(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 010 689 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
25.10.2017 Bulletin 2017/43

(21) Numéro de dépôt: **07731300.5**

(22) Date de dépôt: **16.04.2007**

(51) Int Cl.:
C22F 1/04 *(2006.01)* ***C22F 1/057*** *(2006.01)*
C22C 21/16 *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2007/000633

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/122314 (01.11.2007 Gazette 2007/44)

(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN ÉLÉMENT DE STRUCTURE POUR CONSTRUCTION AÉRONAUTIQUE COMPRENANT UN ÉCROUISSAGE DIFFERENTIEL

HERSTELLUNGSPROZESS EINES STRUKTURELEMENTS FÜR DIE FLUGZEIGKONSTRUKTION, WELCHER DIFFERENTIALFESTWALZEN ENTHÄLT

METHOD FOR FABRICATION OF A STRUCTURAL ELEMENT FOR AERONAUTICAL CONSTRUCTION INCLUDING A DIFFERENTIAL WORK HARDENING

(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 MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorité: **21.04.2006 FR 0603567**
31.05.2006 US 803553 P

(43) Date de publication de la demande:
07.01.2009 Bulletin 2009/02

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

(72) Inventeurs:
- **LEQUEU, Philippe**
  63960 Veyre-Monton (FR)
- **HEYMES, Fabrice**
  63960 Veyre-Monton (FR)
- **DANIELOU, Armelle**
  73360 Les Echelles (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)

(56) Documents cités:
EP-A1- 0 062 469
WO-A-98/58759
WO-A2-2005/098072
US-A- 5 496 426
US-A1- 2003 226 935

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

EP 2 010 689 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne les produits corroyés et les éléments de structure, notamment pour construction aéronautique, en alliage d'aluminium. Les produits corroyés peuvent être des produits laminés (tels que des tôles minces, tôles moyennes, tôles épaisses), des produits filés (tels que des barres, profilés, tubes ou fils), et des produits forgés.

Etat de la technique

[0002] Les éléments structuraux monolithiques métalliques à propriétés variables dans l'espace présentent un intérêt considérable dans le contexte actuel de l'industrie aéronautique. En effet, les éléments structuraux sont soumis à un faisceau de contraintes contradictoires qui nécessitent des choix particuliers sur les matériaux et les conditions de transformation, ce qui peut conduire à des compromis peu satisfaisants. De plus, le remplacement des étapes d'assemblage mécanique, longues et coûteuses par des étapes plus économiques d'usinage intégral d'éléments monolithiques se trouve limité par la possibilité d'obtenir au sein d'un élément monolithique les propriétés les plus avantageuses dans chaque zone géométrique. Il serait donc très intéressant de réaliser des éléments structuraux monolithiques ayant des propriétés variables dans l'espace de façon à obtenir dans chaque zone un compromis optimal de propriétés tout en bénéficiant des avantages économiques des procédés d'usinage intégral. Cependant, aucun procédé de fabrication d'élément structural monolithique métallique à propriétés variables dans l'espace n'a été industrialisé à ce jour car de nombreux problèmes de coût et de fiabilité sont rencontrés.

[0003] Ainsi, plusieurs procédés ont été proposés dans l'art antérieur pour réaliser des éléments structuraux monolithiques métalliques à propriétés variables dans l'espace.

[0004] Une première solution proposée est de réaliser, lors du revenu, un traitement thermique différent entre les extrémités de l'élément structural.

[0005] FR 2 707 092 (Pechiney Rhenalu) décrit un procédé de fabrication de produits à durcissement structural possédant des propriétés variables de façon continue dans au moins une direction dans lequel le revenu est effectué en portant une des extrémités du produit à une température T et l'autre extrémité à une température t dans un four spécifique comprenant une chambre chaude et une chambre froide reliées par une pompe à chaleur.

[0006] WO 2005/098072 (Pechiney Rhenalu) décrit un procédé de fabrication dans lequel au moins une étape du traitement de revenu est effectuée dans un four à profil thermique contrôlé comportant au moins deux zones ou groupes de zones Z_1 et Z_2 avec des températures initiales T_1 et T_2 dans lequel la longueur des deux zones est d'au moins un mètre.

[0007] Ces procédés limitent les variations de propriétés à des propriétés pouvant être modifiées de façon compatible lors d'un revenu. Dans le cas des alliages sans traitement thermique, ce type de procédé ne peut pas être utilisé. De même, dans le cas des alliages de la famille 2XXX, pour lesquels il existe de nombreuses pièces vendues à l'état T3 ou T4 (non revenu) il n'est pas possible d'obtenir des éléments ayant des propriétés variables par ce procédé.

[0008] Par ailleurs, des profilés comportant dans un même plan perpendiculaire à la longueur une zone entre les nervures ayant une microstructure présentant une texture fibre plus développée de façon à diminuer la vitesse de propagation de fissure sont décrits dans la demande de brevet US 2003/226935.

[0009] Dans une autre approche, il a été proposé de souder deux pièces en alliages différents avant d'usiner la pièce résultante. L'élément structural obtenu, même s'il présente une continuité de matière et des propriétés variables dans l'espace, ne peut cependant pas être considéré comme un élément structural monolithique en raison de la zone soudée. La demande PCT WO 98/58759 (British Aerospace) décrit ainsi une billette hybride formée à partir d'un alliage 2000 et d'un alliage 7000 par soudage par friction-malaxage à partir de laquelle est usiné un longeron. La demande de brevet EP 1 547 720 A1 (Airbus UK) décrit une méthode d'assemblage par soudage de deux pièces typiquement obtenues à partir d'alliages différents de façon à réaliser après usinage une pièce structurale pour des applications aéronautiques telles qu'un longeron.

[0010] Dans l'industrie aéronautique, le problème est en partie résolu en faisant localement varier l'épaisseur des éléments structuraux à propriétés homogènes dans l'espace de façon à leur permettre de résister au niveau local de contrainte. La variation d'épaisseur est généralement obtenue par assemblage ou par usinage.

[0011] CA 2 317 366 (Airbus Deutschland) décrit par exemple la fabrication d'éléments de fuselage par soudage de tôles de diverses épaisseurs. On peut aussi envisager d'obtenir directement par laminage des tôles d'épaisseur variable de façon à éviter les étapes d'assemblage et les problèmes techniques et économiques associés. Des variations d'épaisseur sont envisageables dans la direction longitudinale ou la direction transverse (voir par exemple R. Kopp, C. Wiedner et A. Meyer, International Sheet Metal Review, Juillet/Août 2005, p20-24).

[0012] La réalisation de tôles à épaisseur variable a par ailleurs été envisagée par diverses méthodes pour résoudre d'autres problèmes techniques. Les bandes « sur mesure » (« tailored blanks ») sont ainsi connues dans la sidérurgie et permettent d'économiser de la matière lors des étapes de mise en forme.

[0013] JP 11-192502 (Nippon Steel) décrit ainsi un procédé permettant d'obtenir une bande d'acier, dont l'épaisseur et les caractéristiques mécaniques statiques varient dans la largeur. EP 0 062 469 A1 (Sumitomo) décrit un procédé comprenant une étape de transformation par déformation plastique à froid avec plusieurs réductions à froid suivie d'un traitement thermique de solubilisation également appelé mise en solution.

[0014] WO 00/21695 (Thyssen Krupp) décrit un procédé permettant d'obtenir des sections d'épaisseur variable dans la direction du laminage au sein d'une bande métallique, ces sections présentant des propriétés mécaniques différentes.

[0015] La modification de la géométrie des tôles, si elle se justifie pour réaliser des économies de matière présente cependant des inconvénients en terme de fabrication, de contrôle, de manutention et ne permet pas un transfert rapide direct vers les procédés existants chez les avionneurs.

[0016] Le problème auquel répond la présente invention est de développer un procédé pour la fabrication de produits corroyés et d'éléments de structure monolithiques en alliage d'aluminium, notamment pour la construction aéronautique, présentant des propriétés d'emploi variables dans l'espace tout en présentant des caractéristiques géométriques identiques à celles des produits et éléments actuels, qui soit suffisamment économique et contrôlable, qui permette de faire varier dans l'espace les propriétés d'emploi d'éléments de structure dont le procédé de fabrication ne nécessite pas nécessairement de revenu et qui permette de faire varier les propriétés d'emploi d'éléments de structure à différentes position de leur longueur.

Objet de l'invention

[0017] Un premier objet de la présente invention est un procédé de fabrication d'un produit corroyé ou d'un élément de structure multi-fonctionnel monolithique en alliage d'aluminium comprenant une étape de transformation à chaud caractérisé en ce que postérieurement à la transformation à chaud il comprend également au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid dans laquelle on impose en au moins deux zones de l'élément de structure des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2% et préférentiellement différentes d'au moins 3%.

[0018] Un deuxième objet de l'invention est un produit corroyé ou un élément de structure en alliage 2XXX à l'état T3X susceptible d'être obtenu par le procédé selon l'invention.

[0019] Un troisième objet de l'invention est un produit corroyé ou un élément de structure en alliage 2XXX contenant du lithium à l'état T8X susceptible d'être obtenu par le procédé selon l'invention.

Description des figures

[0020]

La figure 1 montre de manière schématique un mode de réalisation de l'invention dans lequel trois zones situées à une position différente dans la direction *L* subissent des déformations plastiques différentes par traction contrôlée grâce à un déplacement des mors du banc de traction.

La figure 2 montre de manière schématique un mode de réalisation de l'invention dans lequel trois zones situées à une position différente dans la direction *L* subissent des déformations plastiques différentes par traction contrôlée grâce à une variation de la section.

La figure 3 montre de manière schématique un mode de réalisation de l'invention dans lequel trois zones situées à une position différente dans la direction *L* subissent des déformations plastiques différentes par laminage à froid grâce à une variation de l'épaisseur avant laminage.

La figure 4 montre de manière schématique un mode de réalisation de l'invention dans lequel trois zones situées à une position différente dans la direction *l* subissent des déformations plastiques différentes par laminage à froid grâce à une variation de l'épaisseur avant laminage.

La figure 5 montre de manière schématique un mode de réalisation de l'invention dans lequel trois zones situées à une position différente subissent des déformations plastiques différentes par compression.

Description de l'invention

[0021] Sauf mention contraire, toutes les indications relatives à la composition chimique des alliages sont exprimées en pourcent massique. Par conséquent, dans une expression mathématique, « 0,4 Zn » signifie : 0,4 fois la teneur en zinc, exprimée en pourcent massique ; cela s'applique mutatis mutandis aux autres éléments chimiques. La désignation des alliages suit les règles de The Aluminum Association, connues de l'homme du métier. Les états métallurgiques et les traitements thermiques sont définis dans la norme européenne EN 515. La composition chimique d'alliages d'aluminium normalisés est définie par exemple dans la norme EN 573-3. Sauf mention contraire, les caractéristiques mécaniques statiques, c'est-à-dire la résistance à la rupture R_m, la limite élastique $R_{p0,2}$, et l'allongement à la rupture A,

sont déterminées par un essai de traction selon la norme EN 10002-1, l'endroit et le sens du prélèvement des éprouvettes étant définis dans la norme EN 485-1. La ténacité K_{1C} est mesurée selon la norme ASTM E 399.

[0022] Sauf mention contraire, les définitions de la norme européenne EN 12258-1 s'appliquent, en particulier on appelle alliage sans traitement thermique un alliage qui ne peut être durci de façon substantielle par un traitement thermique et alliage à traitement thermique un alliage qui peut être durci par un traitement thermique approprié.

[0023] Le terme « tôle » est utilisé ici pour des produits laminés de toute épaisseur.

[0024] Par déformation plastique à froid on entend ici une déformation plastique pour laquelle le métal n'est volontairement chauffé ni avant d'être déformé ni au cours de la déformation. Il existe plusieurs types de déformations plastiques à froid, notamment le laminage à froid, la traction contrôlée (planage), le tréfilage, l'étirage, le matriçage, l'emboutissage, le pliage, la compression et le forgeage à froid. Par transformation à chaud on entend une étape de déformation pour laquelle la température initiale du métal est d'au moins 200 °C.

[0025] Le taux d'écrouissage est défini dans le cas du laminage d'une épaisseur e_0 à une épaisseur e par $\tau(\%) = (e_0 - e)/e$ et dans le cas de la traction d'une longueur L_0 à une longueur L par $\tau(\%) = (L-L_0)/L_0$.

[0026] La déformation plastique généralisée est connue de l'homme du métier, elle est définie par exemple dans le manuel «Mise en forme des métaux - Calculs sur la plasticité » de P. Baque, E. Felder, J. Hyafil et Y. D'Escatha aux éditions Dunod, Paris (1973) ou dans l'ouvrage « Mise en forme des métaux et alliages », textes rassemblés par B. Baudelet, édité par les éditions du CNRS, 1976, Paris. Par convention, la déformation généralisée est la mesure de l'amplitude de déformation et on prend comme valeur de la déformation $\overline{\varepsilon}$ celle qui correspond à un essai de traction simple d'après le critère

$$d\overline{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3}\left[\left(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2\right)^2 + \left(d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3\right)^2 + \left(d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1\right)^2\right]^{1/2}$$

où $d\varepsilon_1$, $d\varepsilon_2$ et $d\varepsilon_3$ sont les déformations principales élémentaires.

[0027] Dans le cas d'une déformation plastique, la variation de volume est nulle et on a donc $d\varepsilon_1+d\varepsilon_2+d\varepsilon_3= 0$. La déformation plastique généralisée est additive pour différentes étapes successives de déformation plastique.

[0028] Dans le cas du laminage d'une épaisseur e_0 à une épaisseur e, où la déformation est plane ($d\varepsilon_3=0$, $d\varepsilon_2= - d\varepsilon_1$), la déformation plastique généralisée est égale à $\varepsilon\ (\%) = (2/\sqrt{3})\ln(e_0/e)$.

[0029] Dans le cas de la traction d'une longueur l_0 à une longueur l, la déformation plastique généralisée est égale à $\varepsilon(\%) = \ln(l/l_0)$.

[0030] Dans le cas de la compression d'une longueur l_0 à une longueur l, la déformation plastique généralisée est égale à $\varepsilon(\%) = \ln(l_0/l)$

[0031] On appellera ici déformation plastique généralisée moyenne, la moyenne de la déformation plastique généralisée dans un volume donné.

[0032] Le terme « usinage » comprend tout procédé d'enlèvement de matière tel que le tournage, le fraisage, le perçage, l'alésage, le taraudage, l'électroérosion, la rectification, le polissage, l'usinage chimique.

[0033] Le terme « produit filé » comprend également les produits qui ont été étirés après filage, par exemple par étirage à froid à travers une filière. Il comprend également les produits tréfilés.

[0034] Le terme « produit corroyé » se réfère à un demi-produit (c'est-à-dire un produit intermédiaire) prêt à être transformé, notamment par sciage, usinage et/ou mise en forme en élément de structure. Dans certains cas le produit corroyé peut être utilisé directement comme élément de structure. Les produits corroyés peuvent être des produits laminés (tels que des tôles minces, tôles moyennes, tôles épaisses), des produits filés (tels que des barres, profilés, tubes ou fils), et des produits forgés. Lorsque le procédé de fabrication du produit corroyé comprend une étape de détentionnement par traction contrôlée, les extrémités de la pièce qui se sont trouvées sous l'emprise des mors du banc de traction sont sciées de façon à rendre la pièce utilisable en construction mécanique.

[0035] 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.

[0036] Le terme « élément de structure monolithique » se réfère à un élément de structure qui a été obtenu à partir d'une seule pièce de demi-produit laminé, filé, forgé ou moulé, sans assemblage, tel que rivetage, soudage, collage,

avec une autre pièce.

[0037] Le terme « élément de structure multi-fonctionnel » se réfère ici principalement aux fonctions conférées par les caractéristiques métallurgiques du produit et non pas par sa forme géométrique.

[0038] Selon l'invention, le problème est résolu par un procédé de fabrication d'un produit corroyé en alliage d'aluminium ou d'un élément de structure multi-fonctionnel monolithique en alliage d'aluminium qui comprend au moins une étape de déformation plastique à froid postérieure à la transformation à chaud, dans laquelle au moins deux zones du produit corroyé ou de l'élément de structure subissent des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2%, préférentiellement d'au moins 3% et encore plus préférentiellement d'au moins 4% ou même 5%. Les zones considérées ont un volume significatif par rapport au volume total de l'élément de structure. Avantageusement, le volume des zones considérées représente au moins 5%, préférentiellement au moins 10% et plus préférentiellement au moins 15% du volume total du produit corroyé ou de l'élément de structure. D'une manière avantageuse toutes les zones du produit corroyé ou de l'élément de structure subissent une déformation plastique généralisée minimale d'au moins 1% et de préférence d'au moins 1,5%.

[0039] De façon avantageuse, le procédé selon l'invention comprend au moins deux étapes de transformation par déformation plastique à froid postérieures à la transformation à chaud.

[0040] Les procédés selon l'invention permettent de réaliser des produits corroyés et des éléments de structure ayant une dimension principale ou longueur finale L_f dans la direction principale ou direction de la longueur *L* et une section finale dans le plan perpendiculaire à cette direction S_f. De manière préférée, la section S_f est sensiblement constante en tout point du produit corroyé. Dans le cas où le produit corroyé est une tôle de longueur finale L_f, de largeur finale l_f et d'épaisseur finale e_f, il est avantageux que l'épaisseur e_f soit sensiblement constante en tout point. Dans le cas où il s'agit d'un produit filé de longueur L et de forme complexe il est avantageux que la forme soit identique en tout point de la longueur.

[0041] Un usinage peut constituer une des dernières étape du procédé selon l'invention de façon à obtenir une section finale et/ou une épaisseur finale du produit corroyé sensiblement constantes en tout point.

[0042] Le procédé selon l'invention peut être utilisé pour élaborer des produits corroyés, de préférence des tôles et des profilés, et des éléments structuraux en tout alliage d'aluminium de corroyage. En particulier, l'invention peut être utilisée avec des alliages sans traitement thermique tels que les alliages 1XXX, 3XXX, 5XXX et certains alliages de la série 8XXX, et de façon particulièrement avantageuse avec des alliages 5XXX contenant du scandium, à une teneur préférée de 0,001 à 5% en poids et de façon encore plus préférée de 0,01 à 0,3% en poids. Les différences de propriétés mécaniques résultant des différences de corroyage obtenues par le procédé selon l'invention confèrent aux éléments de structure obtenus à partir des produits corroyés en alliage sans traitement thermique selon l'invention un caractère multi-fonctionnel.

[0043] Dans une réalisation avantageuse de l'invention, on utilise un alliage d'aluminium à traitement thermique et on réalise entre la transformation à chaud et la première transformation par déformation plastique à froid une étape de mise en solution, une étape de trempe et, optionnellement une étape de revenu postérieure aux étapes de transformation par déformation plastique à froid. En particulier, l'invention peut être utilisée pour élaborer des produits corroyés ou des éléments structuraux en alliage d'aluminium des séries 2XXX, 4XXX, 6XXX et 7XXX, ainsi qu'en alliage à durcissement structural de la série 8XXX contenant du lithium. Dans le cadre de l'invention, on entend par « alliage contenant du lithium » un alliage dont la teneur en lithium est supérieure à 0,1 % en poids. Dans le cas des alliages de la série 2XXX, on peut utiliser un revenu pour obtenir par exemple un état T8X ou au contraire utiliser un vieillissement naturel vers un état T3X. L'invention est particulièrement avantageuse pour la réalisation de produits corroyés ou d'éléments de structure en alliage 2XXX à l'état T3X.

[0044] L'invention permet de réaliser des produits corroyés ou des éléments de structure en alliage 2XXX à l'état T3X caractérisé en ce qu'ils contiennent au moins deux zones Z1 et Z2 possèdant des propriétés mécaniques (mesurées à mi-épaisseur) sélectionnées dans le groupe formé de

(i) Z1 : $R_m(L) > 500$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 520$ MPa
et Z2 : $A(L)(\%) > 16\%$ et préférentiellement $A(L)(\%) > 18\%$
(ii) Z1 : $R_m(L) > 450$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 470$ MPa
et Z2 : $A(L)(\%) > 18\%$ et préférentiellement $A(L)(\%) > 20\%$
(iii) Z1 : $R_m(L) > 550$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 590$ MPa
et Z2 : $A(L)(\%) > 10\%$ et préférentiellement $A(L)(\%) > 14\%$
(iv) Z1 : $R_m(L) > 550$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 590$ MPa
et Z2 : $K_{1c}(L\text{-}T) > 45$ Mpa$\sqrt{m}$ et préférentiellement $K_{1c}(L\text{-}T) > 55$ Mpa$\sqrt{m}$.

[0045] On peut aussi obtenir des produits corroyés ou des éléments de structure en alliage 2XXX à l'état T3X caractérisés en ce qu'ils contiennent au moins deux zones Z1 et Z2 possèdant des propriétés mécaniques (mesurées à mi-épaisseur) dans lesquelles :

(i) $R_{p0,2}$, mesuré dans le sens L ou dans le sens LT présente un écart $R_{p0,2}(Z1) - R_{p0,2}(Z2)$ d'au moins 50 MPa et préférentiellement d'au moins 70 MPa et/ou
(ii) R_m, mesuré dans le sens L ou dans le sens LT présente un écart $R_m(Z1) - R_m(Z2)$ d'au moins 20 MPa et préférentiellement d'au moins 30 MPa et/ou
(iii) K_{1c}, mesuré dans le sens L-T présente un écart K_{1c} (Z1) - K_{1c} (Z2) d'au moins 5 MPa$\sqrt{m}$ et préférentiellement d'au moins 15 MPa$\sqrt{m}$.

[0046] L'invention permet également d'obtenir des produits corroyés ou des éléments de structure en alliage 2XXX contenant du lithium à l'état T8X caractérisés en ce qu'ils contiennent au moins deux zones Z1 et Z2 possédant des propriétés mécaniques sélectionnées dans le groupe formé de

(i) Z1 : $R_m(L) > 630$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 640$ MPa
et Z2 : A(L)(%) > 8 % et préférentiellement A(L)(%) > 9 %
(ii) Z1 : $R_m(L) > 640$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 650$ MPa
et Z2 : A(L)(%) > 7 % et préférentiellement A(L)(%) > 8 %
(iii) Z1 : $R_m(L) > 630$ MPa et préférentiellement $R_m(L) > 640$ MPa
et Z2 : K_{1c}(L-T) > 25 Mpa$\sqrt{m}$ et préférentiellement K_{1c}(L-T) > 30 Mpa$\sqrt{m}$

[0047] Dans le cas des alliages artificiellement vieillis et plus particulièrement des alliages de la série 7XXX et de certains alliages de la série 2XXX, la déformation plastique à froid réalisée après les étapes de mise en solution et trempe permet de modifier la cinétique de revenu. Ainsi, les zones subissant des déformations plastiques généralisées moyennes différentes atteindront lors du revenu des états métallurgiques différents ce qui conférera à l'élément de structure un caractère multi-fonctionnel. Dans une réalisation avantageuse de l'invention s'appliquant à tous les alliages à traitement thermique subissant un revenu, on effectue le revenu dans un four présentant un gradient de température de façon à amplifier les différences de propriétés entre les extrémités de l'élément de structure.

[0048] Dans une première variante de l'invention, les au moins deux zones du produit corroyé ou de l'élément de structure subissant des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2 % sont situées à une position différente dans la direction principale ou de longueur *L*. Dans ce cas, les zones considérées ont de manière avantageuse une section S_Z dans le plan perpendiculaire à la direction *L* égale à la section du produit corroyé dans ce plan. En particulier, lorsque la section S_f, du produit corroyé est sensiblement constante la section S_Z est de manière avantageuse sensiblement égale à S_f. Dans cette première variante, la longueur desdites zones dans la direction L est préférentiellement d'au moins 1m et de manière préférée d'au moins 5m.

[0049] De manière avantageuse, le procédé selon l'invention comporte dans la première variante au moins une étape de déformation plastique à froid par traction contrôlée. La traction contrôlée est de manière habituelle utilisée pour réaliser un planage ou un redressage et pour libérer les contraintes résiduelles. Dans un mode de réalisation de l'invention, une étape de traction contrôlée dans laquelle une des extrémités du produit intermédiaire sur lequel est effectuée la traction contrôlée déborde significativement des mors du banc de traction, peut également être utilisée pour générer des déformations plastiques généralisées moyennes différentes entre deux zones du produit corroyé.

[0050] La figure 1 illustre un mode de réalisation de l'invention dans lequel 3 étapes de traction contrôlée sont réalisées successivement. Le produit intermédiaire (2) de longueur initiale utile (c'est dire située entre les mors) $\mathbf{L_0}$ est dans une première étape A tractionné dans son ensemble ce qui permet de le planer et/ou de le redresser. Il atteint ainsi une première longueur intermédiaire utile $\mathbf{L_{i1}}$ et la déformation plastique généralisée moyenne est égale à $\varepsilon_1(\%) = \ln(\mathbf{L_{i1}} / \mathbf{L_0})$ pour la partie située entre les mors (21) de la pièce (2). Au moins un des mors (1) du banc de traction est alors déplacé comme indiqué sur la figure 1, de façon à ce que l'une des extrémités de la pièce déborde significativement des mors et que la longueur de la pièce comprise entre les mors soit $\mathbf{L_1}$. Une seconde étape de traction contrôlée B est alors effectuée sur la zone de la pièce située entre les mors de façon à obtenir une seconde longueur intermédiaire utile $\mathbf{L_{i2}}$ de l'élément et donc de faire passer la zone (22) comprise entre les mors de la longueur $\mathbf{L_1}$ à la longueur $\mathbf{L_{i2} - L_{i1} + L_1}$. Cette zone subit donc au cours de la deuxième étape une déformation généralisée moyenne égale à $\varepsilon_2(\%) = \ln((\mathbf{L_{i2} - L_{i1} + L_1}) / \mathbf{L_1})$. Optionnellement, au moins un des mors peut à nouveau être déplacé de façon à réaliser au moins une troisième étape de traction sur une portion de longueur $\mathbf{L_2}$. Dans le cas schématisé sur la figure 1 cette troisième étape C permet d'obtenir une longueur finale utile $\mathbf{L_f}$ et la zone (23) située entre les mors voit sa longueur augmentée de $\mathbf{L_f - L_{i2}}$ et subit donc au cours de cette troisième étape une déformation généralisée moyenne égale à $\varepsilon_3(\%) = \ln((\mathbf{L_f - L_{i2} + L_2}) / \mathbf{L_2})$. Dans une quatrième étape D, les extrémités de la pièce qui se trouvaient sous l'emprise des mors du banc de traction lors de l'étape A sont sciées. Dans le cas de la Figure 1, les quatre étapes permettent ainsi d'obtenir un produit corroyé comportant trois zones **Z11**, **Z12** et **Z13** dont la déformation plastique généralisée moyenne est, respectivement de $\varepsilon_{11}=\varepsilon_1$, $\varepsilon_{12} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ et $\varepsilon_{13} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$. L'opération peut être répétée autant de fois que nécessaire de façon à obtenir une différence de déformation plastique généralisée moyenne d'au moins 2 % entre au moins deux zones situées à une position différente dans la direction principale *L*.

[0051] Le procédé utilisant des tractions successives décrit par la figure 1 peut être appliqué aux tôles comme aux produits filés.

[0052] La figure 2 décrit un autre mode de réalisation de la première variante de l'invention. Dans ce mode de réalisation, on réalise par cisaillage, rivage, usinage ou toute autre méthode appropriée un produit intermédiaire ayant une section variable dans la direction de la longueur L. Dans la figure 2, le produit intermédiaire ainsi obtenu a une longueur initiale $\mathbf{L_0}$ et trois zones de section différentes $\mathbf{S_1}$, $\mathbf{S_2}$ et $\mathbf{S_3}$. Lors de l'étape de traction de ce produit intermédiaire de section variable, les déformations subies par ces zones sont différentes.

[0053] Dans un autre mode de réalisation de l'invention s'appliquant de manière préférée à la fabrication de tôles, au moins une étape de déformation plastique à froid est réalisée par compression. Ce mode de réalisation est illustré par la figure 5.

[0054] Dans encore un autre mode de réalisation de la première variante de l'invention ne s'appliquant qu'à la fabrication de tôles, le procédé selon l'invention comprend une étape de laminage à froid dans laquelle l'épaisseur de la tôle est variable à l'entrée du laminoir et sensiblement constante à la sortie du laminoir. La figure 3 illustre un mode de réalisation dans lequel une tôle présentant trois zones **Z31**, **Z32** et **Z33** d'épaisseurs respectives $\mathbf{e_1}$, $\mathbf{e_2}$ et $\mathbf{e_3}$ et une longueur initiale $\mathbf{L_0}$ subit une étape de laminage à froid entre deux cylindres (5) conduisant à une épaisseur finale $\mathbf{e_f}$. Les déformations plastiques généralisées moyennes subies par les différentes zones **Z31**, **Z32** et **Z33** sont respectivement $\varepsilon_{31}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_1} / \mathbf{e_f})$, $\varepsilon_{32}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_2} / \mathbf{e_f})$ et $\varepsilon_{33}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_3} / \mathbf{e_f})$.

[0055] La tôle présentant une épaisseur variable dans la direction L nécessaire dans le mode de réalisation décrit par la figure 3 peut-être obtenue par exemple en modifiant en cours de laminage à chaud le visé d'épaisseur. Dans un autre mode de réalisation, cette tôle d'épaisseur variable peut être obtenue par usinage d'une tôle d'épaisseur constante issue de l'étape de laminage à chaud. La figure 3 décrit un mode de réalisation dans lequel la variation d'épaisseur est obtenue sur une seule face, l'autre face restant plane. On peut également faire varier l'épaisseur sur les deux faces et ne pas garder de face plane. Dans encore un autre mode de réalisation, de la première variante de l'invention qui ne s'applique qu'à la fabrication de tôles, le procédé selon l'invention comprend une étape de laminage à froid dans laquelle l'épaisseur de la tôle est sensiblement constante à l'entrée du laminoir et variable dans la direction *L* à la sortie du laminoir et une étape subséquente d'usinage qui permet d'obtenir une épaisseur sensiblement constante en tout point.

[0056] Dans une seconde variante de l'invention uniquement destinée à la fabrication de tôles ayant une dimension principale ou de longueur dans la direction *L*, une dimension transversale ou de largeur dans la direction *l* et une dimension d'épaisseur dans la direction *e*, les zones de l'élément de structure subissant des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2 % sont situées à une position différente dans la direction transversale *l*. Dans ce cas, les zones considérées ont de manière avantageuse une épaisseur e_Z dans la direction de l'épaisseur *e* égale à l'épaisseur du produit corroyé. En particulier, lorsque l'épaisseur e_f du produit corroyé est sensiblement constante, l'épaisseur e_Z est de manière avantageuse sensiblement égale à e_f.

[0057] Dans cette seconde variante, la largeur desdites zones est préférentiellement d'au moins 0,2 m et de manière préférée d'au moins 0,4 m.

[0058] Dans un mode de réalisation de cette seconde variante, le procédé selon l'invention comporte une étape de laminage à froid dans laquelle l'épaisseur de la tôle est variable dans la direction transversale *l* à l'entrée du laminoir et est sensiblement constante à la sortie du laminoir. La variation d'épaisseur de la tôle peut être notamment obtenue par laminage à chaud, par usinage à l'issue du laminage à chaud ou par forgeage. Ce mode de réalisation est illustré sur la figure 4, où une tôle dont l'épaisseur est de $\mathbf{e_1}$ pour les zones situées aux extrémités de l'élément dans direction *l* est de $\mathbf{e_2}$ pour la zone située au centre dans la direction *l* est laminée dans la direction *L* jusqu'à une épaisseur sensiblement homogène $\mathbf{e_f}$. Les déformations plastiques généralisées moyennes subies par les différentes zones **Z41**, **Z42** et **Z43** sont respectivement $\varepsilon_{41}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_1} / \mathbf{e_f})$, $\varepsilon_{42}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_2} / \mathbf{e_f})$ et $\varepsilon_{43}(\%) = \varepsilon_{41}(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(\mathbf{e_1} / \mathbf{e_f})$. La réalisation dans laquelle les zones **Z41** et **Z43** ont la même épaisseur initiale est avantageuse, cependant un mode de réalisation dans lequel les épaisseurs sont différentes est également possible.

[0059] Dans encore un autre mode de réalisation de la seconde variante de l'invention, qui ne s'applique qu'à la fabrication de tôles, le procédé selon l'invention comprend une étape de laminage à froid dans laquelle l'épaisseur de la tôle est sensiblement constante à l'entrée du laminoir et variable dans la direction *l* à la sortie du laminoir et une étape subséquente d'usinage qui permet d'obtenir une épaisseur sensiblement constante en tout point.

[0060] La figure 5 décrit un autre mode de réalisation dans lequel une compression est réalisée à l'aide d'un outil (6) se déplaçant dans la direction symbolisée par une flèche. Au cours d'une première étape, l'épaisseur est réduite de e_0 à e_1, puis au cours d'une deuxième étape de e_1 à e_2 sur une partie de l'élément de structure, puis enfin au cours d'une troisième étape de e_2 à e_3, ce qui définit trois zones **Z51**, **Z52** et **Z53**. Une étape finale d'usinage permet d'obtenir une épaisseur finale e_f sensiblement égale en tout point. On peut également usiner la tôle à des épaisseurs différentes puis la compresser de façon à obtenir une épaisseur constante en tout point.

Exemple 1:

[0061] Dans cet exemple, on a obtenu une tôle ayant des propriétés variables dans l'espace d'épaisseur 25 mm en alliage AA2023.

[0062] On a fabriqué une tôle d'une longueur de 30 mètres, d'une largeur de 2,5 mètres et d'une épaisseur de 28,2 mm par laminage à chaud d'une plaque de laminage.

[0063] La composition de l'alliage utilisé est donnée dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : composition de la plaque de laminage en alliage AA2023 (% en masse)

Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Zr	Sc
0,06	0,07	3,81	1,36	0,024	0,11	0,03

[0064] La plaque de laminage a été homogénéisée pendant 12 heures à 500 °C. La température d'entrée du laminage à chaud était de 460 °C.

[0065] Après laminage à chaud, la tôle a été usinée comme indiqué sur la figure 3 de façon à obtenir trois zones Z31, Z32 et Z33, d'une longueur égale à 10 mètres ayant les épaisseurs suivantes :

zone Z31 : 28,1 mm
zone Z32 : 26,3 mm
zone Z33 : 25,5 mm

[0066] La tôle a alors été mise en solution à 500 °C et trempée.

[0067] La tôle a ensuite été laminée à froid, de façon à obtenir une épaisseur sensiblement constante de 25,5 mm sur l'ensemble de la tôle, puis a subi une traction contrôlée avec un allongement permanent d'environ 2 % à l'issue de laquelle les extrémités de la pièce qui se trouvaient sous l'emprise des mors du banc de traction ont été sciées

[0068] L'étape de laminage a conduit la zone Z31 à atteindre une longueur de 11 mètres environ

[0069] Les déformations réalisées dans les différentes zones sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2. Taux d'écrouissage et déformation généralisée dans les zones Z31, Z32 et Z33.

Zone	Taux d'écrouissage par laminage	Taux d'écrouissage par traction	Taux d'écrouissage total	Déformation généralisée par laminage	Déformation généralisée par traction	Déformation généralisée totale
Z31	10,2%	2,0%	12,4%	11,2%	2,0%	13,2%
Z32	3,1%	2,0%	5,2%	3,6%	2,0%	5,6%
Z33	0,0%	2,0%	2,0%	0,0%	2,0%	2,0%

[0070] Des échantillons ont été prélevés dans les zones Z31, Z32 et Z33 de façon à caractériser la tôle obtenue. Les résultats des essais mécaniques sont fournis dans le tableau 3, ci-dessous :

Tableau 3 : résultats des essais mécaniques réalisés dans les zones Z31, Z32 et Z33.

Zone	Sens L			Sens LT		
	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A (%)	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A (%)
Z31	533	464	12.3	499	414	17.0
Z32	509	422	17.0	468	364	22.4
Z33	504	388	20.6	465	335	24.1

[0071] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir des compromis de propriétés différents dans les zones Z31, Z32 et Z33. Ainsi, la zone Z31 est caractérisée par une résistance mécanique élevée, au détriment d'un allongement limité tandis que la zone Z33 se distingue par un allongement important mais pour une résistance mécanique statique plus faible.

Exemple 2:

[0072] Dans cet exemple, on a obtenu une tôle ayant des propriétés variables dans l'espace d'épaisseur 15 mm en alliage AA2024A.

[0073] On a fabriqué une tôle d'une longueur de 30 mètres, d'une largeur de 2,5 mètres et d'une épaisseur de 16,8 mm par laminage à chaud d'une plaque de laminage.

[0074] La composition de l'alliage utilisé est donnée dans le Tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : composition de la plaque de laminage en alliage AA2024A (% en masse)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
0,04	0,07	3,96	0,38	1,29	0,013

[0075] La plaque de laminage a été homogénéisée puis laminée à chaud.

[0076] Après laminage à chaud, la tôle a été usinée comme décrit sur la figure 3 de façon à obtenir trois zones Z31, Z32 et Z33, d'une longueur égale à 10 mètres ayant les épaisseurs suivantes :

zone Z31 : 16,7 mm

zone Z32 : 15,9 mm

zone Z33 : 15,3 mm

[0077] La tôle a alors été mise en solution à 500 °C et trempée.

[0078] La tôle a ensuite été laminée à froid, de façon à obtenir une épaisseur sensiblement constante de 15,3 mm sur l'ensemble de la tôle, puis a subi une traction contrôlée avec un allongement permanent d'environ 2 % à l'issue de laquelle les extrémités de la pièce qui se trouvaient sous l'emprise des mors du banc de traction ont été sciées.

[0079] L'étape de laminage a conduit la zone Z31 à atteindre une longueur de 10,9 mètres environ.

[0080] Les déformations réalisées dans les différentes zones sont résumées dans le tableau 5 ci-dessous :

Tableau 5. Taux d'écrouissage et déformation généralisée dans les zones Z31, Z32 et Z33.

Zone	Taux d'écrouissage par laminage	Taux d'écrouissage par traction	Taux d'écrouissage total	Déformation généralisée par laminage	Déformation généralisée par traction	Déformation généralisée totale
Z31	9,2%	2%	11,3%	10,1%	2,0%	12,1%
Z32	3,9%	2%	6,0%	4,4%	2,0%	6,4%
Z33	0,0%	2%	2,0%	0,0%	2,%	2,0%

[0081] Des échantillons ont été prélevés dans les zones Z31, Z32 et Z33 de façon à caractériser la tôle obtenue. Les résultats des essais mécaniques sont fournis dans le tableau 6, ci-dessous :

Tableau 6 : résultats des essais mécaniques réalisés dans les zones Z31, Z32 et Z33.

Zone	Sens L			Sens LT		
	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A (%)	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A (%)
Z31	477	437	16,8	495	416	13.0
Z32	467	414	17,9	481	390	15,6
Z33	444	360	23,4	467	337	18,5

[0082] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir des compromis de propriétés différents dans les zones Z31, Z32 et Z33. Ainsi, la zone Z31 est caractérisée par une résistance mécanique élevée, au détriment d'un allongement limité tandis que la zone Z33 se distingue par un allongement important mais pour une résistance mécanique statique plus faible.

Exemple 3:

[0083] Dans cet exemple, on a obtenu un profilé ayant des propriétés variables dans l'espace de section 170 x 45 mm en alliage AA2027.

[0084] On a fabriqué un profilé d'une longueur de 15 mètres, d'une section de 170 x 45 mm par extrusion à chaud d'une billette de filage.

[0085] La composition de l'alliage utilisé est donnée dans le Tableau 7 ci-dessous :

Tableau 7 : composition de la plaque de laminage en alliage AA2027 (% en masse)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr
0,05	0,11	4,2	0,6	1,3	0,06	0,02	0,11

[0086] La billette de filage a été homogénéisée à 490 °C et extrudée à chaud.

[0087] Après filage, le profilé a été mis en solution à 500 °C et trempé.

[0088] Il a alors subi une première étape de traction contrôlée avec un allongement permanent de 2,8 %. L'un des mors du banc de traction a alors été déplacé comme indiqué sur la figure 1, de façon à ce l'une des extrémités du profilé déborde des mors. Une deuxième étape de traction a alors été effectuée sur les deux tiers du profilé (zones Z11 et Z12) situés entre les mors avec un allongement permanent de 5,6 %. Le mors déplacé dans la seconde étape a alors à nouveau été déplacé de façon à ce qu'un tiers du profilé (zone Z11) soit situé entre les mors. Une troisième étape de traction a été effectuée avec un allongement permanent de 2,4%. Les extrémités de la pièce qui se trouvaient sous l'emprise des mors du banc de traction lors de la première étape de traction ont ensuite été sciées. On a ainsi obtenu un profilé présentant trois zones, Z_{11}, Z_{12} et Z_{13} d'une longueur sensiblement égale et présentant des déformations par traction différentes.

[0089] Les déformations réalisées dans les zones sont résumées dans le tableau 8 ci-dessous :

Tableau 8. Taux d'écrouissage et déformation généralisée dans les zones Z11, Z12 et Z13.

	Taux d'écrouissage par traction				Taux de déformation généralisée			
Zone	1ère étape	2ième étape	3ième étape	Total	1ère étape	2ième étape	3ième étape	Total
Z11	2,8 %	5,6 %	2,4 %	11,2%	2,8%	5,4 %	2,4%	10,6 %
Z12	2,8 %	5,6 %		8,6%	2,8%	5,4%		8,2 %
Z13	2,8 %			2,8%	2,8%			2.8%

[0090] Des échantillons ont été prélevés dans les zones Z11, Z12 et Z13 de façon à caractériser le profilé. Les résultats des essais mécaniques sont fournis dans le tableau 9, ci-dessous :

Tableau 9 : résultats des essais mécaniques réalisés dans les zones Z11, Z12 et Z13.

Zone	Sens L			K_{1c} (Mpa$\sqrt{m}$)	
	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A%	L-T	T-L
Z11	606	585	6,1	45,9	31,5
Z12	554	503	9,9	47,7	33,5
Z13	554	443	15,8	64,0	49,7

[0091] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir des compromis de propriétés différents dans les zones Z11, Z12 et Z13. Ainsi, la zone Z11 est caractérisée par une résistance mécanique élevée, au détriment d'un allongement et d'une ténacité limités tandis que la zone Z13 se distingue par un allongement et une ténacité importants mais pour une résistance mécanique statique plus faible.

Exemple 4:

[0092] Dans cet exemple, on a obtenu une tôle ayant des propriétés variables dans l'espace d'épaisseur 30 mm en alliage AA2195.

[0093] On a fabriqué une tôle d'une longueur de 30 mètres, d'une largeur de 2,5 mètres et d'une épaisseur de 33 mm par laminage à chaud d'une plaque de laminage.

[0094] La composition de l'alliage utilisé est donnée dans le Tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10 : composition de la plaque de laminage en alliage AA2195 (% en masse)

Si	Fe	Cu	Li	Mg	Zr	Ag
0,03	0,06	4,3	1,17	0,39	0,12	0,35

[0095] La plaque de laminage a été homogénéisée puis laminée à chaud. La tôle a alors été mise en solution à 510 °C et trempée.

[0096] Une moitié de la tôle (zone G) a ensuite été laminée à froid jusqu'à l'épaisseur de 30 mm tandis que l'autre moitié a subit une traction contrôlée en mors décalés de 2,5% (zone H).

[0097] La tôle a ensuite été usinée, de façon à obtenir une épaisseur sensiblement constante de 30 mm sur l'ensemble de la tôle, puis a subi une traction contrôlée avec un allongement permanent d'environ 1,5 % à l'issue de laquelle les extrémités de la pièce qui se trouvaient sous l'emprise des mors du banc de traction ont été sciées

[0098] Les déformations réalisées dans les différentes zones sont résumées dans le tableau 11 ci-dessous :

Tableau 11. Taux d'écrouissage et déformation généralisée dans les zones G et H.

Zone	Taux d'écrouissage par laminage	Taux d'écrouissage par traction	Taux d'écrouissage total	Déformations généralisée par laminage	Déformation généralisée par traction	Déformation généralisée totale
G	10%	1,5 %	11,3%	11%	1,5 %	11,5%
H	0%	2,5+1,5 %	4,0%	0%	2,5+1,5 %	4,0%

[0099] Des échantillons ont été prélevés dans les zones G et H de façon à caractériser la tôle obtenue. Les résultats des essais mécaniques sont fournis dans le tableau 12, ci-dessous :

Tableau 12 : résultats des essais mécaniques réalisés dans les zones G et H

Zone	Sens L			K_{1c} (L-T) (Mpa$\sqrt{m}$)
	R_m (Mpa)	$R_{p0,2}$ (Mpa)	A%	
G	642	631	7,7	25,2
H	628	600	8,9	32,0

[0100] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir des compromis de propriétés différents dans les zones G et H Ainsi, la zone G est caractérisée par une résistance mécanique élevée, au détriment d'un allongement et d'une ténacité limités tandis que la zone H se distingue par un allongement et une ténacité plus importants mais pour une résistance mécanique statique plus faible.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un produit corroyé en alliage d'aluminium sans traitement thermique, ledit procédé comprenant :

   - une étape de transformation à chaud,
   - au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid dans laquelle on impose en au moins deux zones dudit produit corroyé des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2% et préférentiellement différentes d'au moins 3%,

   caractérisé en ce que ladite transformation par déformation plastique à froid est réalisée postérieurement à la transformation à chaud.

2. Procédé de fabrication d'un produit corroyé en alliage d'aluminium à traitement thermique, ledit procédé comprenant :

- une étape de transformation à chaud,
- une étape de mise en solution et une étape de trempe,
- au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid dans laquelle on impose en au moins deux zones dudit produit corroyé des déformations plastiques généralisées moyennes différentes d'au moins 2% et préférentiellement différentes d'au moins 3%,

caractérisé en ce que ladite transformation par déformation plastique à froid est réalisée postérieurement à la transformation à chaud et aux étapes de mise en solution et trempe.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 comprenant au moins deux étapes de transformation par déformation plastique à froid postérieures à la transformation à chaud.

4. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel, ledit produit corroyé a une dimension principale ou de longueur dans la direction L et dans lequel lesdites au moins deux zones sont situées à une position différente dans ladite direction principale L.

5. Procédé selon la revendication 4 dans lequel au moins une étape de déformation plastique à froid est une traction contrôlée, et dans lequel une des extrémités dans la direction principale du produit intermédiaire sur lequel est effectuée ladite traction contrôlée déborde significativement des mors du banc de traction lors de ladite étape de traction contrôlée.

6. Procédé selon la revendication 4 dans lequel au moins une étape de déformation plastique à froid est une traction contrôlée et dans lequel ladite étape de traction contrôlée est effectuée sur un produit intermédiaire ayant une section variable dans le plan perpendiculaire à la direction L.

7. Procédé selon la revendication 4 dans lequel ledit produit corroyé est une tôle ayant une dimension principale ou de longueur dans la direction L, une dimension transversale ou de largeur dans la direction *l* et une dimension d'épaisseur dans la direction *e*, et dans lequel au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid est effectuée par laminage à froid de telle façon que l'épaisseur de ladite tôle est variable à l'entrée du laminoir et sensiblement constante à la sortie du laminoir.

8. Procédé selon la revendication 7 dans lequel la variation d'épaisseur de ladite tôle à l'entrée du laminoir à froid est obtenue au cours de l'étape de laminage à chaud ou
par usinage d'une tôle d'épaisseur constante issue de l'étape de laminage à chaud.

9. Procédé selon la revendication 4 dans lequel ledit produit corroyé est une tôle ayant une dimension principale ou de longueur dans la direction L, une dimension transversale ou de largeur dans la direction *l* et une dimension d'épaisseur dans la direction *e*,
et dans lequel au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid est effectuée par laminage à froid de telle façon que l'épaisseur de ladite tôle est sensiblement constante à l'entrée du laminoir et variable à la sortie du laminoir,
et dans lequel une étape subséquente d'usinage permet d'obtenir une épaisseur finale sensiblement constante en tout point.

10. Procédé selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel, ledit produit corroyé est une tôle ayant une dimension principale ou de longueur dans la direction *L*, une dimension transversale ou de largeur dans la direction *l* et une dimension d'épaisseur dans la direction *e* et dans lequel lesdites au moins deux zones sont situées à une position différente de ladite direction transversale *l*.

11. Procédé selon la revendication 10 dans lequel au moins une étape de transformation par déformation plastique à froid est effectuée par laminage à froid de telle façon que l'épaisseur de ladite tôle est sensiblement constante à l'entrée du laminoir et variable à la sortie du laminoir,
et dans lequel une étape subséquente d'usinage permet d'obtenir une épaisseur finale sensiblement constante en tout point.

12. Produit corroyé en alliage 2XXX à l'état T3X susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des

revendications 1 à 11 **caractérisé en ce que** les dites au moins deux zones Z1 et Z2 possèdent des propriétés mécaniques sélectionnées dans le groupe formé de

(i) Z1 : $R_m(L)$ > 500 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 520 MPa
et Z2 : A(L)(%) > 16% et préférentiellement A(L)(%) > 18%
(ii) Z1 : $R_m(L)$ > 450 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 470 MPa
et Z2 : A(L)(%) > 18% et préférentiellement A(L)(%) > 20%
(iii) Z1 : $R_m(L)$ > 550 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 590 MPa
et Z2 : A(L)(%) > 10% et préférentiellement A(L)(%) > 14%
(iv) Z1 : $R_m(L)$ > 550 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 590 MPa
et Z2 : $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 45 Mpa$\sqrt{m}$ et préférentiellement $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 55 Mpa$\sqrt{m}$

13. Produit corroyé en alliage 2XXX à l'état T3X susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 1 à 11 **caractérisé en ce que** les dites au moins deux zones Z1 et Z2 possèdent des propriétés mécaniques dans lesquelles

(i) $R_{p0,2}$, mesuré dans le sens L ou dans le sens LT présente un écart $R_{p0,2}(Z1) - R_{p0,2}(Z2)$ d'au moins 50 MPa et préférentiellement d'au moins 70 MPa et/ou
(ii) R_m, mesuré dans le sens L ou dans le sens LT présente un écart $R_m(Z1) - R_m(Z2)$ d'au moins 20 MPa et préférentiellement d'au moins 30 MPa.
(iii) K_{1c}, mesuré dans le sens L-T présente un écart $K_{1c}(Z1) - K_{1c}(Z2)$ d'au moins 5 MPa$\sqrt{m}$ et préférentiellement d'au moins 15 MPa$\sqrt{m}$.

14. Produit corroyé en alliage 2XXX contenant du lithium à l'état T8X susceptible d'être obtenu par le procédé selon une quelconque des revendications 1 à 11 **caractérisé en ce que** les dites au moins deux zones Z1 et Z2 possèdent des propriétés mécaniques sélectionnées dans le groupe formé de

(i) Z1 : $R_m(L)$ > 630 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 640 MPa et Z2 : A(L)(%) > 8 % et préférentiellement A(L)(%) > 9 %
(ii) Z1 : $R_m(L)$ > 640 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 650 MPa et Z2 : A(L)(%) > 7 % et préférentiellement A(L)(%) > 8 %
(iii) Z1 : $R_m(L)$ > 630 MPa et préférentiellement $R_m(L)$ > 640 MPa et Z2 : $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 25 Mpa$\sqrt{m}$ et préférentiellement $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 30 Mpa$\sqrt{m}$

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Kneterzeugnisses aus Aluminiumlegierung ohne Wärmebehandlung, wobei das Verfahren umfasst:

- einen Warmumformschritt,
- mindestens einen Umformschritt durch plastische Kaltverformung, bei dem in wenigstens zwei Bereichen des Kneterzeugnisses mittlere generalisierte plastische Verformungen durchgeführt werden, die um mindestens 2% und vorzugsweise um mindestens 3% voneinander verschieden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass die Umformung durch plastische Kaltverformung nach der Warmumformung durchgeführt wird.

2. Verfahren zur Herstellung eines Kneterzeugnisses aus Aluminiumlegierung mit Wärmebehandlung, wobei das Verfahren umfasst:

- einen Warmumformschritt,
- einen Lösungsglühschritt und einen Abschreckschritt,
- mindestens einen Umformschritt durch plastische Kaltverformung, bei dem in wenigstens zwei Bereichen des Kneterzeugnisses mittlere generalisierte plastische Verformungen durchgeführt werden, die um mindestens 2 % und vorzugsweise um mindestens 3 % voneinander verschieden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass die Umformung durch plastische Kaltverformung nach der Warmumformung und

dem Lösungsglüh- und Abschreckschritt durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, welches mindestens zwei Umformschritte durch plastische Kaltverformung nach der Warmumformung umfasst.

4. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Kneterzeugnis ein Haupt- oder Längenmaß in der Richtung *L* aufweist und bei dem sich die wenigstens zwei Bereiche an einer unterschiedlichen Position in der Hauptrichtung *L* befinden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem mindestens ein plastischer Kaltverformungsschritt ein kontrolliertes Ziehen ist und bei dem eines der Enden in Hauptrichtung des Zwischenerzeugnisses, an dem das kontrollierte Ziehen durchgeführt wird, bei diesem kontrollierten Ziehschritt deutlich aus den Klemmbacken der Ziehmaschine herausragt.

6. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem mindestens ein plastischer Kaltverformungsschritt ein kontrolliertes Ziehen ist und bei dem dieser kontrollierte Ziehschritt an einem Zwischenerzeugnis durchgeführt wird, das in der Ebene senkrecht zur Richtung *L* einen variablen Querschnitt hat.

7. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Kneterzeugnis ein Blech ist, das ein Haupt- oder Längenmaß in Richtung *L,* ein Quer- oder Breitenmaß in Richtung *l* und ein Dickenmaß in Richtung *e* aufweist, und bei dem mindestens ein Umformschritt durch plastische Kaltverformung mittels Kaltwalzen so durchgeführt wird, dass die Dicke des Blechs am Eingang des Walzwerks variabel und am Ausgang des Walzwerks im Wesentlichen konstant ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Dickenvariation des Blechs am Eingang des Kaltwalzwerks während des Warmwalzschritts bzw. durch Bearbeitung eines aus dem Warmwalzschritt hervorgehenden Blechs konstanter Dicke erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Kneterzeugnis ein Blech ist, das ein Haupt- oder Längenmaß in Richtung *L,* ein Quer- oder Breitenmaß in Richtung *l* und ein Dickenmaß in Richtung *e* aufweist,
und bei dem mindestens ein Umformschritt durch plastische Kaltverformung mittels Kaltwalzen so durchgeführt wird, dass die Dicke des Blechs am Eingang des Walzwerks im Wesentlichen konstant und am Ausgang des Walzwerks variabel ist,
und bei dem mit einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt eine an allen Stellen im Wesentlichen konstante Enddicke erhalten werden kann.

10. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Kneterzeugnis ein Blech ist, das ein Haupt- oder Längenmaß in Richtung *L,* ein Quer- oder Breitenmaß in Richtung *l* und ein Dickenmaß in Richtung *e* aufweist, und bei dem sich die wenigstens zwei Bereiche an einer unterschiedlichen Position in der Querrichtung *l* befinden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem mindestens ein Umformschritt durch plastische Kaltverformung mittels Kaltwalzen so durchgeführt wird, dass die Dicke des Blechs am Eingang des Walzwerks im Wesentlichen konstant und am Ausgang des Walzwerks variabel ist,
und bei dem mit einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt eine an allen Stellen im Wesentlichen konstante Enddicke erhalten werden kann.

12. Kneterzeugnis aus einer Legierung 2XXX im Zustand T3X, herstellbar durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens zwei Bereiche Z1 und Z2 Festigkeitseigenschaften aufweisen, die ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus

(i) Z1: $R_m(L) > 500$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 520$ MPa
und Z2 : $A(L)(\%) > 16\%$ und vorzugsweise $A(L)(\%) > 18\%$
(ii) Z1: $R_m(L) > 450$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 470$ MPa
und Z2 : $A(L)(\%) > 18\%$ und vorzugsweise $A(L)(\%) > 20\%$
(iii) Z1: $R_m(L) > 550$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 590$ MPa
und Z2 : $A(L)(\%) > 10\%$ und vorzugsweise $A(L)(\%) > 14\%$
(iv) Z1: $R_m(L) > 550$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 590$ MPa
und Z2 : $K_{1c}(L\text{-}T) > 45\text{MPa}\sqrt{m}$ und vorzugsweise $K_{1c}(L\text{-}T) > 45\text{MPa}\sqrt{m}$.

13. Kneterzeugnis aus einer Legierung 2XXX im Zustand T3X, herstellbar durch das Verfahren nach irgendeinem der

Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens zwei Bereiche Z1 und Z2 Festigkeitseigenschaften aufweisen, bei denen

(i) $R_{p0,2}$, gemessen in L-Richtung oder in LT-Richtung, eine Abweichung $R_{p0,2}(Z1) - R_{p0,2}(Z2)$ von mindestens 50 MPa und vorzugsweise mindestens 70 MPa aufweist, und/oder
(ii) R_m, gemessen in L-Richtung oder in LT-Richtung, eine Abweichung $R_m(Z1) - R_m(Z2)$ von mindestens 20 MPa und vorzugsweise mindestens 30 MPa aufweist.
(iii) K_{1c}, gemessen in L-T-Richtung, weist eine Abweichung K_{1c} (Z1) - K_{1c} (Z2) von mindestens 5MPa$\sqrt{m}$ und vorzugsweise mindestens 15MPa$\sqrt{m}$ auf.

14. Kneterzeugnis aus einer Lithium enthaltenden Legierung 2XXX im Zustand T8X, herstellbar durch das Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens zwei Bereiche Z1 und Z2 Festigkeitseigenschaften aufweisen, die ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus

(i) Z1 : $R_m(L) > 630$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 640$ MPa
und Z2 : $A(L)(\%) > 8\%$ und vorzugsweise $A(L)(\%) > 9\%$
(ii) Z1: $R_m(L) > 640$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 650$ MPa
und Z2 : $A(L)(\%) > 7\%$ und vorzugsweise $A(L)(\%) > 8\%$
(iii) Z1: $R_m(L) > 630$ MPa und vorzugsweise $R_m(L) > 640$ MPa
und Z2 : $K_{1c}(L\text{-}T) > 25$MPa$\sqrt{m}$ und vorzugsweise $K_{1c}(L\text{-}T) > 30$MPa$\sqrt{m}$.

Claims

1. Method for manufacturing a wrought product made from aluminium alloy without heat treatment, said method comprising:

- a hot-transformation step,
- at least one step of transformation by cold plastic deformation in which, in at least two regions of said wrought product, mean generalised plastic deformations are imposed, different by at least 2% and preferentially different by at least 3%,

characterised in that said cold plastic deformation transformation is performed subsequently to the hot transformation.

2. Method for manufacturing a wrought product made from aluminium alloy with heat treatment, said method comprising:

- a hot-transformation step,
- a step of solution heat treatment and a quenching step,
- at least one step of transformation by cold plastic deformation in which, in at least two regions of said wrought product, mean generalised plastic deformations are imposed, different by at least 2% and preferentially different by at least 3%,

characterised in that said transformation by cold plastic deformation is carried out subsequently to the hot transformation and to the aging and quenching steps.

3. Method according to claim 1 or claim 2, comprising at least two steps of transformation by cold plastic deformation subsequent to the hot transformation.

4. Method according to any of claims 1 to 3, in which said wrought product has a principal dimension or a dimension of length in the direction L and in which said at least two regions are situated at different positions in said principal direction L.

5. Method according to claim 4, in which at least one cold plastic deformation step is a controlled traction, and in which one of the ends in the principal direction of the intermediate product on which said controlled traction is performed projects significantly from the jaws of the traction bench during said controlled traction step.

6. Method according to claim 4, in which at least one cold plastic deformation step is a controlled traction and in which

said controlled traction step is performed on an intermediate product having a cross section variable in the plane perpendicular to the direction *L*.

7. Method according to claim 4, in which said wrought product is a sheet having a principal dimension or a dimension of length in the direction *L*, a transverse dimension or a dimension of width in the direction *l* and a dimension of thickness in the direction *e*, and in which at least one step of transformation by cold plastic deformation is performed by cold rolling so that the thickness of said sheet is variable at the entry to the rolling mill and substantially constant at the exit from the rolling mill.

8. Method according to claim 7, in which the variation in thickness of said sheet at the entrance of the cold rolling mill is obtained during the hot rolling step or by machining a sheet of constant thickness issuing from the hot rolling step.

9. Method according to claim 4, in which said wrought product is a sheet having a principal dimension or a dimension of length in the direction L, a transverse dimension or a dimension of width in the direction *l* and a dimension of thickness in the direction *e*,
and in which at least one step of transformation by cold plastic deformation is performed by cold rolling so that the thickness of said sheet is substantially constant at the entrance of the rolling mill and variable at the exit from the rolling mill,
and in which a subsequent machining step makes it possible to obtain a final thickness that is substantially constant at every point.

10. Method according to any of claims 1 to 3, in which said wrought product is a sheet having a principal dimension or a dimension of length in the direction *L*, a transverse dimension or a dimension of width in the direction *l* and a dimension of thickness in the direction *e* and in which said at least two regions are situated at different positions in said transverse direction *l*.

11. Method according to claim 10, in which at least one step of transformation by cold plastic deformation is performed by cold rolling so that the thickness of said sheet is substantially constant at the entrance of the rolling mill and variable at the exit from the rolling mill,
and in which a subsequent machining step makes it possible to obtain a final thickness that is substantially constant at every point.

12. Wrought product made from 2XXX alloy in the T3X state able to be obtained the method according to any of claims 1 to 11, **characterised in that** said at least two regions Z1 and Z2 have mechanical properties selected from the group formed by:

(i) Z1: R_m(L) > 500 MPa and preferentially R_m(L) > 520 MPa
and Z2: A(L)(%) > 16% and preferentially A(L) (%) > 18%
(ii) Z1: R_m(L) > 450 MPa and preferentially R_m (L) > 470 MPa
and Z2: A(L)(%) > 18% and preferentially A(L) (%) > 20%
(iii) Z1: R_m(L) > 550 MPa and preferentially R_m(L) > 590 MPa
and Z2: A(L)(%) > 10% and preferentially A(L) (%) > 14%
(iv) Z1: R_m(L) > 550 MPa and preferentially R_m(L) > 590 MPa
and Z2: K_{1c}(L-T) > 45 MPa$\sqrt{m}$ and preferentially K_{1c}(L-T) > 55 MPa$\sqrt{m}$.

13. Wrought product made from 2XXX alloy in the T3X state able to be obtained the method according to any of claims 1 to 11, **characterised in that** said at least two regions Z1 and Z2 have mechanical properties in which

(i) $R_{p0.2}$, measured in the direction L or in the direction LT, has a difference $R_{p0.2}$(Z1) - $R_{p0.2}$(Z2) of at least 50 MPa and preferentially at least 70 MPa, and/or
(ii) R_m, measured in the direction L or in the direction LT, has a difference R_m(Z1) - R_m(Z2) of at least 20 MPa and preferentially at least 30 MPa,
(iii) K_{1c}, measured in the direction L-T, has a difference K_{1c}(Z1) - K_{1c}(Z2) of at least 5 MPa$\sqrt{m}$ and preferentially at least 15 MPa$\sqrt{m}$.

14. Wrought product made from 2XXX alloy containing lithium in the T8X state able to be obtained by the method according to any of claims 1 to 11, **characterised in that** said at least two regions Z1 and Z2 have mechanical properties selected from the group formed by

(i) Z1: $R_m(L)$ > 630 MPa and preferentially $R_m(L)$ > 640 MPa
and Z2: A(L)(%) > 8% and preferentially A(L) (%) > 9%
(ii) Z1: $R_m(L)$ > 640 MPa and preferentially $R_m(L)$ > 650 MPa
and Z2: A(L)(%) > 7% and preferentially A(L) (%) > 8%
(iii) Z1: $R_m(L)$ > 630 MPa and preferentially $R_m(L)$ > 640 MPa
and Z2: $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 25 MPa$\sqrt{m}$ and preferentially $K_{1c}(L\text{-}T)$ > 30 MPa$\sqrt{m}$

Figure 1 :

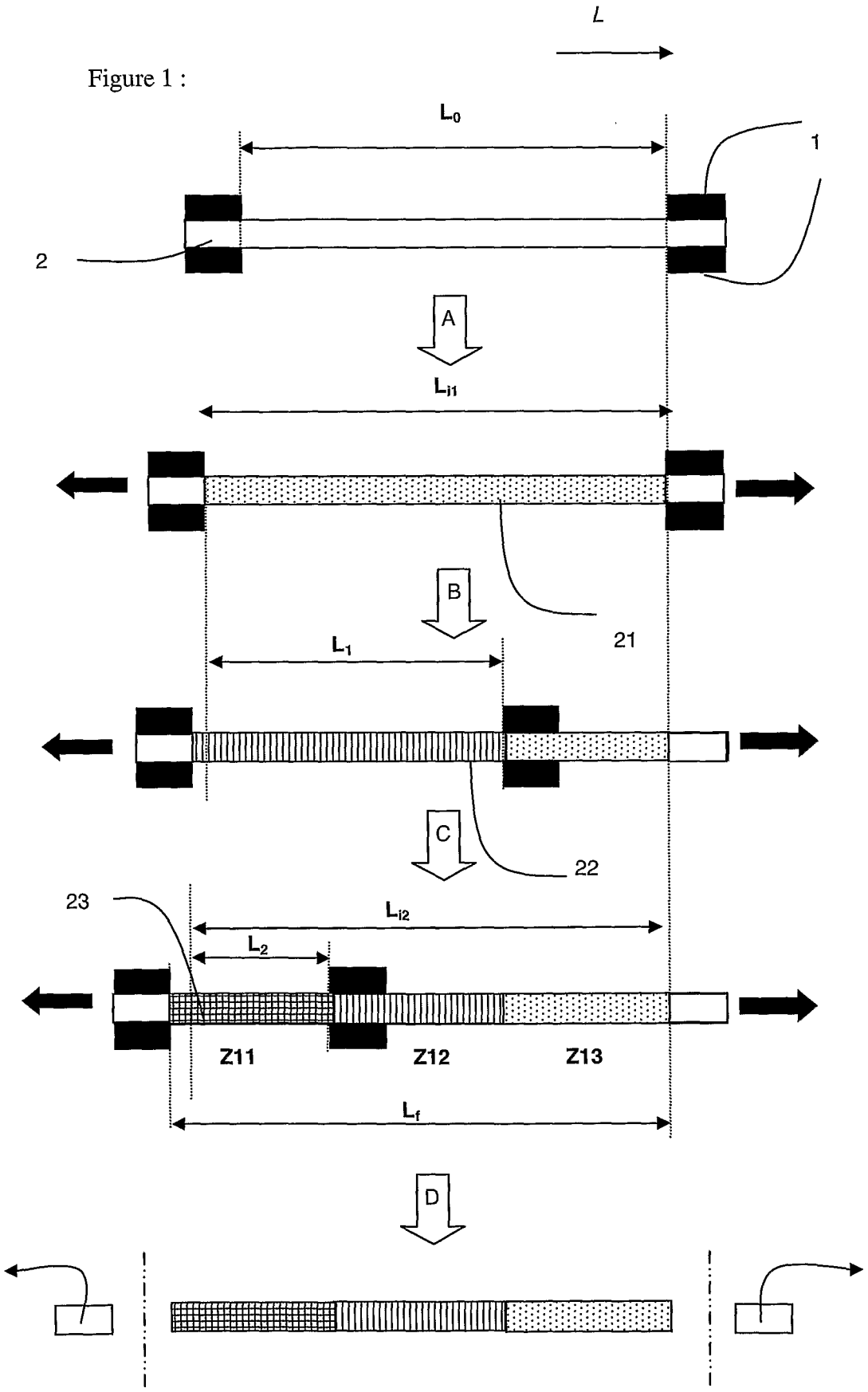


Figure 2

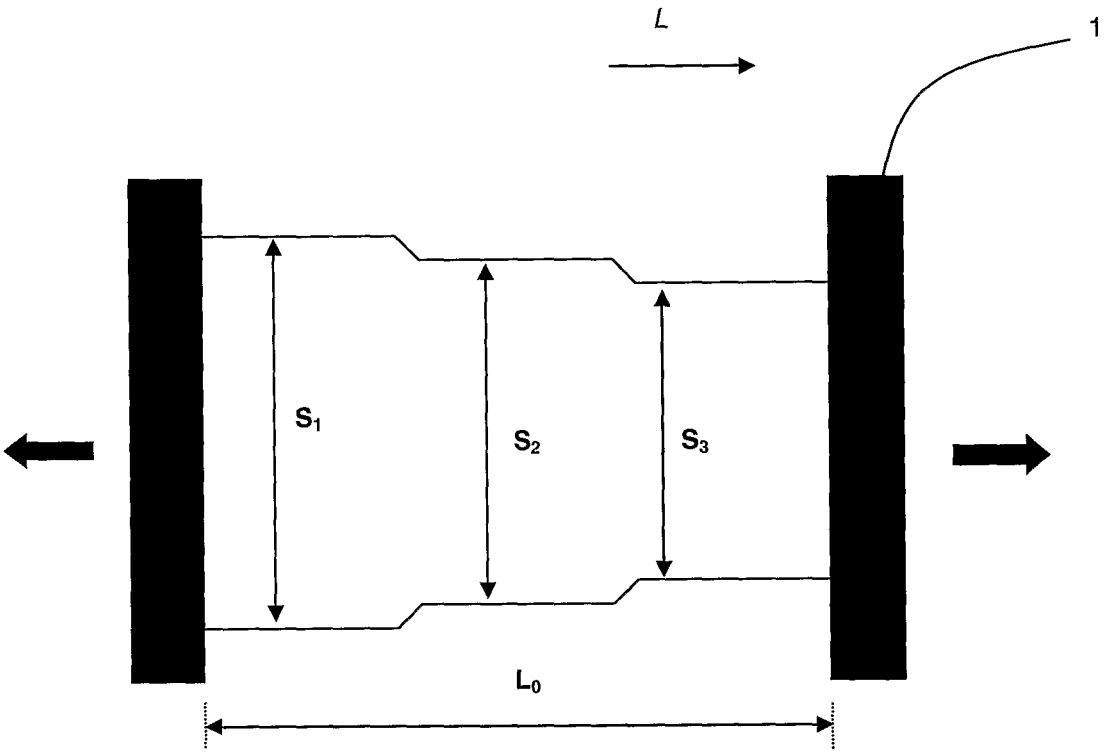


Figure 3

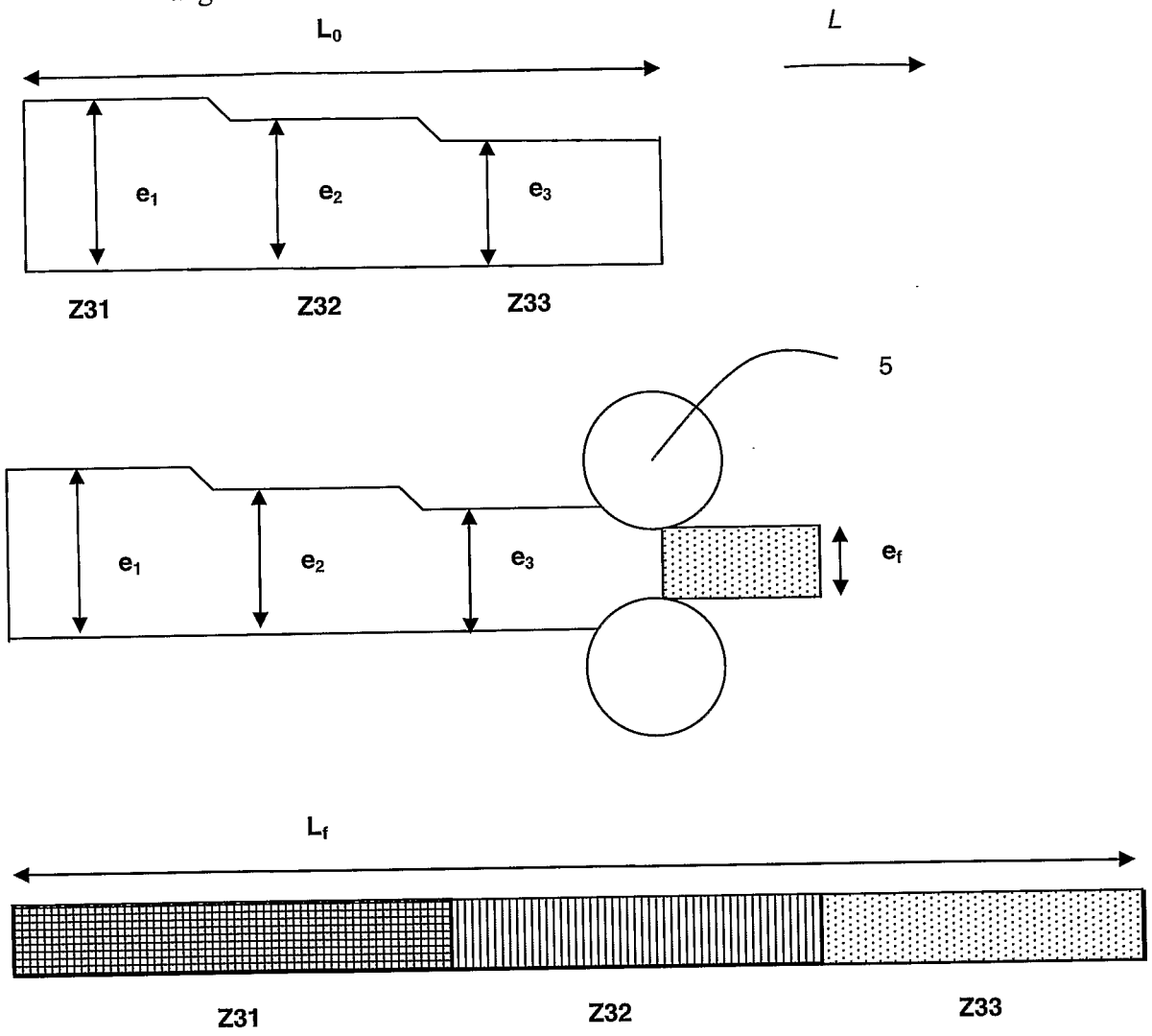


Figure 4

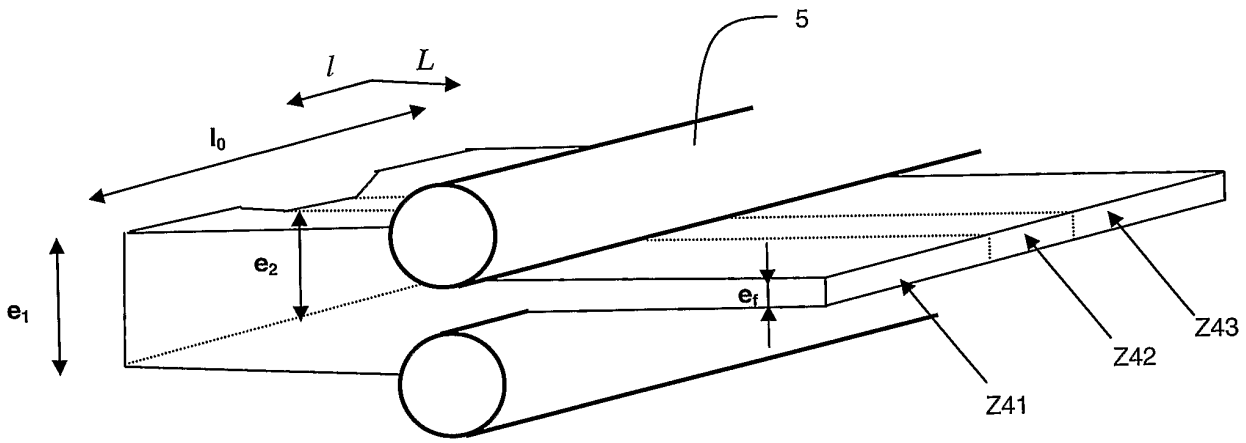
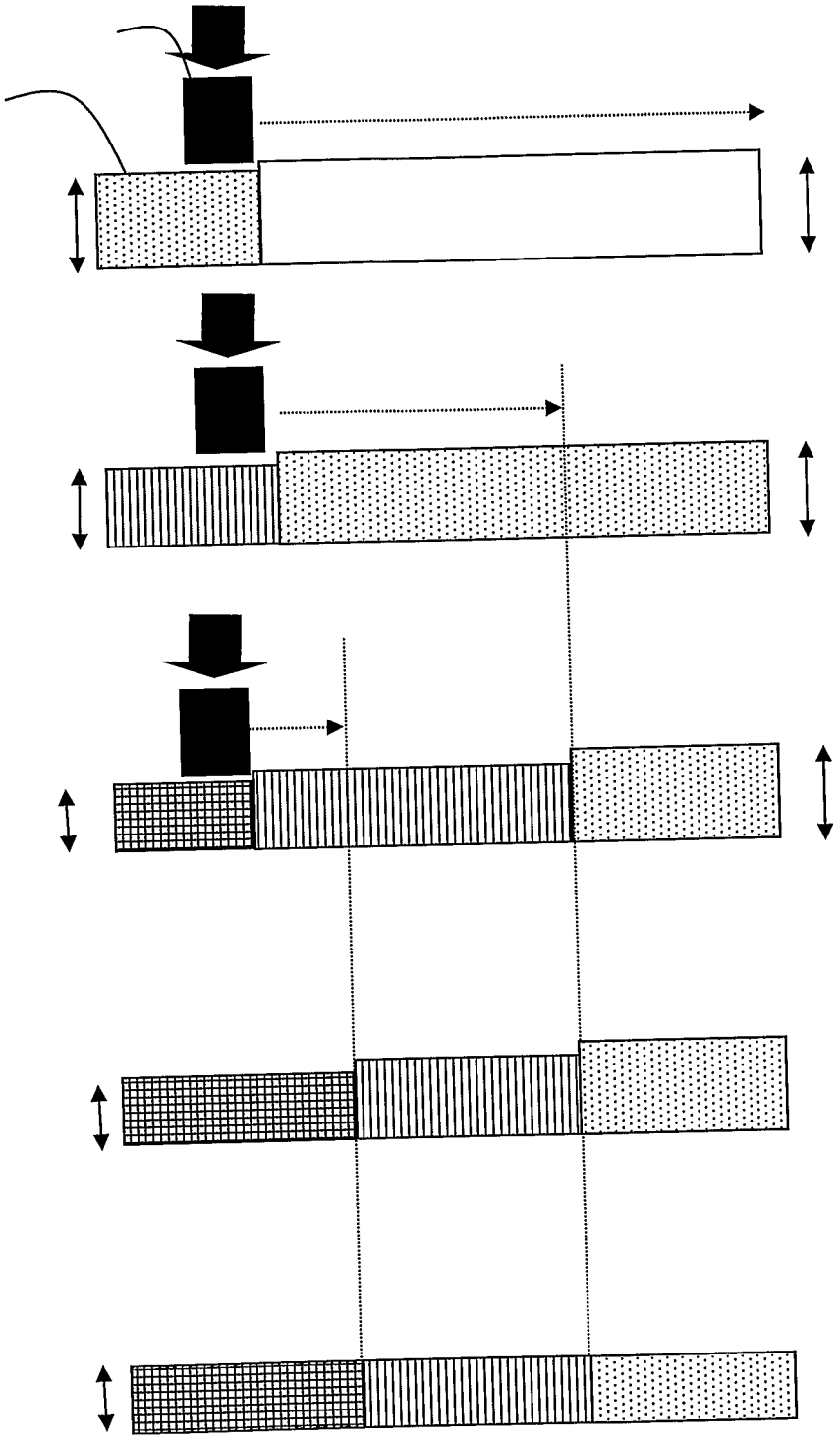


Figure 5



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

- FR 2707092 **[0005]**
- WO 2005098072 A **[0006]**
- US 2003226935 A **[0008]**
- WO 9858759 A **[0009]**
- EP 1547720 A1 **[0009]**
- CA 2317366 **[0011]**
- JP 11192502 A **[0013]**
- EP 0062469 A1 **[0013]**
- WO 0021695 A **[0014]**

Littérature non-brevet citée dans la description

- **R. KOPP, C. WIEDNER ; A. MEYER.** *International Sheet Metal Review,* Juillet 2005, 20-24 **[0011]**
- **P. BAQUE ; E. FELDER ; J. HYAFIL ; Y. D'ESCATHA.** Mise en forme des métaux - Calculs sur la plasticité. 1973 **[0026]**
- **B. BAUDELET.** Mise en forme des métaux et alliages. 1976 **[0026]**