à haute ténacité ont généralement de faibles limites d'élasticité et résistance à la rupture. Pour la tôle de l'invention, les propriétés mécaniques élevées favorisent une application industrielle pour des parties structurales d'aéronef, la limite d'élasticité et la résistance à la rupture de ladite tôle étant des caractéristiques qui sont directement prises en compte pour le calcul du dimensionnement structural. Des calculs d'éléments de structure et en particulier de panneaux
30 de fuselage comprenant des tôles et/ou des raidisseurs selon l'invention ont montré une possibilité de réduction de poids par rapport à des éléments de structure de propriétés comparables ne comprenant que des tôles de l'art antérieur en alliage 2024, 2056, 2098, 7475 ou 6156. De telles réductions de poids sont en général de 1 à 10 % et, dans certains cas, des réductions de poids même supérieures peuvent être atteintes.

[0051] A titre d'exemple, dans une pièce de forme et dimensions données, la simple substitution de l'alliage 2024 par
35 un alliage selon l'invention, sans redimensionner l'élément de structure en fonction de l'amélioration des caractéristiques mécaniques, peut permettre une réduction de poids de l'ordre de 3 à 3,5%.

[0052] Les caractéristiques mécaniques élevées des alliages selon l'invention permettent de développer des produits d'une dimension et forme plus légère encore ce qui permet d'atteindre ou même de dépasser une réduction de poids de 10%.

40 **[0053]** La tôle de l'invention n'induit généralement aucun problème particulier pendant des opérations ultérieures de traitement de surface classiquement utilisées en construction aéronautique..

[0054] La résistance à la corrosion intergranulaire de la tôle de l'invention est généralement élevée ; à titre d'exemple, on ne détecte en général que des piqûres lorsque le métal est soumis à un essai de corrosion. Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, la tôle de l'invention peut être utilisée sans placage.

45 **[0055]** Ces aspects, ainsi que d'autres de l'invention sont expliqués plus en détail à l'aide de l'exemple illustratif et non limitant suivant.

Exemples

50 Exemple 1

[0056] En relation avec la présente invention, plusieurs matériaux connus sont présentés à des fins de comparaison (références A à E). Ils comprennent, respectivement, les alliages 2024, 2056, 7475, 6156 et 2098. Les exemples de l'invention sont marqués F à I. La composition chimique des divers alliages testés est fournie dans le tableau 2.

55

EP 2 017 361 A1

Tableau 2 :

Composition chimique (% en poids)											
coulée	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr	Li	Ag	Ti
A (2024)	0,12	0,15	4,2	0,5	1,4	0,05	0,2	0,02	-	-	0,02
B (2056)	0,06	0,09	4,0	0,4	1,3	-	0,6	-	-	-	0,02
C (7475)	0,04	0,07	1,6	0,01	2,2	0,2	5,8	0,02	-	-	0,02
D (6156)	0,78	0,07	0,9	0,45	0,75		0,14	0,02	-	-	0,02
E (2098)	0,03	0,04	3,6	0,01	0,32			0,14	1,00	0,33	0,02
F	0,02	0,04	3,3	0,01	0,31			0,12	0,96	0,32	0,02
G	0,05	0,06	3,2	0,01	0,31			0,11	0,93	0,32	0,03
H	0,05	0,06	3,3	0,02	0,31		0,06	0,11	0,96	0,34	0,02
I	0,05	0,06	3,2	0,01	0,31			0,11	0,94	0,33	0,03
J	0,03	0,04	3,2	-	0,31	-	-	0,11	0,98	0,33	0,02
K	0,03	0,04	3,3	0,00	0,31	-	-	0,11	0,97	0,34	0,03

[0057] La masse volumique des différents alliages testés est présentée dans le tableau 3. Les échantillons F à I présentent la plus faible masse volumique des différents matériaux testés.

Tableau 3 :

Masse volumique des alliages testés	
Référence	Masse volumique (g/cm ³)
A (2024)	2,78
B (2056)	2,78
C (7475)	2,81
D (6156)	2,72
E (2098)	2,70
F, G, H, I, J, K	2, 69

[0058] Le procédé utilisé pour la fabrication des échantillons de référence A à D est le procédé industriel classique, ces échantillons de référence ont été plaqués. Les états métallurgiques finaux pour A, B, C et D étaient, respectivement, T3, T3, T76 et T6 selon la norme EN573. Le procédé utilisé pour fabriquer les échantillons E et F est présenté dans le tableau 4. Dans certains cas, une étape de planage a été effectuée entre la tempe et la traction contrôlée. A des fins de comparaison, les échantillons E n'ont pas été transformés avec leurs conditions les plus habituelles, qui comprennent une opération de traction contrôlée avec un allongement entre 5 et 10 %. L'échantillon E#3 a subi un traitement de recuit avant mise en solution à des fins d'amélioration de la ténacité. Le procédé particulier réalisé pour l'échantillon E#3, incluant une étape supplémentaire, ne serait pas favorable pour une application industrielle en raison de l'augmentation de coût liée à cette étape. Pour les autres échantillons réalisés avec l'alliage E, aucune étape de recuit n'a été réalisée.

Tableau 4 :

Conditions des étapes consécutives de transformation			
	Référence E	Références F et K	Références G, H, I et J
Etat	T8	T8	T8
Détente des plaques	Oui	Oui	Oui
Homogénéisation	8 h à 500 °C + 36 h à 526 °C	8 h à 500 °C + 36 h à 526 °C	12h à 505 °C

EP 2 017 361 A1

(suite)

Conditions des étapes consécutives de transformation			
	Référence E	Références F et K	Références G, H, I et J
5	Préchauffage avant laminage à chaud	20 h à 520 °C	20 h à 520 °C
	Laminage à chaud	Epaisseur > 4 mm	Epaisseur > 4 mm
10	Laminage à froid	Epaisseur < 4 mm	Epaisseur < 4 mm
	Mise en solution	2h à 521 °C	1h à 517 °C
	Trempe	Eau froide	Eau froide
15	Traction contrôlée	1 à 5 % de déformation permanente	1 à 5 % de déformation permanente
	Revenu	14h à 155 °C	14 h à 155 °C

[0059] Pour les références G, H, I et J, la sélection précise de composition autorise une dissolution complète tout en restant à une température de mise en solution significativement inférieure au solidus.

[0060] Après revenu, on a coupé les échantillons aux dimensions souhaitées. Le tableau 5 fournit la référence des différents échantillons et de leurs dimensions.

Tableau 5 :

Dimensions finales des échantillons			
Echantillon	Epaisseur [mm]	Largeur [mm]	Longueur [mm]
A	6,0	2 000	3 000
B	6,0	2 000	3 000
C	6,3	1 900	4 000
D	4,6	2 500	4 500
E#1	2,0	1 000	2 500
E#2	3,2	1 000	2 500
E#3	4,5	1 250	2 500
E#31	4,5	1 250	2 500
E#4	6,7	1 250	2 500
F#1	3,0	1 000	2 500
F#2	5,0	1 250	2 500
F#3	6,7	1 250	2 500
G#1	3,8	2 450	9 600
H#1	5,0	2 450	9 600
I#1	5,0	1 500	3 000
K#1	2,0	1 000	2 500

[0061] Les échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques de même que leur ténacité. La limite d'élasticité $R_{p0,2}$, la résistance à la rupture R_m , et l'allongement à la rupture (A) sont fournis dans le tableau 6.

EP 2 017 361 A1

Tableau 6 :

Propriétés mécaniques des échantillons							
		Sens L			Sens LT		
Echantillon	Epaisseur	Rm(MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)	Rm (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)
A	6,0	454	367	19,0	448	323	19,3
B	6,0	460	367	20,0	450	325	21,0
C	6,3	510	450	14,0	506	460	11,5
D	4,6	374	356	12,0	375	339	12,0
E#1	2,0	532	514	9,9	538	490	10,6
E#3	4,5	586	570	11,0	568	543	12,0
E#31	4,5	571	539	10,2	565	522	11,3
E#4	6,7	560	540	12,0	557	531	11,7
F#1	3,0	490	469	13,0	512	467	12,5
F#2	5,0	498	470	12,2	502	453	11,1
F#3	6,7	514	481	12,2	509	468	11,6
G#1	3,8	507	470	11,3	494	447	13,8
H#1	5,0	517	478	11,9	488	444	14,7
I#1	5,0	493	458	8,7	483	431	11,0
K#1	2,0	508	481	12,6	496	439	13,0

[0062] Les propriétés mécaniques statiques des échantillons selon l'invention sont très élevées comparés à l'alliage classique de la gamme 2XXX tolérant aux dommages, et du même ordre de grandeur que l'échantillon 7475 T76 référencé C. La résistance mécanique des échantillons selon l'invention est légèrement inférieure à la résistance mécanique de l'alliage de référence E. Les inventeurs considèrent que la teneur en cuivre inférieure et la teneur en zirconium inférieure des échantillons selon l'invention influencent légèrement leur résistance mécanique.

[0063] Les courbes R de certains échantillons selon l'invention et des échantillons E de référence sont fournies sur les figures 1 et 2, pour les directions T-L et L-T, respectivement. La figure 1 montre clairement que l'extension de fissure du dernier point valide de la courbe R ($\Delta a_{eff(max)}$) est beaucoup plus grande pour les échantillons de l'invention que pour l'échantillon E#1, E#3, E#31 et E#4. Ce paramètre est au moins aussi critique que les valeurs K_{app} du fait que, comme expliqué dans la description de l'art antérieur, la longueur de la courbe R est un paramètre important pour la conception du fuselage. La figure 2 montre la même tendance, bien que la direction L-T donne intrinsèquement un meilleur résultat. La courbe R de l'échantillon F#3 n'a pas pu être mesurée dans la direction L-T car la charge maximale de la machine a été atteinte. Le tableau 7 résume les résultats des essais de ténacité. Pour les tôles selon l'invention,

la valeur de K_{app} dans le sens T-L est supérieure à 110 MPa $\sqrt{m}$ et même supérieure à 130 MPa $\sqrt{m}$ tandis que pour les échantillons E en alliage 2098 de référence la valeur de K_{app} dans le sens T-L est inférieure à 110 MPa $\sqrt{m}$ à part pour l'échantillon E#3 qui a subi une étape spéciale de recuit avant mise en solution.

Tableau 7 :

Résultats des essais de ténacité					
		T-L (éprouvette de largeur 760 mm)		L-T (éprouvette de largeur 760 mm)	
Echantillon	Epaisseur [mm]	K_{app} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{eff} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{app} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{eff} (MPa $\sqrt{m}$)
A	6,0	114	160	130	180
B	6,0	140	220	150	236

EP 2 017 361 A1

(suite)

Résultats des essais de ténacité					
		T-L (éprouvette de largeur 760 mm)		L-T (éprouvette de largeur 760 mm)	
Echantillon	Epaisseur [mm]	K_{app} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{eff} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{app} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{eff} (MPa $\sqrt{m}$)
C	6,3	110	135	150	206
D	4,6	125	178	147	214
E#1	2,0	95	108	114	131
E#2	3,1	104	114	160	200
E#3	4,5	154	174	148	188
E#31	4,5	106	126	143	162
E#4	6,7	103	112	123	143
F#2	5,0	141	171	179	237
F#3	6,7	140	171	155	172
G#1	3,8	162	227	164	213
H#1	5,0	175	277	154	191
I#1	5,0	150	192		
K#1	2,0	140	182	158	213

[0064] Les résultats issus de la courbe R sont regroupés dans le tableau 8. L'extension de fissure du dernier point valide de la courbe R est supérieure pour les échantillons de l'invention que pour les échantillons de référence. Ainsi, dans le sens T-L, tous les échantillons selon l'invention atteignent une extension de fissure d'au moins 30 mm et même d'au moins 40 mm tandis que l'extension maximale de fissure est inférieure à 40 mm pour les échantillons de référence. Les inventeurs considèrent que plusieurs raisons peuvent être proposées pour expliquer cette performance, comme la plus faible teneur en Cu, et/ou la plus faible teneur en Zr.

Tableau 8 :

Données de résumé de la courbe R									
Δa [mm]		10	20	30	40	50	60	70	80
K_r (Direction T- L) (MPa $\sqrt{m}$)	E#1	86	106						
	E#3	125	161	-	-	-			
	E#31	97	112	123					
	E#4	96							
	F#2	113	141	159	170	178			
	F#3	104	136	156	168				
	G#1	115	146	167	184	198	210	221	230
	H#1	106	140	166	188	207	225	241	256
	I#1	122	147	164	177	188	198		
	K#1	113	139	156	168	178	186	192	198

EP 2 017 361 A1

(suite)

Données de résumé de la courbe R									
Δa [mm]		10	20	30	40	50	60	70	80
K_r (Direction L- T) (MPa= $\sqrt{m}$)	E#1	96	120						
	E#3	115	141	159	174	185			
	E#31	123	152						
	E#4	102	128	140					
	F#2	122	159	185	206	225			
	G#1	123	153	173	189	203	214	224	233
	H#1	124	150	168	182	193	203	212	220
	K#1	115	149	171	188	201	212	221	228

[0065] Les figures 3 et 4 montrent l'évolution de la vitesse de fissuration da/dN (en mm/cycle) dans l'orientation T-L et L-T, respectivement, pour différents niveaux de facteur d'intensité de contrainte (ΔK). La largeur de l'échantillon était de 400 mm (éprouvette CCT 400) et $R = 0,1$. On n'observe pas de différence majeure entre les échantillons E et F. La vitesse de fissuration de l'échantillon F est dans la même gamme que dans celle typiquement obtenue pour l'alliage 2056 (Echantillon B) et inférieure à celle obtenue pour l'alliage 6156 (Echantillon D).

[0066] La résistance à la corrosion intergranulaire a été testée selon la norme ASTM G110. Pour tous les échantillons selon l'invention, on n'a détecté aucune corrosion intergranulaire. Aucune corrosion intergranulaire n'a non plus été détectée sur les échantillons en alliage 2098 de référence (E#1 à E#4). Pour l'échantillon B (pour lequel on avait enlevé le placage), on a observé une corrosion intergranulaire avec une profondeur moyenne de 120 μm et pour l'échantillon D (pour lequel on avait enlevé le placage), on a observé une corrosion intergranulaire avec une profondeur moyenne de 180 μm . La résistance à la corrosion intergranulaire était ainsi très élevée pour les échantillons selon l'invention.

Exemple 2

[0067] Dans cet exemple, l'influence du taux de déformation par traction a été étudié sur des échantillons à l'échelle du laboratoire. Six échantillons provenant de la coulée H et transformés en tôles d'épaisseur 5 mm selon les conditions décrites dans le tableau 4 ont été déformés par traction contrôlée avec un taux de déformation permanente compris entre 1 et 6% puis ont subi un revenu de 18h à 155 °C. Les échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques de même que leur ténacité. La limite d'élasticité $R_{p0,2}$, la résistance à la rupture R_m , et l'allongement à la rupture (A) sont fournis dans le tableau 9.

Tableau 9 :

Propriétés mécaniques des échantillons laboratoire ayant différents taux de déformation permanente							
		Sens L			Sens LT		
Echantillon	Taux de déformation permanente (%)	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)
H#11	1	495	436	11,2	469	411	15,1
H#12	2	515	469	11,1	489	444	13,5
H#13	3	529	493	10,5	501	464	13,8
H#14	4	534	501	10,8	501	465	14,2
H#15	5	542	514	10,8	511	481	13,8
H#16	6	550	524	10,4	516	485	13,9

[0068] Les caractéristiques mécaniques statiques augmentent avec le taux de déformation permanente lors de la traction contrôlée. L'essentiel de l'augmentation est atteint pour un taux de déformation permanente de 3%. Ainsi,

EP 2 017 361 A1

l'augmentation de $R_m(L)$ est de 7% pour une augmentation du taux de déformation permanente de 1 à 3% tandis qu'elle est seulement de 3% pour une augmentation de 4 à 6%. La ténacité a été évaluée par la méthode dite du Kahn test, les résultats sont donnés dans le Tableau 10.

Tableau 10 :

Résultats du Kahn test effectué sur les échantillons laboratoire ayant différents taux de déformation permanente		
		Kahn test
Echantillon	Taux de déformation permanente (%)	E_g (J)
H#11	1	30,5
H#12	2	29,2
H#13	3	27,8
H#14	4	25,1
H#15	5	25,0
H#16	6	20,6

[0069] La relation entre l'énergie globale à rupture E_g et la ténacité est directe bien que les valeurs de E_g ne puissent pas être utilisées pour prédire les résultats de la courbe R d'échantillons larges en raison des géométries différentes des tests. On peut remarquer que E_g diminue lentement jusqu'à une déformation permanente de 5% et diminue de façon plus brutale pour une déformation permanente de 6%.

Exemple 3

[0070] Dans cet exemple, l'influence du taux de déformation permanente obtenu par traction contrôlée a été étudiée sur des échantillons industriels. Deux échantillons issus de la coulée J et transformés en tôles d'épaisseur 5 mm selon les conditions indiquées dans le Tableau 4 ont été planés et ont subi une traction contrôlée avec un taux de déformation permanente de 1,8% et 3,4%. Les échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques de même que leur ténacité. La limite d'élasticité $R_{p0,2}$, la résistance à la rupture R_m , et l'allongement à la rupture (A) sont fournis dans le tableau 11.

Tableau 11 :

Propriétés mécaniques des échantillons industriels ayant différents taux de déformation permanente							
		Sens L			Sens LT		
Echantillon	Taux de déformation permanente	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)
J#11	1,8	510,0	465,0	13,1	494,7	444,3	14,5
J#12	3,4	534,0	499,0	10,7	515,0	475,0	13,7

[0071] Les courbes R obtenues pour les deux échantillons dans la direction T-L sont présentées sur la figure 5. Le tableau 12 résume les résultats des courbes R. L'échantillon ayant subi une déformation permanente de 1,8% présente une résistance mécanique plus faible que celle de l'échantillon ayant subi une déformation permanente de 3,4%. Par ailleurs, une ténacité très élevée a été observée pour les deux échantillons.

EP 2 017 361 A1

Tableau 12 :

Résultats des essais de ténacité effectués sur les échantillons industriels ayant différents taux de déformation permanente.											
Echantillon	Taux de déformation permanente (%)	T-L (760 mm wide specimen)									
		K _{app} (MPa√m)	K _{eff} (MPa√m)	K _r (MPa√m)							
				Δa [mm]							
				10	20	30	40	50	60	70	80
J#11	1,8	140	220	118	152	177	198	216	232	246	260
J#12	3,4	179	259	135	160	181	199	217	234	250	263

Exemple 4

[0072] Dans cet exemple, la résistance mécanique de joints soudés entre des tôles de l'invention ou entre des tôles de référence a été évaluée. Des tôles d'épaisseur 3,2 mm provenant des coulées D (6156), E et I ont été soudées par soudage par friction-malaxage. Le soudage a été effectué sur une machine MTS ISTIR®. Les paramètres de soudage ont été choisis sur la base d'essais effectués lors d'une étude préliminaire. La sélection des paramètres a été effectuée en fonction des résultats d'observations microstructurales et de tests de pliage. Pour les tôles provenant des coulées E et I, les assemblages ont été effectués avec une vitesse de rotation de l'outil de 800 tpm (tours par minute) et une vitesse de soudage de 300 mm/min. Pour des tôles provenant de la coulée D, les assemblages ont été effectués avec une vitesse de rotation de l'outil de 510 tpm (tours par minute) et une vitesse de soudage de 900 mm/min.

[0073] Le revenu a été effectué soit avant soit après l'assemblage par soudage par friction-malaxage. Les résultats sont donnés dans le tableau 13. La performance des joints soudés obtenus avec les tôles selon l'invention a été particulièrement satisfaisante pour deux aspects. Premièrement, le coefficient d'efficacité du joint, qui est le rapport entre la résistance à la rupture du joint soudé et celle de la tôle non soudée, est supérieur à 70% et même supérieur à 75% pour les tôles de l'invention. Ce coefficient atteint même 80% dans certains cas. Ce résultat est meilleur que celui obtenu avec des tôles provenant de la coulée E. Deuxièmement, les résultats sont peu influencés par la position de l'étape de revenu (avant ou après soudage), ce qui permet un procédé flexible. Au contraire, pour les tôles obtenues à partir de la coulée D(6156), on observe une influence importante de la position de l'étape de revenu.

Tableau 13 :

Propriétés mécaniques des joints soudés						
Coulée	Position de l'étape de revenu	Mechanical strength of the joint			R _m de référence pour les tôles non soudées (MPa)	Coefficient d'efficacité du joint (%)
		R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)		
D	Avant soudage	264	200	2,8	372	71
D	Après soudage	318	292	1,8	372	86
E	Avant soudage	386	269	4,9	543	71
E	Après soudage	413	309	5,6	543	76
F	Avant soudage	385	309	5,2	483	80
F	Après soudage	377	279	5,9	483	78

Exemple 5

[0074] Dans cet exemple l'influence de la teneur en Zr et Mn sur les caractéristiques mécaniques statiques et la ténacité a été évaluée.

[0075] Deux alliages ont été coulés et transformés en tôles d'épaisseur 6 mm selon les conditions indiquées pour les échantillons G, H et I du tableau 4. Les compositions de ces alliages sont données dans le tableau 14.

EP 2 017 361 A1

Tableau 14 :

Composition chimique (% en poids) des alliages contenant du Mn									
Référence de coulée	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zr	Li	Ag	Ti
L	0,03	0,05	3,3	0,31	0,32	0,05	0,99	0,32	0,02
M	0,03	0,05	3,3	0,30	0,33	0,11	0,98	0,35	0,02

[0076] Les échantillons ont été testés pour déterminer leurs propriétés mécaniques statiques de même que leur ténacité. La limite d'élasticité $R_{p0,2}$, la résistance à la rupture R_m , et l'allongement à la rupture (A) sont fournis dans le tableau 15 et les résultats des essais de ténacité dans le tableau 16.

Tableau 15 :

Propriétés mécaniques des échantillons provenant d'alliages contenant du Mn							
		Sens L			Sens LT		
Echantillon	Epaisseur	(MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)	R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)
L	6,0	479	447	13,5	477	419	7,8
M	6,0	494	464	13,7	493	448	13,1

Tableau 16 :

Résultats des essais de ténacité pour les alliages contenant du Mn											
Echantillon	Epaisseur (mm)	T-L (760 mm wide specimen)									
		K_{app} (MPa $\sqrt{m}$)	K_{eff} (MPa $\sqrt{m}$)	K_r (MPa $\sqrt{m}$)							
				Δa [mm]							
				10	20	30	40	50	60	70	80
L	6,0	140	174	111	137	155	168	178	187	194	200
M	6,0	158	198	123	152	171	186	199	209	219	227

[0077] Les échantillons L et M atteignent les caractéristiques mécaniques selon l'invention à l'état T8. Par ailleurs, les performances en résistance mécanique statique et en ténacité sont plus faibles pour l'échantillon L, qui contient du Mn et une faible teneur en Zr, que pour les autres exemples selon l'invention. Les inventeurs pensent que la plus faible performance de l'échantillon L est liée à une microstructure moins favorable caractérisée en particulier par la présence de zones recristallisées et de zones non recristallisées (microstructure mixte).

Revendications

1. Tôle en alliage en aluminium 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 de 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 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

$$Cu \text{ (\% en poids)} + 5/3 Li \text{ (\% en poids)} < 5,2,$$

et dont la microstructure est recristallisée ou non recristallisée mais n'est pas mixte c'est-à-dire que la microstructure ne comprend pas des zones recristallisées et des zones non recristallisées.

2. Tôle selon la revendication 1, ayant une épaisseur comprise entre 0,8 et 12 mm et de préférence entre 2 et 12 mm.
3. Tôle selon la revendication 1 ou la revendication 2 dont l'épaisseur est comprise entre 4 et 12 mm, est dont la microstructure est complètement non recristallisée.

4. Tôle selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans laquelle la teneur en Cu est supérieure à 3,0 % en poids, la teneur en Li est inférieure à 1,2% en poids, la teneur en Ag est comprise entre 0,2 et 0,5% en poids, la teneur en Zr, s'il est choisi, est supérieure à 0,09% en poids, et dans lequel la quantité de Cu et de Li soit telle que

$$\text{Cu (\% en poids)} + 5/3 \text{ Li (\% en poids)} < 5,0.$$

5. Tôle selon une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'à l'état T8** :

(a) sa limite d'élasticité conventionnelle mesurée à 0,2% d'allongement dans le sens L est d'au moins 440 MPa, et

(b) sa ténacité K_{app} , mesurée sur des éprouvettes de type CCT760 (avec $2a_0 = 253$ mm), est d'au moins 110 MPa $\sqrt{m}$ dans le sens T-L, et

(c) son extension de fissure $\Delta a_{eff(max)}$ du dernier point valide de la courbe R dans la direction T-L est d'au moins 30 mm.

6. Tôle selon une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'à l'état T8**:

(a) sa limite d'élasticité conventionnelle testée à 0,2% d'allongement dans le sens L est d'au moins 460 MPa, et

(b) sa ténacité K_{app} , mesurée sur des éprouvettes de type CCT760 (avec $2a_0 = 253$ mm), est d'au moins 130 MPa $\sqrt{m}$ dans le sens T-L, et

(c) son extension de fissure $\Delta a_{eff(max)}$ du dernier point valide de la courbe R dans la direction T-L est d'au moins 40 mm.

7. Élément de structure incorporant au moins une tôle selon une quelconque des revendications 1 à 6 ou fabriqué à partir d'un tel produit.

8. Élément de structure selon la revendication 7 **caractérisé en ce qu'il** s'agit d'un panneau de fuselage d'aéronef.

9. Élément de structure selon une quelconque des revendications 7 à 8 comprenant une construction soudée dans laquelle le coefficient d'efficacité du joint est supérieur à 70%.

10. Élément de structure selon la revendication 9 dans lequel ladite construction soudée est soudée par soudage par friction-malaxage.

11. Panneau de fuselage selon la revendication 8, dont le poids est de 1 à 10 % inférieur au poids d'un panneau de fuselage de propriété comparable dont les tôles sont dans un alliage sélectionné dans le groupe formé par les alliages 2024, 2056, 2098, 7475 et 6156.

12. Élément de structure selon la revendication 7, dont le poids est de 1 à 10 % inférieur au poids d'un élément de structure de propriété comparable dont les tôles sont dans un alliage sélectionné dans le groupe formé par les alliages 2024, 2056, 2098, 7475 et 6156.

Figure 1

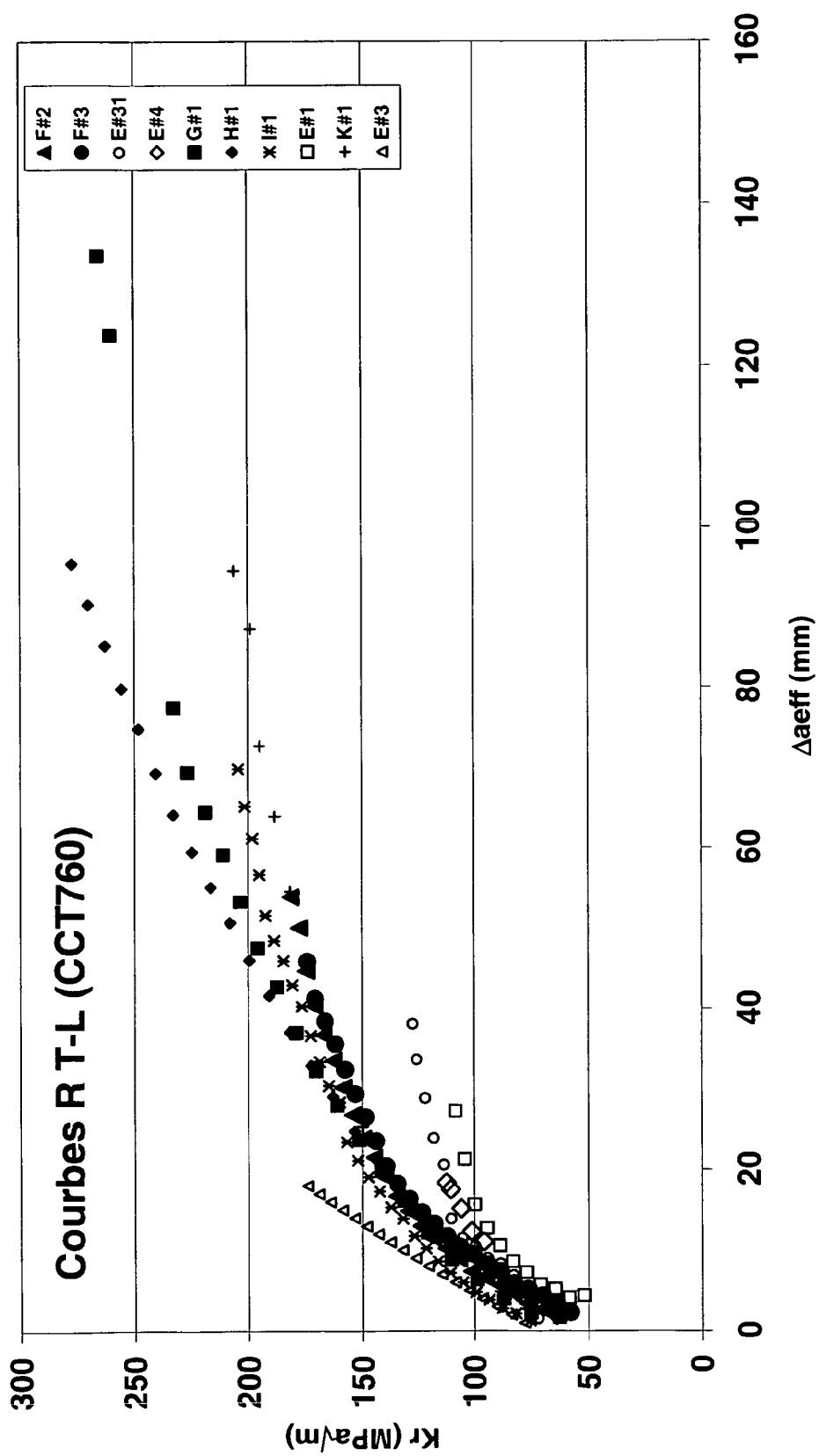


Figure 2

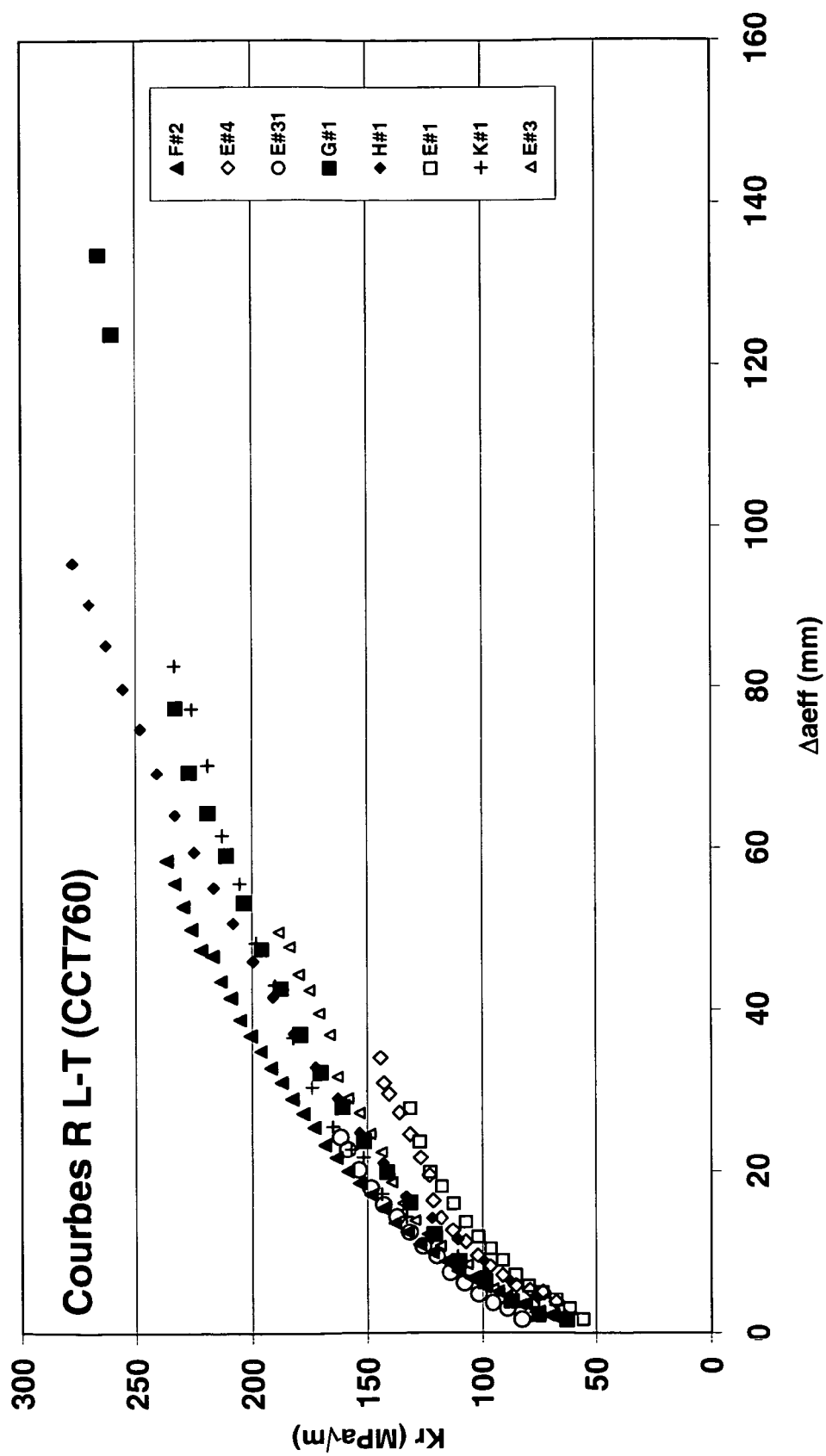


Figure 3

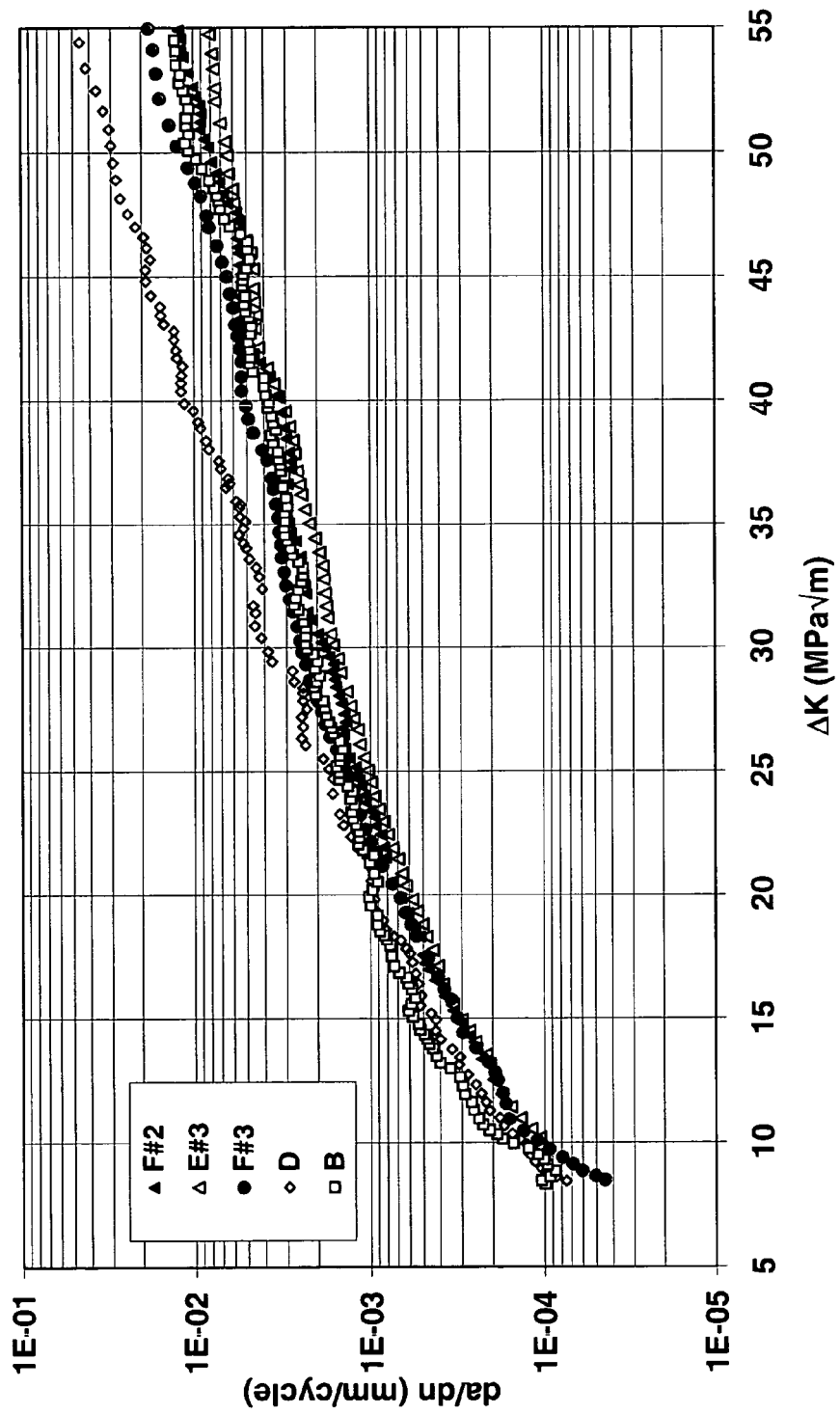


Figure 4

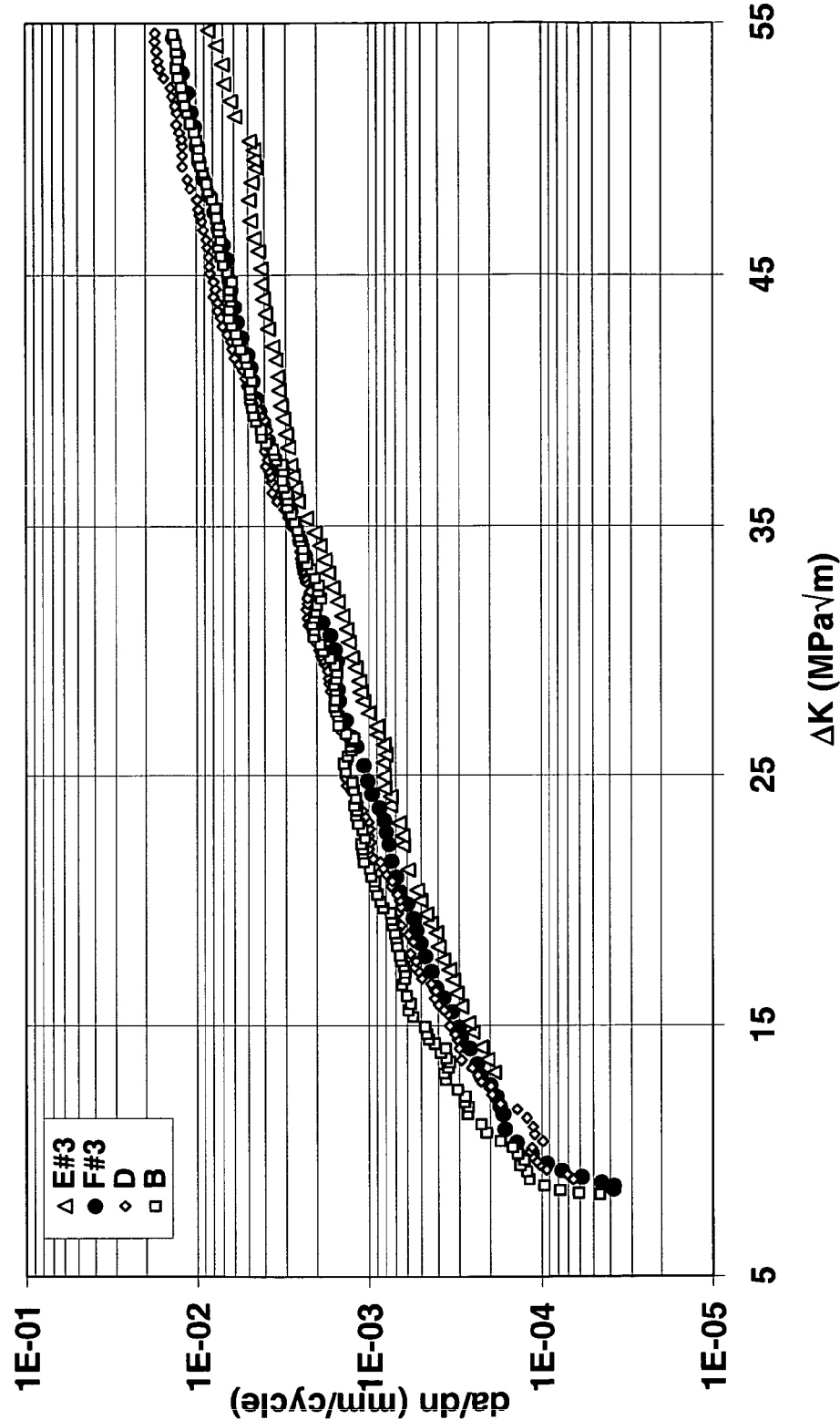
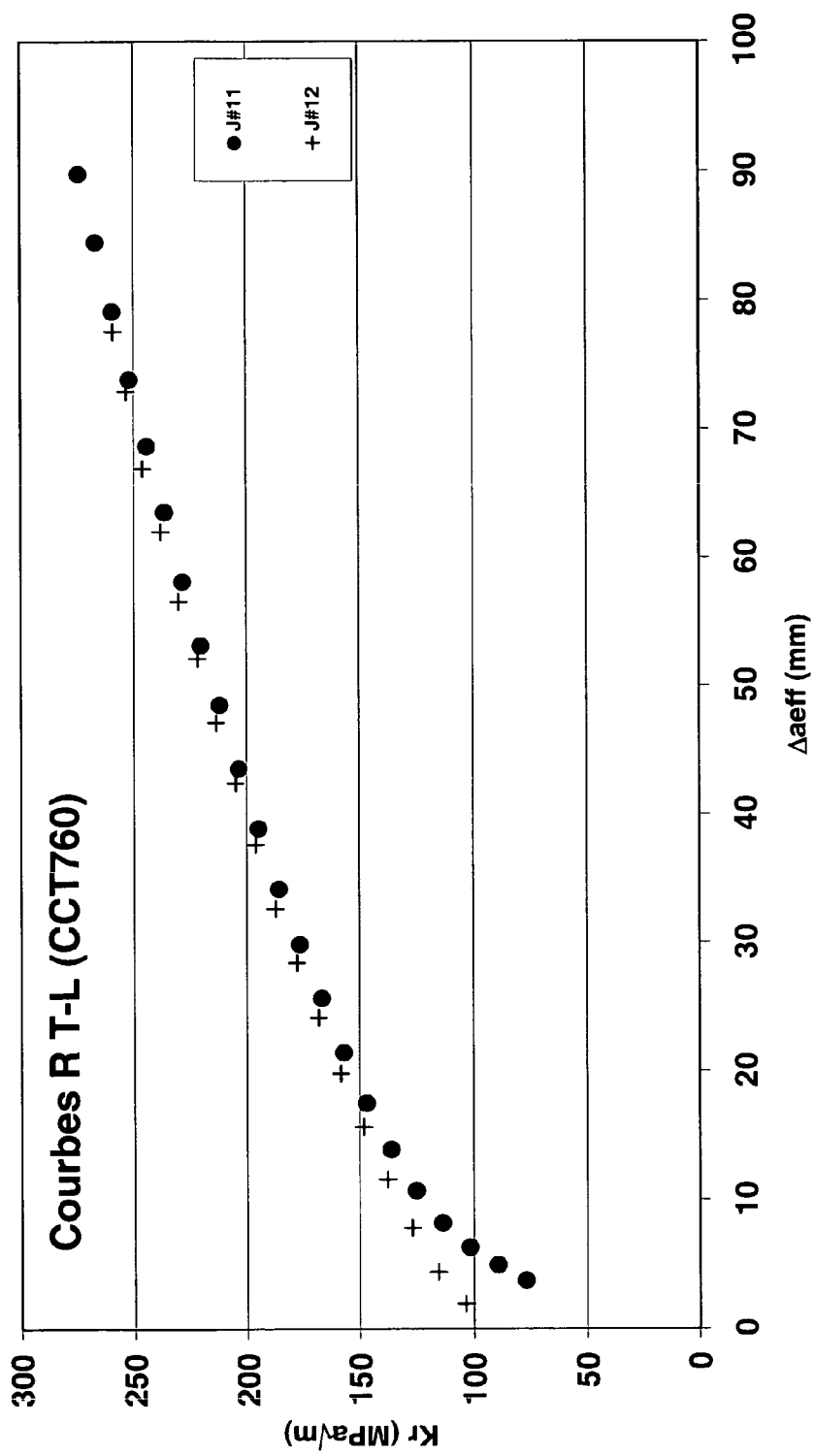


Figure 5




**RAPPORT PARTIEL
DE RECHERCHE EUROPEENNE**

qui selon la règle 63 de la Convention sur le brevet
européen est considéré, aux fins de la procédure ultérieure,
comme le rapport de la recherche européenne

Numéro de la demande

EP 08 01 8130

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X,D	US 5 389 165 A (CHO ET AL) 14 février 1995 (1995-02-14) * colonne 4, ligne 46 - colonne 5, ligne 49 * * colonne 9; tableau 1 * * colonne 10, ligne 19 - colonne 11, ligne 15 * * revendications *	1-3,5-10	INV. C22C21/12 C22F1/057 B64C1/00
A	-----	4	
X	US 5 198 045 A (CHO ET AL) 30 mars 1993 (1993-03-30) * colonne 3, ligne 42 - colonne 4, ligne 34 * * colonne 9; tableau 1 * * colonne 9, ligne 57 - colonne 10, ligne 50 * * revendications *	1-3,5-10	
A	----- -/--	4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			C22C C22F B64C
RECHERCHE INCOMPLETE			
La division de la recherche estime que la présente demande de brevet, ou une ou plusieurs revendications, ne sont pas conformes aux dispositions de la CBE au point qu'une recherche significative sur l'état de la technique ne peut être effectuée, ou seulement partiellement, au regard de ces revendications. Revendications ayant fait l'objet d'une recherche complète: Revendications ayant fait l'objet d'une recherche incomplète: Revendications n'ayant pas fait l'objet d'une recherche: Raison pour la limitation de la recherche: voir feuille supplémentaire C			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		5 décembre 2008	Patton, Guy
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

5

EPO FORM 1503 03.82 (P04E08)


**RAPPORT PARTIEL
DE RECHERCHE EUROPEENNE**

Numero de la demande

EP 08 01 8130

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	WO 92/20830 A (REYNOLDS METALS COMPANY; MARTIN MARIETTA CORPORATION) 26 novembre 1992 (1992-11-26) * page 6, ligne 21 - page 8, ligne 11 * * page 17; tableau 1 * * page 19, ligne 14 - page 21, ligne 23 * * revendications *	1-3,5-10	
A	----- 4		
X	WO 93/23584 A (REYNOLDS METALS COMPANY) 25 novembre 1993 (1993-11-25) * page 7, ligne 13 - page 9, ligne 5 * * page 15; tableau 1 * * page 17, ligne 1 - page 18, ligne 23 * * revendications *	1-3,5-10	
A	----- 4		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A,D	US 5 455 003 A (PICKENS ET AL) 3 octobre 1995 (1995-10-03) * le document en entier *	1-10	
A	----- WO 2004/106570 A (PECHINEY ROLLED PRODUCTS; CHO, ALEX) 9 décembre 2004 (2004-12-09) * le document en entier *	1-10	
A	----- DATABASE WPI Thomson Scientific, London, GB; AN 2004-755565 XP002386374 -& RU 2 237 098 C (AVIATION MATERIALS RES INST) 27 septembre 2004 (2004-09-27) * abrégé * * page 5; tableau 1 *	1-10	
A,D	----- US 2004/071586 A1 (RIOJA ROBERTO J ET AL) 15 avril 2004 (2004-04-15) * le document en entier *	1-10	
	----- -/--		



RAPPORT PARTIEL DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 08 01 8130

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	WO 89/01531 A (MARTIN MARIETTA CORPORATION) 23 février 1989 (1989-02-23) * le document en entier * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)



**RECHERCHE INCOMPLETE
FEUILLE SUPPLEMENTAIRE C**

Numéro de la demande

EP 08 01 8130

Revendications n'ayant pas fait l'objet de recherches:
11-12

Raison pour la limitation de la recherche:

Les caractéristiques de poids définies aux revendications 11 et 12 se réfèrent à des produits de "propriété comparable", c'est-à-dire à des produits dont les propriétés ne sont pas spécifiées, pour les définir. Par conséquent, les revendications 11 et 12 ne sont pas claires (Art. 84 CBE) et aucune recherche ne peut être effectuée pour ces revendications.

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 01 8130

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

05-12-2008

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5389165 A	14-02-1995	DE 69212602 D1	05-09-1996
		DE 69212602 T2	16-01-1997
		EP 0584271 A1	02-03-1994
		ES 2093837 T3	01-01-1997
		JP 6508401 T	22-09-1994
		JP 3314783 B2	12-08-2002
		KR 100245632 B1	02-03-2000
		RU 2109835 C1	27-04-1998
		WO 9220830 A1	26-11-1992
		US 5198045 A	30-03-1993
US 5198045 A	30-03-1993	DE 69212602 D1	05-09-1996
		DE 69212602 T2	16-01-1997
		EP 0584271 A1	02-03-1994
		ES 2093837 T3	01-01-1997
		JP 6508401 T	22-09-1994
		JP 3314783 B2	12-08-2002
		KR 100245632 B1	02-03-2000
		RU 2109835 C1	27-04-1998
		WO 9220830 A1	26-11-1992
		US 5389165 A	14-02-1995
WO 9220830 A	26-11-1992	DE 69212602 D1	05-09-1996
		DE 69212602 T2	16-01-1997
		EP 0584271 A1	02-03-1994
		ES 2093837 T3	01-01-1997
		JP 6508401 T	22-09-1994
		JP 3314783 B2	12-08-2002
		KR 100245632 B1	02-03-2000
		RU 2109835 C1	27-04-1998
		US 5198045 A	30-03-1993
		US 5389165 A	14-02-1995
WO 9323584 A	25-11-1993	CA 2135790 A1	25-11-1993
		DE 69325804 D1	02-09-1999
		DE 69325804 T2	20-01-2000
		EP 0642598 A1	15-03-1995
		JP 3540812 B2	07-07-2004
		JP 7508075 T	07-09-1995
US 5455003 A	03-10-1995	US 5462712 A	31-10-1995
WO 2004106570 A	09-12-2004	DE 04753337 T1	08-11-2007
		EP 1641953 A1	05-04-2006
RU 2237098 C	27-09-2004	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 08 01 8130

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

05-12-2008

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004071586 A1	15-04-2004	AUCUN	
WO 8901531 A	23-02-1989	AU 615946 B2	17-10-1991
		AU 2314988 A	09-03-1989
		BR 8807653 A	12-06-1990
		CA 1335697 C	30-05-1995
		DE 3884957 D1	18-11-1993
		DE 3884957 T2	03-02-1994
		EP 0377640 A1	18-07-1990
		IL 87229 A	01-12-1992
		JP 2504531 T	20-12-1990
		JP 2892666 B2	17-05-1999
		NO 900587 A	07-02-1990
		NZ 225563 A	21-12-1990

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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, Martin Marietta [0009] [0011]
- US 5122339 A, Martin Marietta [0010]
- US 5211910 A, Martin Marietta [0011]
- US 5455003 A, Martin Marietta [0012]
- US 5389165 A, Reynolds [0013]
- US 20040071586 A, Alcoa [0015]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Kahn-Type Tear Test and Crack Toughness of Aluminum Alloy Sheet. *Materials Research & Standards*, Avril 1964, 151-155 [0025]
- Metals Handbook. American Society for Metals, vol. 1, 241-242 [0025]