

(19)



(11)

EP 3 297 776 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
03.07.2019 Bulletin 2019/27

(51) Int Cl.:
B21C 23/00 (2006.01) **B21C 23/06** (2006.01)
B21C 25/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16757278.3**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/051847

(22) Date de dépôt: **19.07.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/017341 (02.02.2017 Gazette 2017/05)

(54) **PROCÉDÉ DE FORMATION D'UN OBJET PLAT MÉTALLIQUE À GRAINS ULTRAFINS**

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES ULTRAFEINKÖRNICEN FLACHEN METALLOBJEKTS
METHOD FOR FORMING AN ULTRAFINE-GRAINED FLAT METAL OBJECT

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

- **TOTH, Laszlo**
57000 Metz (FR)
- **FUNDENBERGER, Jean-Jacques**
57430 Le Val De Gueblange (FR)

(30) Priorité: **24.07.2015 FR 1557031**

(74) Mandataire: **Novagraaf Technologies**
Bâtiment O2
2, rue Sarah Bernhardt
CS90017
92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)

(43) Date de publication de la demande:
28.03.2018 Bulletin 2018/13

(73) Titulaire: **Université de Lorraine**
54000 Nancy (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-2013/006910 GB-A- 1 447 768
JP-A- 2005 000 996 US-A1- 2013 055 783
US-B2- 7 152 448 US-B2- 7 191 630
US-B2- 7 617 750

(72) Inventeurs:
• **BEYGELZIMER, Yakiv**
02095 Kiev (UA)

EP 3 297 776 B1

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

Description**Domaine technique**

5 **[0001]** La présente invention concerne un procédé de formation d'un objet plat tel qu'une tôle avec un matériau ayant une structure à grains ultrafins.

[0002] Dans la description ci-dessous, les références entre crochets ([]) renvoient à la liste des références présentée à la fin du texte.

10 **État de la technique**

[0003] La possibilité de produire des objets avec un matériau métallique à grains ultrafins est bien établie avec des méthodes de déformation plastique sévère telles que l'extrusion angulaire à section égale, la déformation multiaxes, l'extrusion-torsion, la torsion haute pression ou le laminage multipasses. La réduction de la taille des grains à des tailles sub-micrométriques ou nanométriques a pour effet de conférer au matériau métallique une haute limite élastique, une ductilité satisfaisante, une bonne résistance à la fatigue, aux basses températures et à l'usure. Ceci a été observé avec de nombreux métaux ou alliages métalliques, que ce soit des aciers, des alliages à base de titane, d'aluminium, de magnésium ou de lithium.

15 **[0004]** Lors de la mise en oeuvre d'une déformation plastique sévère, des changements microstructuraux sont induits par des déformations plastiques très importantes imposées à un échantillon, d'un facteur souvent supérieur à 3.

[0005] La méthode la plus courante est celle du laminage [1]. Elle nécessite de réaliser de nombreuses passes successives, chacune réduisant l'épaisseur totale d'une tôle. Ce procédé est long à mettre en oeuvre ou nécessite des installations coûteuses et encombrantes. Les mêmes remarques s'appliquent à un procédé apparenté de colaminage cumulatif (accumulated roll bonding en anglais) détaillé dans le document [2].

25 **[0006]** Une autre technique permettant de travailler sur de plus petits échantillons est une technique d'extrusion angulaire à section constante dans laquelle un échantillon est forcé à travers une matrice comportant un canal en angle, par exemple en angle droit. Cette technique, correspondant au préambule de la revendication principale, nécessite de mettre en oeuvre des forces très importantes et rend la conception et la fabrication de la matrice très délicate. Les références [3], qui représente l'état de la technique le plus proche de la revendication 1, [4] et [5] sont des documents qui exposent cette méthode.

30 **[0007]** Dans une variante de cette méthode montrée dans le document [6], l'échantillon est plaqué contre une paroi rugueuse et entraîné en rotation jusqu'à une paroi formant butée où il subit une déformation en étant repoussé radialement.

[0008] Un procédé de cisaillement continu est montré par les publications [7] et [8] dans lequel un matériau en bande continu est forcé par une paire de rouleaux dans une matrice avec une sortie latérale.

35 **[0009]** Dans le procédé du document [9], une bande continue est soumise répétitivement à des déformations ondulées puis à des redressements.

[0010] Le document [10] propose une méthode dans laquelle une partie d'une pièce d'origine est découpée en surface et canalisée dans un espace radial. Une telle méthode ne permet pas de contrôler la pression statique sur le matériau et des fissures peuvent se créer le long de plans de glissement.

40 **[0011]** Le document [11] montre un procédé d'extrusion dont la sortie n'est pas symétrique. Un tel procédé ne permet pas d'atteindre de hauts niveaux de déformation.

Description de l'invention

45 **[0012]** L'invention vise à proposer un procédé de production de pièces ayant une microstructure à grains ultrafins, obtenue par déformation plastique sévère, qui soit rapide à mettre en oeuvre et pouvant être mis en oeuvre avec des efforts modérés.

[0013] Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un procédé de formation d'une pièce dans lequel un matériau métallique subit une déformation plastique sévère afin de lui conférer une structure à grains ultrafins, dans lequel on introduit une barre dudit matériau dans une matrice selon une direction d'introduction, la matrice comportant une zone d'entrée avec une section en concordance avec la section de la barre et une zone de sortie, la zone de sortie étant orientée dans une direction de sortie latérale par rapport à la direction d'introduction pour extraire le matériau transformé, le procédé étant caractérisé en ce que, la matrice comportant une zone d'extrusion ayant la même direction que la zone d'entrée et de dimension moindre que la zone d'entrée dans la direction de sortie dans un rapport compris entre 0,75 et 1 exclu, une zone de transition comportant une face de transition en aval de la zone de sortie et effectuant la transition entre la zone d'entrée et la zone d'extrusion, on extrude la barre à travers la zone d'extrusion, la face de transition créant une pression pour pousser une partie du matériau à travers la zone de sortie et extraire le matériau transformé en forme

de tôle.

[0014] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir un produit très fin même en partant d'une barre de section importante. Pour autant, les efforts à fournir sont relativement limités puisqu'il n'est pas nécessaire de déformer l'ensemble de la section de la barre, mais uniquement une partie. Par ailleurs les déformations obtenues sont d'une grande ampleur, de telle sorte que la tôle obtenue n'a pas besoin d'être travaillée à nouveau : une structure à grains ultrafins est obtenue directement. Le procédé peut s'appliquer à de nombreux matériaux métalliques. On utilise par exemple des métaux purs ou des alliages métalliques, que ce soit des aciers, des alliages à base de titane, d'aluminium, de magnésium ou de lithium.

[0015] Selon une variante du procédé, on exerce en outre une contre-pression dans la zone d'extrusion. Cette contre-pression provoque une augmentation de la pression hydrostatique au niveau de la zone de transition, ce qui assure plus sûrement que le matériau flue vers la zone de sortie. Elle constitue un paramètre supplémentaire du procédé sur lequel on peut agir pour mettre en oeuvre le procédé.

[0016] De manière préférentielle, la matrice est choisie pour que :

$$\chi = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right)}{- \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha} \leq 1$$

avec :

Ψ le rapport de réduction de section entre la section de sortie et la section d'entrée ;

α l'angle entre la direction d'introduction et la face de transition ;

$t = a/h$ où $2a$ est la largeur de la zone de sortie et h est la différence de dimension entre la zone d'entrée et la zone de sortie ; et

m est le coefficient de frottement entre le matériau et la face de transition.

[0017] Le procédé selon l'invention ne se produit pas si certaines conditions ne sont pas remplies. En particulier, on pourrait obtenir une simple extrusion sans que le matériau flue vers la zone de sortie si la pression hydrostatique n'est pas suffisante. Les conditions exposées ci-dessus sont suffisantes pour garantir, même en l'absence de contre-pression, que le matériau flue vers la zone de sortie pour former la tôle. Cette relation montre les conditions sont plus propices si le rapport de réduction Ψ diminue, si l'angle α augmente ou si le rapport t diminue.

[0018] Dans le cas de l'exercice d'une contre-pression, la matrice et la contre-pression sont choisis pour que :

$$\chi' = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1 - \Psi)}{k}}{- \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k}} \leq 1$$

avec :

Ψ le rapport de réduction de section entre la section de sortie et la section d'entrée ;

α l'angle entre la direction d'introduction et la face de transition ;

$t = a/h$ où $2a$ est la largeur de la zone de sortie et h est la différence de dimension entre la zone d'entrée et la zone de sortie ;

m est le coefficient de frottement entre le matériau et la face de transition ;

P_{bp} est la contre-pression ; et

k est la limite élastique en cisaillement du matériau.

[0019] Cette relation montre que l'exercice de la contre-pression facilite le procédé selon l'invention en autorisant une large plage de choix pour les autres paramètres tels que l'angle α , le rapport t ou le rapport de réduction de section.

Brève description des figures

[0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, la description faisant référence aux dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'une matrice en coupe longitudinale dans laquelle le procédé selon un premier mode de réalisation de l'invention est mis en oeuvre ;
- la figure 2 est une vue similaire à la figure 1 pour un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est une vue d'un détail de la figure 1 commun également à la figure 2, sans mise en oeuvre du procédé selon l'invention ;
- la figure 4 est une vue similaire à la figure 3 avec mise en oeuvre du procédé selon l'invention ;
- les figures 5a et 5b sont des diagrammes représentant les conditions de fonctionnement du procédé selon le premier mode de réalisation ;
- les figures 6a et 6b sont des diagrammes similaires à ceux des figures 5a et 5b selon les conditions de fonctionnement du deuxième mode de réalisation du procédé ;
- la figure 7 est un diagramme montrant l'évolution d'une déformation de von Mises pour la tôle ;
- la figure 8 est une photo de côté d'une barre de laquelle la tôle est fabriquée.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0021] Le procédé de formation de tôle selon l'invention est mis en oeuvre dans un outillage comprenant une matrice 1 et un premier piston 2 permettant de pousser une barre 3 dans la matrice 1.

[0022] La barre 3 est réalisée dans un matériau métallique avec lequel on souhaite fabriquer la tôle 4 après sa transformation de structure pour obtenir une structure à grains ultrafins.

[0023] La matrice 1, montrée sur la figure 1 en coupe longitudinale selon une direction d'introduction, comporte une zone d'entrée 11 apte à recevoir une barre 3 dudit matériau selon la direction d'introduction F, une zone de transition 12, une zone de sortie 13 et une zone d'extrusion 14. La zone de sortie 13 est orientée dans une direction de sortie latérale par rapport à la direction d'introduction F. La zone d'extrusion 14 est dans le prolongement de la zone d'entrée 11, mais avec une dimension, considérée comme une hauteur, moindre du côté de la zone de sortie 13. Les hauteurs respectives de la zone d'extrusion 14 et de la zone d'entrée 11 sont dans un rapport compris entre 0,75 et 1 exclu. Dans l'exemple considéré, la section est rectangulaire, les différentes zones de la matrice 1 ayant une largeur égale dans la direction perpendiculaire au plan de coupe.

[0024] La zone de transition 12 comporte une face de transition 120 en aval de la zone de sortie 13 en effectuant la transition entre la zone d'entrée 11 et la zone d'extrusion 14. La face de transition 120 est inclinée d'un angle α par rapport à la direction d'introduction F.

[0025] Le premier piston 2 a sensiblement la même section que la zone d'entrée 11 et est apte à pousser la barre 3 dans la direction d'introduction F à travers la matrice 1. La barre 3 a également une section ajustée à celle de la zone d'entrée 11.

[0026] Selon le procédé de l'invention, on introduit la barre 3 par la zone d'entrée 11, on actionne le premier piston 2, on extrude la barre 3 à travers la zone d'extrusion 14 en même temps qu'on extrait une tôle 4 par une partie du matériau de la barre 3 qui flue à travers la zone de sortie 13.

[0027] En forçant le passage de la barre 3 avec une force F, le premier piston 2 induit le passage de l'épaisseur initiale H_0 de la barre 3 à une hauteur réduite de H_0-h . Dans la zone de transition 12, une grande pression est induite de telle sorte que la partie externe de la barre 3 flue dans la zone de sortie 13 et forme la tôle 4 avec une épaisseur $2a$. En fluant, la matière subit une déformation plastique sévère, ce qui lui confère les propriétés de structure à grains ultrafins souhaitées.

[0028] Afin de déterminer les conditions dans lesquelles le procédé se produit, selon la théorie des majorants, on considère deux cas : deux champs de vitesse admissible cinématiquement, l'un qui simule l'extrusion directe à travers la matrice 1 (vers la zone d'extrusion 14), représenté sur la figure 3, l'autre avec la formation de la tôle 4, représenté sur la figure 4.

[0029] Dans le cas de la figure 3, on établit que la pression appliquée par le premier piston 2 P_a peut s'exprimer par :

$$\frac{P_a}{k} = - \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{w_{fr}}{kH_0V_0} \quad (1)$$

avec Ψ le rapport de réduction de section entre la section de sortie et la section d'entrée ; α l'angle entre la direction d'introduction F et la face de transition 120 ; m est le coefficient de frottement entre le matériau et la face de transition 120 ; k est la limite élastique en cisaillement du matériau ; w_{fr} est une puissance de frottement de la barre 3 contre la zone d'entrée 11 ; et V_0 est la vitesse de déplacement du premier piston 2.

[0030] Pour évaluer la pression q en fonctionnement entre la barre 3 et la face de transition 120, on écrit l'équilibre des forces exercées sur la barre 3, en omettant les forces de frottement :

$$P_a H_0 = qh \quad (2)$$

[0031] En remplaçant P_a , on obtient :

$$\frac{q}{k} = -2 \frac{\ln(1 - \Psi)}{\Psi} + \frac{\tan \alpha}{\Psi} \quad (3)$$

[0032] Pour les petits rapports de réduction de section ($\Psi \leq 0.2$), on admet que :

$$\ln(1 - \Psi) \approx -\Psi$$

d'où :

$$\frac{q}{k} = 2 + \frac{\tan \alpha}{\Psi} \quad (4)$$

[0033] Cette relation montre que la diminution du rapport de section Ψ induit une augmentation de la pression locale q de manière hyperbolique. Ainsi, une petite réduction de section induit une forte pression dans la zone de transition 12.

[0034] Afin de déterminer dans quelles conditions la formation de la tôle 4 peut avoir lieu, on exprime la pression P_b appliquée par le premier piston 2 pour le cas de la figure 4 :

$$\frac{P_b}{k} = \Psi \left(\frac{2 + t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1 + t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{w_{fr}}{kV_0H_0} \quad (5)$$

où $t = a/h$.

[0035] La formation de la tôle 4 a lieu à condition que :

$$P_b < P_a \quad (6)$$

[0036] En définissant χ :

$$\chi = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right)}{- \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha}, \quad (7)$$

la formation de la tôle 4 a lieu à condition que $\chi \leq 1$, sinon c'est le scénario de la figure 3 qui se passe.

[0037] Pour calculer la déformation plastique lors de la formation de la tôle 4, en référence à la figure 4, on considère une discontinuité du champ de vitesse le long d'une ligne amont AB et d'une ligne aval AC, dans la vue en coupe longitudinale. Le point A est le sommet de l'angle entre la zone d'entrée 11 et la zone de sortie 13, le point C est le sommet de l'angle entre la zone de sortie 13 et la face de transition 120, et le point A est sensiblement l'intersection entre l'axe de la zone de sortie 13 et la projection selon la direction d'introduction F du sommet de l'angle entre la face de transition 120 et la zone d'extrusion 14. La déformation de cisaillement sur ces lignes est définie par la formule :

$$\gamma = \frac{\Delta V_\tau}{V_n} \quad (8)$$

où ΔV_τ est le différentiel des composantes de vitesse tangentielle V_n est la composante normale de vitesse sur la ligne de discontinuité. On en déduit l'expression de la déformation totale lors de la formation de la tôle 4 :

$$\gamma = \frac{3}{2}t + \frac{1}{2t}. \quad (9)$$

[0038] En utilisant maintenant la formule de déformation équivalente de von Mises $e_u = \frac{\gamma}{\sqrt{3}}$, on obtient :

$$e_u = \frac{\sqrt{3}t}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}t}. \quad (10)$$

[0039] L'évolution de e_u , la déformation équivalente dans le sens von Mises, en fonction de t est montrée sur la figure 7. Cette figure montre que pour les tôles fines et les feuilles, la déformation de von Mises est caractéristique des procédés de déformation plastique sévère.

[0040] Les isolignes de χ sont montrées sur les figures 5a et 5b, respectivement pour un angle α de 30° et de 60°. Le domaine Da, Db dans lequel la formation de la tôle 4 a lieu est représenté en grisé, au-dessus de la ligne $\chi = 1$

[0041] Selon un deuxième mode de réalisation, montré sur la figure 2, l'outillage est complété par un deuxième piston 5 apte à exercer une contre-pression sur l'extrémité de la barre 3 dans la zone d'extrusion 14.

[0042] On peut ainsi contrôler la pression hydrostatique lors de la formation de la tôle. La force exercée par le deuxième piston est nommée F_{bp} . De la même manière que précédemment, on établit que :

$$\frac{P_a}{k} = - \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k} + \frac{w_{fr}}{kH_0V_0}, \quad (11)$$

$$\frac{P_b}{k} = \Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1-\Psi)}{k} + \frac{w_{fr}}{kV_0H_0}, \quad (12)$$

où $P_{bp} = F_{bp}/s$, et s est la section de la zone d'extrusion 14.

[0043] Le paramètre χ' utilisant P_{bp} a maintenant la forme :

$$\chi' = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1-\Psi)}{k}}{-\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1-\Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k}}. \quad (13)$$

[0044] Les isolignes de χ' pour $P_{bp} = 2k$ sont montrées sur les figures 6a et 6b, respectivement pour un angle α de 30° et de 60°. Le domaine Da', Db' dans lequel la formation de la tôle 4 a lieu est représenté en grisé, au-dessus de la ligne $\chi' = 1$.

[0045] Il en ressort clairement que l'application d'une contre-pression étend le domaine Da', Db' dans lequel la formation de la tôle 4 a lieu par comparaison avec le cas sans contre-pression.

Exemple 1

[0046] Par l'extrusion d'une barre 3 d'aluminium commercialement pur par le procédé inventé, les résultats suivants ont été obtenus :

Matériau : Al1050
Dureté initiale: 44 HV
Taille de grain initiale: 200 μm

[0047] L'extrusion a été conduite à température ambiante selon le procédé de l'invention tel que décrit précédemment, en utilisant une contre pression. On a ainsi obtenu une tôle ayant les caractéristiques suivantes :

Epaisseur de la tôle produite : 0,7 mm
Dureté de la tôle : 108 HV
Déformation plastique estimée dans la tôle : $y = 8.1$
Taille de grain dans la tôle : 610 nm.

Exemple 2

[0048] L'extrusion d'aluminium commercialement pur a été conduite à température ambiante selon le procédé de l'invention tel que décrit précédemment, avec une pression de 300 kN en utilisant une contre pression de 100 kN . On a ainsi obtenu une tôle d'épaisseur 1,5 mm, telle qu'illustrée par la photo de la figure 8.

Listes des références

1. R. Song, D. Ponge, D. Raabe, J.G. Speer, D.K. Matlock, Conventional Rolling, Overview of processing, micro-structure and mechanical properties of ultra fine grained bcc steels, Materials Science and Engineering A 441 (2006) 1-17.
2. Saito Y. et al. Ultra-Fine Grained Bulk Steel Production by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process, Scripta Materialia, 40 (1999) 795-800.
3. US 7,191,630 B2
4. US 5,850,755 A.

5. L.S. Toth, R. Lapovok, A. Hasani, C.F. Gu, Non-equal channel angular pressing of aluminum alloy, Scripta Materialia 61 (2009) 1121-1124.
6. US 7,152,448 B2 , publié le 26 décembre 2006
7. Y. Saito, H. Utsunomiya, H. Suzuki, T. Sakai, Improvement in the R-value of Aluminum Strip by a Continuous Shear Déformation Process, Scripta Materialia 42 (2000) 1139-1144.
8. C.Y. Nam, J.H. Han, Y.H. Chung, M.C. Shin, Effect of Precipitates on Microstructural Evolution of 7050 Al Alloy Sheet During Equal Channel Angular Rolling, Materials Science and Engineering A 347 (2003) 253-257.
9. US 6,197,129 B1.
10. US 7,617,750 B2.
11. US 2013/0055783 A1

Revendications

1. Procédé de formation d'une pièce dans lequel un matériau métallique subit une déformation plastique sévère afin de lui conférer une structure à grains ultrafins, dans lequel on introduit une barre (3) dudit matériau dans une matrice (1) selon une direction d'introduction (F), la matrice (1) comportant une zone d'entrée (11) avec une section en concordance avec la section de la barre (3) et une zone de sortie (13), la zone de sortie (13) étant orientée dans une direction de sortie latérale par rapport à la direction d'introduction (F) pour extraire le matériau transformé, le procédé étant **caractérisé en ce que**, la matrice (1) comportant une zone d'extrusion (14) ayant la même direction que la zone d'entrée (11) et de dimension moindre que la zone d'entrée (11) dans la direction de sortie dans un rapport compris entre 0,75 et 1 exclu, une zone de transition (12) comportant une face de transition (120) en aval de la zone de sortie (13) et effectuant la transition entre la zone d'entrée (11) et la zone d'extrusion (14), on extrude la barre (3) à travers la zone d'extrusion (14), la face de transition (120) créant une pression pour pousser une partie du matériau à travers la zone de sortie (13) et extraire le matériau transformé en forme de tôle (4).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on exerce en outre une contre-pression dans la zone d'extrusion (14).
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la matrice (1) est choisie pour que :

$$\chi = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right)}{-\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha} \leq 1$$

avec :

Ψ le rapport de réduction de section entre la section de sortie et la section d'entrée ;
 α l'angle entre la direction d'introduction (F) et la face de transition (120) ;
 $t = a/h$ où $2a$ est la largeur de la zone de sortie (13) et h est la différence de dimension entre la zone d'entrée (11) et la zone de sortie (13) ; et
 m est le coefficient de frottement entre le matériau et la face de transition (120).

4. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la matrice (1) et la contre-pression sont choisis pour que :

$$\chi' = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1 - \Psi)}{k}}{-\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k}} \leq 1$$

avec :

Ψ le rapport de réduction de section entre la section de sortie et la section d'entrée ;

α l'angle entre la direction d'introduction (F) et la face de transition (120) ;

$t = a/h$ où $2a$ est la largeur de la zone de sortie (13) et h est la différence de dimension entre la zone d'entrée (11) et la zone de sortie (13) ;

m est le coefficient de frottement entre le matériau et la face de transition (120) ;

P_{bp} est la contre-pression ; et

k est la limite élastique en cisaillement du matériau.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden eines Stücks, bei dem ein metallisches Material eine starke plastische Verformung erfährt, um ihm eine Struktur mit ultrafeinen Körnern zu verleihen, wobei eine Stange (3) des Materials in ein Gesenk (1) entlang einer Einführungsrichtung (F) eingeführt wird, wobei das Gesenk (1) eine Eingangszone (11) mit einem Querschnitt umfasst, der mit dem Querschnitt der Stange (3) übereinstimmt, und eine Ausgangszone (13), wobei die Ausgangszone (13) in eine seitliche Ausgangsrichtung bezüglich der Einführungsrichtung (F) ausgerichtet ist, um das umgewandelte Material herauszunehmen, wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass**, da das Gesenk (1) eine Extrusionszone (14) umfasst, die dieselbe Richtung aufweist wie die Eingangszone (11) und mit geringerem Maß als die Eingangszone (11) in die Ausgangsrichtung in einem Verhältnis, das zwischen 0,75 und 1 ausgeschlossen liegt, wobei eine Übergangszone (12) eine Übergangsfläche (120) stromabwärts der Ausgangszone umfasst (13) und den Übergang zwischen der Eingangszone (11) und der Extrusionszone (14) ausführt, die Stange (3) durch die Extrusionszone (14) extrudiert wird, wobei die Übergangsfläche (120) einen Druck schafft, um einen Teil des Materials durch die Ausgangszone (13) zu drücken, und das umgewandelte Material in Blechform (4) herauszunehmen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei außerdem ein Gegendruck in der Extrusionszone (14) ausgeübt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Gesenk (1) ausgewählt ist, damit:

$$\chi = \frac{\psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right)}{- \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1-\Psi) + \tan \alpha} \leq 1$$

wobei:

ψ das Querschnittreduktionsverhältnis zwischen dem Ausgangsquerschnitt und dem Eingangsquerschnitt ist;

α der Winkel zwischen der Einführungsrichtung (F) und der Übergangsfläche (120) ist;

$t = a/h$, wobei $2a$ die Breite der Ausgangszone (13) ist und h der Maßunterschied zwischen der Eingangszone (11) und der Ausgangszone (13) ist; und

m der Reibungskoeffizient zwischen dem Material und der Übergangsfläche (120) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Gesenk (1) und der Gegendruck ausgewählt sind, damit:

$$\chi' = \frac{\psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1-\Psi)}{k}}{- \left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1-\Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k}} \leq 1$$

wobei:

ψ das Querschnittreduktionsverhältnis zwischen dem Ausgangsquerschnitt und dem Eingangsquerschnitt ist;

α der Winkel zwischen der Einführungsrichtung (F) und der Übergangsfläche (120) ist;
 $t = a/h$, wobei $2a$ die Breite der Ausgangszone (13) ist und h der Maßunterschied zwischen der Eingangszone (11) und der Ausgangszone (13) ist; und
 m der Reibungskoeffizient zwischen dem Material und der Übergangsfläche (120) ist;
 P_{bp} der Gegendruck ist; und
 k die Scherelastizitätsgrenze des Materials ist.

Claims

1. Method for forming a piece wherein a metallic material is subjected to a severe plastic deformation so as to give same an ultrafine-grained structure, wherein a bar (3) of said material is introduced into a die (1) along a feed direction (F), the die (1) including an input zone (11) with a cross-section matching the cross-section of the bar (3) and an output zone (13), the output zone (13) being oriented in a lateral output direction with respect to the feed direction (F) to extract the processed material, the method being **characterised in that**, the die (1) including an extrusion zone (14) having the same direction as the input zone (11) and of lesser size than the input zone (11) in the output direction in a ratio between 0.75 and 1 exclusive, a transition zone (12) including a transition face (120) downstream from the output zone (13) and carrying out the transition between the input zone (11) and the extrusion zone (14), the bar (3) is extruded through the extrusion zone (14), the transition face (120) creating a pressure to push a portion of the material through the output zone (13) and extract the processed material in the form of a sheet (4).

2. Method according to claim 1, wherein a backpressure is further applied in the extrusion zone (14).

3. Method according to claim 1, wherein the die (1) is chosen such that:

$$\chi = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right)}{-\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha} \leq 1$$

where:

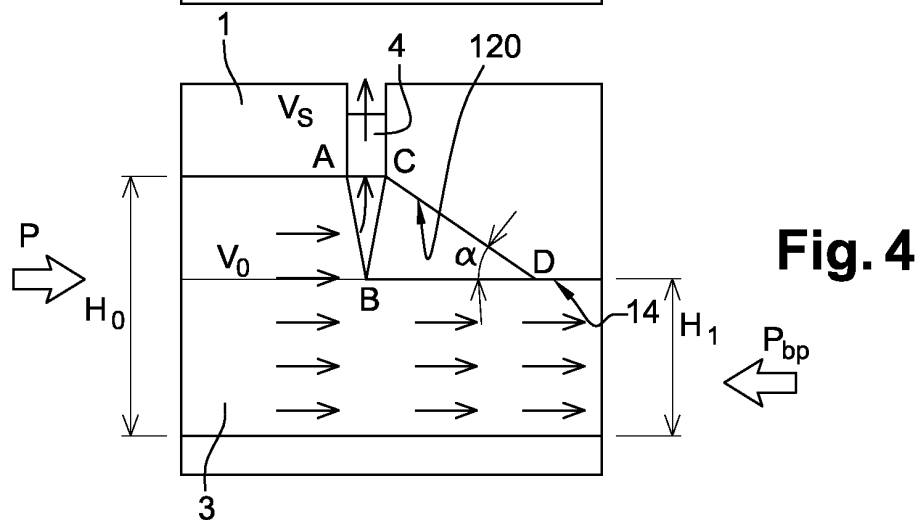
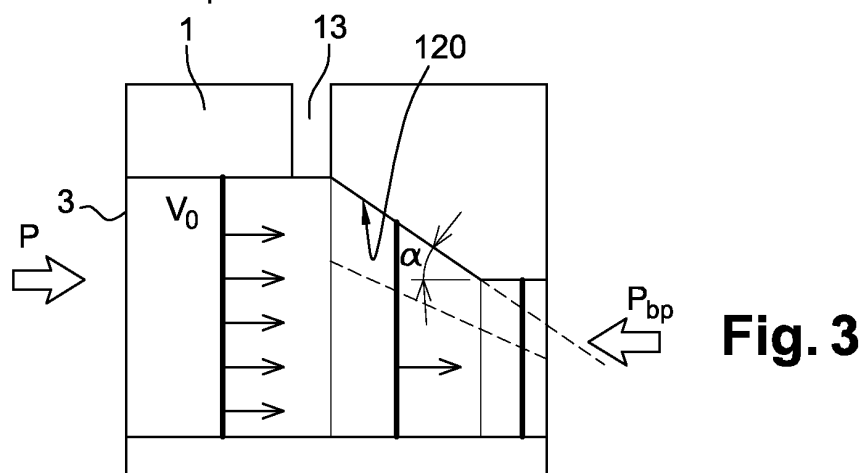
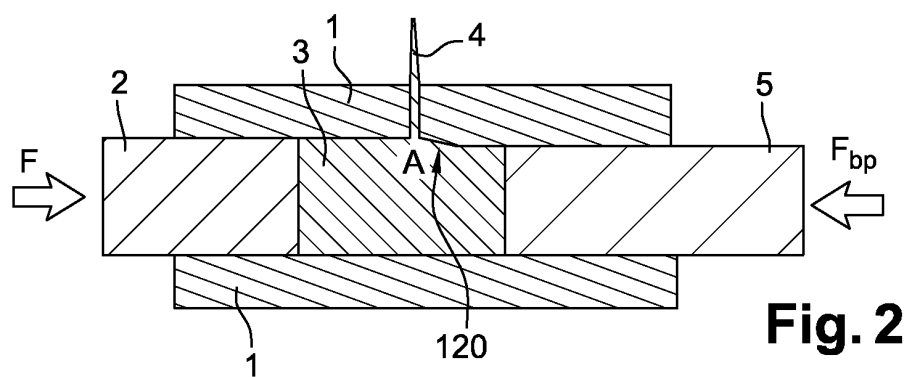
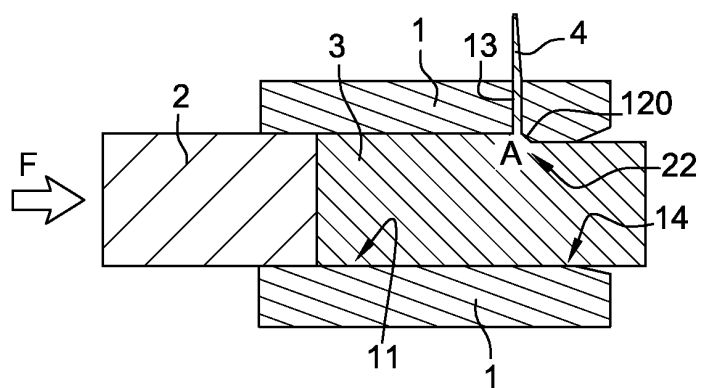
Ψ is the cross-section reduction ratio between the output cross-section and the input cross-section;
 α is the angle between the feed direction (F) and the transition face (120);
 $t = a/h$ where $2a$ is the width of the output zone (13) and h is the difference in size between the input zone (11) and the output zone (13); and
 m is the friction coefficient between the material and the transition face (120).

4. Method according to claim 2, wherein the die (1) and the backpressure are chosen such that:

$$\chi' = \frac{\Psi \left(\frac{2+t^2}{2t} + \frac{2t}{\sqrt{1+t^2}} + t + \cot \alpha \right) + \frac{P_{bp}(1 - \Psi)}{k}}{-\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha} \right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k}} \leq 1$$

where:

Ψ is the cross-section reduction ratio between the output cross-section and the input cross-section;
 α is the angle between the feed direction (F) and the transition face (120);
 $t = a/h$ where $2a$ is the width of the output zone (13) and h is the difference in size between the input zone (11) and the output zone (13); and
 m is the friction coefficient between the material and the transition face (120);
 P_{bp} is the backpressure; and
 k is the shear yield strength of the material.



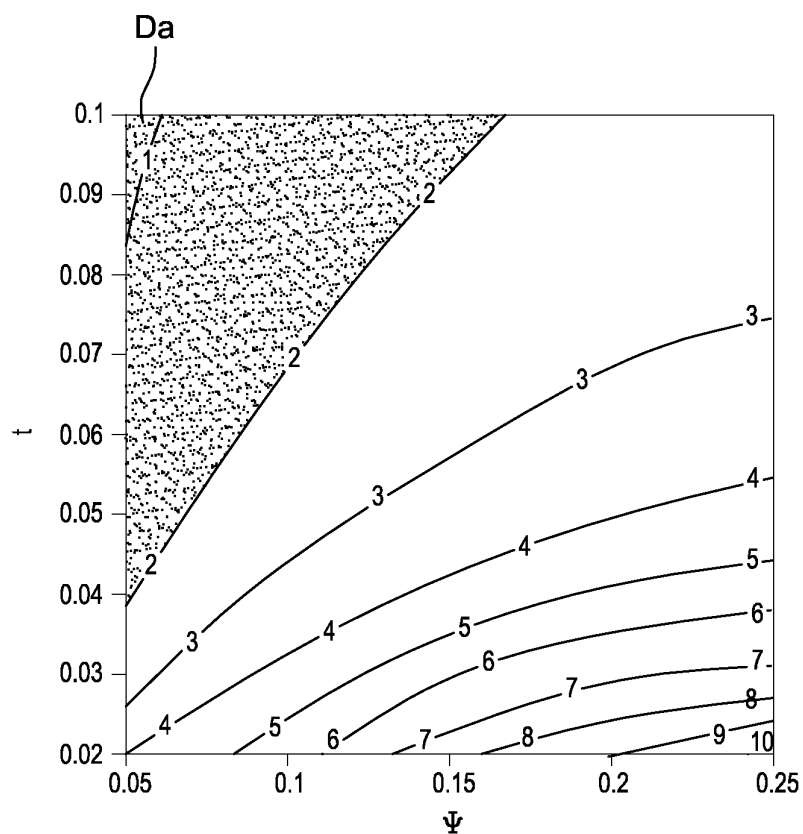


Fig. 5a

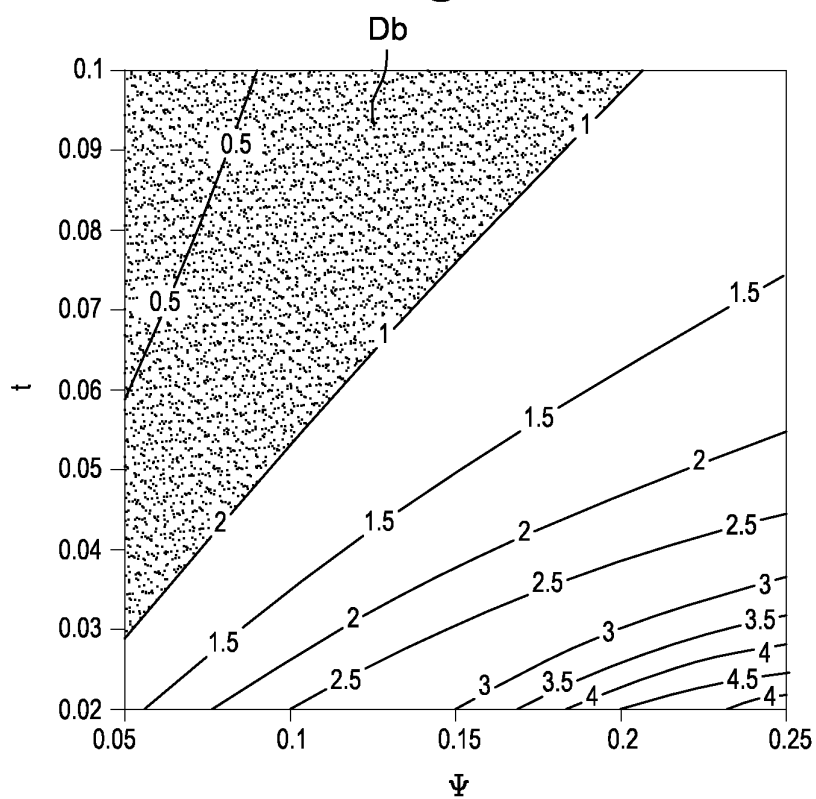


Fig. 5b

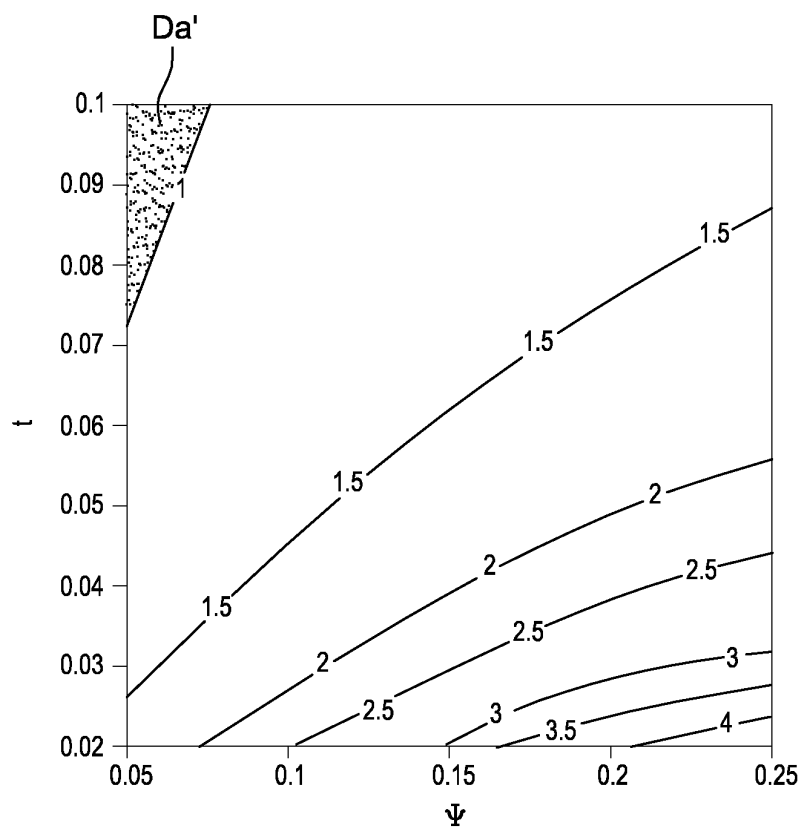


Fig. 6a

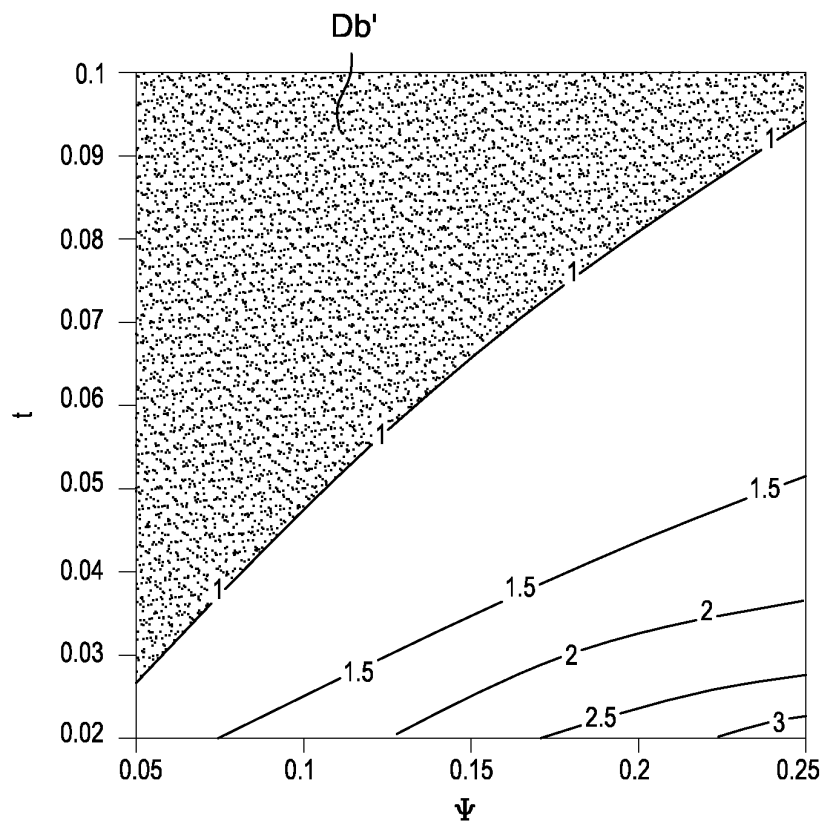


Fig. 6b

Fig. 7

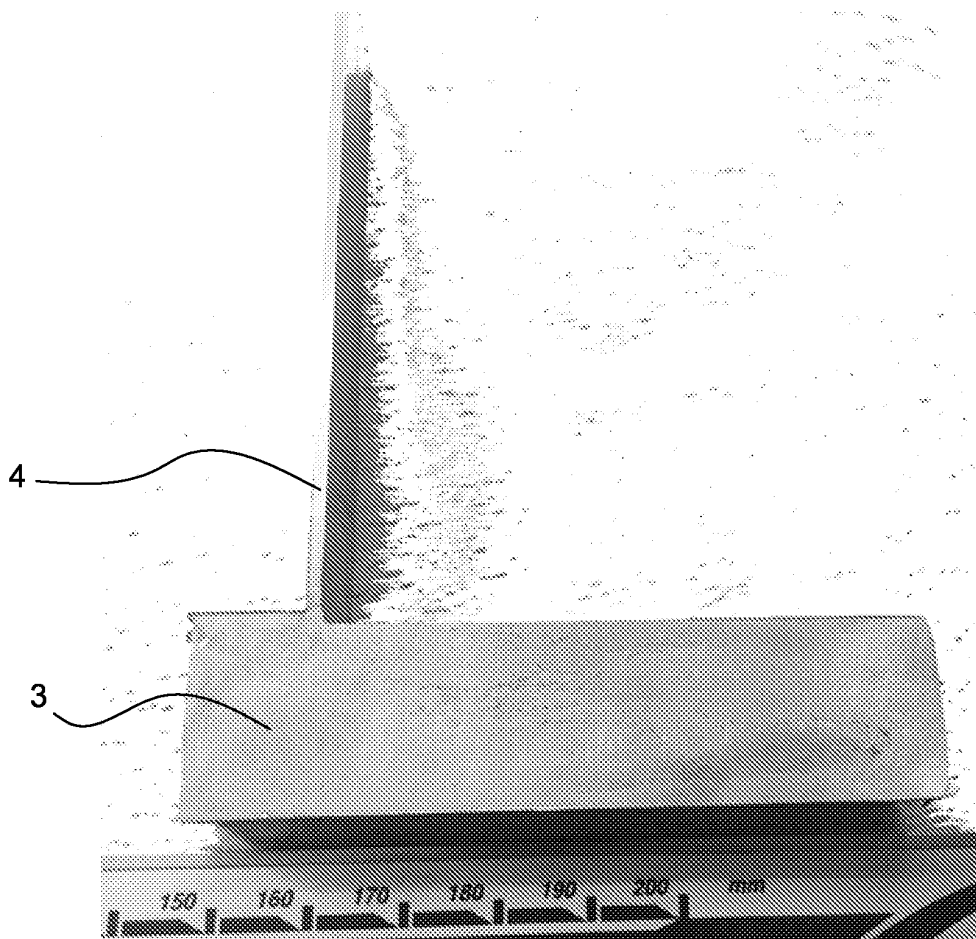
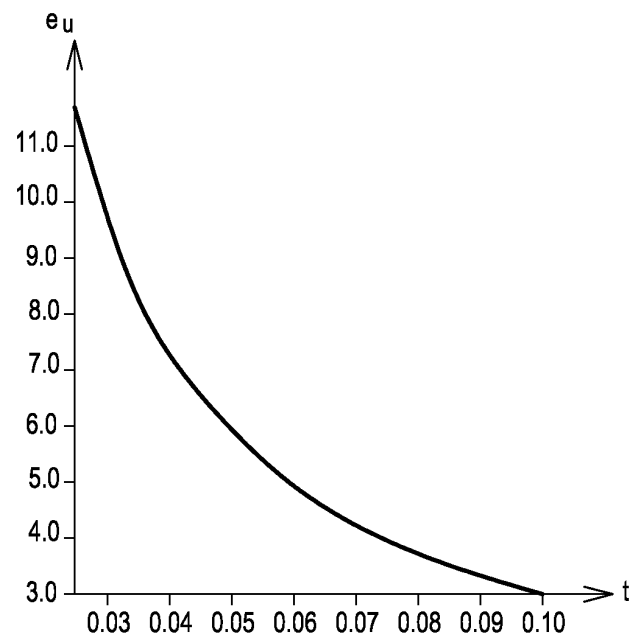


Fig. 8

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 7191630 B2 [0049]
- US 5850755 A [0049]
- US 7152448 B2 [0049]
- US 6197129 B1 [0049]
- US 7617750 B2 [0049]
- US 20130055783 A1 [0049]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **R. SONG ; D. PONGE ; D. RAABE ; J.G. SPEER ; D.K. MATLOCK.** Conventional Rolling, Overview of processing, microstructure and mechanical properties of ultra fine grained bcc steels. *Materials Science and Engineering A*, 2006, vol. 441, 1-17 [0049]
- **SAITO Y. et al.** Ultra-Fine Grained Bulk Steel Production by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process. *Scripta Materialia*, 1999, vol. 40, 795-800 [0049]
- **L.S. TOTH ; R. LAPOVOK ; A. HASANI ; C.F. GU.** Non-equal channel angular pressing of aluminum alloy. *Scripta Materialia*, 2009, vol. 61, 1121-1124 [0049]
- **Y. SAITO ; H. UTSUNOMIYA ; H. SUZUKI ; T. SAKAI.** Improvement in the R-value of Aluminum Strip by a Continuous Shear Déformation Process. *Scripta Materialia*, 2000, vol. 42, 1139-1144 [0049]
- **C.Y. NAM ; J.H. HAN ; Y.H. CHUNG ; M.C. SHIN.** Effect of Precipitates on Microstructural Evolution of 7050 Al Alloy Sheet During Equal Channel Angular Rolling. *Materials Science and Engineering A*, 2003, vol. 347, 253-257 [0049]